



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

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE**

*Previo a la obtención del Título de:*

*Ingeniero Mecánico*

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS DEPOSITADOS POR PROYECCIÓN TÉRMICA DE ALTA VELOCIDAD EN ASIENTOS DE VÁLVULAS API-600 Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA Y DESGASTE”**

---

**AUTOR:** Eduardo Salvador Sánchez Jiménez

**TUTOR:** Ing. Mg. César Arroba

**AMBATO-ECUADOR**

**2015**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema **“ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS DEPOSITADOS POR PROYECCIÓN TÉRMICA DE ALTA VELOCIDAD EN ASIENTOS DE VÁLVULAS API-600 Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA Y DESGASTE”** ejecutado por el Sr. Eduardo Salvador Sánchez Jiménez estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobado.

Ambato, Enero del 2015

.....  
Ing. Mg. César Arroba

Tutor

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Declaro que los criterios descritos en la investigación bajo el tema **“ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS DEPOSITADOS POR PROYECCIÓN TÉRMICA DE ALTA VELOCIDAD EN ASIENTOS DE VÁLVULAS API-600 Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA Y DESGASTE”**, así como también las ideas, análisis, conclusiones, recomendaciones y propuesta final son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero del 2015

## **EL AUTOR**

.....  
Egdo. Eduardo Salvador Sánchez Jiménez

**C.I. 120573901-2**

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

Cedo los Derechos de éste trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de ésta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Enero del 2015

## **EL AUTOR**

.....  
Egdo. Eduardo Salvador Sánchez Jiménez

**C.I.** 120573901-2

## **DEDICATORIA**

*A mis queridos padres Salvador Sánchez y Lida Jiménez, por ser mi apoyo fundamental para culminar mis estudios. A mis apreciados hermanos por su empuje y soporte constante en épocas de flaqueza.*

*Agradezco a mi querida tía Laura Sánchez por acogerme en su casa y tener así un refugio donde poder desarrollar mi carrera sin interés alguno.*

*Dedico este trabajo a mis queridos suegros por ayudarme con la crianza de la mejor de las bendiciones que Dios me ha dado, mi amada hija, Bianca Valentina. A la vez agradezco la comprensión y dedicación de una mujer valiente que sin escatimar esfuerzos, ha sabido entender que a pesar de la distancia el amor sigue latente; Este trabajo también es para ti mi Amada esposa Arq. Vanessa García.*

*Quien les agradece por todo su apoyo.*

*Eduardo Sánchez*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por ser la iluminación de mi existencia y por haberme puesto en mi camino aquellas personas que se hicieron parte fundamental de mi desarrollo como profesional.*

*Mis sincero respeto y agradecimiento a mi tutor de carrera el Ing. Mg. César Arroba quien con su paciencia y profesionalismo estuvo pendiente de los detalles y exigencias que se deben cumplir con la Universidad durante el desarrollo de este trabajo.*

*Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato y a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica que durante los años de formación profesional fueron con sus exigencias un pilar para el desarrollo de conocimiento; a todos ustedes incontables gracias.*

*A mis queridos amigos y compañeros de clase que durante mi carrera profesional me han ayudado con su apoyo y motivación.*

*Para culminar me gustaría dejar plasmada una frase que llegó a ser una de mis preferidas durante mi desarrollo profesional.*

*“El aprendizaje es experiencia, todo lo demás es información” Albert Einstein.*

*Para todos ustedes un agradecimiento eterno.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE.....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVIII

### CAPITULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema de investigación.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico .....	2
1.2.3 Prognosis .....	3
1.2.4 Formulación del problema .....	3
1.2.5 Preguntas directrices .....	3
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.....	4
1.2.6.1 De contenido .....	4
1.2.6.2 Espacial .....	4
1.2.6.3 Temporal .....	4
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos .....	6
2.2 Fundamentación filosófica .....	7
2.3 Fundamentación legal .....	8
2.4 Fundamentación teórica .....	8
2.4.1 Procesos de fabricación .....	8
2.4.2 Soldadura .....	9
2.4.3 Recubrimiento .....	10
2.4.3.1 Recubrimientos duros.....	11
2.4.3.2 Recubrimientos cerámicos .....	11
2.4.3.3 Recubrimientos metálicos .....	12
2.4.3.4 Selección de recubrimientos .....	13
2.4.3.4 Principales operaciones en el sector de recubrimientos metálicos.....	14
2.4.3.5 Proyección térmica.....	16
2.4.3.6 Proyección térmica de alta velocidad (HVOF) .....	18
2.4.4 Ensayo de materiales.....	21
2.4.4.1 END por método de ultrasonido .....	21
2.4.5 Dureza .....	23
2.4.5.1 Métodos Brinell y Rockwell .....	23
2.4.6 Desgaste .....	24
2.4.6.1 Principales factores de desgaste .....	25
2.4.6.2 Desgaste por abrasión .....	25
2.4.6.3 Tasa de desgaste .....	25
2.4.6.4 Coeficiente de desgaste .....	26
2.4.6.5 Abrasión pura o de baja tensión .....	26
2.4.6.6 Abrasión de alta tensión o esfuerzo .....	27
2.4.6.7 Abrasión por desgarramiento .....	28
2.4.6.8 Alcance de la norma ASTM G-65 .....	29
2.4.6.9 Asiento de válvula API-600 .....	32



2.5 Categorías fundamentales .....	33
2.6 Hipótesis.....	33
2.7 Señalamientos de las variables de la hipótesis .....	33
2.7.1 Variable independiente .....	33
2.7.2 Variable dependiente.....	33

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1 Enfoque .....	34
3.2 Modalidad y tipo de investigación .....	34
3.2.1 Modalidad .....	34
3.2.2 De campo .....	34
3.2.3 Exploratoria.....	35
3.2.4 Explicativa.....	35
3.2.5 Bibliográfica.....	35
3.2.6 Experimental .....	35
3.2.7 Materiales empleados para ensayos de dureza y desgaste .....	36
3.2.7 Tipo de recubrimientos .....	36
3.3 Población y muestra .....	36
3.3.1 Población.....	36
3.3.2 Muestra.....	37
3.4 Operacionalización de variables .....	38
3.4.1 Variable independiente .....	38
3.4.2 Variable dependiente.....	39
3.5 Plan de recolección de información .....	40
3.6 Procesamiento y análisis de la información .....	40
3.7 Análisis e interpretación de resultados.....	41

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Análisis de resultados.....	42
4.2	Presentación de resultados .....	44
4.2.1	Adquisición de asientos de válvulas API-600.....	44
4.2.2	Determinación de parámetros de desgaste abrasivo.....	44
4.2.3	Composición química del asiento de válvula API-600 .....	45
4.2.4	Selección de recubrimientos .....	46
4.2.5	Determinación de la distancia de proyección térmica HVOF.....	46
4.2.6	Análisis de espesores por el método de ultrasonido.....	48
4.2.7	Corte y dimensionamiento de probetas para ensayo de desgaste.....	51
4.3	Pesaje de probetas .....	53
4.3.1	Determinación del peso de probetas para ensayos de desgaste.....	53
4.3.2	Material abrasivo.....	54
4.3.3	Análisis de la norma ASTM G-65 .....	55
4.3.3.1	Selección del procedimiento de ensayo .....	55
4.3.4	Calibración de la máquina de ensayo de desgaste abrasivo con acero AISI 4140.....	57
4.3.5	Análisis parámetros de desgaste abrasivo acero AISI 4140.....	59
4.3.6	Ensayo de desgaste abrasivo con recubrimiento inox martensítico .....	63
4.3.6.1	Análisis parámetros de desgaste abrasivo en R. inox martensítico.....	64
4.3.7	Ensayo de desgaste abrasivo con recubrimiento (WC-Co).....	68
4.3.7.1	Análisis parámetros de desgaste abrasivo con R. (WC-Co) .....	69
4.3.8	Ensayo de desgaste abrasivo con recubrimiento (Cr3 C2-CoNi).....	73
4.3.8.1	Análisis parámetros de desgaste abrasivo con R. (Cr3 C2-CoNi) .....	74
4.3.9	Ensayo e interpretación de la dureza en el asiento de válvula API-600 .....	78
4.3.9.1	Ensayo metalográfico de recubrimientos depositados en el asiento de válvula API-600 .....	83
4.4	Interpretación de resultados .....	89
4.4.1	Interpretación de los valores de dureza .....	89

4.4.2 Interpretación de los valores de la pérdida de masa.....	91
4.4.3 Interpretación de los valores de la pérdida de volumen.....	92
4.4.4 Interpretación de los valores de la tasa de desgaste .....	95
4.4.5 Interpretación de los valores del coeficiente de desgaste.....	98
4.4.6 Interpretación de la resistencia al desgaste .....	99
4.5 Verificación de la hipótesis planteada.....	100
4.5.1 Ho Hipótesis nula:.....	100
4.5.2 Ha Hipótesis alternativa: .....	100
4.5.3 Verificación.....	100
4.5.4 Regla de decisión .....	101
4.5.1 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la dureza del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co.....	102
4.5.2 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la pérdida de masa del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co.....	104
4.5.3 Verificación de la hipótesis respecto al efecto que tiene la pérdida de volumen del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co....	106
4.5.4 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la tasa de desgaste del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co.....	108
4.5.5 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene el coeficiente de desgaste de sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co.	110
4.5.6 Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia al desgaste que tiene el sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co .....	112

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones .....	115
5.2 Recomendaciones.....	116

## CAPITULO VI

### PROPUESTA

6.1 Diagrama de flujo para el desarrollo de la propuesta.....	118
6.2 Información y análisis de datos.....	120
6.2.1 Antecedentes de la propuesta.....	121
6.2.2 Justificación.....	123
6.3 Objetivos.....	124
6.3.1 Objetivo general.....	124
6.3.2 Objetivos específicos.....	124
6.4 Análisis de factibilidad.....	124
6.4.1 Análisis económico.....	125
6.4.2 Análisis tecnológico.....	125
6.5 Fundamentación.....	126
6.6 Metodología.....	127
6.7 Administración.....	147
6.8 Previsión de la evaluación.....	148
<b>Bibliografía.</b> .....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Etapas de los distintos procesos de recubrimientos metálicos .....	16
<b>Figura 2.2</b> Proyección térmica .....	18
<b>Figura 2.3</b> Proyección térmica HVOF .....	20
<b>Figura 2.4</b> END Medición de espesor en tuberías .....	22
<b>Figura 2.5</b> END Medición de espesores .....	22
<b>Figura 2.6</b> Geometría de los indentadores Brinell (a) y Rockwell (b).....	24

<b>Figura 2.7</b> Desgaste abrasivo .....	27
<b>Figura 2.8</b> Desgaste abrasivo de alta tensión .....	28
<b>Figura 2.9</b> Desgaste erosivo .....	29
<b>Figura 2.10</b> Asiento de válvula API-600 .....	32
<b>Figura 4.1</b> Promedio de espesores.....	51
<b>Figura 4.2</b> Dimensionamiento del asiento de válvula API-600 .....	52
<b>Figura 4.3</b> Dimensionamiento de probetas para ensayo de desgaste .....	52
<b>Figura 4.4</b> Partículas para ensayo de desgaste .....	54
<b>Figura 4.5</b> Probetas para ensayo de dureza .....	78
<b>Figura 4.6</b> Comparación de dureza en pieza original vs recubrimiento inox martensítico .....	89
<b>Figura 4.7</b> Comparación de dureza en pieza original vs recubrimiento (WC – Co) .....	89
<b>Figura 4.8</b> Comparación de dureza en pieza original vs recubrimiento (Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> - CoNi).....	90
<b>Figura 4.9</b> Comparación de dureza en pieza original vs recubrimientos adheridos por proyección HVOF.....	90
<b>Figura 4.10</b> Pérdida de masa .....	91
<b>Figura 4.11</b> Pérdida de volumen .....	92
<b>Figura 4.12</b> Pérdida de volumen en el acero AISI 4140 vs R. inox martensítico.	93
<b>Figura 4.13</b> Pérdida de volumen en el acero AISI 4140 vs R. (WC – Co).....	93
<b>Figura 4.14</b> Pérdida de volumen en el acero AISI 4140 vs R. (Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -CoNi).....	94
<b>Figura 4.15</b> Pérdida de volumen en acero AISI 4140 y recubrimientos .....	95
<b>Figura 4.16</b> Tasa de desgaste .....	96
<b>Figura 4.17</b> Tasa de desgaste en el acero AISI 4140 vs R. Inox Martensítico .....	96
<b>Figura 4.18</b> Tasa de desgaste en el acero AISI 4140 vs R. (WC – Co) .....	97
<b>Figura 4.19</b> Tasa de desgaste en el acero AISI 4140 vs R. (Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> – Co Ni).....	97
<b>Figura 4.20</b> Tasa de desgaste en acero AISI 4140 y recubrimientos .....	98
<b>Figura 4.21</b> Coeficiente de desgaste .....	98
<b>Figura 4.22</b> Resistencia al desgaste abrasivo .....	99
<b>Figura 4.23</b> Hipótesis dureza .....	103
<b>Figura 4.24</b> Hipótesis pérdida de masa .....	105

<b>Figura 4.25</b> Hipótesis pérdida de volumen .....	107
<b>Figura 4.26</b> Hipótesis tasa de desgaste.....	109
<b>Figura 4.27</b> Hipótesis coeficiente de desgaste .....	111
<b>Figura 4.28</b> Hipótesis resistencia al desgaste.....	113
<b>Figura 6.1</b> Obtención de asientos de válvula API-600.....	130
<b>Figura 6.2</b> Desengrasado.....	131
<b>Figura 6.3</b> Granallado metálico.....	132
<b>Figura 6.4</b> Proyección térmica HVOF .....	133
<b>Figura 6.5</b> Rectificado del asiento.....	134
<b>Figura 6.6</b> Asiento terminado.....	134
<b>Figura 6.7</b> Medición de espesores .....	135
<b>Figura 6.8</b> Corte de probetas para ensayo de desgaste.....	136
<b>Figura 6.9</b> Probetas rectificadas para ensayo de desgaste.....	137
<b>Figura 6.10</b> Pesaje de probetas.....	137
<b>Figura 6.11</b> Máquina de ensayo de desgaste abrasivo .....	138
<b>Figura 6.12</b> Sentido de giro de la rueda .....	138
<b>Figura 6.13</b> Flujo Laminar de arena.....	139
<b>Figura 6.14</b> Caja de control.....	139
<b>Figura 6.15</b> Colocación de la carga.....	140
<b>Figura 6.16</b> Medición de la pérdida de masa .....	140
<b>Figura 6.17</b> Corte de probeta para ensayo de dureza .....	141
<b>Figura 6.18</b> Calibración del durómetro .....	141
<b>Figura 6.19</b> Ensayo de dureza .....	142
<b>Figura 6.20</b> Probeta ensayada en el durómetro .....	142
<b>Figura 6.21</b> Corte de probetas .....	143
<b>Figura 6.22</b> Lijas para desbaste manual .....	143
<b>Figura 6.23</b> Pulido de la muestra .....	144
<b>Figura 6.24</b> Ataque químico.....	145
<b>Figura 6.25</b> Evaluación de la microestructura .....	145

## TABLAS

<b>Tabla 2.1</b>	Propiedades Químicas del Recubrimiento Inox Martensítico.....	13
<b>Tabla 2.2</b>	Propiedades Químicas del Recubrimiento (WC-Co).....	14
<b>Tabla 2.3</b>	Propiedades Químicas del Recubrimiento (Cr3 C2-CoNi).....	14
<b>Tabla 2.4</b>	Parámetros de Desgaste Abrasivo.....	31
<b>Tabla 2.5</b>	Análisis de Resultados Estadísticos Para Pruebas de Laboratorio.....	31
<b>Tabla 3.1</b>	Estudio de Experimental.....	35
<b>Tabla 3.2</b>	Valores máximos de Z utilizados, según el valor de $\alpha$ .....	37
<b>Tabla 3.3</b>	Valores Obtenidos de la Muestra.....	37
<b>Tabla 3.4</b>	Parámetros de ensayos.....	38
<b>Tabla 4.1</b>	Adquisición de asientos de válvulas API-600.....	44
<b>Tabla 4.2</b>	Propiedades Químicas del Asiento de Válvula API-600.....	45
<b>Tabla 4.3</b>	Determinación de la distancia de Proyección HVOF.....	47
<b>Tabla 4.4</b>	Análisis de espesores en el asiento con recubrimiento (Inox Martensítico).....	48
<b>Tabla 4.5</b>	Análisis de espesores en el asiento con recubrimiento de Carburo de Tungsteno o Wolframio en base de cobalto (WC-Co).....	49
<b>Tabla 4.6</b>	Análisis de espesores en el asiento con recubrimiento de Carburo de Cromo en base Cobalto-Níquel (Cr3 C2-CoNi).....	50
<b>Tabla 4.7</b>	Pesaje de Probetas Para Ensayos de Desgaste.....	53
<b>Tabla 4.8</b>	Parámetros de Ensayo de Desgaste Abrasivo Procedimiento A.....	56
<b>Tabla 4.9</b>	Calibración de Máquina de Ensayo de Desgaste Abrasivo.....	57
<b>Tabla 4.10</b>	Pérdida de Masa en el Acero AISI 4140.....	59
<b>Tabla 4.11</b>	Pérdida de Volumen en el Acero AISI 4140.....	60
<b>Tabla 4.12</b>	Análisis de la Tasa de Desgaste en el Acero AISI 4140.....	61
<b>Tabla 4.13</b>	Análisis del Coeficiente de Desgaste en el Acero AISI 4140.....	62
<b>Tabla 4.14</b>	Ensayo de Desgaste Abrasivo Con Recubrimiento Inox Martensítico.....	63
<b>Tabla 4.15</b>	Análisis de Pérdida de Masa con R. Inox Martensítico.....	64
<b>Tabla 4.16</b>	Análisis de Pérdida de Volumen con R. Inox Martensítico.....	65
<b>Tabla 4.17</b>	Análisis de la Tasa de Desgaste con R. Inox Martensítico.....	66

<b>Tabla 4.18</b>	Análisis del Coeficiente de Desgaste con R. Inox Martensítico .....	67
<b>Tabla 4.19</b>	Ensayo de Desgaste Abrasivo Con Recubrimiento (WC-Co).....	68
<b>Tabla 4.20</b>	Análisis de Pérdida de Masa con R. (WC-Co).....	69
<b>Tabla 4.21</b>	Análisis de Pérdida de Volumen con R. (WC-Co) .....	70
<b>Tabla 4.22</b>	Análisis de la Tasa de Desgaste con R. (WC-Co).....	71
<b>Tabla 4.23</b>	Análisis del Coeficiente de Desgaste con R. (WC-Co).....	72
<b>Tabla 4.24</b>	Ensayo de Desgaste Abrasivo Con R. (Cr3 C2-CoNi) .....	73
<b>Tabla 4.25</b>	Análisis de Pérdida de Masa con R. (Cr3 C2-CoNi) .....	74
<b>Tabla 4.26</b>	Análisis de Pérdida de Volumen con R. (Cr3 C2-CoNi) .....	75
<b>Tabla 4.27</b>	Análisis de la Tasa de Desgaste con R. (Cr3 C2-CoNi) .....	76
<b>Tabla 4.28</b>	Análisis del Coeficiente de Desgaste con R. (Cr3 C2-CoNi) .....	77
<b>Tabla 4.29</b>	Designación de Probetas Para Ensayo de Dureza .....	78
<b>Tabla 4.30</b>	Ensayo de Dureza Probeta 1.1 .....	79
<b>Tabla 4.31</b>	Ensayo de Dureza Probeta 1.2 .....	80
<b>Tabla 4.32</b>	Ensayo de Dureza Probeta 1.3 .....	81
<b>Tabla 4.33</b>	Ensayo de Dureza Probeta 1.4 .....	82
<b>Tabla 4.34</b>	Ensayo Metalográfico en Recubrimiento Inox Martensítico .....	83
<b>Tabla 4.35</b>	Tamaño de grano en Recubrimiento Inox Martensítico.....	84
<b>Tabla 4.36</b>	Ensayo Metalográfico en (WC – Co).....	85
<b>Tabla 4.37</b>	Tamaño de grano en Recubrimiento (WC – Co) .....	86
<b>Tabla 4.38</b>	Ensayo Metalográfico en Recubrimiento (Cr3 C2 – Co Ni).....	87
<b>Tabla 4.39</b>	Tamaño de grano en Recubrimiento (Cr3 C2 – Co Ni) .....	88
<b>Tabla 4.40</b>	Verificación de la Hipótesis respecto a la Dureza del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co).....	102
<b>Tabla 4.41</b>	Verificación de la Hipótesis respecto a la Pérdida de Masa del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co).....	104
<b>Tabla 4.42</b>	Verificación de la Hipótesis respecto a la Pérdida de Volumen del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co).....	106
<b>Tabla 4.43</b>	Verificación de la Hipótesis respecto a la Tasa de desgaste del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co).....	108
<b>Tabla 4.44</b>	Verificación de la Hipótesis respecto al Coeficiente de desgaste del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co).....	110



<b>Tabla 4.45</b> Verificación de la Hipótesis respecto a la Resistencia al desgaste del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co).....	112
<b>Tabla 4.46</b> Verificación de la Hipótesis respecto a las variables analizadas .....	114
<b>Tabla 6.1</b> Parámetros de Desgaste Abrasivo Procedimiento A.....	123
<b>Tabla 6.2</b> Adquisición de asientos de válvulas API-600.....	130
<b>Tabla 6.3</b> Análisis económico desengrasado .....	131
<b>Tabla 6.4</b> Análisis económico de granallado .....	132
<b>Tabla 6.5</b> Análisis económico de proyección HVOF.....	133
<b>Tabla 6.6</b> Análisis económico de rectificado .....	135
<b>Tabla 6.7</b> Análisis Costo - Beneficio .....	146
<b>Tabla 6.8</b> Administración y Costos de Investigación.....	147

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

**Autor:** Eduardo Sánchez

**Tutor:** Ing.Mg. César Arroba

### RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación está orientada al análisis de los recubrimientos cerámico-metálicos proyectados térmicamente por el proceso de proyección térmica de alta velocidad HVOF, en asientos de válvulas API-600, donde se determina parámetros de dureza bajo la Norma ASTM 18-03 en escala Rockwell C y parámetros desgaste abrasivo aplicados a los 3 tipos de recubrimientos planteados, bajo la Norma ASTM G65-04 mediante el Procedimiento A que se detalla ampliamente en este estudio.

Los Recubrimientos fueron sometidos a pruebas de dureza y desgaste para determinar cuál es el que presenta mejores propiedades, presentándose con mejores resultados el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (Wc – Co), que presentó una dureza media de 64,7 HRc respecto a los demás recubrimientos; además elevó la dureza del sustrato en un 110%.

Se determinó los parámetros desgaste abrasivo, donde sobresale el recubrimiento (Wc – Co), con pérdidas de Volumen que bordean  $789,368 \text{ mm}^3$  y una resistencia al desgaste de  $859,394 \text{ (gr/m)}^{-1}$  de igual manera sobresale con mejores propiedades respecto al sustrato y los demás recubrimientos planteados.

Finalmente se elaboró un procedimiento de evaluación de dureza y desgaste abrasivo del Recubrimiento (WC – Co) bajo la norma ASTM G-65-04 mediante el método “A”, para disponer de una guía didáctica que permita realizar correctamente los ensayos de abrasión.

## **CAPITULO I**

### **1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Tema de investigación**

“ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS DEPOSITADOS POR PROYECCIÓN TÉRMICA DE ALTA VELOCIDAD EN ASIENTOS DE VALVULAS API-600 Y SU INCIDENCIA EN LA DUREZA Y DESGASTE”

#### **1.2 Planteamiento del problema**

##### **1.2.1 Contextualización**

A nivel internacional mediante la necesidad de las industrias por recuperar partes y piezas de máquinas y equipos sometidos a desgaste, España, Alemania y Estados Unidos fueron los pioneros en empezar estudios sobre los recubrimientos, donde se demuestra que son procedimientos que datan de unos 70 años atrás.

Con el advenimiento de los procesos de soldadura, se intentó restaurar las superficies desgastadas de las piezas de acero, algunas veces con éxito y otras infructuosamente. Las industrias petrolera, minera y de construcción civil fueron los primeros en utilizar estos procesos. El éxito alcanzado motivó una utilización cada vez más creciente en otros campos.

La industria Ecuatoriana ha incursionado en la implementación y desarrollo de varios tipos de recubrimientos y se presenta aquí un resumen, destacando los resultados obtenidos en cada uno de los casos. Entre los procesos de recubrimiento que se mencionarán se encuentran: Recubrimientos Galvánicos, por Plasma, Proyección térmica de alta velocidad (HVOF), Sol-Gel, Spray de Llama y

nitruración de superficies, todo esto lo encontramos concretamente en las áreas de mantenimiento de estaciones petroleras, estaciones navales (Astilleros) y estaciones Aeronáuticas.

Los recubrimientos cerámico-metálicos empleados en la proyección térmica y la soldadura de mantenimiento, se ha utilizado en la recuperación de carcasas de bombas industriales en los sectores petroleros de la zona oriental de nuestro País.

La avanzada tecnología de los recubrimientos y la proyección HVOF, provee a la industria uno de los medios más eficaces para combatir el desgaste prematuro en los asientos de válvulas API-600, adelantándose a la falla o al momento en que el equipo deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta manera se optimiza la disponibilidad de la maquinaria, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil. Con ello se logra un aumento en la disponibilidad de sistemas críticos y se reduce drásticamente la compra de repuestos.

### **1.2.2 Análisis crítico**

Un incremento de la productividad y el rendimiento de instalaciones técnicas y maquinaria, forzosamente conduce a un mayor desgaste de las partes internas de asientos de válvulas API-600, estos elementos mecánicos sufren desgaste abrasivo debido a las partículas que circulan dentro de la válvula y chocan produciendo grietas similares al desgaste por picadura lo que hace que se replacen constantemente por asientos nuevos lo cual genera pérdidas de producción.

Por ello es necesario proteger las superficies sometidas a grandes esfuerzos por medio de la proyección térmica, o modificarlas para darles una gran resistencia al desgaste.

El trabajo apunta a caracterizar recubrimientos duros tanto metálicos como cerámicos depositados con tecnología de vanguardia aplicada en los asientos de

válvulas API-600, sometidas a pruebas de dureza y desgaste, luego concluir cómo se comportan mecánica y estructuralmente.

### **1.2.3 Prognosis**

En toda operación industrial, un problema de consideración en el mantenimiento de herramientas, equipos y maquinarias, es el de minimizar el desgaste o recuperar las piezas desgastadas, cuyo costo es menor que el remplazo de las mismas, para lo cual es importante reconocer el problema y la forma de recuperarlas, que por lo general, implica la aplicación de un recubrimiento metálico o cerámico-metálico y un maquinado para su acabado.

Los asientos de las válvulas API-600, requieren de un mantenimiento preventivo, en varios casos minucioso debido a la dificultad de reconocer el problema ya que se encuentra dentro de la composición estructural de una válvula, en consecuencia, de no darse este estudio correspondiente se perdería una investigación de gran valor en la recuperación de piezas desgastadas por abrasión con metalizados y recubrimientos que mejoren el desempeño y funcionamiento de una válvula API-600, donde cada vez es más utilizada en la industria de nuestro país, lo que indica que se seguirá generando gastos de operación y mantenimiento.

### **1.2.4 Formulación del problema**

¿Qué tipo de recubrimientos mejorará las propiedades de dureza y desgaste compuestas en el asiento de una válvula API-600?

### **1.2.5 Preguntas directrices**

¿Cuál será la composición química del asiento de una válvula API-600?

¿Qué distancia será la adecuada para la aplicación del recubrimiento cerámico-metálico por el método de proyección térmica HVOF?

¿De qué manera se podrá obtener mejores resultados en condiciones de adherencia con el análisis establecido en el estudio de recubrimientos?

¿Cuál será la variación de desgaste y dureza una vez añadido el recubrimiento necesario en el asiento de una válvula API-600?

## **1.2.6 Delimitación del objeto de investigación**

### **1.2.6.1 De contenido**

El presente estudio se fundamenta en el campo de Ingeniería Mecánica en áreas como:

- Ingeniería de Materiales
- Procesos de Fabricación
- Proyección Térmica de alta velocidad
- Ensayos No Destructivos

### **1.2.6.2 Espacial**

La investigación se realizó en Universidad Técnica de Ambato, específicamente en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y biblioteca de la facultad.

### **1.2.6.3 Temporal**

El tiempo estimado para la realización del estudio de investigación se consideró desde el mes de julio de 2014 hasta el mes de enero de 2015, en este tiempo se determinó que el carburo de tungsteno en base de cobalto proyectado térmicamente por HVOF, es el recubrimiento que presentó mejores propiedades de dureza y desgaste.

## **1.3 Justificación de la investigación**

Si estudiamos nuevos y mejores materiales, obtendremos métodos más eficientes de depósito protegiendo el material base y obteniendo superficies con menos rugosidad superficial, mayor adherencia al sustrato y extrema resistencia al desgaste abrasivo.

La principal motivación es buscar alternativas al desgaste abrasivo de estas piezas mecánicas presentes en las industrias más importantes del país, como lo es la Aeronáutica, minería, petrolera y naval utilizando tecnología de vanguardia.

Esta investigación tiene como objetivo primordial obtener información de gran valor para aquellos estudiantes, docentes y profesionales dedicados a la búsqueda de información en el campo de los recubrimientos y del estudio de los materiales.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Estudiar los recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en asientos de válvulas API-600 para determinar su influencia en la dureza y desgaste.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar la composición química del material compuesto por el asiento de la válvula API-600.
- Determinar la distancia adecuada para la aplicación del recubrimiento cerámico-metálico en el asiento de la válvula API-600 por el método de proyección térmica HVOF.
- Determinar el tipo de recubrimiento adherente cerámico-metálico apropiado para la aplicación en el asiento de una válvula API-600.
- Comparar parámetros de desgaste y dureza del recubrimiento añadido en el asiento de la válvula API-600.

## **CAPÍTULO II**

### **1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes investigativos**

El presente estudio se refuerza en investigaciones bibliográficas descritas por categóricos autores que han dedicado parte de su vida en la búsqueda de información en el estudio de los recubrimientos y pruebas de desgaste.

**Fuente:** Tesis

**Autores:** Jorge Patricio Carrasco Contreras

**Año de Publicación:** 2010

**Lugar:** Chile, Universidad de Chile

**Tema:** Caracterización de recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad y aportes de soldadura pta.

**Repositorio Digital EPN:** <http://tesis.uchile.cl/handle/2250/103888>

**Fuente:** Catálogo

**Autores:** Mauricio Ibarra Echeverría, Eduardo Núñez Solís & José Miguel Huerta Ibáñez

**Año de Publicación:** 2010

**Lugar:** Chile, Av. Las Américas 585, Cerrillos

**Tema:** Manual para la recuperación y protección anti desgaste de piezas.

**Repositorio Digital EPN:** [www.indura.net](http://www.indura.net)



**Fuente:** Tesis

**Fuente:** Tesis

**Autores:** Carlos Patricio Vargas Álava

**Año de Publicación:** 2013

**Lugar:** Universidad Técnica de Ambato

**Tema:** Pruebas mecánicas de válvulas de compuerta, sólidas y expandibles, componentes de cabezales de producción de petróleo y su influencia para garantizar el funcionamiento bajo la norma API 6 A (ISO 10423) en la empresa Mission Petroleum S.A.”.

**Repositorio Digital EPN:** <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/6511>

**Fuente:** Tesis

**Autores:** Jacob Diego Pérez Quiroga

**Año de Publicación:** 2014

**Lugar:** Universidad Técnica de Ambato

**Tema:** 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.

**Repositorio Digital EPN:** <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/7396>

## **2.2 Fundamentación filosófica**

El presente proyecto se pretende investigar y analizar los diferentes recubrimientos metálicos-cerámicos mediante proyección térmica de alta velocidad aplicados en los asientos de válvulas API-600 y su incidencia en el la dureza y desgaste, procesos que permitirán un correcto juicio y explicación de las variables involucradas en esta investigación.

Mediante el modelo crítico propositivo se relacionará la función causa efecto permitiendo establecer la solución al problema, brindando un desarrollo de fácil

comprobación y comprensión, además debido a nuevas investigaciones realizadas en el ambiente industrial y científico, este paradigma permitirá modificar el proceso para enfocar a las necesidades del entorno.

### **2.3 Fundamentación legal**

Las normas para el análisis de éste proyecto de investigación están desarrolladas por las siguientes normas:

- ISO 10434 (diseño de Válvulas API-600)
- ASTM G65-04 (Ensayo de desgaste Procedimiento A)
- ASME sección 5 Art 4 (Ensayo de Ultrasonido)
- Norma ASTM E 18 - 03 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials (determinación de la dureza Rockwell)

### **2.4 Fundamentación teórica**

#### **2.4.1 Procesos de fabricación**

La industria contemporánea basa sus procesos productivos con respecto a elementos metálicos, en cuatro pilares, desde los cuales se desenvuelve.

Estos son los siguientes:

- Procesos de Fundición
- Procesos de Soldadura
- Procesos de Maquinado con arranque de viruta
- Procesos de Deformación Plástica

Cada uno de ellos abarca un amplio campo de aplicación, desarrollo e innovación.

De la misma manera también representan indistintamente un grado de complejidad en lo que a la adaptación y extensión de la tecnología constituyen sus procesos.

Debido a esta razón significa de vital importancia aplicar de una manera eficiente y técnica todo el adelanto científico-tecnológico que se logra alrededor del mundo y que gracias a las herramientas de comunicación presentes se logran conocer y aprovechar. (Limber, 2007, p.19)

### **2.4.2 Soldadura**

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos piezas de un material, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte (metal o plástico), que al fundirse forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar (el baño de soldadura) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón. A veces se utiliza conjuntamente presión y calor, o solo presión por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda y la soldadura fuerte, que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo. (ASM International, 2003, p.4-5)

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente. (Blunt, 2002, p.7)

Mientras que con frecuencia es un proceso industrial, la soldadura puede ser hecha en muchos ambientes diferentes, incluyendo al aire libre, debajo del agua y en el

espacio. Sin importar la localización, sin embargo, la soldadura sigue siendo peligrosa, y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, descarga eléctrica, humos venenosos, y la sobreexposición a la luz ultravioleta.

Se dice que es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir, las 5 M: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tensión y doblez). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, GTAW, PLASMA, SPRAY, HVOF etc.) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad. (Howard, 2005, p.5)

### **2.4.3 Recubrimiento**

Modificación técnica superficial en la base de un material con el objetivo de mejorar los rendimientos físicos y/o químicos de herramientas y componentes estructurales.

Un recubrimiento puede ser definido como "una región superficial de un material con propiedades diferentes de las del material base". Los objetivos que se pretenden obtener con el empleo de los recubrimientos son básicamente reemplazar, modificar y/o lubricar superficies.

Las tres principales áreas en las que los recubrimientos han experimentado grandes avances son: el desgaste, la disminución de la fricción y las barreras térmicas.

El uso del recubrimiento permite que el material base sea optimizado para objetivos tales como resistencia mecánica, ligereza, etc., mientras que la superficie es optimizada para la resistencia al desgaste, a la fricción, o como aislamiento térmico o eléctrico entre otras aplicaciones. (García, 2010, p.2)

#### **2.4.3.1 Recubrimientos duros**

Se entiende por recubrimientos duros aquellas películas delgadas con las que se recubren superficies de muchas piezas de uso técnico, con la finalidad de proporcionarles mayor dureza y mayor resistencia al desgaste. También los recubrimientos pueden aportar otras propiedades de gran importancia para aplicaciones específicas como pueden ser; disminuir el coeficiente de fricción, aumentar la resistencia a la corrosión, introducir propiedades ópticas especiales en la superficie o también producir colores o texturas con fines decorativos.

En nuestros días los recubrimientos más modernos son los llamados recubrimientos de capa fina; capas delgadas de uno o más materiales con espesores pequeños, que van desde algunos nanómetros hasta algunas micras, y de alta calidad tanto en su composición como en su estructura.

Su desarrollo y uso fue retardada debido a las tecnologías avanzadas involucradas, tales como; tecnología de alta corriente y voltaje, tecnología de control de proceso y electrónicas relacionadas, física y química de plasma y tecnología de vacío. (Carrasco, 2010, p.6)

#### **2.4.3.2 Recubrimientos cerámicos**

Los materiales cerámicos son compuestos químicos constituidos por metales y no metales (óxidos, nitruros, carburos, etc.) que incluyen minerales de arcilla, cementos y vidrios. Se trata de materiales/minerales que son aislantes térmicos y que a elevada temperatura y en ambientes agresivos, son más resistentes que los metales y los polímeros. Desde el punto de vista mecánico, son duras y ligeras pero frágiles. Los enlaces interatómicos pueden ser de carácter iónico, o bien de carácter predominantemente iónico con carácter parcial covalente.

Las cerámicas se pueden presentar en forma vítrea, mono-cristalina, poli-cristalina o combinaciones de algunas de ellas. Estos materiales tienen dos características

importantes, por un lado, su capacidad de resistir al calor y por otro, su resistencia al ataque químico que son debidas sustancialmente a la fortaleza del enlace entre sus átomos que les confiere un alto punto de fusión, dureza y rigidez.

El término “cerámica” proviene de la palabra griega “keramikos”, que significa “cosa quemada”, indicando de esta manera que las propiedades deseables de estos materiales generalmente se alcanzan después de un tratamiento térmico a alta temperatura que se denomina cocción. (Carrasco, 2010, p.8)

### **2.4.3.3 Recubrimientos metálicos**

El fin más frecuente e importante de los recubrimientos metálicos es el de proteger a otros metales de la corrosión. Otros usos son: lograr un conjunto de propiedades diferentes que no están reunidas en un metal solo o fines decorativos.

La mayoría de los metales expuestos a la acción del ambiente, sufren transformaciones fisicoquímicas que los degradan, reducen su utilidad y llegan a destruirlos. Los fenómenos que originan estos cambios se agrupan en el concepto de corrosión, o, con mayor amplitud, en el de deterioro de materiales. (Carrasco, 2010, p.8)

Se denominan súper-aleaciones a un grupo de materiales de base níquel, hierro y cobalto que son utilizados a temperaturas de 540 °C y superiores. Las súper-aleaciones poseen elevada resistencia a altas temperaturas, resistencia al ataque del medio ambiente (incluyendo nitruración, carbonización, oxidación y sulfuración), excelente resistencia al incremento de deformación que sufre un material cuando le es aplicado un esfuerzo, resistencia a la ruptura por estrés, estabilidad metalúrgica, características de expansión térmica muy útiles y resistencia a la fatiga térmica y a la corrosión. (Carrasco, 2010, p.10)

#### 2.4.3.4 Selección de recubrimientos

Un adecuado recubrimiento para ser proyectado térmicamente por HVOF es de fundamental importancia. Se hizo un riguroso análisis para seleccionar tres tipos de recubrimientos cerámico-metálicos de acuerdo a las disposiciones del mercado y sus características técnicas como:

- Resistencia a la corrosión
- Resistencia al desgaste
- Adherencia al sustrato
- Composición química
- Etc.

El tamaño de los granos varían entre 1 a 15  $\mu\text{m}$  y los porcentajes químicos se detallan a continuación:

a) **Recubrimiento inox martensítico:** Son los llamados aceros inoxidable altamente aleados con cromo y otros elementos. Presentan buena resistencia a la corrosión y resistencia mecánica, se endurecen y son magnéticos.

**Tabla 2.1** Propiedades Químicas del Recubrimiento Inox Martensítico

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr
0.43	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$\leq 0.40$	$\leq 0.30$	12.50
0.50					14.50

**Fuente:** Recuperado de: <http://www.fortinox.com>

b) **Recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto:** Es un compuesto cerámico formado por wolframio y carbono. Pertenece al grupo de los carburos, es un compuesto intersticial con composición química de ( $\text{W}_3\text{C}$  hasta  $\text{W}_6\text{C}$ ). Se utiliza fundamentalmente, debido a su elevada dureza, en la fabricación de maquinarias y utensilios para trabajar el acero.

Debido a su elevada dureza y escasa ductilidad, se elaboran piezas de este material en forma de polvo, añadiendo entre un 6 y un 10 % de cobalto.

**Tabla 2.2** Propiedades Químicas del Recubrimiento (WC-Co)

<b>%W</b>	<b>%C</b>	<b>%Co</b>
82	4	12

**Fuente:** Metal Hambook vol.6

c) **Recubrimiento de carburo de cromo en base cobalto-níquel:** El carburo de cromo con base de partículas de cobalto y níquel, se utiliza como material de proyección térmica para la protección de la superficie del metal subyacente, y como aditivo para los materiales resistentes a la corrosión y al desgaste. Se utiliza en recubrimientos de rodamientos, juntas, orificios, y sellos de válvula.

**Tabla 2.3** Propiedades Químicas del Recubrimiento (Cr3 C2-CoNi)

<b>%C</b>	<b>%Cr</b>	<b>%Ni</b>	<b>%Co</b>	<b>%Fe</b>	<b>%Mo</b>
2.5 – 2.8	6.0 – 7.0	Balance	6 – 12	< 2	1 – 1.5

**Fuente:** Metal Hambook vol.6

#### 2.4.3.4 Principales operaciones en el sector de recubrimientos metálicos

En el sector de Recubrimientos Metálicos se distinguen tres tipos de procesos:

- Galvanizado en caliente.
- Recubrimientos electrolíticos.
- Recubrimientos químicos.

El esquema productivo es similar en los tres tipos de procesos (ver figura. 2.1) y existen etapas u operaciones comunes a los tres:

a) **Desengrase:** El desengrase es una operación de limpieza necesaria con las piezas que van a ser tratadas, ya que en éstas puede haber aceites y grasas en su



superficie como consecuencia de un mecanizado anterior. La eliminación de estas impurezas se realiza empleando distintos compuestos químicos, como álcalis, silicatos, emulsionantes, tenso-activos o disolventes orgánicos.

**b) Lavado:** El lavado tiene como objetivo la eliminación de restos de las soluciones adheridas a las piezas en el proceso previo de desengrase. Generalmente, se realiza por inmersión de las piezas en agua o soluciones diluidas de compuestos químicos. También se usan lavados por aspersión.

**c) Decapado:** Esta operación permite preparar la superficie de las piezas metálicas eliminando los óxidos y el sarro del metal mediante el empleo de reactivos químicos. Estos compuestos se forman como consecuencia del contacto de la pieza lavada con el oxígeno atmosférico.

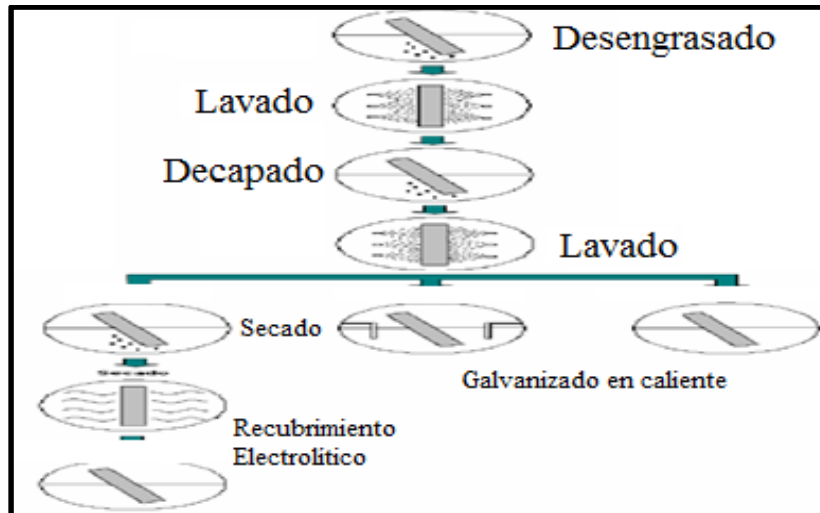
Se realiza mediante inmersión de las piezas en solución acuosa en medio ácido (ácido sulfúrico, nítrico, fosfórico o clorhídrico). También se puede realizar en medio básico, dependiendo del tipo de productos a eliminar de las piezas y de la naturaleza de la siguiente operación. (Fernández, 2010, p.4)

**d) Recubrimiento metálico galvanizado en caliente:** Previamente a la galvanización es necesario el mordentado (Proceso de **limpieza de superficies**, en la mayoría de los casos metal, por abrasión de capas de óxido superficiales o capas pasivas) ya que es imprescindible para disolver y absorber cualquier resto de impurezas que queden sobre la superficie metálica, garantizando la limpieza.

**e) Recubrimiento electrolítico o galvanotecnia:** Este tratamiento, también denominado electrodeposición, consiste en depositar un metal sobre una superficie sumergiendo las piezas en un baño electrolítico, de manera que los iones metálicos disueltos se reducen recubriendo las piezas decapadas.

**f) Recubrimiento químico:** Consiste en la deposición de metal sin fuente externa de corriente eléctrica. Los electrones para la reducción de los iones metálicos los suministra un reductor contenido en el electrolito.

(Fernández, 2010, p.2-6)



**Figura 2.1** Etapas de los distintos procesos de recubrimientos metálicos.  
**Fuente:** Villar Fernández. (2008). Reutilización de aguas residuales de procesos de recubrimientos metálicos. Pág. 3

#### 2.4.3.5 Proyección térmica

El origen de la proyección térmica data del año 1910, cuando Schoop proyectó polvo de metal fundido sobre una superficie por primera vez. El procedimiento consistía en fundir un metal en un crisol y proyectarlo atomizado, mediante un gas comprimido, sobre la superficie a recargar en la que se solidifica. Posteriormente, salió al mercado un tipo de pistola alimentada por un alambre, que atravesando una llama originada por un gas combustible y otro comburente, era fundido y proyectado sobre el material a recargar, por una corriente de aire comprimido. (García, 2010, p.1)

Actualmente, los procedimientos más utilizados son:

- Flame power (proyección de polvo por combustión).
- Flame wire (proyección de alambre por combustión).
- Wire arc (proyección de alambre por arco eléctrico).
- Plasma spray (proyección por plasma).
- Detonación.
- Alta velocidad (HVOF).

El proceso de proyección térmica se puede definir como "la aportación de materiales proyectados en forma de partículas fundidas finamente divididas, sobre un substrato debidamente preparado".

El material a proyectar (en forma de polvo o varilla), es fundido mediante una energía obtenida a partir de la combustión de gases, de un arco voltaico o de una recombinación de gases plasmógenos, según el procedimiento empleado. El material fundido es proyectado seguidamente sobre la pieza a recubrir en estado plástico con una alta energía cinética y térmica, que ceden a la misma, provocando la unión con una fuerza que va a depender del procedimiento empleado, de los parámetros utilizados, del material de aportación, del material del substrato así como de la preparación del mismo y de su temperatura antes, durante y después de la proyección. Los valores obtenidos para esta fuerza de anclaje pueden llegar a superar los 80 MPa. (García, 2010, p.2)

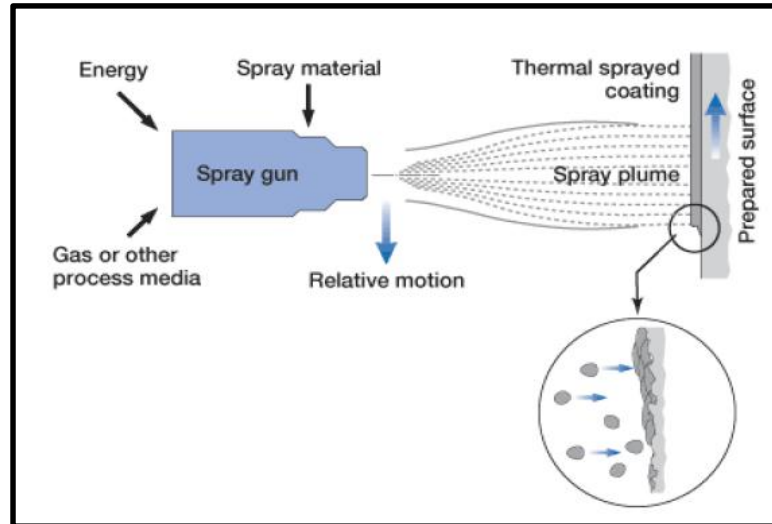
Tendrán también importancia en la calidad de un recubrimiento las reacciones químicas entre partículas, el tamaño de las mismas, (lo que va a influir en la transferencia de calor al substrato), así como la forma de la pieza, la velocidad relativa de la pistola con relación a la pieza, el ángulo de incidencia de las partículas sobre la pieza, la distancia de proyección, etc.

Los pasos que se deben seguir en un proceso de proyección térmica son los siguientes:

- 1.- Limpieza de la superficie a recubrir.
- 2.- Preparación de dicha superficie (generalmente mediante un granallado con corindón sintético o granalla angular metálica).
- 3.- Proyección de la capa de anclaje, o de la capa directamente en el caso de que esta última sea auto-anclante.
- 4.- Mecanizado o rectificado final del recubrimiento si es necesario.

Se destaca que durante el proceso de proyección térmica, el material a recubrir no debe superar los 150°C para evitar los cambios estructurales o tensiones añadidas,

lo cual implica que la proyección térmica puede ser considerada como un "recargue en frío", con excepciones tales como el sinterizado. (García, 2010, p.3)



**Figura 2.2** Proyección térmica.  
**Fuente:** Catálogo ARSIDE, 2010, p.13

#### 2.4.3.6 Proyección térmica de alta velocidad (HVOF)

El proceso HVOF se utiliza para mejorar o restaurar las propiedades o dimensiones de la superficie de un componente.

Se atomizan materiales fundidos o semi-fundidos sobre la superficie mediante una corriente de gas de alta temperatura y alta velocidad, produciendo un revestimiento denso que puede ser rectificado para obtener un acabado de superficie de gran calidad.

En una cámara en la que una llama de gas está constantemente encendida a alta presión. El gas de escape sale a través de una boquilla de expansión que produce un flujo de gas de alta velocidad. Las partículas de polvo se calientan en este flujo de gas y se transfieren gracias a él con una alta energía cinética a la superficie de la pieza de trabajo, formando un denso recubrimiento con excelentes propiedades de unión. (Catálogo Kennametal, 2009, p.15)

Debido a la moderada transferencia de calor a las partículas de polvo y a la pieza de trabajo, que mantiene relativamente fría, hay poco cambio metalúrgico en el material pulverizado y la pieza de trabajo.

La pulverización térmica es una técnica de revestimiento atractiva, ya que ofrece una amplia selección de materiales y procesos que tienen un impacto reducido sobre el medio ambiente en comparación con los procesos de revestimiento convencionales.

Los materiales de revestimiento disponibles para la pulverización incluyen metales, aleaciones, cerámicas, plásticos y compuestos.

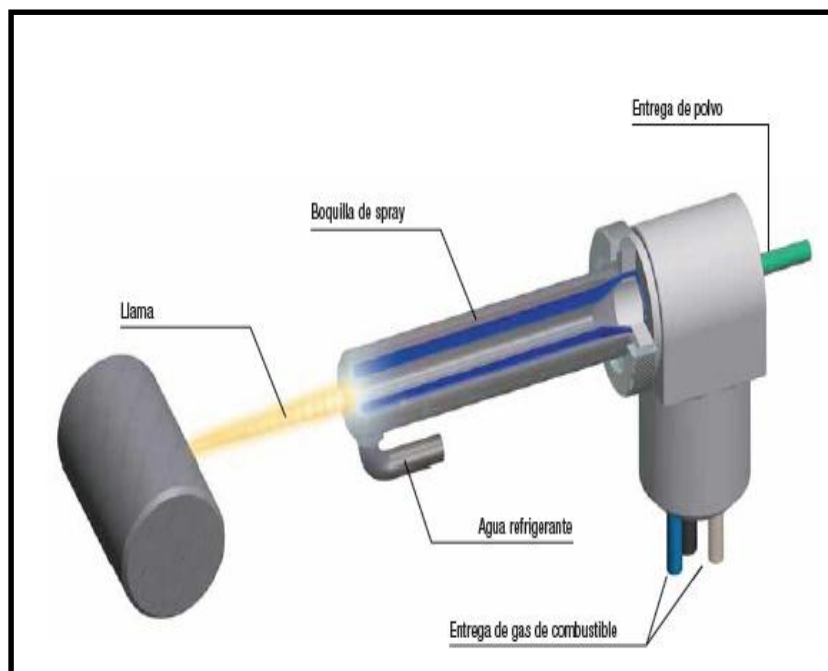
Las aplicaciones de este proceso son muy variadas, como polvos metálicos o cerámicos que recubren superficies generalmente metálicas, destinados a mejorar su resistencia a la corrosión y la resistencia al desgaste. Así se aplican, a piezas de bombas hidráulicas, camisas, ejes, pistones, válvulas, etc. Sin olvidar aplicaciones destinadas a la recuperación de piezas que han sobrepasado los límites del desgaste admisible. (Carrasco, 2010, p.11)

En cuanto a los materiales usados en recubrimientos para disminuir el desgaste tenemos: Bronces de aluminio, Cupro-Niqueles, Alúmina, Carburos de Cromo, Níquel-Cromo, Carburo de tungsteno, Óxido de Titanio, entre otros.

Los diversos sistemas de HVOF se diferencian en el tipo de alimentación, tipo de inyección y el diseño de la cámara de combustión. El polvo como materia prima generalmente se inyecta en los gases de escape de agua caliente, o en la cámara de combustión, dependiendo del tipo de HVOF y sistema de la boquilla (fig. 2.3). La calefacción y la aceleración de las partículas se lleva a cabo dentro del cañón de la antorcha y la velocidad de la salida y la ampliación de gases puede ser tan alto como 1200 m/s. (Carrasco, 2010, p.12)

Este tipo de recubrimiento por HVOF tiene los siguientes beneficios:

- Reducción de costos.
- Mejora el rendimiento.
- Habilidad de componentes para funcionar a temperaturas superiores/inferiores.
- Habilidad de componentes para operar dentro de ambientes químicos agresivos.
- Mejora de la eficiencia, y
- Mejora de la vida útil de los componentes de acoplamiento.



**Figura 2.3** Proyección térmica HVOF.  
**Fuente:** Catálogo Kennametal, 2009, p.15

Debido a las altas velocidades de partículas y las temperaturas más bien moderadas, estos procesos se utilizan preferentemente para el revestimiento de materiales que tienden a descomponerse a temperaturas más altas, este es el motivo de su principal aplicación, el depósito de metales duros, carburos cementados como WC / Co y Cr<sub>3</sub> C<sub>2</sub> / NiCr, ya que la densidad y la resistencia al desgaste de estos recubrimientos es muy buena. (Carrasco, 2010, p.12)

El principal campo de aplicación de recubrimientos mediante HVOF radica en la mejora de la resistencia a la abrasión y el desgaste. Algunos ejemplos de su aplicación son: componentes como las boquillas de chorro de agua de las herramientas de corte, industrias productoras de aluminio, válvulas y bombas en las aplicaciones petroquímicas y sellos mecánicos.

#### **2.4.4 Ensayo de materiales**

Para determinar las propiedades mecánicas en la caracterización de los materiales compuestos, se utilizan ensayos destructivos. El proceso de ensayo comienza en tomar determinada cantidad de muestras del material y realizar cierto número de pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos mecánicos se realizan ante circunstancias simuladas y con equipo adecuado, para resultados satisfactorios. (Guerrero, 2011 p.9)

##### **2.4.4.1 END por método de ultrasonido**

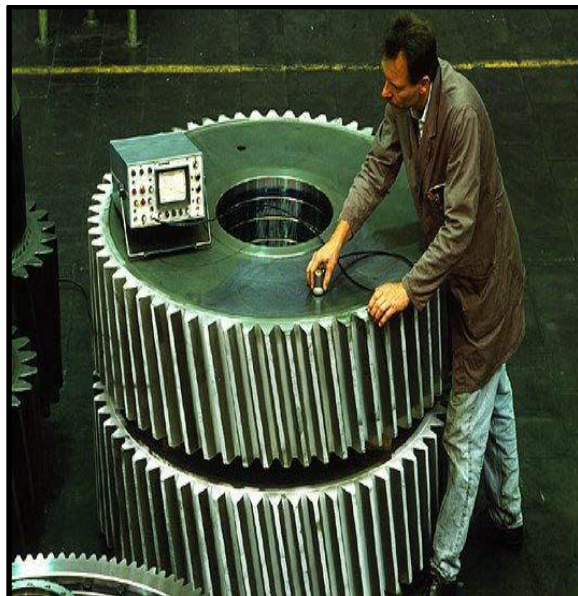
Este método se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar y tiene aplicación en todo tipo de materiales.

Sus distintas técnicas permiten su uso en dos campos de ensayos no destructivos como control de calidad y mantenimiento preventivo, siendo en esta última especialidad muy utilizados en la industria mecánica por su precisión para determinar pequeñas fisuras de fatiga en, por ejemplo, trenes de aterrizaje, largueros principales, blocks de motores, bielas, etc. la manifestación de estas y otro tipo de fallas es la interpretación, generalmente en un osciloscopio, lo cual lo distingue de otros métodos, ya que no nos presenta un cuadro directo de las fallas, como en el caso de las películas radiográficas. (Rimoldi & Mundo, p.01)



**Figura 2.4** END Medición de espesor en tuberías  
**Fuente:** Rimoldi & Mundo,ENDU, p.01

Esto trae aparejado que los resultados de este ensayo no constituyan de por si un documento objetivo sino una información subjetiva, cuya fidelidad no puede comprobarse sin recurrir, a menudo, a otros medios. Por lo tanto requiere un conocimiento profundo, tanto de las bases del método como del dominio de la técnica, por parte del operador. (Rimoldi & Mundo, p.02)



**Figura 2.5** END Medición de espesores  
**Fuente:** Rimoldi & Mundo,ENDU, p.01



## 2.4.5 Dureza

La dureza es una medida de la resistencia de un material a la deformación permanente. Por ejemplo, en metalurgia dureza es la resistencia de un material al ser penetrado; mientras que en mineralogía es la resistencia al rayado.

Las pruebas de dureza son un método muy común, que se utilizan para conocer las propiedades mecánicas de un material, debido a la relación que existe entre la dureza y otras propiedades mecánicas del material.

El principal propósito de la medida de dureza es determinar si un material o el tratamiento particular al que ha sido sometido son adecuados para un uso específico.

### 2.4.5.1 Métodos Brinell y Rockwell

En el siglo XIX el ingeniero sueco Brinell presentó un artículo a la sociedad sueca de tecnólogos describiendo su prueba de “bola” que llegó a ser universalmente usada en la industria del metal. Muchas máquinas han sido desarrolladas para hacer medidas de dureza, pero el principio ha permanecido esencialmente invariable. (Gómez, 2005, p.32)

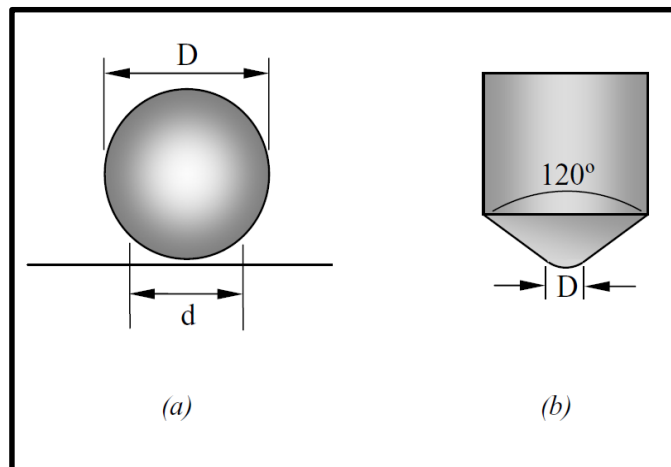
La prueba Brinell involucra la indentación de la muestra con un indentador esférico de acero endurecido o carburo de tungsteno de 10mm de diámetro, ver figura 2.6 (a).

Para un indentador de diámetro  $D$ , y diámetro de la huella residual  $d$  (ambos en mm), el número de dureza Brinell está dado por:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ Ecuación 2.1}$$

El diámetro de la impresión  $d$  es medido en el plano de la superficie original de la pieza y  $P$  es la fuerza utilizada. En las medidas de dureza Brinell se aplica la carga final al menos durante 30 segundos.

La prueba Rockwell fue ideada en 1919 por el autor del mismo nombre y es muy similar a la prueba Brinell. En ésta prueba se utiliza como indentador un cono de diamante con un ángulo de  $120^\circ$  con una punta esférica de  $200\ \mu\text{m}$  de radio. A ésta medida se le asigna un número tabulado que depende de las condiciones de medida (indentador y masa) especificadas en escalas de la A hasta la V (ver figura 2.6 b). (Gómez, 2005, p.33)



**Figura 2.6** Geometría de los indentadores Brinell (a) y Rockwell (b).

**Fuente:** Gómez, Caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros, 2005, p.33.

#### 2.4.6 Desgaste

El desgaste no viene a ser sino la remoción de partículas de la superficie de una pieza metálica por acción de fuerzas de fricción, combinada algunas veces con fuerzas de impacto y/o corrosión.

Los problemas de desgaste existen en cualquier parte donde exista movimiento, casi todas las industrias encuentran problemas de desgaste. Excesivos desgastes causan grandes pérdidas anualmente debido a:

- Detenciones de producción no planificadas.
- Reemplazos repetitivos de partes costosas.
- Costos elevados por mantenimiento no-planificado.
- Pérdidas de eficiencia de producción.
- Pérdidas de ventas por pobres rendimientos de productos.

(Ortuzar, 2011, p.12-16)

#### **2.4.6.1 Principales factores de desgaste**

Entre los principales factores de desgaste podemos considerar a la abrasión, erosión, impacto, corrosión, y calor. Otros factores no menos importantes, pero menos comunes son el rozamiento metal-metal, la cavitación e impacto-fatiga.

#### **2.4.6.2 Desgaste por abrasión**

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

#### **2.4.6.3 Tasa de desgaste**

La determinación de la tasa de desgaste está provista por la siguiente ecuación:

$$Q = m * L \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde:

Q = Tasa de desgaste en (mg/m)

m = Pérdida de peso en (mg)

L = Distancia deslizada

#### **2.4.6.4 Coeficiente de desgaste**

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Q}{W} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Dónde:

k = Coeficiente de desgaste

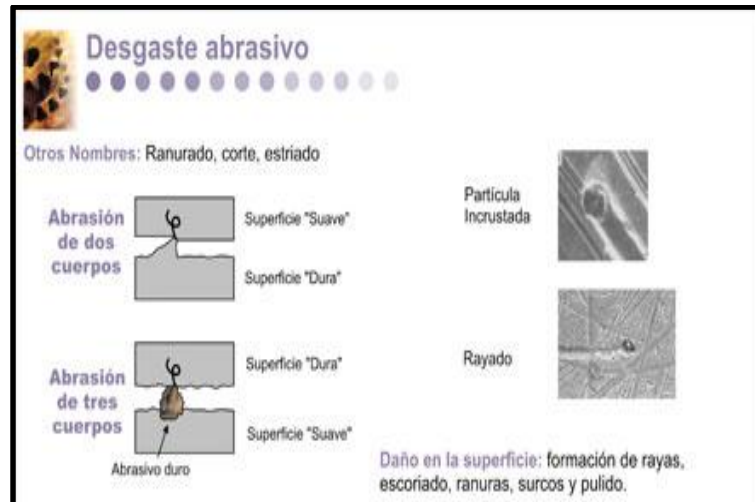
W = Fuerza aplicada

#### **2.4.6.5 Abrasión pura o de baja tensión**

Normalmente es el tipo de abrasión menos severa. Las piezas de metal se desgastan debido a la acción del desgarro repetido que producen partículas duras y afiladas moviéndose por la superficie del metal a velocidades variables.

La velocidad, la dureza, el filo del reborde, el ángulo de introducción y el tamaño de las partículas abrasivas se combinan para influir sobre el efecto de la abrasión. Las aleaciones que contienen carburos (particularmente carburos de cromo) se utilizan exitosamente para resistir el desgaste por abrasión de baja tensión.

Debido a la ausencia de impacto, las aleaciones de acero altas en carbono y cromo (relativamente frágiles) son apropiadas para aplicaciones en que las piezas están expuestas a este tipo de abrasión. Los componentes típicos sometidos a abrasión pura o de baja tensión incluyen: implementos agrícolas, clasificadores, tornillos sin fi n, toberas de bombas de pulpa, equipos de proyección de arena, canaletas y ductos de transporte de material abrasivo, etc. (Catálogo INDURA, 2010, p.17)



**Figura 2.7** Desgaste abrasivo.

**Fuente:** Recuperado de: [http://www.machinerylubrication.com/sp/mecanismos-basicos\\_de\\_desgaste.asp](http://www.machinerylubrication.com/sp/mecanismos-basicos_de_desgaste.asp)

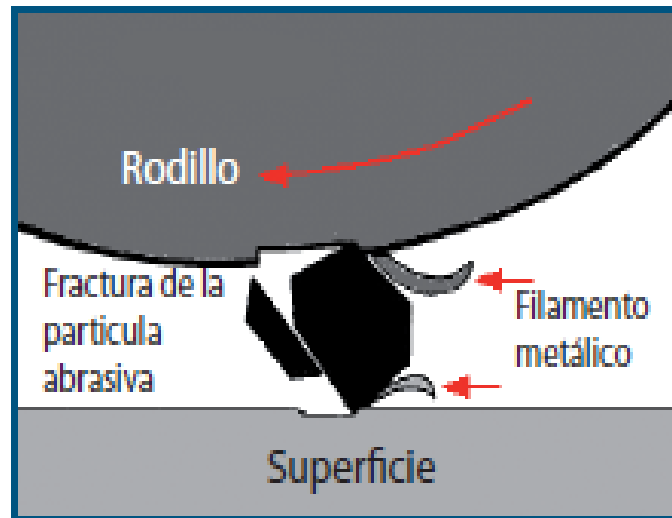
#### 2.4.6.6 Abrasión de alta tensión o esfuerzo

Es más intensa que el simple desgarrado y ocurre cuando pequeñas y duras partículas abrasivas son presionadas contra una superficie metálica con fuerza suficiente para quebrar la partícula de modo de triturarla.

Generalmente la fuerza de compresión la proporcionan dos componentes metálicos con el elemento abrasivo aprisionado entre ellos, llamada regularmente abrasión de tres elementos. La superficie adquiere rugosidad producto del desgarrado, pudiendo dar origen a grietas. Existen ejemplos de aleaciones dúctiles y tenaces que desarrollan cierta dureza al estar sometidas a abrasión por alta tensión. La gama de aleaciones utilizadas exitosamente incluye; manganeso austenítico, aceros martensíticos y algunas aleaciones que contienen carburos (usualmente carburos pequeños) en una matriz tenaz.

El corte micro esquemático muestra la fractura de una partícula abrasiva en trozos más pequeños y de ángulos más afilados, los que cortan filamentos en ambas superficies metálicas.

Los componentes típicos sometidos a abrasión por alta tensión incluyen: barrenas, palas excavadoras, pulverizadores, molinos de bola y barra, tambores de freno, rodillos trituradores y paletas mezcladoras. (Catálogo INDURA, 2010, p.18)



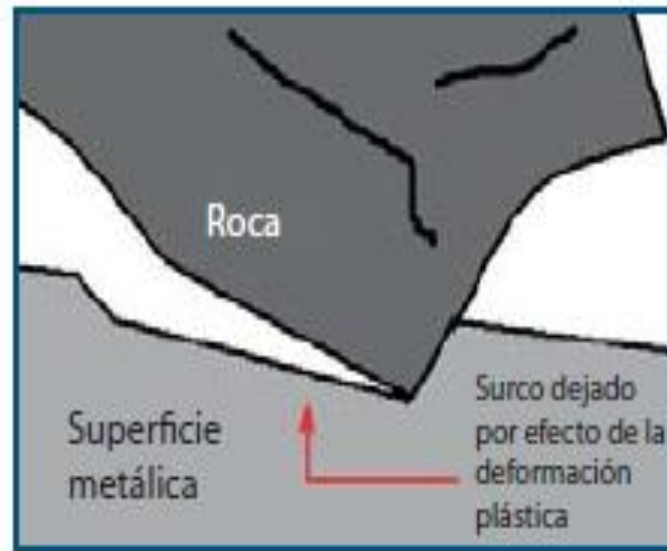
**Figura 2.8** Desgaste abrasivo de alta tensión.  
**Fuente:** Catálogo INDURA, 2010, p.17

#### **2.4.6.7 Abrasión por desgarramiento**

Cuando la abrasión de alta y baja tensión va acompañada con algún grado de impacto y carga, el resultado del desgaste puede ser extremo. En la superficie del metal se producen severas deformaciones y surcos cuando objetos masivos (a menudo rocas) son presionados fuertemente en su contra (ver figura 2.9). Un ejemplo de esto, a baja velocidad, es una pala de arrastre excavando en la tierra; un ejemplo a alta velocidad sería la trituración de una roca. En ambos casos la acción del material sobre el metal es similar a la de una herramienta de corte.

Cuando existe abrasión por desgarramiento generalmente se utilizan aleaciones de alta tenacidad en reemplazo de aleaciones más duras y resistentes a la abrasión. Las aleaciones en base a carburos de cromo se utilizan sólo cuando se aplican sobre una base de material tenaz, preferentemente de acero al manganeso austenítico.

Los componentes típicos sometidos a abrasión por desgarramiento incluyen: palas de rastra, palas mecánicas, baldes tipo concha de almeja, chancadoras de cono, chancadoras de mandíbula, etc. (Catálogo INDURA, 2010, p.19)



**Figura 2.9** Desgaste erosivo.  
**Fuente:** Catálogo INDURA, 2010, p.19

#### 2.4.6.8 Alcance de la norma ASTM G-65

Este método de ensayo cubre los procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia a la abrasión de los materiales metálicos por medio de la arena seca de tipo AFS y rueda de goma.

La gravedad de desgaste abrasivo en cualquier sistema dependerá del tamaño de la partícula abrasiva, la forma y dureza, magnitud de la tensión impuesta por la partícula, y frecuencia de contacto de la partícula abrasiva.

**a) Procedimiento B-A:** Es una variación a corto plazo del Procedimiento A, Cuando los valores de pérdida de volumen superan  $100 \text{ mm}^3$ .

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 130 N (30 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 2000 durante todo el procedimiento.

b) **Procedimiento C-A:** Es una variación a corto plazo del Procedimiento A, Para uso en revestimientos delgados.

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 130 N (30 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 100 durante todo el procedimiento.

c) **Procedimiento D:** Es una variación de la carga más ligera del Procedimiento A, en la clasificación de materiales de baja resistencia a la abrasión.

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 45 N (10.1 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 6000 durante todo el procedimiento.

d) **Procedimiento E-A:** Variación a corto plazo de Procedimiento B, En la clasificación de los materiales con resistencia a la abrasión media o baja.

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 130 N (30 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 1000 durante todo el procedimiento.

e) **Procedimiento A:** Se basa en una Prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen mayor de extrema resistencia a la abrasión.

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 130 N (30 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 6000 durante el ensayo aplicado a cada muestra; se recomienda realizar cada 5 minutos el pesaje de cada muestra en una balanza cuya precisión bordee los 0,001 gramos durante 30 minutos que dura el procedimiento.



El tamaño de la arena de cuarzo como material abrasivo para este procedimiento debe ser de tipo AFS 50/70 y bordea los (300 a 212)  $\mu\text{m}$ . El flujo de partículas sobre la superficie de desgaste debe estar entre (300 a 400) g/min.

La dureza del caucho debe encontrarse en un valor de 60 Shore A, con una tolerancia de  $\pm 2$ . Esta dureza es de gran importancia ya que el recubrimiento de caucho tiene la función de forzar la arena contra el metal de tal modo que las partículas no se desintegren ni se destrocen.

La velocidad de rotación del motor debe estar entre las 200 rpm con una tolerancia de  $\pm 10$  rpm. (Anexo A3)

**Tabla 2.4** Parámetros de Desgaste Abrasivo

PROCEDIMIENTO	FUERZA APLICADA	NÚMERO DE REVOLUCIONES	ABRASIÓN LINEAL
A	130 N (30Lb)	6000	4309 m
B	130N(30Lb)	2000	1436 m
C	130N(30Lb)	100	71,8 m
D	45N(10.1Lb)	6000	4309 m
E	130N(30Lb)	1000	718 m

**Fuente:** Norma ASTM G-65. 2007 Pág. 8

**Tabla 2.5** Análisis de Resultados Estadísticos Para Pruebas de Laboratorio

Condiciones de Prueba	Procedimiento	Número de Muestras	Volumen $\text{mm}^3$	Desviación Estándar $\text{mm}^3$	Coefficiente de Variación %	Coefficiente de variación Total %	Desviación Estándar Total $\text{mm}^3$
WC-14 %C0 0,0010	A	4	2,18	0,42	6,4	20.4	0,44

**Fuente:** Norma ASTM G-65. 2007 Pág. 11

#### 2.4.6.9 Asiento de válvula API-600

Los asientos para válvulas de acero al carbono API-600, se fabrican en acero forjado y con materiales diferentes dependiendo los requerimientos.

Los asientos de las soldaduras de sellos se encuentran diseñados para lograr una mínima caída de presión y evitar los daños causados por la corrosión.

Para válvulas de acero inoxidable se utiliza el asiento generalmente integral, revestido, o no. Las superficies de asiento se mecanizan cuidadosamente para proporcionar tirantez. Se toma atención especial con el hilo de rosca del anillo del asiento para evitar los agarrotamientos.

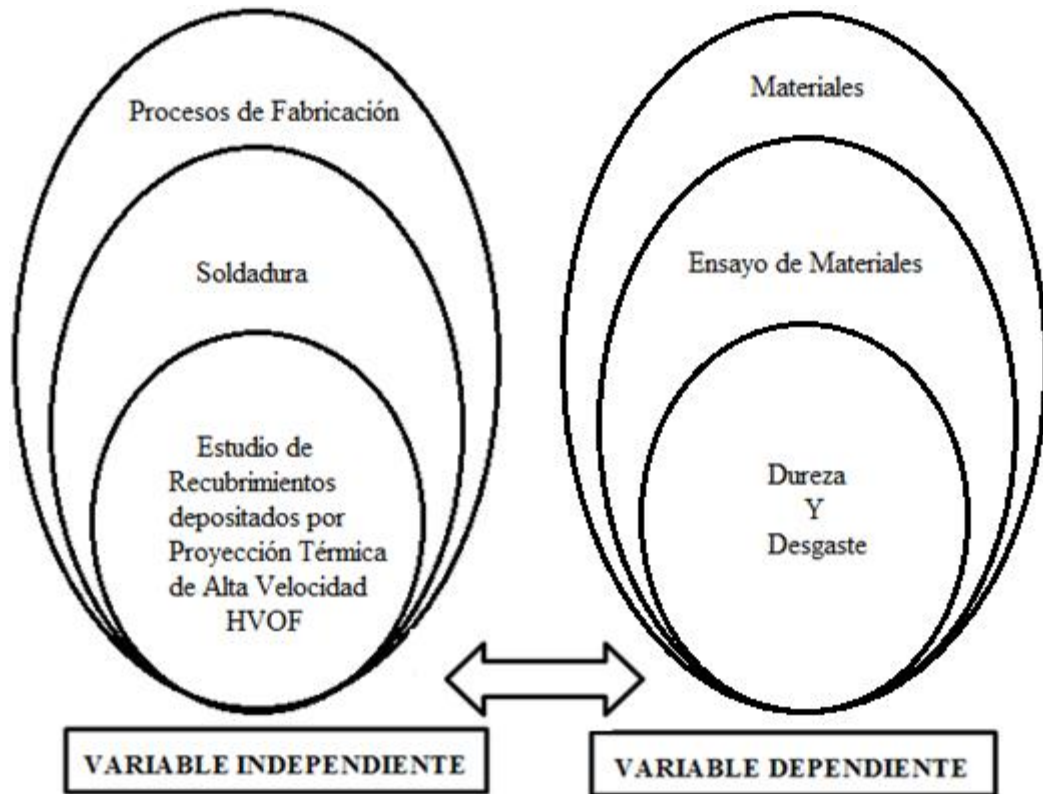
Se toman cuidados especiales para proporcionar la diferencia de la dureza entre el asiento y la cuña según API 600. Por esta razón, los asientos son sometidos a tratamiento térmico. (Catálogo INVALSA, 2011, p.4)



**Figura 2.10** Asiento de válvula API-600.

**Fuente:** Recuperado de: [http://rundong.en.alibaba.com/product/531139416-220198443/API\\_forged\\_mud\\_pump\\_valve\\_assembly.htm](http://rundong.en.alibaba.com/product/531139416-220198443/API_forged_mud_pump_valve_assembly.htm)

## 2.5 Categorías fundamentales



## 2.6 Hipótesis

Los recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en los asientos de válvulas API-600 permitirán alcanzar mejores propiedades de dureza y desgaste.

## 2.7 Señalamientos de las variables de la hipótesis

### 2.7.1 Variable independiente

Estudio de recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en asientos de válvulas API-600.

### 2.7.2 Variable dependiente

Dureza y Desgaste.

## **CAPITULO III**

### **2 METODOLOGÍA**

#### **3.1 Enfoque**

El presente tema de investigación se lograron un enfoque cuantitativo las cuales mediante pruebas de dureza, desgaste y ultrasonido, permitieron obtener datos específicos y comparativos de las propiedades mecánicas del material compuesto en el asiento de Válvula API-600 y demás propiedades resultantes que estuvieron inmersos.

#### **3.2 Modalidad y tipo de investigación**

##### **3.2.1 Modalidad**

La investigación abarcó diferentes modalidades como la de campo ya que se obtuvo la información en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

Conjuntamente se encuentra en una modalidad curricular ya que se pone a consideración todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

##### **3.2.2 De campo**

Se trata de un trabajo de campo por cuanto se recolectó la información directamente en la zona oriental de la industria petrolera de nuestro país en lo que respecta a los asientos de válvulas API-600 utilizadas para la circulación de petróleo crudo liviano y pesado, mediante pruebas de laboratorio se determinaron los parámetros de dureza y desgaste.

### 3.2.3 Exploratoria

La investigación que se realizó es de tipo exploratoria ya que se hizo una indagación previa para obtener un conocimiento actual en cuanto al análisis e instalación de materiales que estén dentro del tema.

### 3.2.4 Explicativa

Explicativa por que se justificó la hipótesis planteada y se dio una solución mediante el planteamiento de una propuesta.

### 3.2.5 Bibliográfica

La investigación que se realizó es de tipo bibliográfica, debido a que se ayudó con la información de tablas, revistas, información de internet y libros referentes al tema de estudio.

### 3.2.6 Experimental

La investigación que ejecutó es de tipo experimental porque dentro están los principios encontrados en el método científico.

Se realizó un estudio de experimental de la siguiente manera:

**Tabla 3.1** Estudio de Experimental

<b>Materiales</b>	<b>Procedimiento</b>
Asiento API-600 (Acero AISI 4140)	Norma ASTM G65 Procedimiento A
Recubrimiento Inox Martensítico	
Recubrimiento Carburo de Tungsteno	
Recubrimiento Carburo de Cromo	

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

### **3.2.7 Materiales empleados para ensayos de dureza y desgaste**

Asiento de Válvula API-600 (Acero AISI 4140). (Anexo A1)

### **3.2.7 Tipo de recubrimientos**

Inox Martensítico, Carburo de Tungsteno o Wolframio en base de cobalto (WC-Co) y Carburo de Cromo en base Cobalto-Níquel (Cr<sub>3</sub> C<sub>2</sub>-CoNi).

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población**

Las estaciones petroleras de la zona oriental de nuestro país como los bloques 12, 15 y 18 que utilizan válvulas diseñadas con la Norma API-600, 6A, 6D, etc. Utilizan asientos como accesorios fundamentales en la estructura de las válvulas por donde circula el petróleo crudo liviano y pesado, en consecuencia se detectó que el tipo de desgaste que afecta en su mayoría a la estructura del asiento de una válvula API-600 es el ABRASIVO debido al arrastre de partículas duras que circulan por la válvula las cuales deterioran el material.

La obtención de los parámetros físicos de desgaste se obtiene mediante la Norma G 65 - 04 procedimiento A, adecuado para ensayos de desgaste abrasivo en materiales y recubrimientos duros donde recomienda que el número de muestras o probetas para ensayos no deba ser menor a 4 en este caso para una mejor apreciación de resultados se tomó como muestras 6 probetas.

También se obtuvo información de los datos que arrojaron los ensayos de dureza y de ultrasonido planteados en los objetivos, donde se revisaron variables y los parámetros previos al estudio para determinar los recubrimientos más usados, que brinden mejores propiedades mecánicas para el aumento de la resistencia a la abrasión.

### 3.3.2 Muestra

La Muestra para determinación de los ensayos se calcula de la siguiente manera:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p_0 * q_0}{d^2} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

$p_0$  = nivel de confianza

$q_0$  = valor aproximado del que queremos medir

$d$  = precisión o error

**Tabla 3.2** Valores máximos de Z utilizados, según el valor de  $\alpha$

$\alpha$	0.10	0.05	0.01	0.001
$Z_{\alpha}$	1.645	1.960	2.576	3.291

**Fuente:** Tomado de (fuentelsaz, 2004)

Considerando un error de 9%, y aplicando la ecuación y tabla 3.1 se obtiene:

**Tabla 3.3** Valores Obtenidos de la Muestra

<b>p</b>	<b>q</b>	<b>(p*q)</b>	<b>Z<math>\alpha</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>Error</b>	<b>Tamaño de la muestra</b>
0.98	0.02	0.0196	1.645	0.1	9%	7

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Los datos arrojan los siguientes resultados:

- 7 probetas para cada caso que se requiere (Procedimiento-Recubrimiento).
- Se tendrá una probabilidad de 98%.
- El 90% de la producción tendrá las características obtenidas en el estudio.
- Un error máximo del 9%.

**Tabla 3.4** Parámetros de ensayos

PARÁMETROS DE ENSAYOS PARA EL ASIENTO DE VÁLVULA API-600					
TIPO DE PROYECCIÓN	TIPO DE RECUBRIMIENTO	DISTANCIA DE PROYECCIÓN HVOF (mm)	ANÁLISIS DE ESPESORES EN RECUBRIMIENTOS (mm - μ)	ENSAYO DE DUREZA (0 – 100)	ENSAYO DE DESGASTE NORMA ASTM G-65
HVOF	INOX MARTENSÍTICO	150, 200, 250, 300.	END ULTRASONIDO	ROCKWELL HRc	%
HVOF	WC - CO	150, 200, 250, 300.	END ULTRASONIDO	ROCKWELL HRc	%
HVOF	Cr3 C2 – Co Ni	150, 200, 250, 300.	END ULTRASONIDO	ROCKWELL HRc	%

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

### 3.4 Operacionalización de variables

#### 3.4.1 Variable independiente

Estudio de recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en asientos de válvulas API-600.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS HERRAMIENTAS
<p><b>Recubrimientos cerámico-metálicos.</b></p> <p>Los recubrimientos cerámico-metálicos conocidos comúnmente como Cermets, se utilizan ampliamente en aplicaciones en las cuales se requiere buena resistencia al desgaste.</p>	Parámetros de los recubrimientos	<p>Tipo de recubrimiento</p> <p>Distancia de Proyección HVOF (mm)</p>	<p>Inox Martensítico</p> <p>WC-Co</p> <p>Cr3 C2-CoNi</p> <p>150</p> <p>300</p>	<p>Bibliografía</p> <p>Recolección de datos</p> <p>Observación</p> <p>Tabulación de datos</p> <p>Observación</p>



### 3.4.2 Variable dependiente

Dureza y Desgaste.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS HERRAMIENTA
<p><b>Dureza.</b> Es la capacidad de una sustancia sólida para resistir deformación o abrasión de su superficie.</p>	Ensayo de dureza	Dureza (Rockwell C)	0 - 100	Ficha de observación  Ensayo de Laboratorio
<p><b>Desgaste.</b> El desgaste es la pérdida de masa de la superficie de un material sólido por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto.</p>	Ensayo de desgaste  Abrasivo	% de desgaste	0 - 50	Cálculos  Ensayo de Laboratorio
	Análisis de espesor por Ultrasonido	0.5 hasta 25 MHz	0 - 100 %	Ficha de observación  Ensayo de Laboratorio

### **3.5 Plan de recolección de información**

Para el procesamiento de la información se realizó estudios de tipo bibliográfico y experimental, los cuales se desarrollaron en la biblioteca y laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, como también se recopiló información del internet para obtener datos técnicos de los recubrimientos los mismos que contribuyeron en el progreso del proyecto.

En el desarrollo del proyecto se obtuvieron datos reales realizando ensayos de dureza, desgaste y ultrasonido con cada uno de los materiales propuestos, los mismos que se registran de forma práctica; y se notifican en formatos establecidos una vez analizados se pudo obtener conclusiones y recomendaciones al final del tema de investigación.

### **3.6 Procesamiento y análisis de la información**

Para el mejor proceso de la información se siguieron varios puntos entre los cuales están:

- Se analizó e interpretó los resultados obtenidos dentro del tema de investigación.
- Se recolectaron datos para determinar errores de manera que se pueda facilitar su tabulación.
- Se realizaron ensayos exhaustivos para determinar y comparar la dureza y desgaste del material.
- Se analizó la hipótesis en cuanto a los resultados obtenidos.
- Se procesaron datos de dureza, desgaste y ultrasonido donde se presentarán diagramas para mostrar los resultados de las propiedades mecánicas en el asiento de la válvula API-600.

### **3.7 Análisis e interpretación de resultados**

Para obtener un mejor entendimiento del tema de estudio, se procedió a obtener datos primeramente realizando y revisando la composición química del asiento de Válvula API-600 mediante la técnica de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, el cual arrojó resultados exactos del material y se verificó que la composición es igual a la del acero AISI 4140.

Consecutivamente se procedió a escoger asientos de válvulas API-600 desgastados para ser proyectados por HVOF con 3 tipos de recubrimientos y así medir la distancia de proyección térmica adecuada para el material y luego medir los espesores por el método de ultrasonido.

La dureza de cada recubrimiento adherido al material base o sustrato se lo hizo tomando muestras de cada asiento recubierto; se tomó 10 puntos de medición por muestra en escala Rockwell en un Durómetro de indentador de cono de diamante y como referencia de dureza todos los recubrimientos adheridos por HVOF al sustrato, también elevaron la dureza del material base hasta dos veces más de su medición inicial en el metal base.

Para realizar el corte y mecanizado del Acero AISI 4140 se tomó datos con la finalidad de obtener muestras que cumplan con los requisitos de la norma ASTM G 65 – 04 adecuadas para los ensayos de desgaste, debido a que el acero viene de fábrica en Eje, el corte de cada muestra se lo realizó por sierra eléctrica posteriormente se sometió a la técnica de pulido, de manera que las muestras queden de la medida apropiada como exige la norma, luego se procede a pesar cada una de las muestras para obtener datos de volumen.

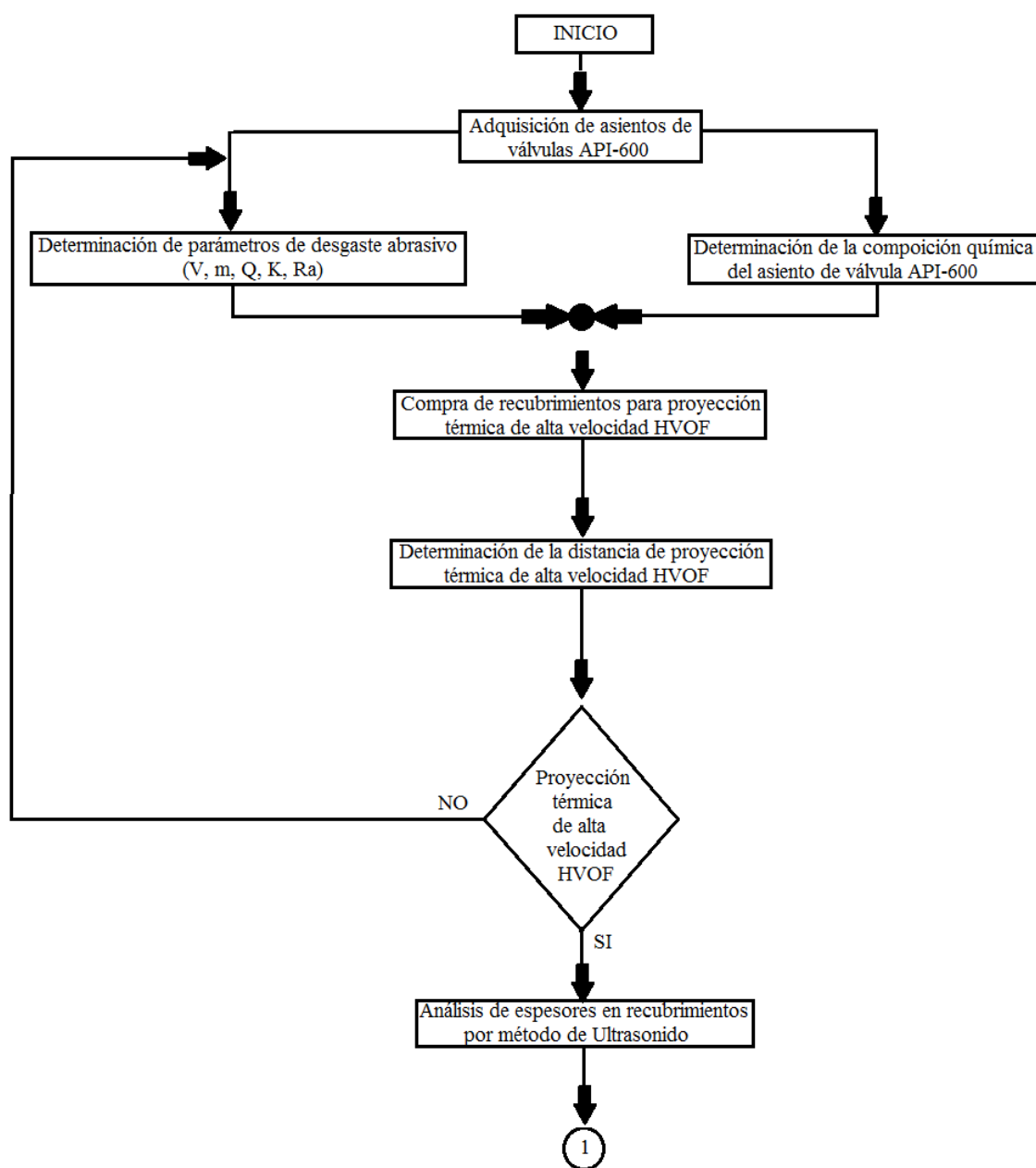
Posteriormente, los materiales de estudio una vez sometidos a ensayos de desgaste se obtienen datos de pérdida de volumen, luego se procede a determinar el mejor recubrimiento resistente a la abrasión, se realiza un análisis global y finalmente poder comprobar la hipótesis planteada.

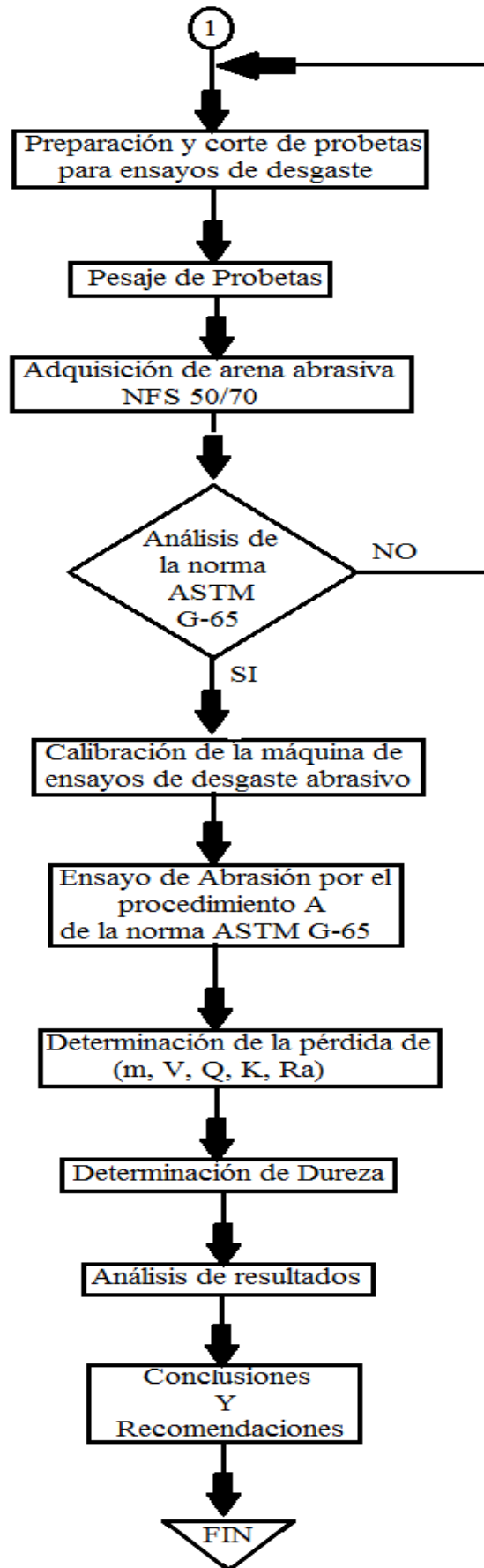
## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de resultados

Con la finalidad de entender e interpretar mejor el proceso de este estudio, se presenta el siguiente diagrama de flujo:





## 4.2 Presentación de resultados

### 4.2.1 Adquisición de asientos de válvulas API-600

Con la finalidad de dar soluciones con nuevas técnicas de recuperación de materiales expuestos a desgaste abrasivo, la adquisición de los asientos de válvulas API-600 se realizó directamente de la zona oriental de nuestro País, de las bodegas de reciclaje y manejo ambiental donde se encuentran acumulados para ser desechados.

Las características generales de los asientos de válvulas API-600 son las siguientes:

**Tabla 4.1** Adquisición de asientos de válvulas API-600

<b>MEDIDA NOMINAL</b>	<b>PRESIÓN DE TRABAJO</b>	<b>TIPO DE VALVULA</b>	<b>CANTIDAD</b>
2-1/16"	5000 PSI	Compuerta	2
3-1/8	5000 PSI	Compuerta	4
4-1/16	3000 PSI	Esclusa	2
<b>TOTAL</b>			8

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

### 4.2.2 Determinación de parámetros de desgaste abrasivo

Dentro del análisis de los parámetros de desgaste abrasivo se encuentran la masa (m), el volumen (V), el coeficiente de desgaste (Q), la tasa de desgaste (k) y la resistencia a la abrasión (Ra), variables que son de fundamental importancia para la realización de pruebas de desgaste abrasivo según dicta la norma ASTM G-65 que se encuentra detallado ampliamente el Anexo A3. Ver Cap. 2 pág. (24 -28)

### 4.2.3 Composición química del asiento de válvula API-600

La composición del material del asiento de válvula se realizó por medio de análisis químico lo cual se desarrolló en el departamento de Espectrometría de la empresa NOVACERO en el bajo la norma ASTM E572 (IT-C-INSPEFRX-01) Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X. Anexo A1

**Tabla 4.2** Propiedades Químicas del Asiento de Válvula API-600

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																					
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASIENTO DE VÁLVULA API-600</b>																					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° Registro: 01</b>																		
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba																			
<b>Lugar:</b> NOVACERO		<b>Fecha de ejecución:</b> 13/08/14																			
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS DEL MATERIAL</b>																					
<b>%C</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Cr</b>	<b>%Mo</b>	<b>%Si</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>															
0.390	0.836	0.842	0.153	0.186	0.0096	0.0186															
<p>Los Resultados demuestran que la composición química del material analizado está dentro de los porcentajes del acero AISI-SAE 4140</p> <p style="text-align: center;"><b>Especificaciones del Acero AISI 4140</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Dureza</b></th> <th><b>Esfuerzo de Fluencia Sut</b></th> <th><b>Esfuerzo Máximo Sy</b></th> <th><b>Elongación Mínima ε</b></th> <th><b>Reducción de Área Mínima</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>29 – 34 HRc</td> <td>690 MPa</td> <td>300 – 450 MPa</td> <td>25%</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>275 -320 HB</td> <td>100 KPSI</td> <td>130 – 152 KPSI</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							<b>Dureza</b>	<b>Esfuerzo de Fluencia Sut</b>	<b>Esfuerzo Máximo Sy</b>	<b>Elongación Mínima ε</b>	<b>Reducción de Área Mínima</b>	29 – 34 HRc	690 MPa	300 – 450 MPa	25%	50%	275 -320 HB	100 KPSI	130 – 152 KPSI		
<b>Dureza</b>	<b>Esfuerzo de Fluencia Sut</b>	<b>Esfuerzo Máximo Sy</b>	<b>Elongación Mínima ε</b>	<b>Reducción de Área Mínima</b>																	
29 – 34 HRc	690 MPa	300 – 450 MPa	25%	50%																	
275 -320 HB	100 KPSI	130 – 152 KPSI																			
<b>Características:</b> Probeta de asiento			<b>Tratamiento térmico:</b> Ninguno																		
<b>Observación:</b>			<b>Detalle referencial</b>																		
<p>El Asiento de Válvula API-600 fue adquirido en la zona oriental del País, el cual fue sometido a mecanizado para tomar una muestra, posteriormente ser enviado analizar y obtener las propiedades químicas del material.</p>																					
<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			<b>Validado por:</b> Ing. Mg. César Arroba																		

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

#### 4.2.4 Selección de recubrimientos

Los recubrimientos de tipo cerámico-metálicos a utilizarse para ser proyectados térmicamente por HVOF son de fundamental importancia. Se hizo un riguroso análisis para seleccionar tres tipos de recubrimientos cerámico-metálicos de acuerdo a las disposiciones del mercado y sus características técnicas como:

- Resistencia a la corrosión
- Resistencia al desgaste
- Adherencia al sustrato
- Composición química
- Etc.

El tamaño de los granos varían entre 1 a 15  $\mu\text{m}$  y los porcentajes químicos se detallan en el Capítulo 2 Pág. (12-14)

#### 4.2.5 Determinación de la distancia de proyección térmica HVOF


Para justificar el procedimiento se cumplió con 4 mediciones en escala de 0 a 300 milímetros con el objetivo de determinar la distancia adecuada de proyección térmica de alta velocidad HVOF, hacia el asiento de válvula API-600 que entran en el análisis de este estudio y se toma en cuenta lo siguiente:

- Proyección de 0 a 100 milímetros:** Se considera REGULAR debido a que existe sobrecalentamiento de las partículas proyectadas hacia el sustrato, es decir, no existe adherencia para los tres tipos de recubrimientos.
- Proyección a 150 milímetros:** Se considera BUENO y ÓPTIMO para los tres tipos de recubrimientos proyectados al sustrato, ya que las partículas se adhieren perfectamente y no existe riesgos de sobrecalentamiento.
- Proyección a 200 milímetros:** Se considera BUENO y ÓPTIMO para los tres tipos de recubrimientos proyectados al sustrato, las partículas se mantienen adheridas al sustrato y no existe riesgos de sobrecalentamiento.



d) **Proyección de 250 a 300 milímetros:** Se considera REGULAR debido a que las partículas proyectadas se enfrían mientras se aumenta la distancia y no llegan a tener contacto con el sustrato, se desperdicia el material y no se logra la adherencia adecuada. Ver tabla 4.3





**Tabla 4.3** Determinación de la distancia de Proyección HVOF

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 				
<b>DISTANCIA DE PROYECCIÓN TÉRMICA MÉTODO HVOF</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>				<b>N° ENSAYO: 01</b>
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba		
<b>Lugar:</b> Quito Ecuador		<b>Fecha de ejecución:</b> 25/09/2014		
<b>Empresa:</b> IMETCA S.A.		<b>Temperatura ambiente:</b> 15° C		
<b>Gases:</b> Propano, Nitrógeno, Aire, O2		<b>Velocidad de flujo:</b> 1m/s		
<p><b>Observación:</b> Para la determinación de la distancia por el proceso de proyección HVOF se ha designado un grado de aceptación <b>REGULAR, BUENO, ÓPTIMO</b> tomando como el mejor resultado de proyección el <b>ÓPTIMO</b>.</p> <p>Antes de ser proyectadas las muestras han sido granalladas para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar la superficie a proyectar de todos los óxidos, grasas, aceite.</li> <li>• Aportar una rugosidad superficial de Ra &gt;3µm que favorezca la adhesión mecánica entre las partículas proyectadas y el sustrato.</li> </ul>				
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>				
<b>Distancia mm</b>	<b>Zona de incidencia</b>	<b>Recubrimiento Inox Martensítico</b>	<b>Recubrimiento WC-Co</b>	<b>Recubrimiento Cr3 C2-CoNi</b>
<b>0 a 100</b>	Asiento	REGULAR	REGULAR	REGULAR
<b>150</b>	Asiento	ÓPTIMO	BUENO	BUENO
<b>200</b>	Asiento	BUENO	ÓPTIMO	ÓPTIMO
<b>250 a 300</b>	Asiento	REGULAR	REGULAR	REGULAR
<b>Detalle referencial</b>			<b>Nota</b>	
			<p>La geometría de la pieza de trabajo tiene una importante influencia en el proceso de proyección térmica HVOF. Las partes cilíndricas que pueden ser rotadas en un torno o dispositivo, resultan ideales para el pulverizado con una pistola montada a la máquina.</p>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>				
<p>La distancia Óptima de Proyección Térmica HVOF en los asientos de Válvulas API-600 se mantiene en un rango de 150 a 200 mm para los diferentes recubrimientos adheridos.</p>				

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



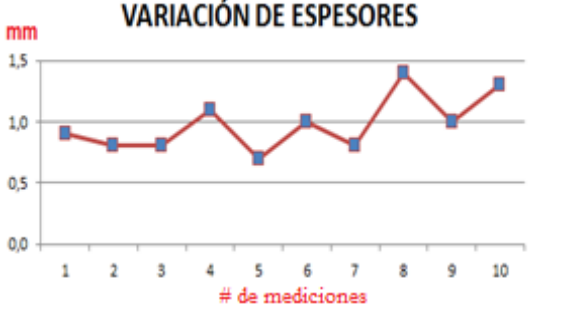

#### 4.2.6 Análisis de espesores por el método de ultrasonido

**Tabla 4.4** Análisis de espesores en el asiento con recubrimiento  
(Inox Martensítico)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DE ULTRASONIDO PIEZA CON RECUBRIMIENTO DE INOX MARTENSITICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 01</b>
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba	
<b>Lugar:</b> Lab. de Materiales FICM		<b>Fecha de ejecución:</b> 16/10/2014	
<b>Equipo:</b> Ultrasonido Espesores en Recubrimientos		<b>Frecuencia:</b> 1 – 5 MHz	
<b>Transductor:</b> De Contacto Ø 10 mm		<b>Dimensiones del Asiento:</b> 3 1/8 Plg	
<b>Material:</b> Acero AISI 4140		<b>Norma aplicable:</b> ASTM E 797	
<b>Velocidad del aire circundante:</b> 1.33 m/s		<b>Temperatura ambiente:</b> 15° C	
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>			
N° de Mediciones	Zona de incidencia	Espesor $\mu\text{m}$	Espesor mm
1	Interna	2400	2.4
2	Interna	2100	2.1
3	Interna	2000	2.0
4	Interna	2000	2.0
5	Interna	2400	2.4
6	Interna	2500	2.5
7	Interna	2300	2.3
8	Interna	2100	2.1
9	Interna	2700	2.7
10	Interna	1900	1.9
$\bar{x} = 2226.75 \mu\text{m}$ $\text{Varianza } \sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}$ $\text{Varianza } \sigma = 67111,11 \mu\text{m}$ $\text{Desviación Estandar } s = \sqrt{\sigma} = 259,06 \mu\text{m}$ $\text{Coeficiente de Variación} = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% = 11,63 \%$			
<b>Gráfico de Variación de Espesores</b>		<b>Detalle Referencial</b>	
			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			
<p>El espesor máximo tiene un valor de 2700 micras mientras que el mínimo es de 1900 micras. El punto de equilibrio o centro de masas del recubrimiento adherido es de 2226.75 micras distribuidas de manera uniforme, con un porcentaje de 11.63 % en la parte interna de la pieza.</p>			



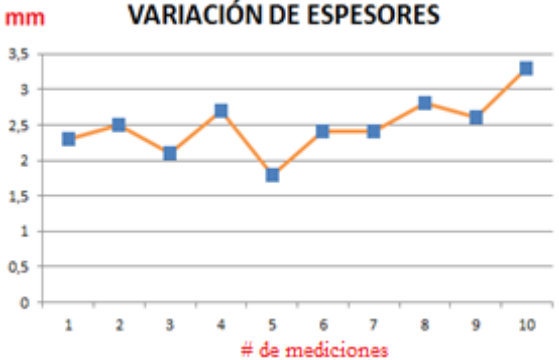

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.5** Análisis de espesores en el asiento con recubrimiento de Carburo de Tungsteno o Wolframio en base de cobalto (WC-Co)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>ANÁLISIS DE ULTRASONIDO PIEZA CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO O WOLFRAMIO EN BASE DE COBALTO (WC-CO)</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 02</b>
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba	
<b>Lugar:</b> Lab. de Materiales FICM		<b>Fecha de ejecución:</b> 17/10/2014	
<b>Equipo:</b> Ultrasonido Espesores en Recubrimientos		<b>Frecuencia:</b> 1 – 5 MHz	
<b>Transductor:</b> De Contacto Ø 10 mm		<b>Dimensiones del Asiento:</b> 3 1/8 Plg	
<b>Material:</b> Acero AISI 4140		<b>Norma aplicable:</b> ASTM E 797	
<b>Velocidad del aire circundante:</b> 1.33 m/s		<b>Temperatura ambiente:</b> 15° C	
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>			
<b>N° de Mediciones</b>	<b>Zona de incidencia</b>	<b>Espesor <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Espesor mm</b>
1	Frontal	900	0.9
2	Frontal	800	0.8
3	Frontal	800	0.8
4	Frontal	1100	1.1
5	Frontal	700	0.7
6	Frontal	1000	1.0
7	Frontal	800	0.8
8	Frontal	1400	1.4
9	Frontal	1000	1.0
10	Frontal	1300	1.3
$\bar{x} = 0.96 \text{ mm}$ $\text{Varianza } \sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}$ $\text{Varianza } \sigma = 0.053 \text{ mm}$ $\text{Desviación Estandar } s = \sqrt{\sigma} = 0.23 \text{ mm}$ $\text{Coeficiente de Variación} = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% = 24.03 \%$			
<b>Gráfico de Variación de Espesores</b>		<b>Detalle Referencial</b>	
			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			
<p>El espesor máximo tiene un valor de 1,4 mm mientras que el mínimo es de 0,7 mm. El punto de equilibrio o centro de masas del recubrimiento adherido es de 0,96 mm distribuido de manera uniforme, con un porcentaje de 24,03% en la parte frontal de la pieza.</p>			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.6** Análisis de espesores en el asiento con recubrimiento de Carburo de Cromo en base Cobalto-Níquel (Cr3 C2-CoNi)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DE ULTRASONIDO PIEZA CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE CROMO EN BASE COBALTO-NÍQUEL (Cr3 C2-CoNi)</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 03</b>
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba	
<b>Lugar:</b> Lab. de Materiales FICM		<b>Fecha de ejecución:</b> 20/10/2014	
<b>Equipo:</b> Ultrasonido Espesores en Recubrimientos		<b>Frecuencia:</b> 1 – 5 MHz	
<b>Transductor:</b> De Contacto Ø 10 mm		<b>Dimensiones del Asiento:</b> 3 1/8 Plg	
<b>Material:</b> Acero AISI 4140		<b>Norma aplicable:</b> ASTM E 797	
<b>Velocidad del aire circundante:</b> 1.33 m/s		<b>Temperatura ambiente:</b> 15° C	
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>			
N° de Mediciones	Zona de incidencia	Espesor $\mu\text{m}$	Espesor mm
1	Interna	2300	2.3
2	Interna	2500	2.5
3	Interna	2100	2.1
4	Interna	2700	2.7
5	Interna	1800	1.8
6	Interna	2400	2.4
7	Interna	2400	2.4
8	Interna	2800	2.8
9	Interna	2600	2.6
10	Interna	3300	3.3
$\bar{x} = 2.46 \text{ mm}$ $\text{Varianza } \sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}$ $\text{Varianza } \sigma = 0.17 \text{ mm}$ $\text{Desviación Estandar } s = \sqrt{\sigma} = 0.41 \text{ mm}$ $\text{Coeficiente de Variación} = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% = 16.46 \%$			
<b>Gráfico de Variación de Espesores</b>		<b>Detalle Referencial</b>	
 <p style="text-align: center;"><b>VARIACIÓN DE ESPESORES</b></p>		 <p style="text-align: center;"><b>ZONA DE MEDICIÓN</b></p>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			
<p>El espesor máximo tiene un valor de 3.3 mm mientras que el mínimo es de 1.8 mm. El punto de equilibrio o centro de masas del recubrimiento adherido es de 2.46 milímetros distribuido de manera uniforme, con un porcentaje de 16,46% en la parte interna de la pieza.</p>			

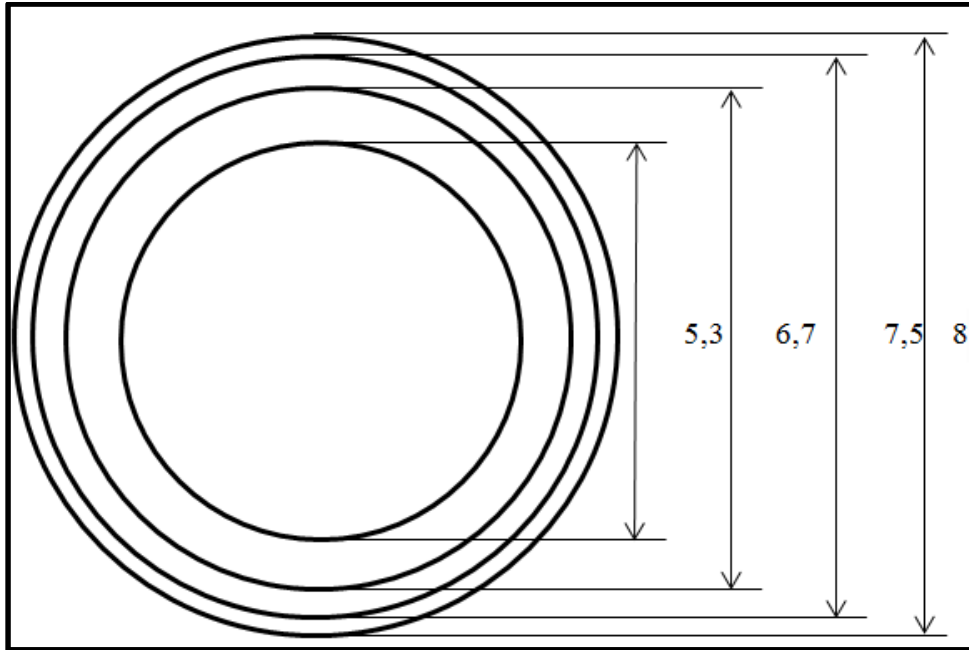
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



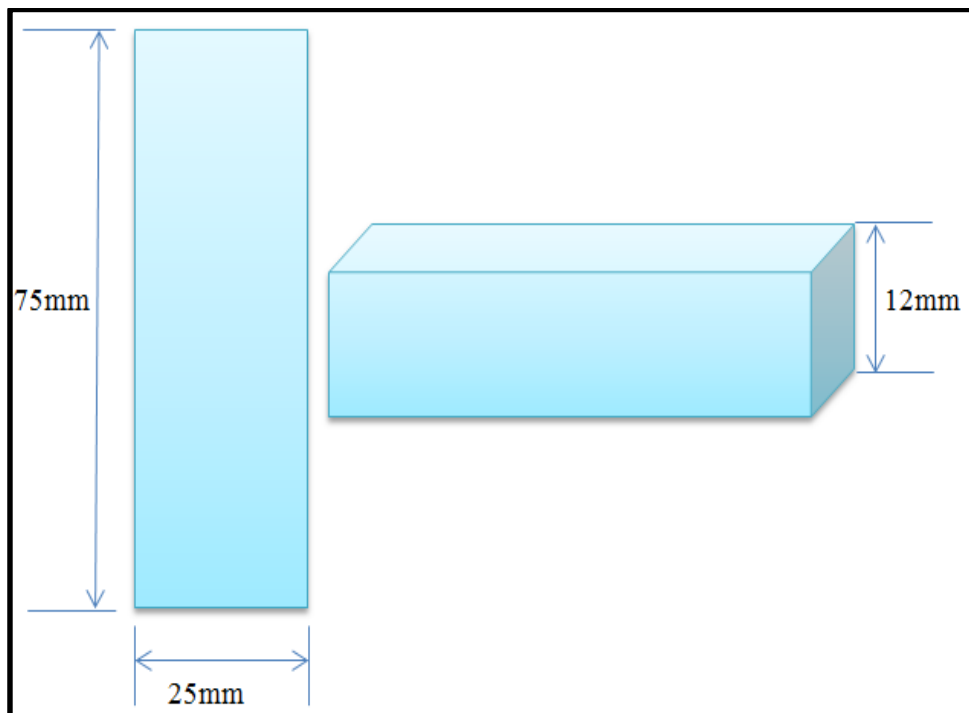
**Figura 4.1** Promedio de espesores.  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

#### 4.2.7 Corte y dimensionamiento de probetas para ensayo de desgaste

Una vez determinada la composición química del material compuesto por el Asiento de Válvula API-600 se realizó la compra del Acero AISI 4140 en la empresa BOHLER para la realización de pruebas de desgaste abrasivo que dicta la norma ASTM G65, debido a que el acero viene en eje macizo se procedió a cortar las probetas con sierra eléctrica y posteriormente todas las muestras se sometieron a un rectificado y así estén óptimas para ser recubiertas por los distintos recubrimientos planteados mediante el proceso de HVOF y luego ser sometidas a ensayos de desgaste abrasivo como dicta la norma.



**Figura 4.2** Dimensionamiento del asiento de válvula API-600.  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez





**Figura 4.3** Dimensionamiento de probetas para ensayo de desgaste.  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

### 4.3 Pesaje de probetas

#### 4.3.1 Determinación del peso de probetas para ensayos de desgaste

Tabla 4.7 Pesaje de Probetas Para Ensayos de Desgaste

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 				
<b>PESAJE DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE DESGASTE</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>				<b>N° Registro: 01</b>
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez			<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba	
<b>Lugar:</b> Lab. De Ing. Alimentos			<b>Fecha de ejecución:</b> 8/10/2014	
<b>Tipo de material:</b> Acero AISI 4140			<b>Equipo:</b> Balanza Digital	
<b>Precisión:</b> 0,001 Gramos				
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>				
N° Probeta	Designación	Dimensiones mm	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.1	75x25x10	176,166	7.85
2	2.2	75x25x10	176,188	7.85
3	2.3	75x25x10	176,836	7.85
4	2.4	75x25x10	177,137	7.85
5	2.5	75x25x10	176,804	7.85
6	2.6	75x25x10	176,072	7.85
7	3.1	75x25x12	208,648	7.85
8	3.2	75x25x12	189,533	7.85
9	3.3	75x25x12	173,648	7.85
10	3.4	75x25x12	164,723	7.85
11	3.5	75x25x12	143,640	7.85
12	3.6	75x25x12	188,270	7.85
13	4.1	75x25x12	191,637	7.85
14	4.2	75x25x12	190,304	7.85
15	4.3	75x25x12	197,237	7.85
16	4.4	75x25x12	190,603	7.85
17	4.5	75x25x12	185,453	7.85
18	4.6	75x25x12	186,518	7.85
19	5.1	75x25x12	208,044	7.85
20	5.2	75x25x12	198,119	7.85
21	5.3	75x25x12	195,980	7.85
22	5.4	75x25x12	190,324	7.85
23	5.5	75x25x12	190,058	7.85
24	5.6	75x25x12	178,144	7.85

## DETALLE REFERENCIAL



## OBSERVACIONES

El acero AISI 4140 se lo adquirió de la fábrica de ACEROS BOHLER DEL ECUADOR S.A y debido a que sus dimensiones vienen en eje macizo, se procedió a cortar las probetas con sierra eléctrica y posteriormente todas las muestras se sometieron a un rectificado para que estén óptimas como exige la norma ASTM G65. (Anexo A4)

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

### 4.3.2 Material abrasivo

El material abrasivo utilizado fueron partículas de cuarzo con granulometría media AFS 50/70 (300 – 212)  $\mu\text{m}$ . El flujo de partículas sobre la superficie de desgaste fue aproximadamente de (300 a 400) g/min.



Figura 4.4 Partículas para ensayo de desgaste.

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



### 4.3.3 Análisis de la norma ASTM G-65

La norma ASTM G-65 consta de 5 procedimientos diferentes y al analizar el alcance y cuantificación se debe considerar las siguientes recomendaciones:

- Se emplea en todo tipo de aceros
- Los materiales deben ser únicamente expuestos a desgaste abrasivo
- Se debe considerar solo dimensiones específicas para el ensayo
- No se puede aplicar otro procedimiento distinto al que exige la norma

Una vez tomadas en cuenta las recomendaciones se detalla ampliamente el alcance de la Norma ASTM G-64 en el Anexo A3. Ver Cap. 2 pág. (24 -28)

#### 4.3.3.1 Selección del procedimiento de ensayo

El procedimiento A de la Norma ASTM G-65 cubre el ensayo de laboratorio óptimo para determinar la resistencia a la abrasión de los metales y recubrimientos cerámico-metálicos duros, por medio de arena seca de tipo AFS 50/70 y rueda de goma, ya que los materiales sometidos a desgaste abrasivo tienen durezas elevadas y apropiadas para la aplicación de este procedimiento.

La gravedad de desgaste abrasivo en cualquier sistema dependerá del tamaño de la partícula abrasiva, la forma y dureza, magnitud de la tensión impuesta por la partícula, y frecuencia de contacto de la partícula abrasiva.

Para justificar la realización en este proyecto de investigación, es necesario saber el alcance que la norma ASTM G-65 mediante el procedimiento A detalla a continuación:

**Procedimiento A:** Se basa en una Prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen mayor de extrema resistencia a la abrasión.

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 130 N (30 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 6000 durante el ensayo aplicado a cada muestra; se recomienda realizar cada 5 minutos el pesaje de cada muestra en una balanza cuya precisión bordee los 0,001 gramos durante 30 minutos que dura el procedimiento.

El tamaño de la arena de cuarzo como material abrasivo para este procedimiento debe ser de tipo AFS 50/70 y bordea los (300 a 212)  $\mu\text{m}$ . El flujo de partículas sobre la superficie de desgaste debe estar entre (300 a 400) g/min.

La dureza del caucho debe encontrarse en un valor de 60 Shore A, con una tolerancia de  $\pm 2$ . Esta dureza es de gran importancia ya que el recubrimiento de caucho tiene la función de forzar la arena contra el metal de tal modo que las partículas no se desintegren ni se destrocen.

La velocidad de rotación del motor debe estar entre las 200 rpm con una tolerancia de  $\pm 10$  rpm. (Anexo A3)

**Tabla 4.8** Parámetros de Ensayo de Desgaste Abrasivo Procedimiento A

<b>PROCEDIMIENTO</b>		<b>FUERZA APLICADA</b>	<b>NÚMERO DE REVOLUCIONES</b>		<b>ABRASIÓN LINEAL</b>	
A		130 N (30Lb)	6000		4309 m	
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>						
<b>Condiciones de Prueba</b>	<b>Número de Muestras</b>	<b>Volumen <math>\text{mm}^3</math></b>	<b>Desviación Estándar <math>\text{mm}^3</math></b>	<b>Coefficiente de Variación %</b>	<b>Coefficiente de variación Total %</b>	<b>Desviación Estándar Total <math>\text{mm}^3</math></b>
WC-14 %C0 0,0010	4	2,18	0,42	6,4	20.4	0,44

**Fuente:** Norma ASTM G-65. 2007 Pág. 11

#### 4.3.4 Calibración de la máquina de ensayo de desgaste abrasivo con acero AISI 4140

Tabla 4.9 Calibración de Máquina de Ensayo de Desgaste Abrasivo

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
<b>CALIBRACION MÁQUINA DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					<b>N° ENSAYO: 01</b>	
<b>Referencia:</b> Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				<b>Fecha:</b> 24/11/2014		
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM			<b>Cantidad de Muestras:</b> 6			
<b>Tipo de Material:</b> Acero AISI 4140			<b>Tratamiento Térmico:</b> Ninguno			
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 30,8 HRc			<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado			
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>						
<b>Método:</b> Procedimiento A			<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)			
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)			<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A			
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm			<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min			
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)			<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min			
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>						
<b>Pérdida de Volumen:</b> 1116,425 mm <sup>3</sup>			<b>C. de Variación:</b> 4,56 %			
<b>Densidad del Material:</b> 7,85 gr/cm <sup>3</sup>			<b>Abrasión Lineal:</b> 4309 m			
<b>N° de Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Masa Inicial (gr)</b>	176,166	176,188	176,836	177,137	176,804	176,072
<b>Masa Final (gr)</b>	167,752	168,453	169,217	169,557	168,735	168,603
<b>Pérdida de Masa (gr)</b>	8,414	7,735	7,619	7,580	8,051	7,469
<b>Resistencia a la Abrasión (m/gr)</b>	512,123	557,078	565,560	568,470	535,213	576,918
<b>Pérdida de Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>	1071,847	985,350	970,573	965,605	1025,605	951,465
<b>Ajuste de Pérdida de Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>	1202,560	1105,515	1088,936	1083,362	1150,679	1067,497
<b>DETALLE REFERENCIAL</b>						
						
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba		

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**a) Cálculos de Calibración:**

La precisión y exactitud de los datos se demuestran utilizando métodos estadísticos, donde está involucrada el promedio y la desviación estándar del volumen perdido.

Aplicando las ecuaciones para este tipo de análisis se tiene:

$$\text{Media } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N}$$

$$\bar{x} = 1116,425 \text{ mm}^3$$

$$\text{Desviación estandar} = s = \sqrt{\frac{((n_1 - \bar{x})^2 \dots + \dots (n - \bar{x})^2)}{N}}$$

$$s = 50,901 \text{ mm}^3$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) * 100$$


$$CV = 4,56 \%$$

Como el coeficiente de variación se encuentra por debajo del límite máximo permitido (6,4%), el procedimiento A de la Norma ASTM G65 se encuentra bajo control.

La máquina se encuentra dentro de los valores que exige la norma, con lo cual se puede decir que la máquina está en intervalos aceptables.

### 4.3.5 Análisis parámetros de desgaste abrasivo acero AISI 4140

Tabla 4.10 Pérdida de Masa en el Acero AISI 4140

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE MASA ACERO AISI 4140</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 01</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio		<b>Fecha:</b> 24/11/2014					
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM		<b>Cantidad de Muestras:</b> 6					
<b>Tipo de Material:</b> Acero AISI 4140		<b>Tratamiento Térmico:</b> Ninguno					
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 30,8 HRC		<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado					
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A		<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)					
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)		<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A					
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm		<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min					
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)		<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min					
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Masa Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	176,166	174,333	172,746	170,907	169,133	168,443	167,752
2	176,188	175,021	173,477	171,593	169,860	169,021	168,453
3	176,836	175,564	174,081	172,224	170,671	169,917	169,217
4	177,137	175,624	174,338	173,037	171,787	170,672	169,557
5	176,804	175,398	173,898	172,285	170,713	169,733	168,753
6	176,072	175,025	173,543	171,710	169,963	169,203	168,603
	N°	<b>PÉRDIDA DE MASA (g)</b>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
	1	1,833	3,420	5,259	7,033	7,723	8,414
	2	1,167	2,711	4,595	6,328	7,167	7,735
	3	1,272	2,755	4,612	6,165	6,919	7,619
	4	1,513	2,799	4,100	5,350	6,465	7,580
	5	1,406	2,906	4,519	6,091	7,071	8,051
	6	1,047	2,529	4,362	6,109	6,869	7,469
<b>Promedio</b>	<b>1,373</b>	<b>2,853</b>	<b>4,575</b>	<b>6,179</b>	<b>7,036</b>	<b>7,811</b>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>							
<p>La pérdida máxima de masa ocurre al minuto 30 con 7,811 gramos, mientras que la pérdida mínima se encuentra en el minuto 5 con 1,373 gramos.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.		<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba					

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Tabla 4.11 Pérdida de Volumen en el Acero AISI 4140

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN ACERO AISI 4140</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 01</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 24/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> Acero AISI 4140	<b>Tratamiento Térmico:</b> Ninguno						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 30,8 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Pérdida de Volumen mm <sup>3</sup>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	176,166	261,979	488,799	751,636	1005,183	1103,800	1202,560
2	176,188	166,792	387,466	656,735	904,421	1024,334	1105,515
3	176,836	181,799	393,755	659,164	881,125	988,889	1088,936
4	177,137	216,244	400,043	585,987	764,642	924,002	1083,362
5	176,804	200,951	415,336	645,872	870,548	1010,614	1150,679
6	176,072	149,641	361,454	623,433	873,121	981,743	1067,497
<b>Promedio</b>		196,234	407,809	653,805	883,173	1005,564	1116,425
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La pérdida máxima de volumen ocurre al minuto 30 con 1116,425 mm<sup>3</sup>, mientras que la pérdida mínima de volumen se encuentra en el minuto 5 con 196,234 mm<sup>3</sup>.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				




Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.12** Análisis de la Tasa de Desgaste en el Acero AISI 4140

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE EN EL ACERO AISI 4140</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 01</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 24/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> Acero AISI 4140	<b>Tratamiento Térmico:</b> Ninguno						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 30,8 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Tasa de Desgaste (mg*m) (Ecuación 2.2 pág. 25)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	176,166	7,898	14,737	22,661	30,305	33,278	36,256
2	176,188	5,029	11,682	19,800	27,267	30,883	33,330
3	176,836	5,481	11,871	19,873	26,565	29,814	32,830
4	177,137	6,520	12,061	17,667	23,053	27,858	32,662
5	176,804	6,058	12,522	19,472	26,246	30,469	34,692
6	176,072	4,512	10,897	18,796	26,324	29,599	32,184
<b>Promedio</b>		5,916	12,295	19,712	26,627	30,317	33,659
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La tasa de desgaste máxima ocurre al minuto 30 con 33,659 (mg*m), mientras que la tasa de desgaste mínima se encuentra en el minuto 5 con 5,916 (mg*m).</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.13** Análisis del Coeficiente de Desgaste en el Acero AISI 4140

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE ACERO AISI 4140</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 01</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 24/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> Acero AISI 4140	<b>Tratamiento Térmico:</b> Ninguno						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 30,8 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS (k)</b> (Ecuación 2.3 pág. 26)							
N°	Peso Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	176,166	0,061	0,113	0,174	0,233	0,256	0,279
2	176,188	0,039	0,090	0,152	0,210	0,238	0,256
3	176,836	0,042	0,091	0,153	0,204	0,229	0,253
4	177,137	0,050	0,093	0,136	0,177	0,214	0,251
5	176,804	0,047	0,096	0,150	0,202	0,234	0,267
6	176,072	0,035	0,084	0,145	0,202	0,228	0,248
<b>Promedio</b>		0,046	0,095	0,152	0,205	0,233	0,259
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>				<b>DETALLE REFERENCIAL</b>			
<p>El coeficiente de desgaste máximo ocurre al minuto 30 con 0,259 mientras que el coeficiente de desgaste mínimo ocurre al minuto 5 con 0,046.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



#### 4.3.6 Ensayo de desgaste abrasivo con recubrimiento inox martensítico

Tabla 4.14 Ensayo de Desgaste Abrasivo Con Recubrimiento Inox Martensítico

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
<b>DESGASTE ABRASIVO CON R. INOX MARTENSITICO</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					<b>N° ENSAYO: 02</b>	
<b>Referencia:</b> Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				<b>Fecha:</b> 25/11/2014		
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM			<b>Cantidad de Muestras:</b> 6			
<b>Tipo de Material:</b> R. Inox Martensítico.			<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF			
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 46,4 HRC			<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado			
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>						
<b>Método:</b> Procedimiento A			<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)			
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)			<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A			
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm			<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min			
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)			<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min			
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>						
<b>Pérdida de Volumen:</b> 905,803 mm <sup>3</sup>			<b>C. de Variación:</b> 6,25 %			
<b>Densidad del Material:</b> 7,85 gr/cm <sup>3</sup>			<b>Abrasión Lineal:</b> 4309 m			
<b>N° de Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Masa Inicial (gr)</b>	208,648	189,533	173,648	164,723	143,640	188,270
<b>Masa Final (gr)</b>	203,028	183,112	166,894	158,206	137,114	182,082
<b>Pérdida de Masa (gr)</b>	5,620	6,421	6,754	6,517	6,526	6,188
<b>Resistencia a la Abrasión (m/gr)</b>	766,726	671,079	637,992	661,194	660,282	696,348
<b>Pérdida de Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>	715,924	817,962	860,382	830,191	831,338	788,280
<b>Ajuste de Pérdida de Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>	803,231	917,713	965,307	931,434	932,720	884,412
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>						
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Cálculos de Calibración:

$$\bar{x} = 905,803 \text{ mm}^3$$

$$s = 56,644 \text{ mm}^3$$

$$CV = 6,25 \%$$

#### 4.3.6.1 Análisis parámetros de desgaste abrasivo en R. inox martensítico

Tabla 4.15 Análisis de Pérdida de Masa con R. Inox Martensítico

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE MASA CON R. INOX MARTENSITICO							
DATOS INFORMATIVOS						N° ENSAYO: 02	
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio				<b>Fecha:</b> 25/11/2014			
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM				<b>Cantidad de Muestras:</b> 6			
<b>Tipo de Material:</b> R. Inox Martensítico				<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF			
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 46,4 HRc				<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado			
Datos de la Máquina de Ensayo							
<b>Método:</b> Procedimiento A				<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)			
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)				<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A			
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm				<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min			
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)				<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min			
OBTENCIÓN DE RESULTADOS							
N°	Masa Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,648	206,886	205,717	204,268	203,854	203,441	203,028
2	189,533	187,704	186,104	184,833	184,259	183,685	183,112
3	173,648	171,977	170,131	169,054	168,334	167,614	166,894
4	164,723	162,924	161,609	159,883	159,324	158,765	158,206
5	143,640	142,130	140,323	138,826	138,255	137,684	137,114
6	188,270	186,773	185,276	183,779	183,213	182,647	182,082
	N°	PÉRDIDA DE MASA (g)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
	1	1,762	2,931	4,380	4,794	5,207	5,620
	2	1,829	3,429	4,700	5,274	5,848	6,421
	3	1,671	3,517	4,594	5,314	6,034	6,754
	4	1,799	3,114	4,840	5,399	5,958	6,517
	5	1,510	3,317	4,814	5,385	5,956	6,526
	6	1,497	2,994	4,491	5,057	5,623	6,188
	<b>Promedio</b>	<b>1,678</b>	<b>3,217</b>	<b>4,637</b>	<b>5,204</b>	<b>5,771</b>	<b>6,338</b>
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
La pérdida máxima de masa ocurre al minuto 30 con 6,338 gramos, mientras que la pérdida mínima se encuentra en el minuto 5 con 1,678 gramos.							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.16** Análisis de Pérdida de Volumen con R. Inox Martensítico

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN CON R. INOX MARTENSITICO</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 02</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 25/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. Inox Martensítico	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 46,4 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Pérdida de Volumen mm <sup>3</sup>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,648	251,832	418,909	626,006	685,176	744,204	803,231
2	189,533	261,407	490,085	671,741	753,780	835,818	917,713
3	173,648	238,826	502,663	656,592	759,497	862,402	965,307
4	164,723	257,120	445,064	691,751	771,645	851,540	931,434
5	143,640	215,815	474,078	688,035	769,644	851,254	932,720
6	188,270	213,957	427,914	641,870	722,765	803,660	884,412
<b>Promedio</b>		239,826	459,786	662,666	743,751	824,813	905,803
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La pérdida máxima de volumen ocurre al minuto 30 con 905,803 mm<sup>3</sup>, mientras que la pérdida mínima de volumen se encuentra en el minuto 5 con 239,826 mm<sup>3</sup>.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Tabla 4.17 Análisis de la Tasa de Desgaste con R. Inox Martensítico

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE CON R. INOX MARTENSITICO</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						<b>N° ENSAYO: 02</b>	
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio				<b>Fecha:</b> 25/11/2014			
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM				<b>Cantidad de Muestras:</b> 6			
<b>Tipo de Material:</b> R. Inox Martensítico				<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF			
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 46,4 HRc				<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado			
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A				<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)			
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)				<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A			
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm				<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min			
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)				<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m			
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Tasa de desgaste (mg*m) (Ecuación 2.2 pág. 25)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,648	7,592	12,630	18,873	20,657	22,437	24,217
2	189,533	7,881	14,776	20,252	22,726	25,199	27,668
3	173,648	7,200	15,155	19,796	22,898	26,001	29,103
4	164,723	7,752	13,418	20,856	23,264	25,673	28,082
5	143,640	6,507	14,293	20,744	23,204	25,664	28,121
6	188,270	6,451	12,901	19,352	21,791	24,230	26,664
<b>Promedio</b>		7,231	13,862	19,979	22,423	24,867	27,309
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>				<b>DETALLE REFERENCIAL</b>			
<p>La tasa de desgaste máxima ocurre al minuto 30 con 27,309 (mg*m), mientras que la tasa de desgaste mínima se encuentra en el minuto 5 con 7,231 (mg*m).</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



**Tabla 4.18** Análisis del Coeficiente de Desgaste con R. Inox Martensítico

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE CON RECUBRIMIENTO INOX MARTENSITICO</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>Nº ENSAYO: 02</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio		<b>Fecha:</b> 25/11/2014					
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM		<b>Cantidad de Muestras:</b> 6					
<b>Tipo de Material:</b> R. Inox Martensítico		<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF					
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 46,4 HRc		<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado					
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A		<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)					
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)		<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A					
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm		<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min					
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)		<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m					
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS (k) (Ecuación 2.3 pág. 26)</b>							
Nº	Peso Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,648	0,058	0,097	0,145	0,159	0,173	0,186
2	189,533	0,061	0,114	0,156	0,175	0,194	0,213
3	173,648	0,055	0,117	0,152	0,176	0,200	0,224
4	164,723	0,060	0,103	0,160	0,179	0,197	0,216
5	143,640	0,050	0,110	0,160	0,178	0,197	0,216
6	188,270	0,050	0,099	0,149	0,168	0,186	0,205
<b>Promedio</b>		0,056	0,107	0,154	0,172	0,191	0,210
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>				<b>DETALLE REFERENCIAL</b>			
El coeficiente de desgaste máximo ocurre al minuto 30 con 0,210 mientras que el coeficiente de desgaste mínimo ocurre al minuto 5 con 0,056.							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

### 4.3.7 Ensayo de desgaste abrasivo con recubrimiento (WC-Co)

Tabla 4.19 Ensayo de Desgaste Abrasivo Con Recubrimiento (WC-Co)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
DESGASTE ABRASIVO CON RECUBRIMIENTO (WC-Co)						
DATOS INFORMATIVOS					N° ENSAYO: 03	
Referencia: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha: 26/11/2014		
Lugar: Laboratorio de materiales FICM			Cantidad de Muestras: 6			
Tipo de Material: R. (WC-Co)			Tratamiento Térmico: HVOF			
Dureza Promedio del Material: 64,7 HRC			Preparación del Material: Corte y Rectificado			
Datos de la Máquina de Ensayo						
Método: Procedimiento A			Ancho de la Rueda: 12,7 mm ( ½ Plg)			
Diámetro de la Rueda: 228,6 mm (9 Plg)			Dureza de la Rueda: 65 Short A			
Revoluciones de la Rueda: 200 rpm			Flujo de Arena: 334,5 gr/min			
Carga Aplicada: 130 N (30Lb)			Tiempo de Prueba: 30 min			
OBTENCIÓN DE RESULTADOS						
Pérdida de Volumen: 741,250 mm <sup>3</sup>			C. de Variación: 4,05 %			
Densidad del Material: 7,85 gr/cm <sup>3</sup>			Abrasión Lineal: 4309 m			
N° de Prueba	1	2	3	4	5	6
Masa Inicial (gr)	191,637	190,304	197,237	190,603	185,453	186,518
Masa Final (gr)	186,594	184,986	192,009	185,589	180,461	180,995
Pérdida de Masa (gr)	5,043	5,318	5,228	5,014	4,992	5,523
Resistencia a la Abrasión (m/gr)	854,452	810,267	824,216	859,394	863,181	780,192
Pérdida de Volumen (mm <sup>3</sup> )	642,420	677,452	665,987	638,726	635,924	703,567
Ajuste de Pérdida de Volumen (mm <sup>3</sup> )	720,764	760,068	747,205	716,620	713,475	789,368
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS						
Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez J.			Revisado por: Ing. Mg. César Arroba			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

#### Cálculos de Calibración:

$$\bar{x} = 741,250 \text{ mm}^3$$

$$s = 30,009 \text{ mm}^3$$

$$CV = 4,05 \%$$

#### 4.3.7.1 Análisis parámetros de desgaste abrasivo con R. (WC-Co)

**Tabla 4.20** Análisis de Pérdida de Masa con R. (WC-Co)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE MASA CON R. (WC-Co).</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						<b>N° ENSAYO: 03</b>	
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio				<b>Fecha:</b> 26/11/2014			
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM				<b>Cantidad de Muestras:</b> 6			
<b>Tipo de Material:</b> R. (WC-Co)				<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF			
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 64,7 HRc				<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado			
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A				<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)			
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)				<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A			
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm				<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min			
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)				<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min			
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Masa Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	191,637	190,334	190,058	188,909	188,482	187,682	186,594
2	190,304	189,619	188,316	187,522	186,610	185,698	184,986
3	197,237	196,680	196,404	196,058	195,775	194,372	192,009
4	190,603	190,048	188,872	188,074	187,276	186,478	185,589
5	185,453	185,003	184,576	183,515	182,127	181,157	180,461
6	186,518	185,612	184,138	182,780	181,980	181,180	180,995
	N°	<b>PÉRDIDA DE MASA (g)</b>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
	1	1,303	1,579	2,728	3,155	3,955	5,043
	2	0,685	1,988	2,782	3,694	4,606	5,318
	3	0,557	0,833	1,179	1,461	2,865	5,228
	4	0,555	1,731	2,529	3,327	4,125	5,014
	5	0,450	0,877	1,938	3,326	4,296	4,992
	6	0,906	2,380	3,738	4,538	5,338	5,523
	<b>Promedio</b>	0,743	1,565	2,482	3,250	4,198	5,186
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>							
<p>La pérdida máxima de masa ocurre al minuto 30 con 5,186 gramos, mientras que la pérdida mínima se encuentra en el minuto 5 con 0,743 gramos.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



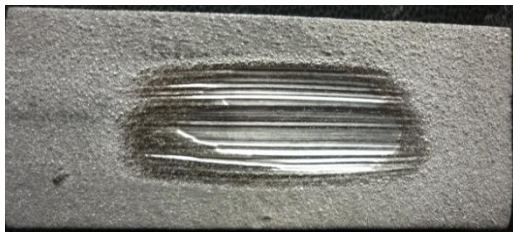
**Tabla 4.21** Análisis de Pérdida de Volumen con R. (WC-Co)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN CON R. (WC-Co).</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 03</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 26/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. (WC-Co)	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 64,7 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Pérdida de Volumen mm <sup>3</sup>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	191,637	186,230	225,677	389,896	450,924	565,263	720,764
2	190,304	97,903	284,132	397,614	527,960	658,307	760,068
3	197,237	79,609	119,055	168,507	208,940	409,476	747,205
4	190,603	79,323	247,401	361,454	475,507	589,560	716,620
5	185,453	64,316	125,344	276,986	475,364	614,000	713,475
6	186,518	129,489	340,158	534,249	648,588	762,927	789,368
<b>Promedio</b>		106,145	223,628	354,784	464,547	599,922	741,250
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La pérdida máxima de volumen ocurre al minuto 30 con 741,250 mm<sup>3</sup>, mientras que la pérdida mínima de volumen se encuentra en el minuto 5 con 106,145 mm<sup>3</sup>.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**Tabla 4.22** Análisis de la Tasa de Desgaste con R. (WC-Co)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE CON R. (WC-Co).</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 03</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 26/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. (WC-Co)	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 64,7 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Tasa de desgaste (mg*m) (Ecuación 2.2 pág. 25)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	191,637	5,615	6,804	11,755	13,595	17,042	21,730
2	190,304	2,952	8,566	11,988	15,917	19,847	22,915
3	197,237	2,400	3,589	5,080	6,299	12,345	22,527
4	190,603	2,391	7,459	10,897	14,336	17,775	21,605
5	185,453	1,939	3,779	8,351	14,332	18,511	21,511
6	186,518	3,904	10,255	16,107	19,554	23,001	23,799
	<b>Promedio</b>	3,200	6,742	10,696	14,006	18,087	22,348
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La tasa de desgaste máxima ocurre al minuto 30 con 33,659 (mg*m), mientras que la tasa de desgaste mínima se encuentra en el minuto 5 con 5,916 (mg*m).</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez


**Tabla 4.23** Análisis del Coeficiente de Desgaste con R. (WC-Co)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE CON R. (WC-Co)</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>Nº ENSAYO: 03</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 26/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. (WC-Co)	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 64,7 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS (k)</b> (Ecuación 2.3 pág. 26)							
Nº	Peso Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	191,637	0,043	0,052	0,090	0,105	0,131	0,167
2	190,304	0,023	0,066	0,092	0,122	0,153	0,176
3	197,237	0,018	0,028	0,039	0,048	0,095	0,173
4	190,603	0,018	0,057	0,084	0,110	0,137	0,166
5	185,453	0,015	0,029	0,064	0,110	0,142	0,165
6	186,518	0,030	0,079	0,124	0,150	0,177	0,183
	<b>Promedio</b>	0,025	0,052	0,082	0,108	0,139	0,172
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>				<b>DETALLE REFERENCIAL</b>			
<p>El coeficiente de desgaste máximo ocurre al minuto 30 con 0,172 mientras que el coeficiente de desgaste mínimo ocurre al minuto 5 con 0,025.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

#### 4.3.8 Ensayo de desgaste abrasivo con recubrimiento (Cr3 C2-CoNi)

Tabla 4.24 Ensayo de Desgaste Abrasivo Con R. (Cr3 C2-CoNi)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
DESGASTE ABRASIVO CON R. (Cr3 C2-CoNi)						
DATOS INFORMATIVOS					N° ENSAYO: 04	
Referencia: Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65				Fecha: 26/11/2014		
Lugar: Laboratorio de materiales FICM			Cantidad de Muestras: 6			
Tipo de Material: R. (Cr3 C2-CoNi)			Tratamiento Térmico: HVOF			
Dureza Promedio del Material: 57,4 HRC			Preparación del Material: Corte y Rectificado			
Datos de la Máquina de Ensayo						
Método: Procedimiento A			Ancho de la Rueda: 12,7 mm ( ½ Plg)			
Diámetro de la Rueda: 228,6 mm (9 Plg)			Dureza de la Rueda: 65 Short A			
Revoluciones de la Rueda: 200 rpm			Flujo de Arena: 334,5 gr/min			
Carga Aplicada: 130 N (30Lb)			Tiempo de Prueba: 30 min			
OBTENCIÓN DE RESULTADOS						
Pérdida de Volumen: 976,169 mm <sup>3</sup>			C. de Variación: 5,10 %			
Densidad del Material: 7,85 gr/cm <sup>3</sup>			Abrasión Lineal: 4309 m			
N° de Prueba	1	2	3	4	5	6
Masa Inicial (gr)	208,044	198,119	195,980	190,324	190,058	178,144
Masa Final (gr)	201,817	191,200	189,357	183,176	182,952	171,187
Pérdida de Masa (gr)	6,227	6,919	6,623	7,148	7,106	6,957
Resistencia a la Abrasión (m/gr)	691,987	622,778	650,612	602,826	606,389	619,376
Pérdida de Volumen (mm <sup>3</sup> )	793,248	881,401	843,694	910,573	905,223	886,242
Ajuste de Pérdida de Volumen (mm <sup>3</sup> )	889,986	988,889	946,584	1021,619	1015,616	994,320
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS						
Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez J.			Revisado por: Ing. Mg. César Arroba			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

#### Cálculos de Calibración:



$$\bar{x} = 976,169 \text{ mm}^3$$

$$s = 49,831 \text{ mm}^3$$

$$CV = 5,10 \%$$

#### 4.3.8.1 Análisis parámetros de desgaste abrasivo con R. (Cr3 C2-CoNi)

Tabla 4.25 Análisis de Pérdida de Masa con R. (Cr3 C2-CoNi)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE MASA CON R. (Cr3 C2-CoNi)							
DATOS INFORMATIVOS						N° ENSAYO: 04	
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio				<b>Fecha:</b> 27/11/2014			
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM				<b>Cantidad de Muestras:</b> 6			
<b>Tipo de Material:</b> R. (Cr3 C2-CoNi)				<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF			
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 57,4 HRC				<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado			
Datos de la Máquina de Ensayo							
<b>Método:</b> Procedimiento A				<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)			
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)				<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A			
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm				<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min			
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)				<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min			
OBTENCIÓN DE RESULTADOS							
N°	Masa Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,044	206,457	205,382	204,187	203,992	202,563	201,817
2	198,119	196,831	195,722	194,673	193,624	193,032	191,200
3	195,980	194,663	193,239	192,080	191,921	189,957	189,357
4	190,324	189,544	187,732	186,423	185,611	183,796	183,176
5	190,058	188,711	186,819	185,500	184,781	183,862	182,952
6	178,144	177,067	175,958	174,534	173,722	172,830	171,187
	N°	PÉRDIDA DE MASA (g)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
	1	1,587	2,662	3,857	4,052	5,481	6,227
	2	1,288	2,397	3,446	4,495	5,087	6,919
	3	1,317	2,741	3,900	4,059	6,023	6,623
	4	0,780	2,592	3,901	4,713	6,528	7,148
	5	1,347	3,239	4,558	5,277	6,196	7,106
	6	1,077	2,186	3,610	4,422	5,314	6,957
Promedio	1,233	2,636	3,879	4,503	5,772	6,830	
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
La pérdida máxima de masa ocurre al minuto 30 con 6,830 gramos, mientras que la pérdida mínima se encuentra en el minuto 5 con 1,233 gramos.							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.26** Análisis de Pérdida de Volumen con R. (Cr3 C2-CoNi)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN CON R. (Cr3 C2-CoNi)</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 04</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 27/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. (Cr3 C2-CoNi)	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 57,4 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Pérdida de Volumen mm <sup>3</sup>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,044	226,820	380,463	551,257	579,127	783,365	889,986
2	198,119	184,086	342,588	492,515	642,442	727,053	988,889
3	195,980	188,231	391,754	557,403	580,127	860,830	946,584
4	190,324	111,481	370,458	557,545	673,600	933,006	1021,619
5	190,058	192,518	462,930	651,446	754,208	885,555	1015,616
6	178,144	153,929	312,431	515,955	632,009	759,497	994,320
<b>Promedio</b>		176,177	376,771	554,353	643,586	824,884	976,169
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La pérdida máxima de volumen ocurre al minuto 30 con 976,169 mm<sup>3</sup>, mientras que la pérdida mínima de volumen se encuentra en el minuto 5 con 176,177 mm<sup>3</sup>.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Tabla 4.27 Análisis de la Tasa de Desgaste con R. (Cr3 C2-CoNi)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE CON R. (Cr3 C2-CoNi)</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 04</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 27/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. (Cr3 C2-CoNi)	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 57,4 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión Lineal:</b> 4309 m						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>							
N°	Peso Inicial (g)	Tasa de desgaste (mg*m) (Ecuación 2.2 pág. 25)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,044	6,838	11,471	16,620	17,460	23,618	26,832
2	198,119	5,550	10,329	14,849	19,369	21,920	29,814
3	195,980	5,675	11,811	16,805	17,490	25,953	28,539
4	190,324	3,361	11,169	16,809	20,308	28,129	30,801
5	190,058	5,804	13,957	19,640	22,739	26,699	30,620
6	178,144	4,641	9,419	15,555	19,054	22,898	29,978
<b>Promedio</b>		5,312	11,359	16,713	19,403	24,869	29,430
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			<b>DETALLE REFERENCIAL</b>				
<p>La tasa de desgaste máxima ocurre al minuto 30 con 29,430 (mg*m), mientras que la tasa de desgaste mínima se encuentra en el minuto 5 con 5,312 (mg*m).</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.			<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba				

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

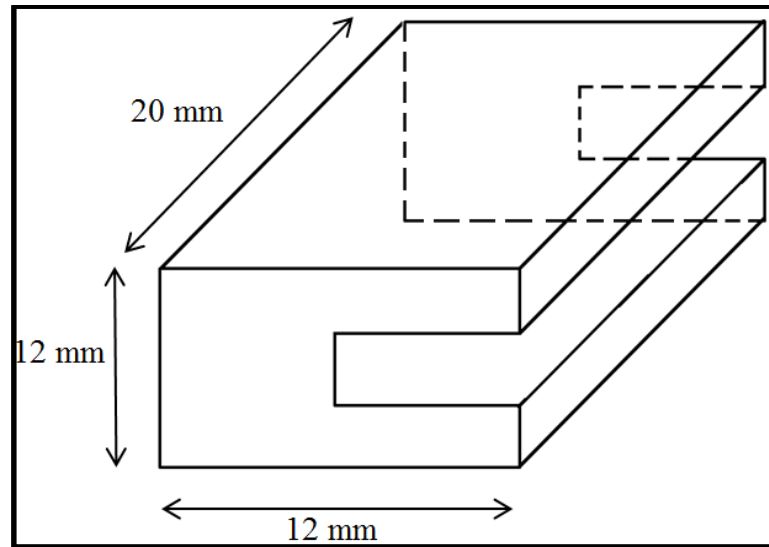
**Tabla 4.28** Análisis del Coeficiente de Desgaste con R. (Cr3 C2-CoNi)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE CON R. (Cr3 C2-CoNi)</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>Nº ENSAYO: 04</b>				
<b>Tipo de Estudio:</b> De laboratorio	<b>Fecha:</b> 27/11/2014						
<b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales FICM	<b>Cantidad de Muestras:</b> 6						
<b>Tipo de Material:</b> R. (Cr3 C2-CoNi)	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF						
<b>Dureza Promedio del Material:</b> 57,4 HRc	<b>Preparación del Material:</b> Corte y Rectificado						
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>							
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)						
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A						
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min						
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión Lineal:</b> 4309 m						
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS (k)</b> (Ecuación 2.3 pág. 26)							
Nº	Peso Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1	208,044	0,053	0,088	0,128	0,134	0,182	0,206
2	198,119	0,043	0,079	0,114	0,149	0,169	0,229
3	195,980	0,044	0,091	0,129	0,135	0,200	0,220
4	190,324	0,026	0,086	0,129	0,156	0,216	0,237
5	190,058	0,045	0,107	0,151	0,175	0,205	0,236
6	178,144	0,036	0,072	0,120	0,147	0,176	0,231
	<b>Promedio</b>	0,041	0,087	0,129	0,149	0,191	0,226
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>				<b>DETALLE REFERENCIAL</b>			
<p>El coeficiente de desgaste máximo ocurre al minuto 30 con 0,226 mientras que el coeficiente de desgaste mínimo ocurre al minuto 5 con 0,041.</p>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez J.				<b>Revisado por:</b> Ing. Mg. César Arroba			

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

### 4.3.9 Ensayo e interpretación de la dureza en el asiento de válvula API-600

Para el ensayo de Dureza Rockwell C la norma aplicable es la ASTM E 18 - 03, donde las medidas para los ensayos son consecuencias del área de análisis, es por eso que debido a la dimensión circular del asiento de la válvula API-600, se procedió a la debida preparación mediante un apropiado pulido que luego permitió realizar el ensayo en el Durómetro del Laboratorio de Materiales.



**Figura 4.5** Probeta para ensayo de dureza.  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.29** Designación de Probetas Para Ensayo de Dureza

Tipo de Material	Tipo de recubrimiento	Designación de Probetas
Acero AISI 4140	Pieza como viene de fábrica	1.1
Acero AISI 4140	Inox Martensítico	1.2
Acero AISI 4140	Carburo de Tungsteno o Wolframio en base de cobalto (WC-Co)	1.3
Acero AISI 4140	Carburo de Cromo en base Cobalto-Níquel (Cr3 C2-CoNi)	1.4

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



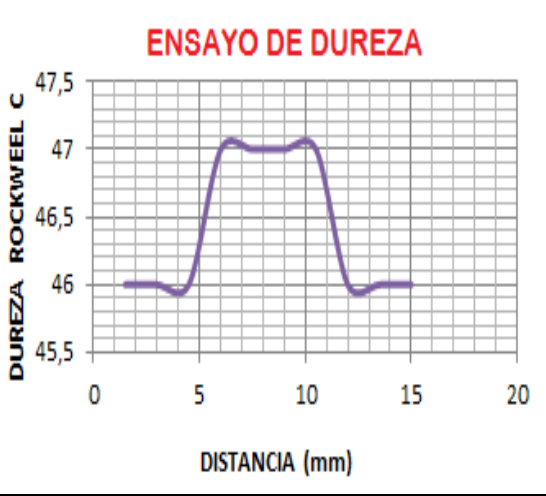
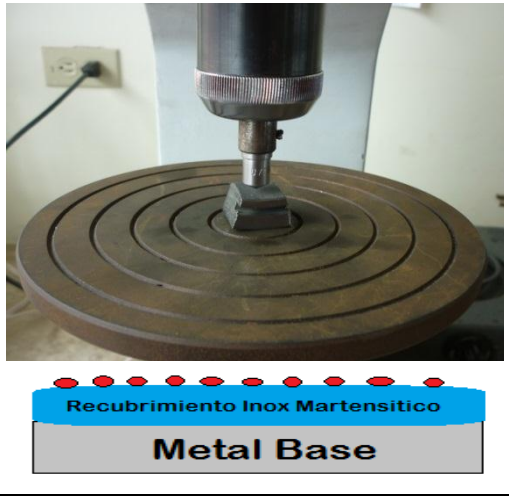


Tabla 4.30 Ensayo de Dureza Probeta 1.1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>										
<b>ENSAYO DE DUREZA EN EL ASIENTO ORIGINAL</b>										
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 01</b>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba								
<b>Lugar:</b> Lab. de materiales FICM		<b>Fecha de ejecución:</b> 16/07/14								
<b>Tipo de material:</b> Acero AISI 4140		<b>Temperatura ambiente:</b> 16° C								
<b>Denominación de Probeta:</b> 1.1		<b>Tratamiento Térmico:</b> Ninguno								
<b>PROPIEDADES DE ENSAYO DE DUREZA</b>										
<b>Norma de aplicación:</b> ASTM E 18-03		<b>Método:</b> Rockwell C								
<b>Carga aplicada:</b> 1471 N (150 Kgf)		<b>Tiempo de Ensayo:</b> 10 min								
<b>Indentador:</b> Cono de Diamante		<b>Zona de Barrido:</b> Cara Posterior								
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>										
<b>N° Huella</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Distancia (mm)</b>	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
<b>Dureza (HRc)</b>	29	29	29.5	30	31	31	31,5	32	32	33
<b>Grafico de Variación de Dureza</b>						<b>Detalle Referencial</b>				
										
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>										
<p>La Gráfica representa que la zona donde se produce la menor dureza es de 28 HRc, mientras que la mayor dureza se presenta en los 31 HRc y se encuentra dentro del rango de dureza del acero AISI-SAE 4140 con una dureza media de 30,8 HRc.</p>										



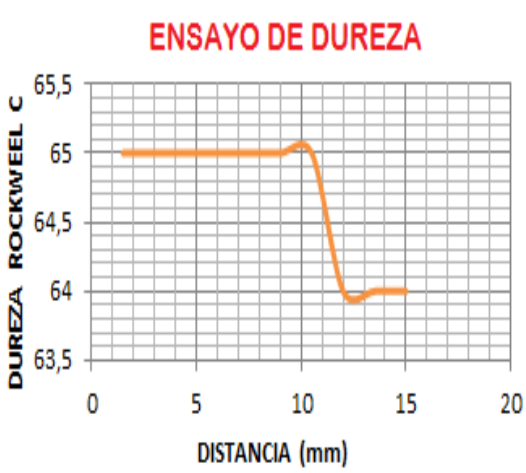
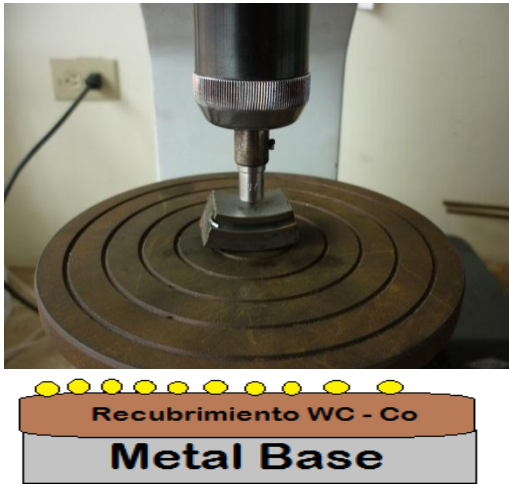
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Tabla 4.31 Ensayo de Dureza Probeta 1.2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>										
<b>ENSAYO DE DUREZA EN EL ASIENTO CON RECUBRIMIENTO INOX MARTENSITICO</b>										
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO: 02</b>							
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba								
<b>Lugar:</b> Lab. de materiales FICM		<b>Fecha de ejecución:</b> 22/10/2014								
<b>Tipo de material:</b> R. Inox Martensítico		<b>Temperatura ambiente:</b> 16° C								
<b>Denominación de Probeta:</b> 1.1		<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF								
<b>PROPIEDADES DE ENSAYO DE DUREZA</b>										
<b>Norma de aplicación:</b> ASTM E 18-03		<b>Método:</b> Rockwell C								
<b>Carga aplicada:</b> 1471 N (150 Kgf)		<b>Indentador:</b> Cono de Diamante								
<b>Tiempo de Ensayo:</b> 10 min		<b>Zona de Barrido:</b> Interior								
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>										
N° Huella	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Distancia (mm)</b>	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15
<b>Dureza (HRc)</b>	46	46	46	47	47	47	47	46	46	46
<b>Gráfico de Variación de Dureza</b>					<b>Detalle Referencial</b>					
 <p style="text-align: center;"><b>ENSAYO DE DUREZA</b></p>										
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>										
<p>En la gráfica se puede interpretar una leve mejoría en la dureza, debido a la proyección de partículas de recubrimiento adheridas al sustrato, en donde la mayor dureza se presenta en función de la distancia y en varios puntos nos da 47 HRc y la menor dureza se encuentra al inicio y al final de la medición con un valor de 46 HRc y una dureza media de 46,4 HRc.</p> <p>Respecto a la pieza original la dureza aumentó en un 50 %.</p>										



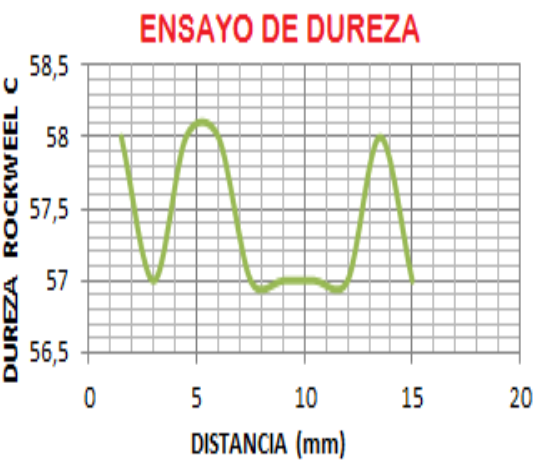

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Tabla 4.32 Ensayo de Dureza Probeta 1.3

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 										
<b>ENSAYO DE DUREZA EN EL ASIENTO CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO (WC-Co)</b>										
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>										
Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez	Autorizado por: Ing. Mg. César Arroba									
Lugar: Lab. de materiales FICM	Fecha de ejecución: 23/10/2014									
Tipo de material: R. (WC-Co)	Temperatura ambiente: 16° C									
Denominación de Probeta: 1.3	Tratamiento Térmico: HVOF									
<b>PROPIEDADES DE ENSAYO DE DUREZA</b>										
Norma de aplicación: ASTM E 18-03	Método: Rockwell C									
Carga aplicada: 1471 N (150 Kgf)	Indentador: Cono de Diamante									
Tiempo de Ensayo: 10 min	Zona de Barrido: Interior									
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>										
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella										
Distancia (mm)	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15
Dureza (HRc)	65	65	65	65	65	65	65	64	64	64
<b>Gráfico de Variación de Dureza</b>						<b>Detalle Referencial</b>				
 <p style="text-align: center;"><b>ENSAYO DE DUREZA</b></p>						 <p style="text-align: center;">Recubrimiento WC - Co Metal Base</p>				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>										
<p>En la gráfica se puede interpretar una mejoría considerable en la dureza, debido a la proyección de partículas de recubrimiento adheridas al sustrato, en donde la mayor dureza se presenta en función de la distancia y en varios puntos nos da 65 HRc y la menor dureza se encuentra al inicio y al final de la medición con un valor de 64 HRc y una dureza media de 64,7 HRc.</p> <p>Respecto a la pieza original la dureza aumento en un 110 %.</p>										

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



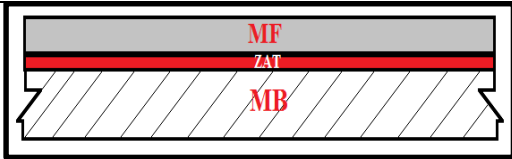
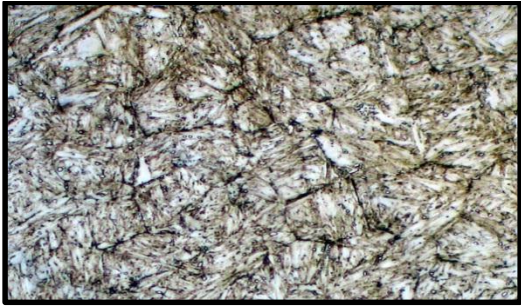
Tabla 4.33 Ensayo de Dureza Probeta 1.4

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 										
<b>ENSAYO DE DUREZA EN EL ASIENTO CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE CROMO EN BASE COBALTO-NÍQUEL (Cr<sub>3</sub> C<sub>2</sub>-CoNi)</b>										
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>										
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba									
<b>Lugar:</b> Lab. de materiales FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 24/10/2014									
<b>Tipo de material:</b> R. (Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -CoNi)	<b>Temperatura ambiente:</b> 16° C									
<b>Denominación de Probeta:</b> 1.4	<b>Tratamiento Térmico:</b> HVOF									
<b>PROPIEDADES DE ENSAYO DE DUREZA</b>										
<b>Norma de aplicación:</b> ASTM E 18-03	<b>Método:</b> Rockwell C									
<b>Carga aplicada:</b> 1471 N (150 Kgf)	<b>Indentador:</b> Cono de Diamante									
<b>Tiempo de Ensayo:</b> 10 min	<b>Zona de Barrido:</b> Interior									
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>										
<b>N° Huella</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Distancia (mm)</b>	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15
<b>Dureza (HRc)</b>	58	57	58	58	57	57	57	57	58	57
<b>Gráfico de Variación de Dureza</b>						<b>Detalle Referencial</b>				
										
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>										
<p>En la gráfica se puede interpretar una mejoría considerable en la dureza, debido a la proyección de partículas de recubrimiento adheridas al sustrato, en donde la mayor dureza se presenta en función de la distancia y en varios puntos nos da 58 HRc y la menor dureza se encuentra al inicio y al final de la medición con un valor de 57 HRc y una dureza media de 57,4 HRc.</p> <p>Respecto a la pieza original la dureza aumento en un 86 %.</p>										

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



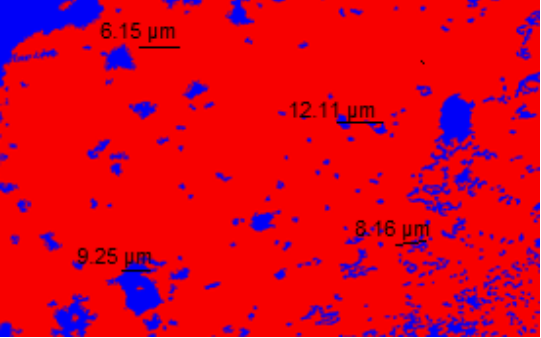
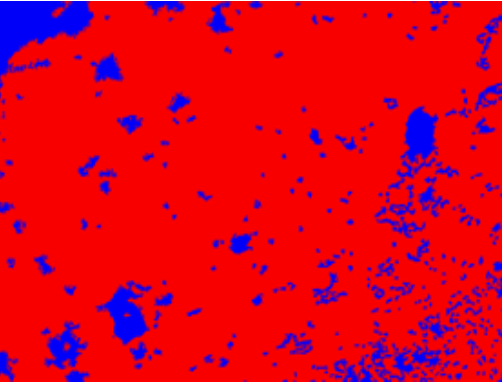
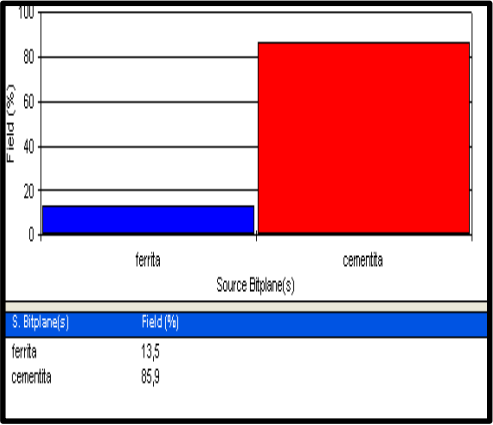
### 4.3.9.1 Ensayo metalográfico de recubrimientos depositados en el asiento de válvula API-600

**Tabla 4.34** Ensayo Metalográfico en Recubrimiento Inox Martensítico

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> 	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO DE LA ZAT.</b>	<b>E.M. N° 01</b>
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN</b>	
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Tutor:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Material base:</b> Acero AISI 4140	<b>T. Pre calentamiento</b> 200°C
<b>Material de aporte:</b> Recubrimiento Inox Martensítico	
<b>Proceso:</b> HVOF	<b>Tipo de estudio:</b> De laboratorio
<b>Centro de estudios y análisis:</b> Laboratorio de Materiales FICM, "UTA"	<b>Fecha:</b> 12/12/14
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFICO</b>	
<b>Norma de referencia:</b> ASTM A247, E3	
<b>Superficie óptima en:</b> 60 min.	<b>Temperatura:</b> 15 °C
<b>Ataque químico:</b> Aleación Universal	<b>Acondicionamiento:</b> Lijado y pulido
<b>Tiempo de ataque:</b> 10 Seg.	<b>Instrumento de observación:</b> microscopio
<b>RESULTADOS</b>	
Zonas metalúrgicas de la soldadura.	
	MB = Material base ZAT = Zona afectada térmicamente MF = Metal fundido
	
ZAT, 100X, Aleación Universal, 10Seg.	



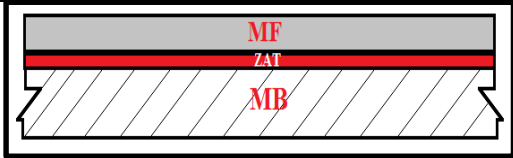
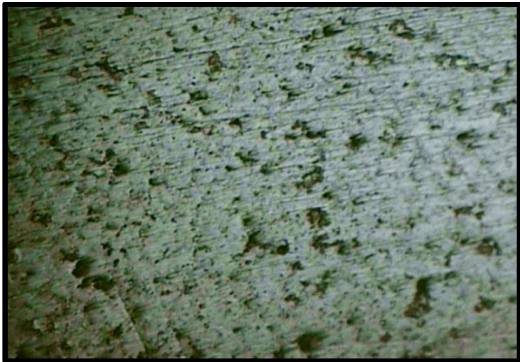
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.35** Tamaño de grano en Recubrimiento Inox Martensítico

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>																						
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE.</b>		<b>E.M .N°01</b>																					
<b>ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO DEL RECUBRIMIENTO INOX MARTENSÍTICO.</b>	<b>MICROESTRUCTURA A 100X.</b>																						
<b>RESULTADOS DEL SOFTWARE.</b>																							
<p style="text-align: center;">Estadística del tamaño de grano.</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Estadística</td> <td style="width: 30%;">Tamaño de grano</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Máximo</td> <td>12.11</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Mínimo</td> <td>6.15</td> <td>µm</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Según la ASTM A 247</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Recubrimiento</td> <td style="width: 30%;">Tipo Inox M</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Forma del grafito</td> <td>nodular</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Matriz</td> <td>Ferrítica</td> <td></td> </tr> </table>	Estadística	Tamaño de grano		Máximo	12.11	µm	Mínimo	6.15	µm	Recubrimiento	Tipo Inox M		Forma del grafito	nodular		Tamaño	5		Matriz	Ferrítica		 <p style="text-align: center;">Recubrimiento Inox Martensítico, soldada con HVOF, material base, reactivo universal, 10Seg.</p>	
Estadística	Tamaño de grano																						
Máximo	12.11	µm																					
Mínimo	6.15	µm																					
Recubrimiento	Tipo Inox M																						
Forma del grafito	nodular																						
Tamaño	5																						
Matriz	Ferrítica																						
<b>Componentes:</b>	<b>Grafito esferoidal en matriz de ferrita.</b>																						
<b>Componentes microestructurales:</b>	<b>Porcentajes:</b>																						
 <p style="text-align: center;">Imagen Magnificada a 100X</p>	 <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>S. Bit(plane)s</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ferrita</td> <td>13,5</td> </tr> <tr> <td>cementita</td> <td>85,9</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bit(plane)s	Field (%)	ferrita	13,5	cementita	85,9															
S. Bit(plane)s	Field (%)																						
ferrita	13,5																						
cementita	85,9																						
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>																							
<p>En la micrografía analizada presenta los siguientes resultados: el porcentaje de Ferrita es del 13.5% con una matriz de Cementita del 85.9%, según la NORMA ASTM A247, el tamaño del grafito es de tipo 5 (6 – 12 mm).</p>																							



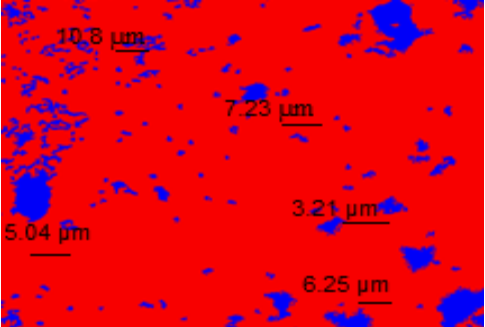
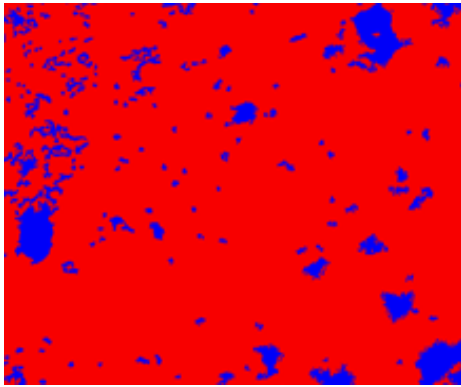
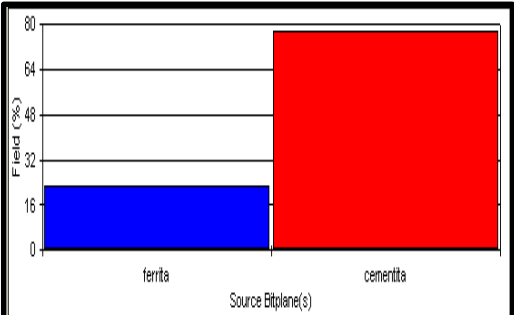
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.36** Ensayo Metalográfico en (WC – Co)

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> 		
<b>ENSAYO METALOGRAFICO DE LA ZAT.</b>		<b>E.M. N° 01</b>
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN</b>		
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez		<b>Tutor:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Material base:</b> Acero AISI 4140		<b>T. Pre calentamiento</b> 200°C
<b>Material de aporte:</b> Recubrimiento Carburo de Tungsteno en Base de Cobalto (WC-Co)		
<b>Proceso:</b> HVOF		<b>Tipo de estudio:</b> De laboratorio
<b>Centro de estudios y análisis:</b> Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”		<b>Fecha:</b> 12/12/14
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRÁFICO</b>		
<b>Norma de referencia:</b> ASTM A247, E3		
<b>Superficie óptima en:</b> 60 min.		<b>Temperatura:</b> 15 °C
<b>Ataque químico:</b> Aleación Universal		<b>Acondicionamiento:</b> Lijado y pulido
<b>Tiempo de ataque:</b> 8 Seg.		<b>Instrumento de observación:</b> microscopio
<b>RESULTADOS</b>		
Zonas metalúrgicas de la soldadura.		
		MB = Material base ZAT = Zona afectada térmicamente MF = Metal fundido
		
ZAT, 100X, Aleación Universal, 8Seg.		

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



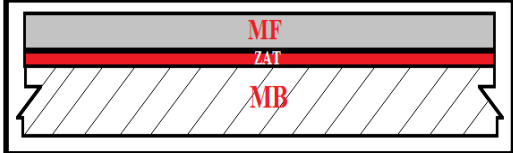
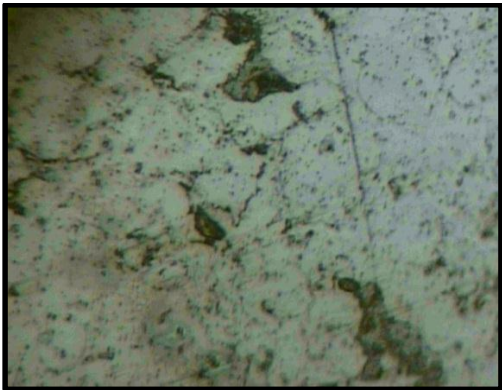
**Tabla 4.37** Tamaño de grano en Recubrimiento (WC – Co)

	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>																						
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE.</b>		<b>E.M .N°01</b>																					
<b>ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO DEL RECUBRIMIENTO (WC – Co)</b>	<b>MICROESTRUCTURA A 100X.</b>																						
<b>RESULTADOS DEL SOFTWARE.</b>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Recubrimiento (WC – Co), soldada con HVOF, material base, reactivo universal, 8Seg.</p>																						
<p style="text-align: center;">Estadística del tamaño de grano.</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Estadística</td> <td style="width: 30%;">Tamaño de grano</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Máximo</td> <td>10.8</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Mínimo</td> <td>3.21</td> <td>μm</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Según la ASTM A 247</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Recubrimiento</td> <td style="width: 30%;">Tipo (WC-Co)</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Forma del grafito</td> <td>nodular</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Matriz</td> <td>Ferrítica</td> <td></td> </tr> </table>	Estadística	Tamaño de grano		Máximo	10.8	μm	Mínimo	3.21	μm	Recubrimiento	Tipo (WC-Co)		Forma del grafito	nodular		Tamaño	5		Matriz	Ferrítica		<p>Componentes: <b>Grafito esferoidal en matriz de ferrita.</b></p> <p>Componentes microestructurales: <b>Porcentajes:</b></p>	
Estadística	Tamaño de grano																						
Máximo	10.8	μm																					
Mínimo	3.21	μm																					
Recubrimiento	Tipo (WC-Co)																						
Forma del grafito	nodular																						
Tamaño	5																						
Matriz	Ferrítica																						
<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Imagen Magnificada a 100X</p>	<div style="text-align: center;">  <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ferrita</td> <td>22,6</td> </tr> <tr> <td>cementita</td> <td>77,4</td> </tr> </tbody> </table> </div>		S. Bitplane(s)	Field (%)	ferrita	22,6	cementita	77,4															
S. Bitplane(s)	Field (%)																						
ferrita	22,6																						
cementita	77,4																						
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>																							
<p>En la micrografía analizada presenta los siguientes resultados: el porcentaje de Ferrita es del 22.6% con una matriz de Cementita del 77.4%, según la NORMA ASTM A247, el tamaño del grafito es de tipo 5 (6 – 12 mm).</p>																							

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



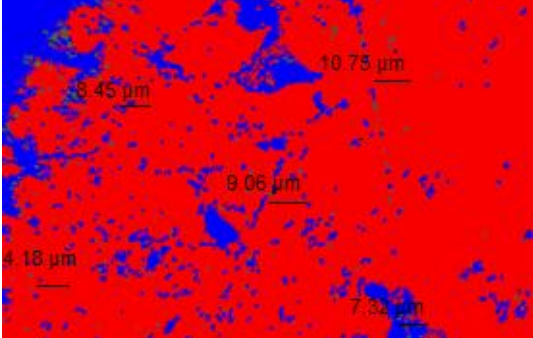
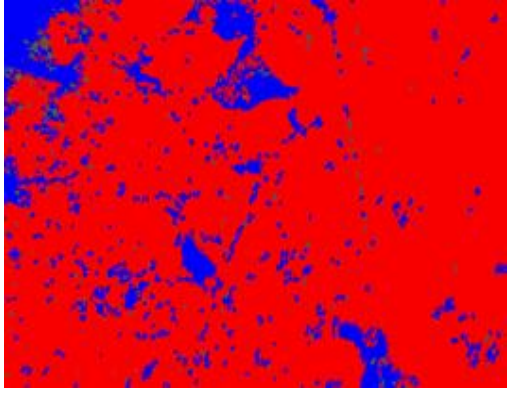
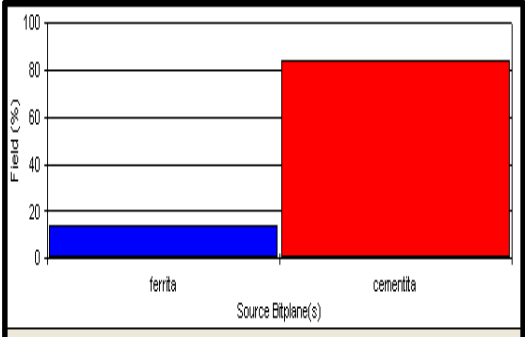


**Tabla 4.38** Ensayo Metalográfico en Recubrimiento (Cr3 C2 – Co Ni)

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> 	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO DE LA ZAT.</b>	<b>E.M. N° 01</b>
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN</b>	
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Tutor:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Material base:</b> Acero AISI 4140	<b>T. Pre calentamiento</b> 200°C
<b>Material de aporte:</b> Recubrimiento Carburo de Cromo en Base de Cobalto Níquel (Cr3C2 – CoNi)	
<b>Proceso:</b> HVOF	<b>Tipo de estudio:</b> De laboratorio
<b>Centro de estudios y análisis:</b> Laboratorio de Materiales FICM, “UTA”	<b>Fecha:</b> 12/12/14
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFICO</b>	
<b>Norma de referencia:</b> ASTM A247, E3	
<b>Superficie óptima en:</b> 60 min.	<b>Temperatura:</b> 15 °C
<b>Ataque químico:</b> Aleación Universal	<b>Acondicionamiento:</b> Lijado y pulido
<b>Tiempo de ataque:</b> 14 Seg.	<b>Instrumento de observación:</b> microscopio
<b>RESULTADOS</b>	
Zonas metalúrgicas de la soldadura.	
	MB = Material base ZAT = Zona afectada térmicamente MF = Metal fundido
	
ZAT, 100X, Aleación Universal, 14Seg.	

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.39** Tamaño de grano en Recubrimiento (Cr3 C2 – Co Ni)

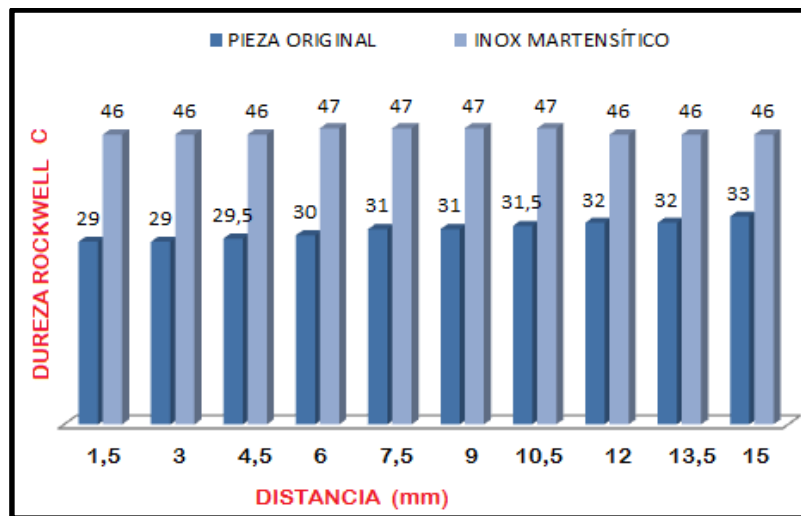
	<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b>																									
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DEL METAL BASE.</b>		<b>E.M .N°01</b>																								
ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO DEL RECUBRIMIENTO (Cr3C2 – CoNi).	MICROESTRUCTURA A 100X.																									
<b>RESULTADOS DEL SOFTWARE.</b>																										
<p style="text-align: center;">Estadística del tamaño de grano.</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Estadística</td> <td style="width: 30%;">Tamaño de grano</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Máximo</td> <td>10.75</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Mínimo</td> <td>4.18</td> <td>µm</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Según la ASTM A 247</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Recubrimiento</td> <td style="width: 30%;">Tipo</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>(Cr3C2-CoNi)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forma del grafito</td> <td>nodular</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Matriz</td> <td>Ferrítica</td> <td></td> </tr> </table>	Estadística	Tamaño de grano		Máximo	10.75	µm	Mínimo	4.18	µm	Recubrimiento	Tipo			(Cr3C2-CoNi)		Forma del grafito	nodular		Tamaño	5		Matriz	Ferrítica		 <p style="text-align: center;">Recubrimiento (Cr3C2 – CoNi), soldada con HVOF, material base, reactivo universal, 14Seg.</p>	
Estadística	Tamaño de grano																									
Máximo	10.75	µm																								
Mínimo	4.18	µm																								
Recubrimiento	Tipo																									
	(Cr3C2-CoNi)																									
Forma del grafito	nodular																									
Tamaño	5																									
Matriz	Ferrítica																									
Componentes:	Grafito esferoidal en matriz de ferrita.																									
Componentes microestructurales:	Porcentajes:																									
 <p style="text-align: center;">Imagen Magnificada a 100X</p>	 <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ferrita</td> <td>14,4</td> </tr> <tr> <td>cementita</td> <td>84,2</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	ferrita	14,4	cementita	84,2																		
S. Bitplane(s)	Field (%)																									
ferrita	14,4																									
cementita	84,2																									
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>																										
<p>En la micrografía analizada presenta los siguientes resultados: el porcentaje de Ferrita es del 14.4% con una matriz de Cementita del 84.2%, según la NORMA ASTM A247, el tamaño del grafito es de tipo 5 (6 – 12 mm).</p>																										

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

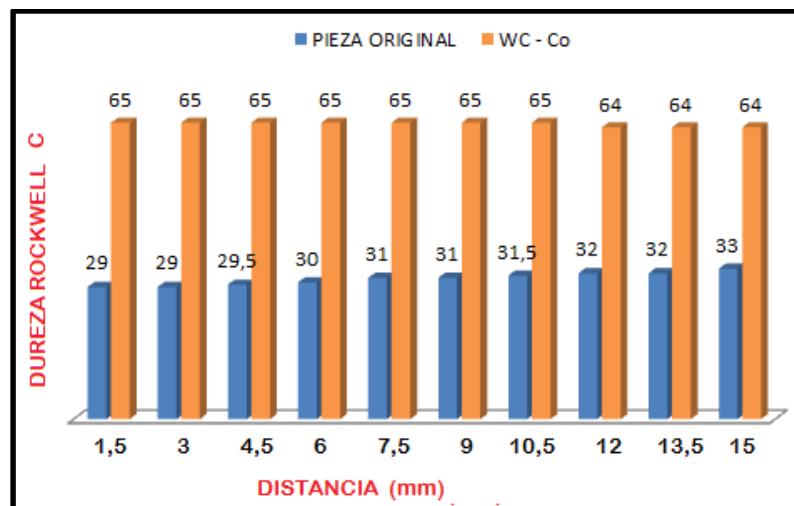
#### 4.4 Interpretación de resultados

Mediante los ensayos realizados de Dureza y Desgaste con los tres tipos de recubrimientos proyectados por HVOF y aplicando el procedimiento A de la Norma ASTM G65, se presentan los siguientes resultados:

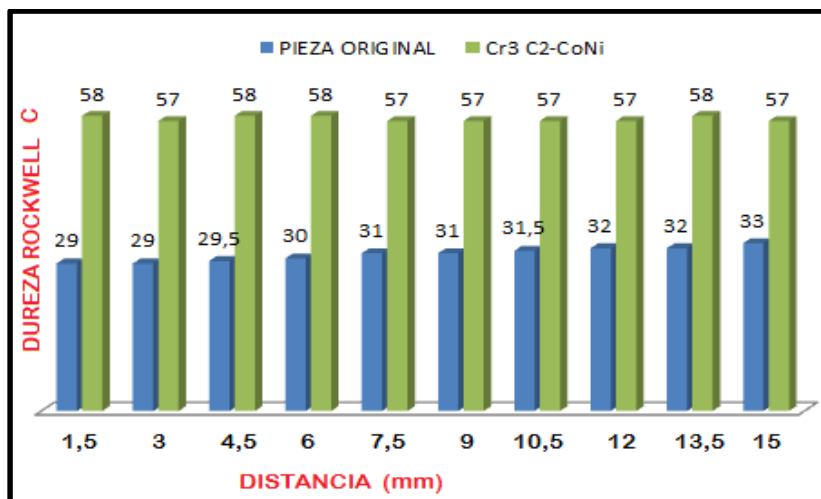
##### 4.4.1 Interpretación de los valores de dureza



**Figura 4.6** Comparación de dureza en pieza original vs recubrimiento inox martensítico  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**Figura 4.7** Comparación de dureza en pieza original vs recubrimiento (WC-Co)  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**Figura 4.8** Comparación de dureza en pieza original vs recubrimiento (Cr3 C2 – Co Ni)

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**Figura 4.9** Comparación de dureza en pieza original vs recubrimientos adheridos por proyección HVOF

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

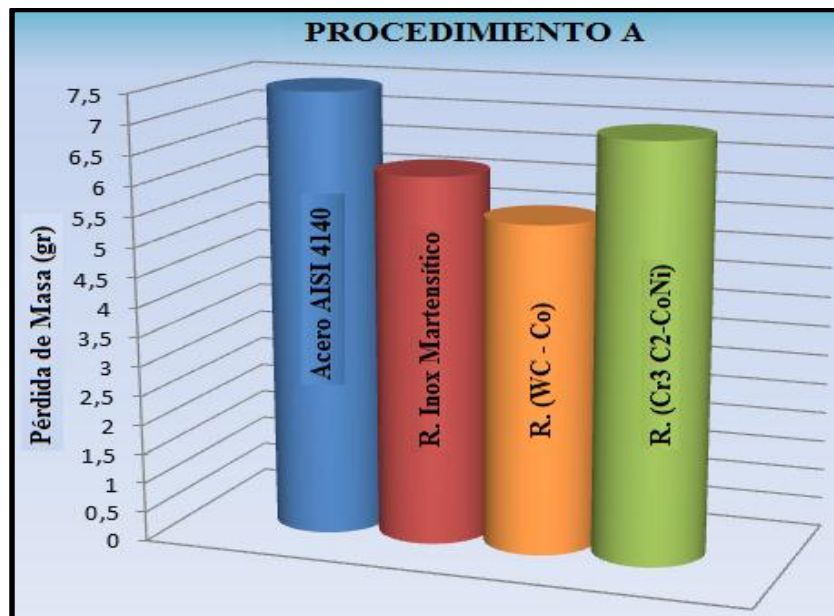
En las gráficas presentadas se puede observar una mejora de la dureza en todas las mezclas respecto a la pieza original.

La mejora está en un rango de 50 a 110 %, donde el incremento de dureza se debe al efecto de endurecimiento de la matriz metálica por el impacto de partículas

sólidas gracias a la proyección térmica de alta velocidad HVOF. En este caso el impacto de la fase que llega al sustrato sin fundir, crea tensiones sobre la fase metálica ya depositada, endureciéndola por deformación plástica. El recubrimiento que presentó mayor dureza es el Carburo de Tungsteno en Base de Cobalto (WC – Co) con una dureza promedio de 64,7 HRc.

#### 4.4.2 Interpretación de los valores de la pérdida de masa

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos por el Procedimiento A de la Norma ASTM G65 en cuanto a los valores de pérdida de masa de los distintos recubrimientos obtenidos por proyección térmica de alta velocidad HVOF, aplicados en el metal base.



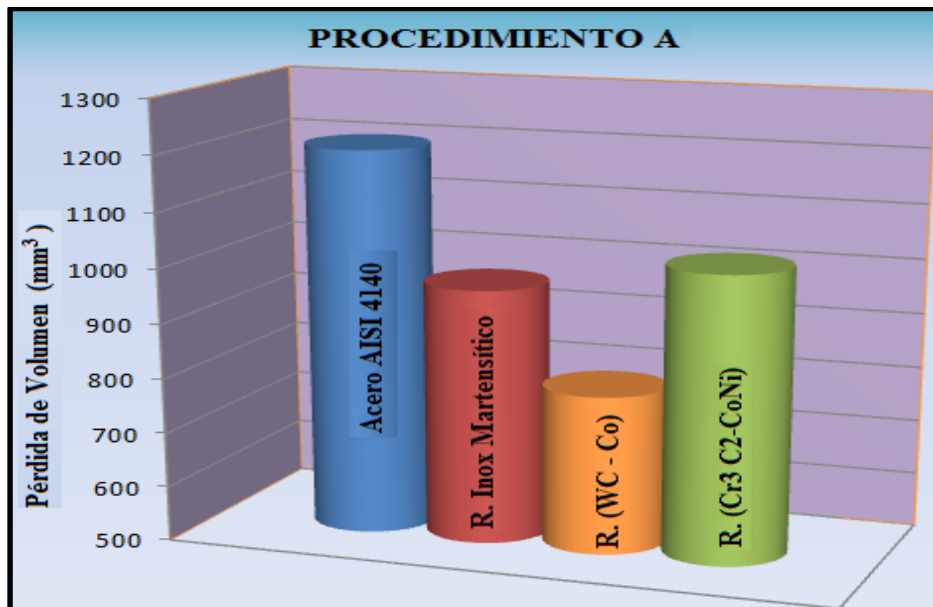
**Figura 4.10** Pérdida de masa  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

La figura anterior representa la pérdida de masa que se da en el metal base y de los 3 tipos de recubrimientos proyectados, dando como mejores resultados en pérdida de masa al recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto con valores promedio de pérdida de masa mínimos de 0.743 gramos y un valor promedio máximo de 5,186 gramos.

El desgaste se evaluó midiendo al principio del estudio su masa inicial en una balanza digital de tres dígitos de precisión y analizando su masa final al culminar el ensayo cada 5 minutos durante 30 minutos como exige la norma; por medio de esta diferencia establecemos la pérdida de masa a la que está expuesto el material.

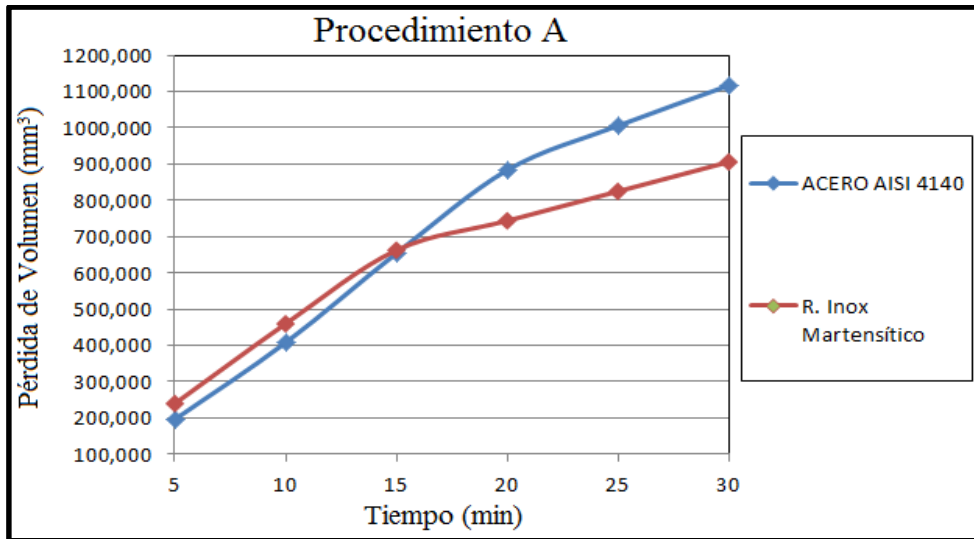
#### 4.4.3 Interpretación de los valores de la pérdida de volumen

Para el análisis de la pérdida de volumen se tomó en cuenta lo que dicta el procedimiento A de la Norma ASTM G65 respecto a la carga aplicada de 130N unas 30 Lb de peso aproximadamente y el número de revoluciones (200 rpm) que se encuentra sometida la muestra dando como resultados lo siguiente:



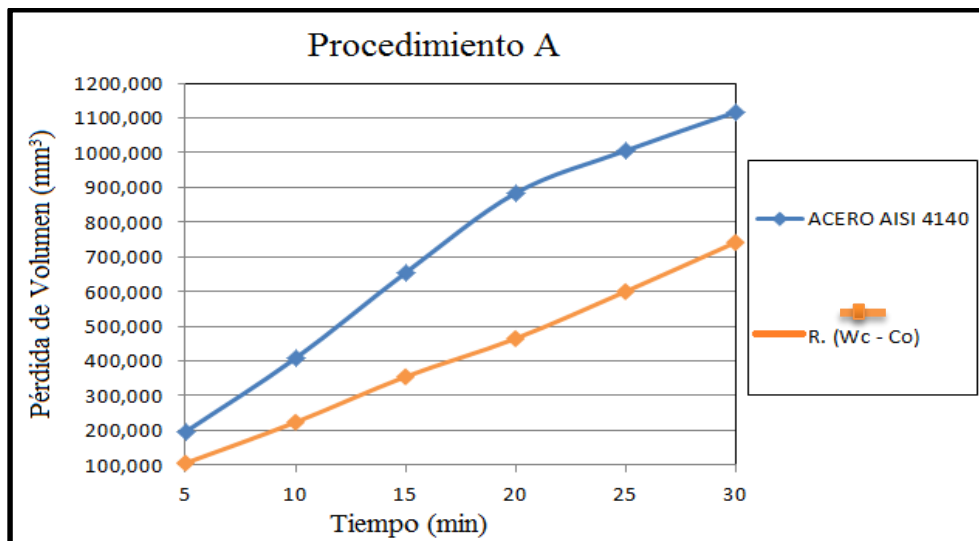
**Figura 4.11** Pérdida de volumen  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

En la gráfica anterior se observa el comportamiento de la pérdida del material base y de los diferentes tipos de recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad HVOF, se puede apreciar que la pérdida de volumen depende también de la dureza del material y el mejor recubrimiento que presentó menores pérdidas de volumen es el carburo de tungsteno (WC – Co), con una promedio mínimo de 106,145 mm<sup>3</sup> y un promedio máximo de 741,250 mm<sup>3</sup>.



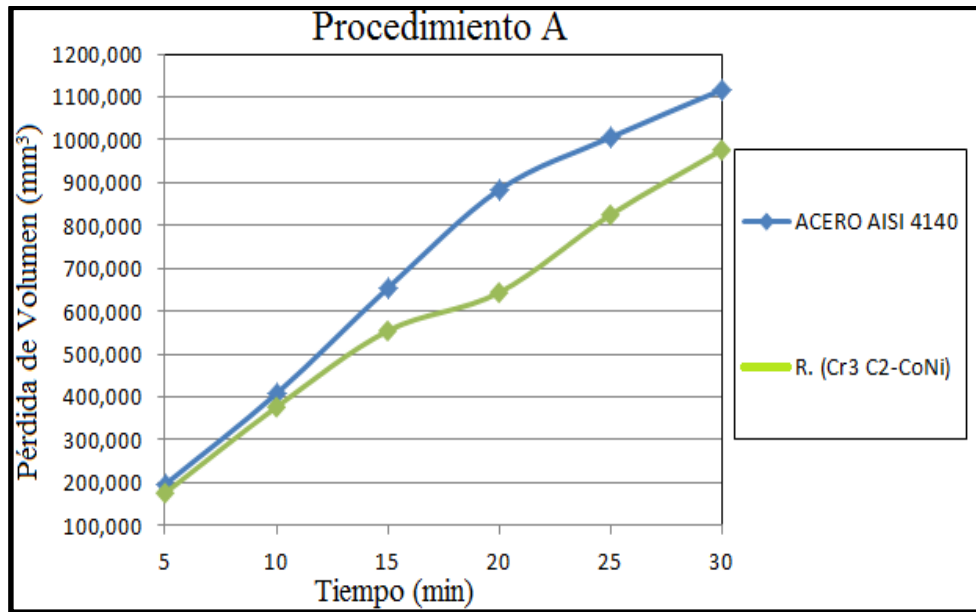
**Figura 4.12** Pérdida de volumen en el acero AISI 4140 vs R. inox martensítico  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

La gráfica anterior permite representar la pérdida de volumen del Acero AISI 4140 comparado con el recubrimiento Inox Martensítico proyectado por HVOF, mediante los ensayos realizados en la máquina de desgaste abrasivo mediante la Norma ASTM G65 Procedimiento A, demuestra claramente la mayor pérdida de volumen está en el metal base con  $1116,425 \text{ mm}^3$  mientras que el recubrimiento presenta menor pérdida de volumen con  $905,803 \text{ mm}^3$ .



**Figura 4.13** Pérdida de volumen en el acero AISI 4140 vs R. (WC – Co)  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

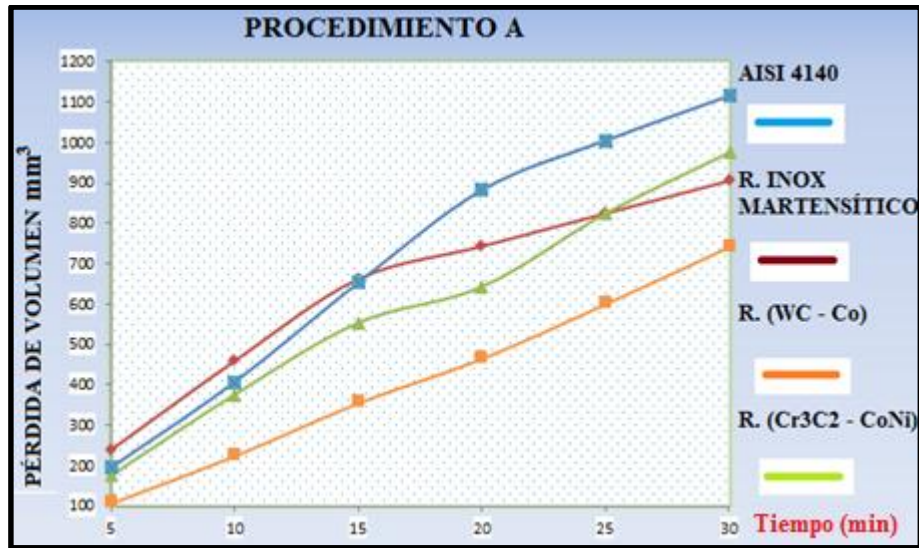
La gráfica anterior representa la pérdida de volumen del Acero AISI 4140 comparado con el recubrimiento de Carburo de tungsteno en base cobalto níquel (WC – Co), proyectado por HVOF, demuestra claramente la mayor pérdida de volumen está en el metal base con 1116,425 mm<sup>3</sup> mientras que el recubrimiento presenta menor pérdida de volumen con 741,250 mm<sup>3</sup>.



**Figura 4.14** Pérdida de volumen en el acero AISI 4140 vs R. (Cr3 C2-CoNi)  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

La gráfica anterior representa la pérdida de volumen del Acero AISI 4140 comparado con el recubrimiento de carburo de cromo en base cobalto y níquel (Cr3 C2 – Co Ni), proyectado por HVOF, demuestra claramente la mayor pérdida de volumen está en el metal base con 1116,425 mm<sup>3</sup> mientras que el recubrimiento presenta menor pérdida de volumen con 976,169 mm<sup>3</sup>.





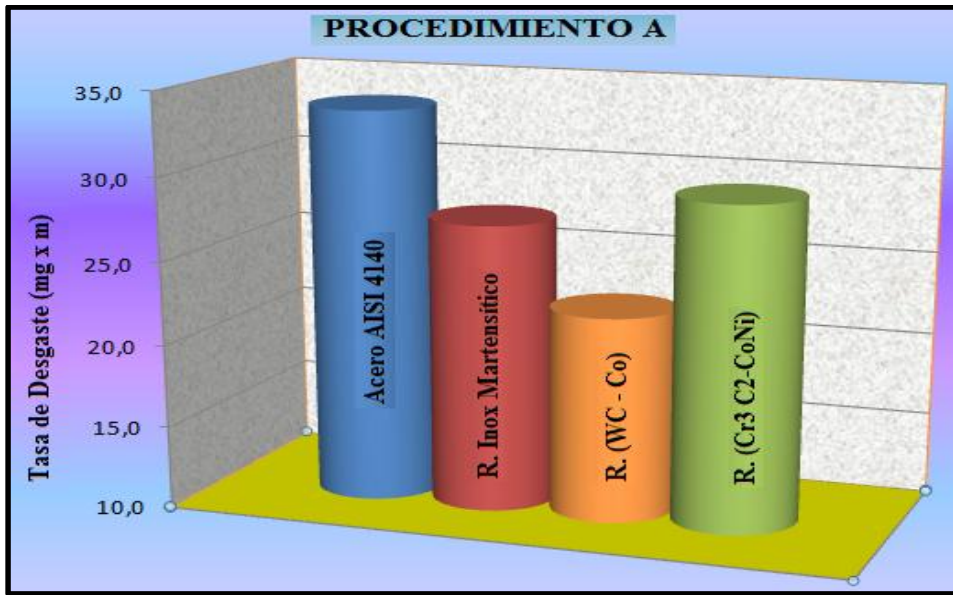
**Figura 4.15** Pérdida de volumen en acero AISI 4140 y recubrimientos  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Con los resultados anteriores se analiza que el Recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC –Co), es el que posee menor pérdida de volumen con un valor promedio mínimo de  $239,826 \text{ mm}^3$  y un valor promedio máximo de  $905,803 \text{ mm}^3$ , esto se da debido a la composición química del carburo con partículas de cobalto, es decir, debido a la incorporación de cerámicos con metales compuestos conocidos como Cermets que elevan la dureza del material proyectado al metal base y como elemento aleante le confiere propiedades excelentes para trabajos en abrasión.

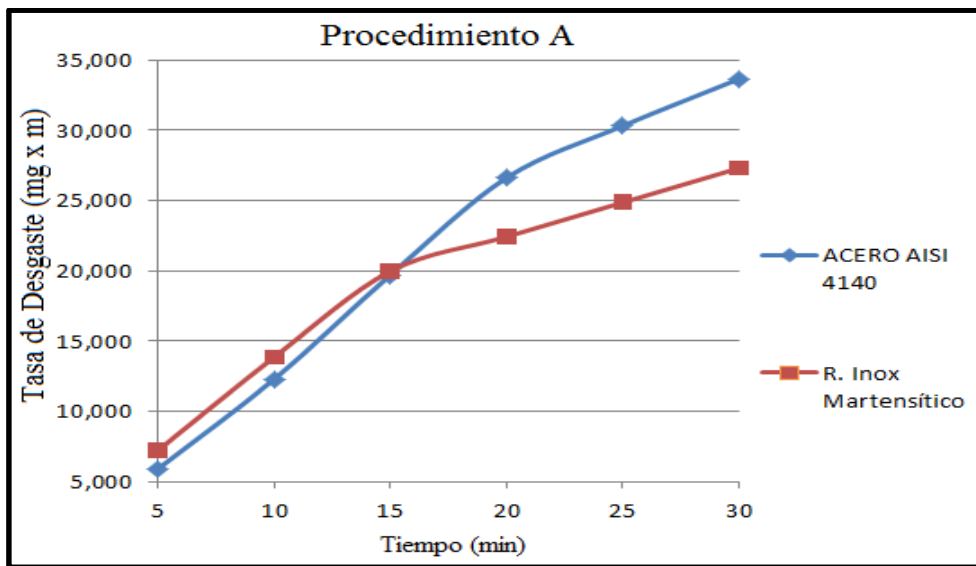
#### 4.4.4 Interpretación de los valores de la tasa de desgaste

En cuanto a los valores de la tasa de desgaste, cabe recalcar que depende del recorrido y deslizamiento que proporciona la rueda al contacto con la muestra, esto quiere decir que la tasa de desgaste es directamente proporcional al deslizamiento.

Los valores mínimos de tasa de desgaste presenta el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) con valor promedio mínimo de  $3,200 \text{ (mg x m)}$  y un valor promedio máximo de  $22,348 \text{ (mg x m)}$ .

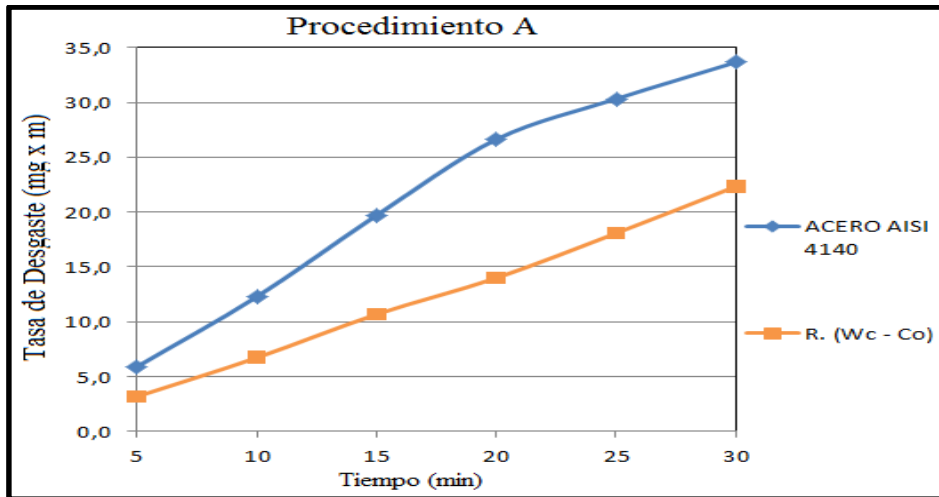


**Figura 4.16** Tasa de desgaste  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



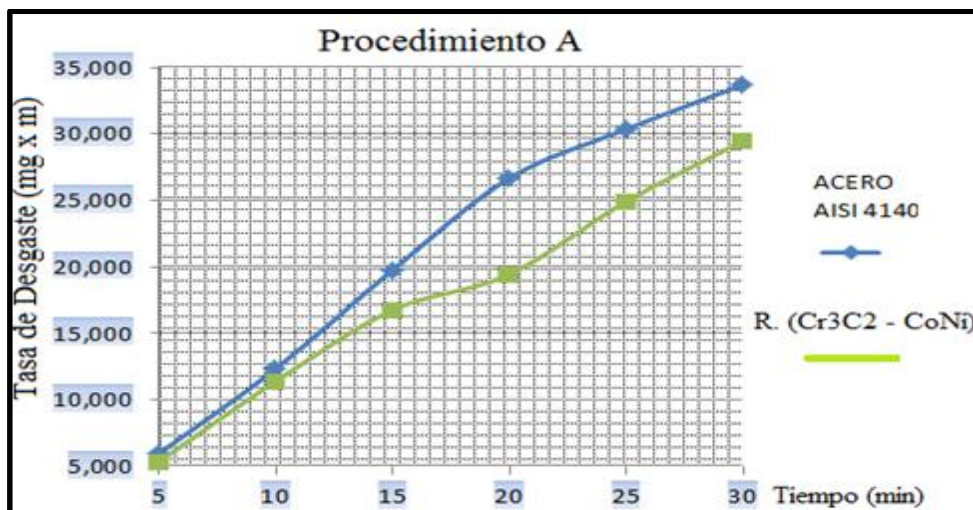
**Figura 4.17** Tasa de desgaste en el acero AISI 4140 vs R. Inox Martensítico  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

La gráfica anterior representa que para el acero AISI 4140 se obtiene una tasa de desgaste de 33,659 (mg x m) mientras que en el recubrimiento Inox Martensítico la tasa de desgaste es de 27,309 (mg x m).



**Figura 4.18** Tasa de desgaste en el acero AISI 4140 vs R. (WC – Co)  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

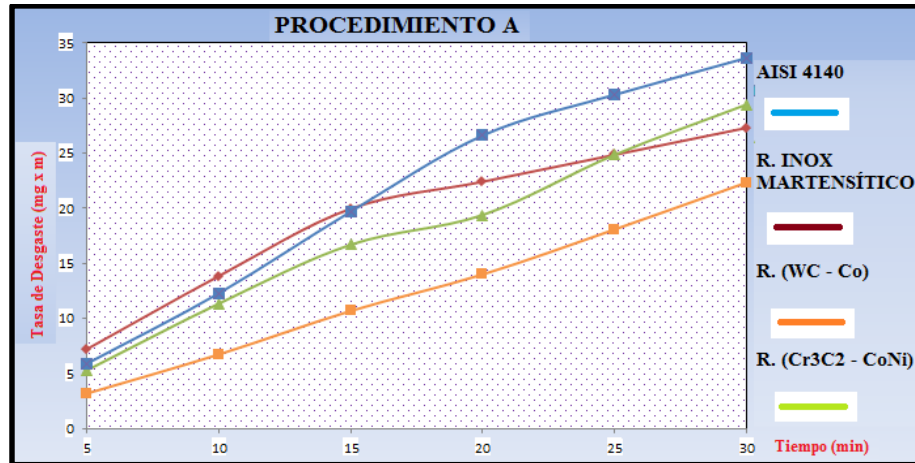
La gráfica anterior representa que para el acero AISI 4140 se obtiene una tasa de desgaste de 33,659 (mg x m) mientras que en el recubrimiento carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co), la tasa de desgaste se encuentra en 22,348 (mg x m).



**Figura 4.19** Tasa de desgaste en el acero AISI 4140 vs R. (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> – Co Ni)  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

La gráfica anterior representa que para el acero AISI 4140 se obtiene una tasa de desgaste de 33,659 (mg x m) mientras que en el recubrimiento carburo de cromo

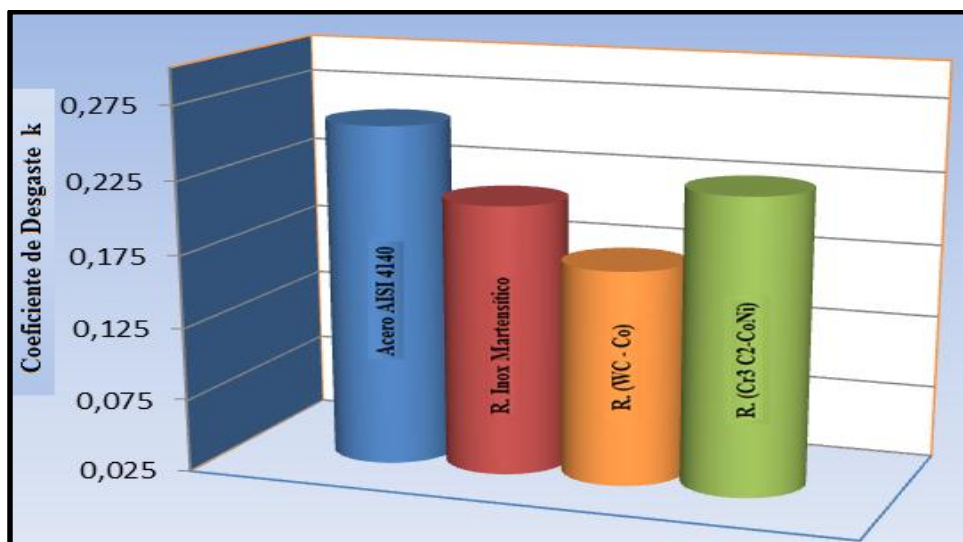
en base de cobalto y níquel (Cr3 C2 – Co Ni), la tasa de desgaste se encuentra en 29,430 (mg x m).



**Figura 4.20** Tasa de desgaste en acero AISI 4140 y recubrimientos  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Comparada la tasa de desgaste en los recubrimientos proyectados al metal base por HVOF, se resuelve que el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) presenta mejores resultados.

#### 4.4.5 Interpretación de los valores del coeficiente de desgaste



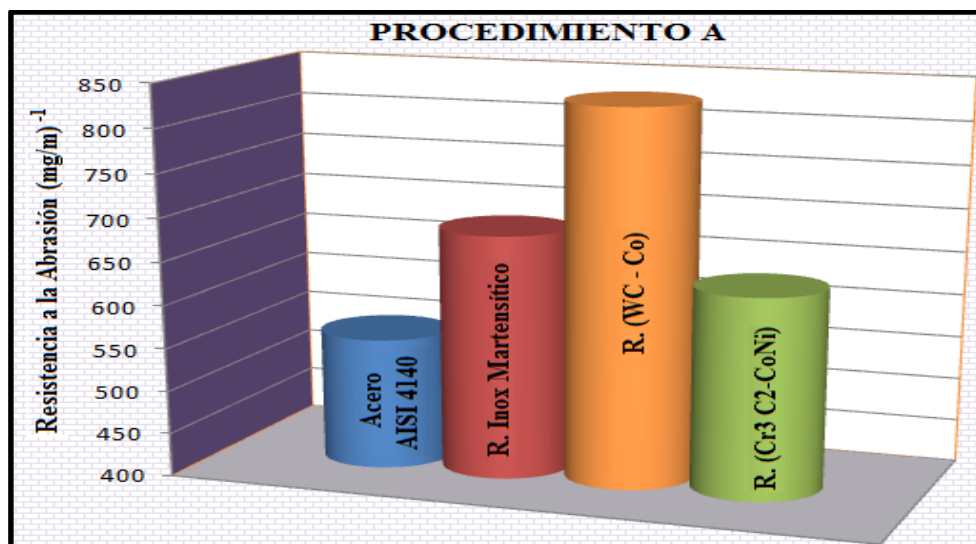
**Figura 4.21** Coeficiente de desgaste  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

La gráfica anterior representa los valores del coeficiente de desgaste en el acero AISI 4140 comparado con los tres tipos de recubrimientos proyectados por HVOF y demuestra que con mejores resultados en promedio se encuentra el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co), con promedio de 0,172.

#### 4.4.6 Interpretación de la resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste es la variable de mayor importancia en este estudio, ya que depende de la pérdida de masa, la pérdida de volumen y el deslizamiento lineal; en cuanto a los recubrimientos estudiados como en todas las variables el recubrimiento que proporcionó mayor resistencia al desgaste es el carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co), con valores de resistencia abrasiva de 831, 950  $(\text{mg/m})^{-1}$  comparada con los demás recubrimientos que también presentan mejores propiedades de resistencia al desgaste abrasivo agregados al sustrato.

La resistencia al desgaste abrasivo es directamente proporcional a la pérdida de masa respecto al deslizamiento lineal.



**Figura 4.22** Resistencia al desgaste abrasivo  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

De todas las variables estudiadas en cuanto a pérdida de masa, volumen, tasa de desgaste, coeficiente de desgaste y resistencia a la abrasión, el recubrimiento de mejores propiedades es el carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co), que depende de la composición química del recubrimiento y también del tratamiento térmico aplicado como es el proceso de HVOF, que posee una proyección sintetizada y uniforme haciendo que los carburos se adhieran con precisión al sustrato o metal base como es el acero AISI 4140 utilizado para la fabricación de asientos de válvulas API 600 utilizados en la industria petrolera, minera y para la conducción de flujos volumétricos de agua.

#### **4.5 Verificación de la hipótesis planteada**

##### **4.5.1 Ho Hipótesis nula:**

Los recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en los asientos de válvulas API-600 no permiten alcanzar mejores propiedades de dureza y desgaste.

##### **4.5.2 Ha Hipótesis alternativa:**

Los recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en los asientos de válvulas API-600 permiten alcanzar mejores propiedades de dureza y desgaste.

##### **4.5.3 Verificación**

La hipótesis se verificó realizando la Prueba “t” para observaciones pareadas en los grupos de datos de: Dureza del recubrimiento proyectado al sustrato, Pérdida de masa, Perdida de volumen, Tasa de desgaste, Coeficiente de desgaste y Resistencia a la abrasión.

Para la comprobación de la hipótesis se realizará un ensayo bilateral, hacia las dos colas, con un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  obteniendo el siguiente “t” tabulado:

$$PROBABILIDAD (P) = \frac{\alpha}{100} = \frac{5}{100} = 0.05$$

Como se analiza para las dos colas la probabilidad y se divide para 2 teniendo

$$P = \frac{0.05}{2} = 0.025$$

Los grados de libertad de acuerdo a la muestra son:

$$gl = n - 1 = 7 - 1 = 6$$

Con P y gl vamos a la tabla de "t" (ver anexo A9) y tenemos:

$$"t" \text{ tab}_{(6gl; 0.025)} = 2.447$$

Como se analiza a las dos colas

$$t_t = \pm 2.447$$

#### **4.5.4 Regla de decisión**

Se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ , es decir Los recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en los asientos de válvulas API-600 permite alcanzar mejores propiedades de dureza y desgaste, si el valor de t a calcularse se encuentra fuera del intervalo de  $- 2.447$  a  $2.447$ , caso contrario si el valor se encuentra dentro del intervalo se acepta la  $H_0$ , es decir Los recubrimientos depositados por proyección térmica de alta velocidad en los asientos de válvulas API-600 no permite alcanzar mejores propiedades de dureza y desgaste.

#### 4.5.1 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la dureza del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co

**Tabla 4.40** Verificación de la Hipótesis respecto a la Dureza del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co)

Nº	Dureza (HRc)		D = h <sub>A1</sub> - h <sub>A2</sub>	D <sup>2</sup>
	ANTES	DESPUES		
	HRc <sub>A1</sub>	HRc <sub>A2</sub>		
1	29	65	-36	1296
2	29,5	64	-35,5	1260,025
3	30	65	-35	1225
4	31	64	-33	1089
5	32	65	-32	1024
6	33	64	-31	961
<b>SUMA</b>	<b>184,5</b>	<b>387</b>	<b>-202.5</b>	<b>6855,025</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>30,75</b>	<b>64,5</b>	<b>-33,75</b>	

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Calculo de la varianza de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(6855,025) - \frac{(-202.5)^2}{6}}{6(6-1)} = 0,689$$

$$Sd = \sqrt{S^2d} = 0,829$$

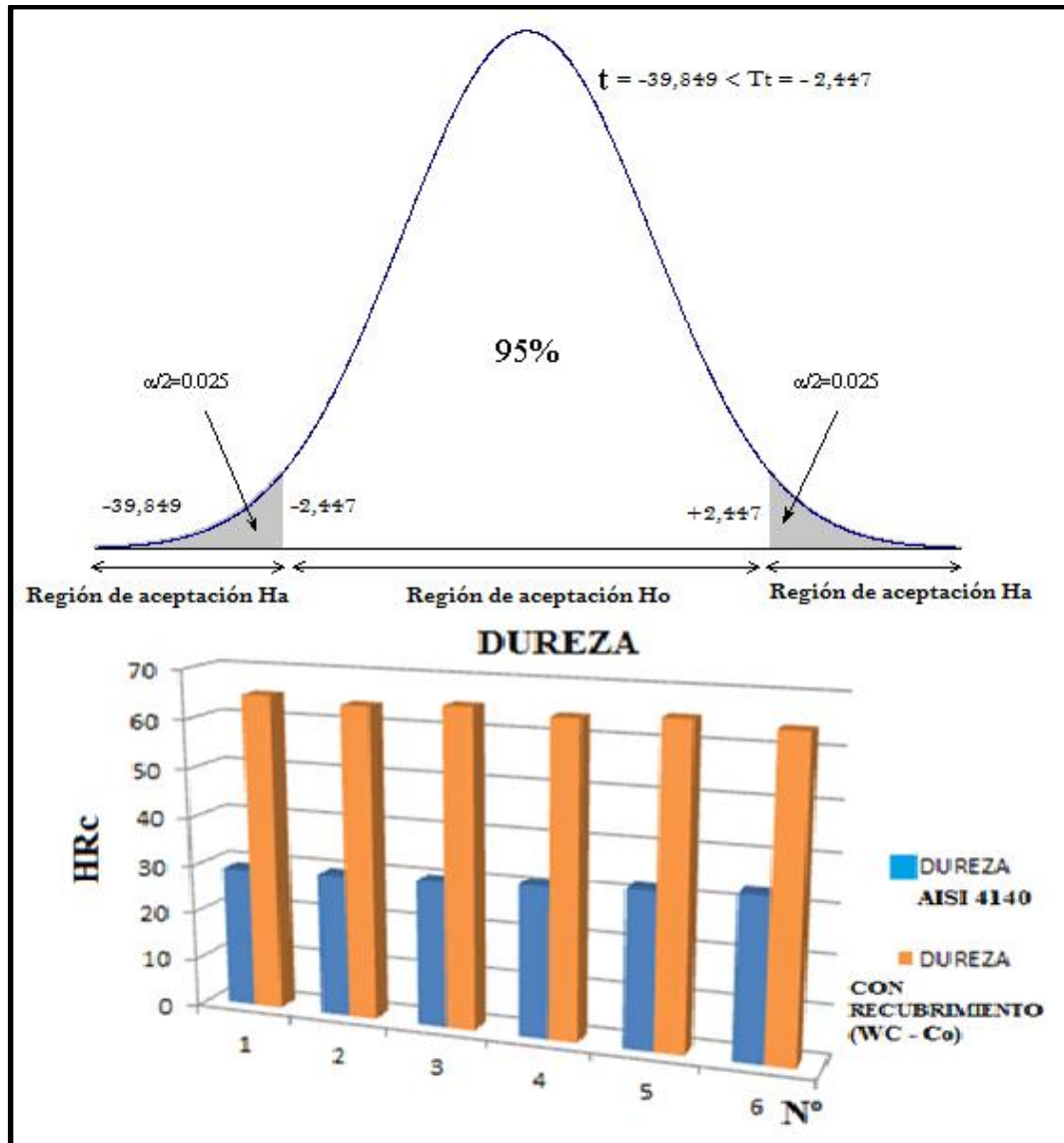
$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{-33,75}{0,829} = -39,849$$

$$t = -39,849 < t_t = -2.447$$



Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.447$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir el recubrimiento tiene mejores propiedades de dureza.

En la figura se presenta la relación de la dureza obtenida en el acero AISI 4140 con el recubrimiento de carburo de tungsteno y se puede observar la diferencia.



**Figura 4.23** Hipótesis dureza  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**4.5.2 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la pérdida de masa del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co**

**Tabla 4.41** Verificación de la Hipótesis respecto a la Pérdida de Masa del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co)

N°	Masa (gr)		D = h <sub>A1</sub> - h <sub>A2</sub>	D <sup>2</sup>
	ANTES	DESPUES		
	M <sub>A1</sub>	M <sub>A2</sub>		
1	1,373	0,743	0,63	0,397
2	2,853	1,565	1,288	1,659
3	4,575	2,482	2,093	4,381
4	6,179	3,25	2,929	8,579
5	7,036	4,198	2,838	8,054
6	7,811	5,186	2,625	6,891
<b>SUMA</b>	<b>29,827</b>	<b>17,424</b>	<b>12,403</b>	<b>29,960</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,971</b>	<b>2,904</b>	<b>2,067</b>	

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Calculo de la varianza de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(29,960) - \frac{(12,403)^2}{6}}{6(6-1)} = 0,144$$

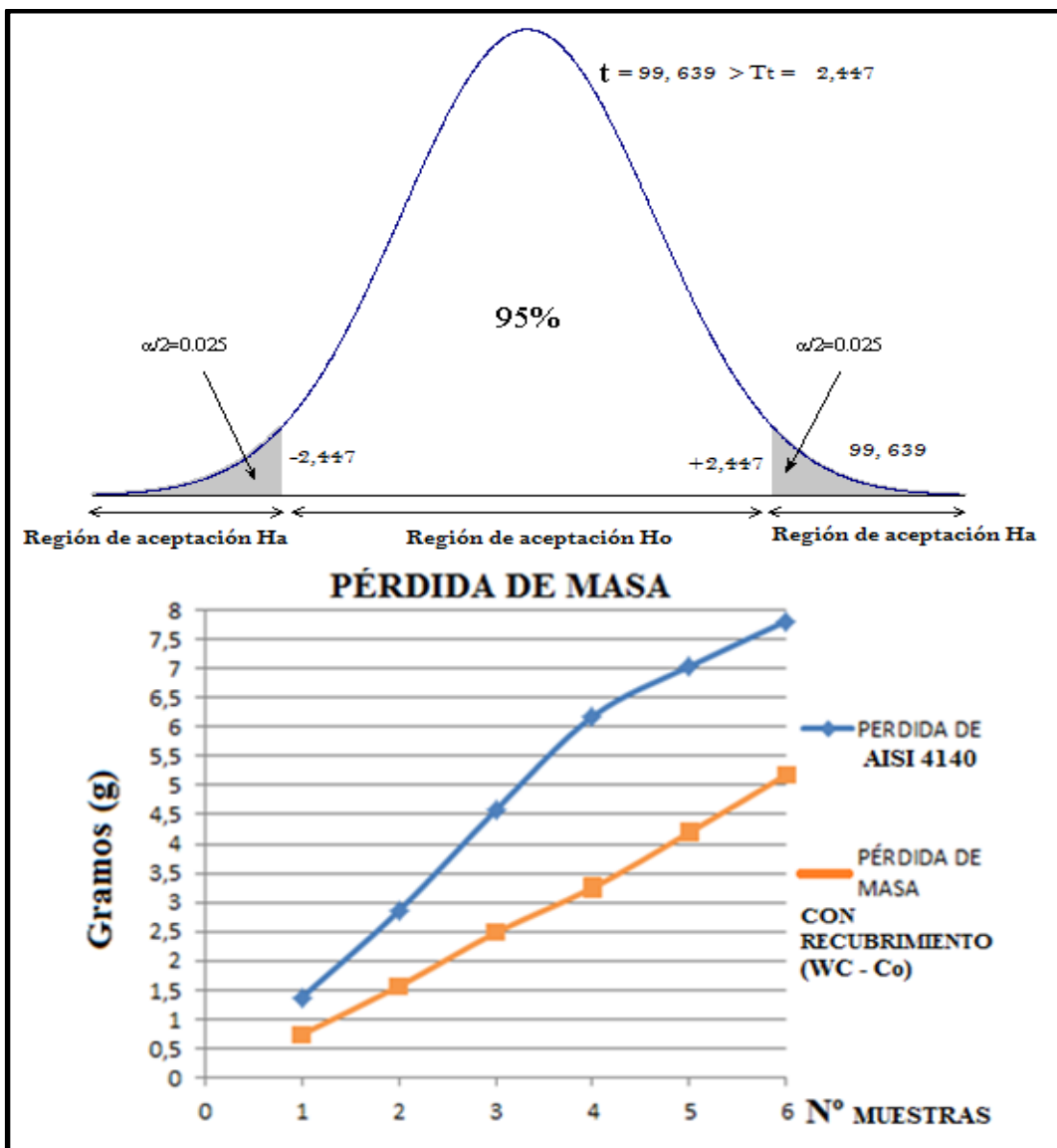
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 0,021$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{2,067}{0,021} = 99,639$$

$$t = 99,639 > t_t = 2.447$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.447$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir el recubrimiento tiene mejores propiedades de pérdida de masa.

En la figura se presenta la relación de la pérdida de masa obtenida en el acero AISI 4140 con el recubrimiento de carburo de tungsteno y se puede observar la diferencia.



**Figura 4.24** Hipótesis pérdida de masa  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

### 4.5.3 Verificación de la hipótesis respecto al efecto que tiene la pérdida de volumen del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co

**Tabla 4.42** Verificación de la Hipótesis respecto a la Pérdida de Volumen del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co)

Nº	Volumen (mm <sup>3</sup> )		D = h <sub>A1</sub> - h <sub>A2</sub>	D <sup>2</sup>
	ANTES	DESPUES		
	V <sub>A1</sub>	V <sub>A2</sub>		
1	196,234	106,145	90,089	8116,028
2	407,809	223,628	184,181	33922,641
3	653,805	354,784	299,021	89413,558
4	883,173	464,547	418,626	175247,728
5	1005,564	599,922	405,642	164545,432
6	1116,425	741,25	375,175	140756,281
<b>SUMA</b>	<b>4263,01</b>	<b>2490,276</b>	<b>1772,734</b>	<b>612001,668</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>710,502</b>	<b>415,046</b>	<b>295,456</b>	

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Calculo de la varianza de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(612001,668) - \frac{(1772,734)^2}{6}}{6(6-1)} = 2941,245$$

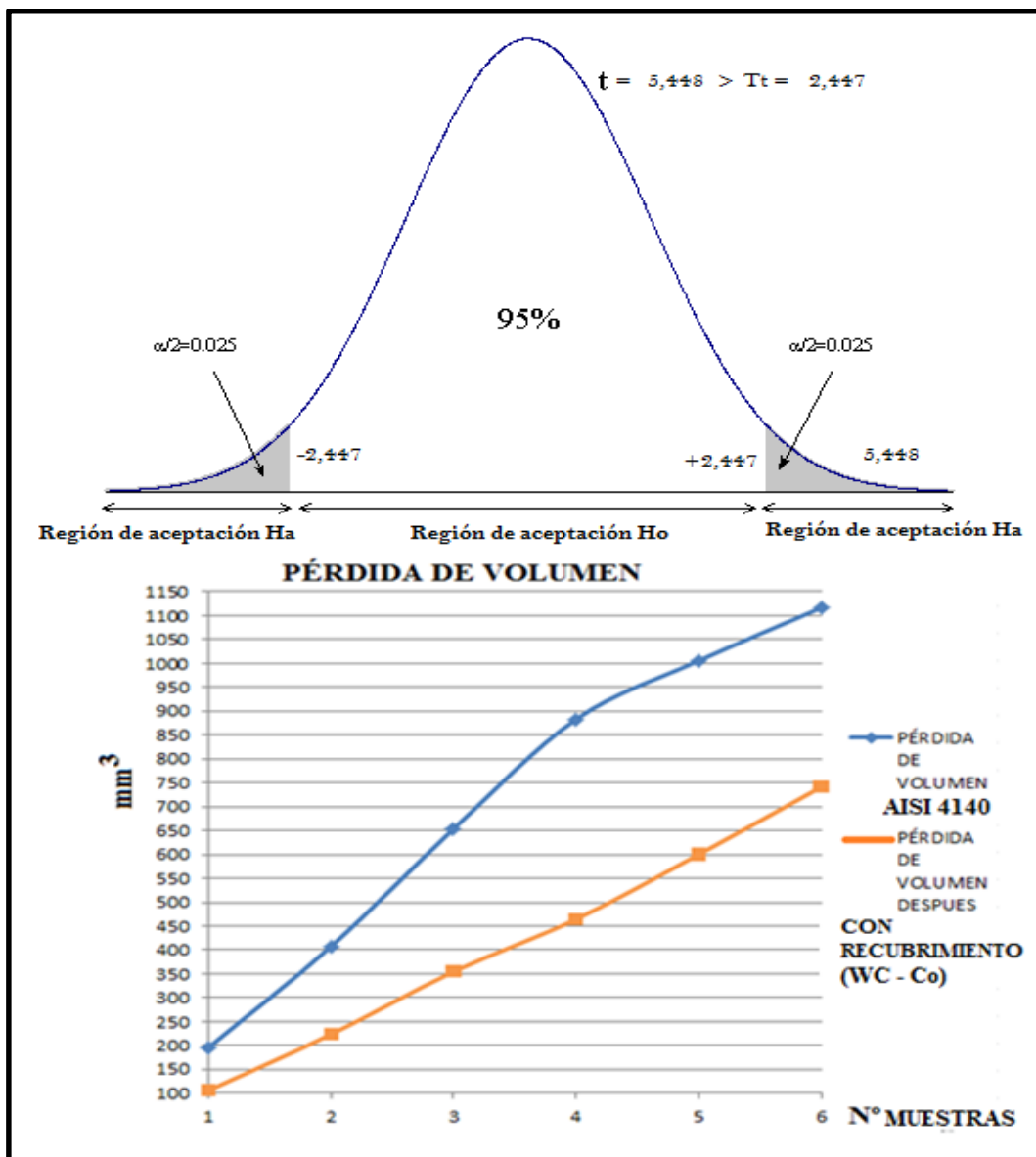
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 54,233$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{295,456}{54,233} = 5,448$$

$$t = 5,448 > t_t = 2.447$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.447$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir el recubrimiento tiene mejores propiedades de pérdida de volumen.

En la figura se presenta la relación de la pérdida de volumen obtenida en el acero AISI 4140 con el recubrimiento de carburo de tungsteno y se puede observar la diferencia.



**Figura 4.25** Hipótesis pérdida de volumen  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

#### 4.5.4 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la tasa de desgaste del sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co

**Tabla 4.43** Verificación de la Hipótesis respecto a la Tasa de desgaste del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co)

Nº	Tasa (mg x m)		D = h <sub>A1</sub> - h <sub>A2</sub>	D <sup>2</sup>
	ANTES	DESPUES		
	T <sub>A1</sub>	T <sub>A2</sub>		
1	5,916	3,2	2,716	7,377
2	12,295	6,742	5,553	30,836
3	19,712	10,696	9,016	81,288
4	26,627	14,006	12,621	159,290
5	30,317	18,087	12,23	149,573
6	33,659	22,438	11,221	125,911
<b>SUMA</b>	<b>128,526</b>	<b>75,169</b>	<b>53,357</b>	<b>554,274</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>21,421</b>	<b>12,528</b>	<b>8,893</b>	

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

Calculo de la varianza de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(554,274) - \frac{(53,357)^2}{6}}{6(6-1)} = 2,659$$

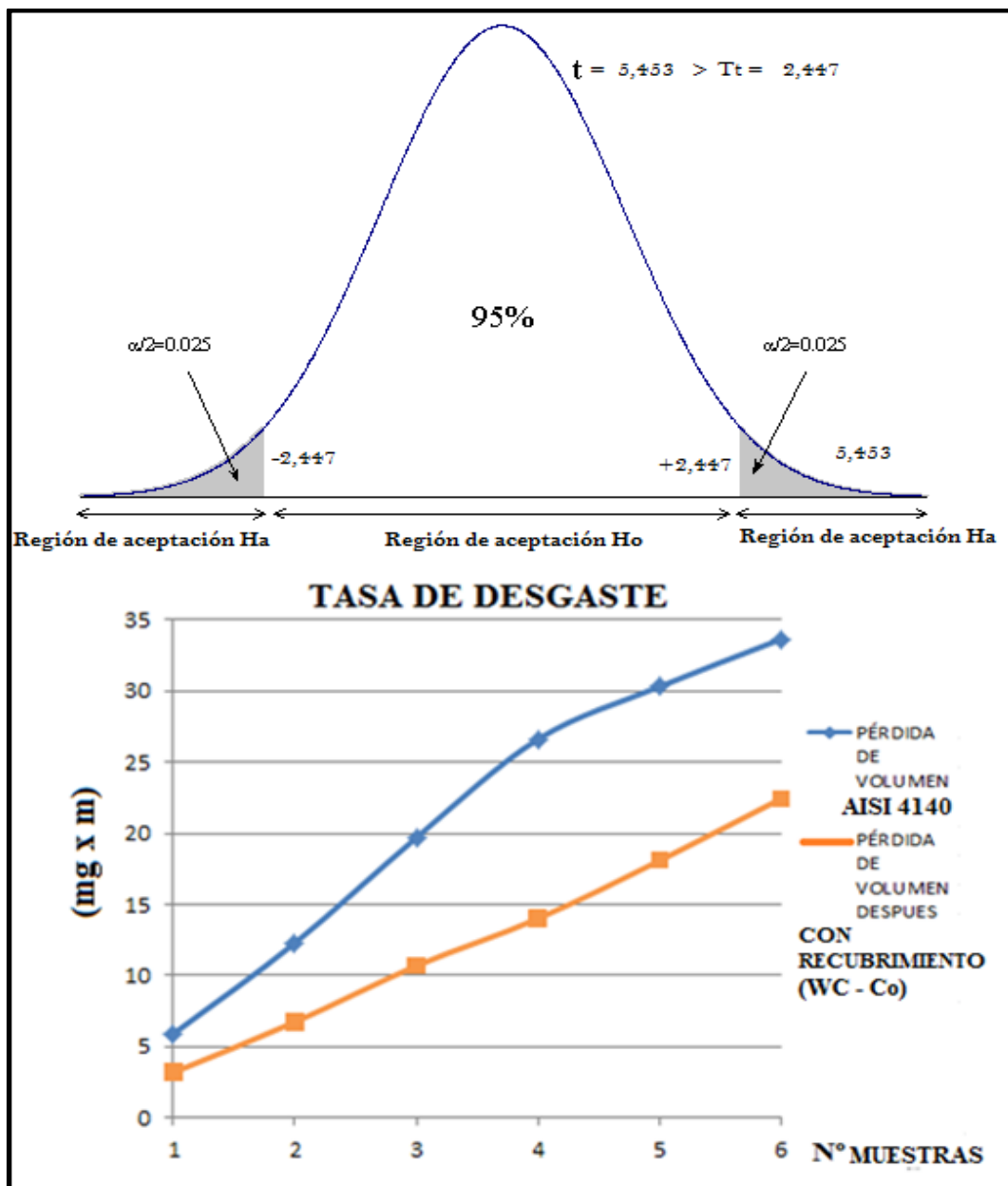
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 1,631$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{8,893}{1,631} = 5,453$$

$$t = 5,453 > t_t = 2.447$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.447$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir el recubrimiento tiene mejores propiedades de tasa de desgaste.

En la figura se presenta la relación de la tasa de desgaste obtenida en el acero AISI 4140 con el recubrimiento de carburo de tungsteno y se puede observar la diferencia.



**Figura 4.26** Hipótesis tasa de desgaste  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**4.5.5 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene el coeficiente de desgaste de sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co**

**Tabla 4.44** Verificación de la Hipótesis respecto al Coeficiente de desgaste del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co)

N°	Coeficiente (K)		D = h <sub>A1</sub> - h <sub>A2</sub>	D <sup>2</sup>
	ANTES	DESPUES		
	K <sub>A1</sub>	K <sub>A2</sub>		
1	0,046	0,025	0,021	0,0004
2	0,095	0,052	0,043	0,0018
3	0,152	0,082	0,07	0,0049
4	0,205	0,108	0,097	0,0094
5	0,233	0,139	0,094	0,0088
6	0,259	0,172	0,087	0,0076
<b>SUMA</b>	<b>0,99</b>	<b>0,578</b>	<b>0,412</b>	<b>0,033</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,165</b>	<b>0,096</b>	<b>0,069</b>	

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Calculo de la varianza de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(0,033) - \frac{(0,412)^2}{6}}{6(6-1)} = 1,569$$

$$Sd = \sqrt{S^2d} = 0,013$$

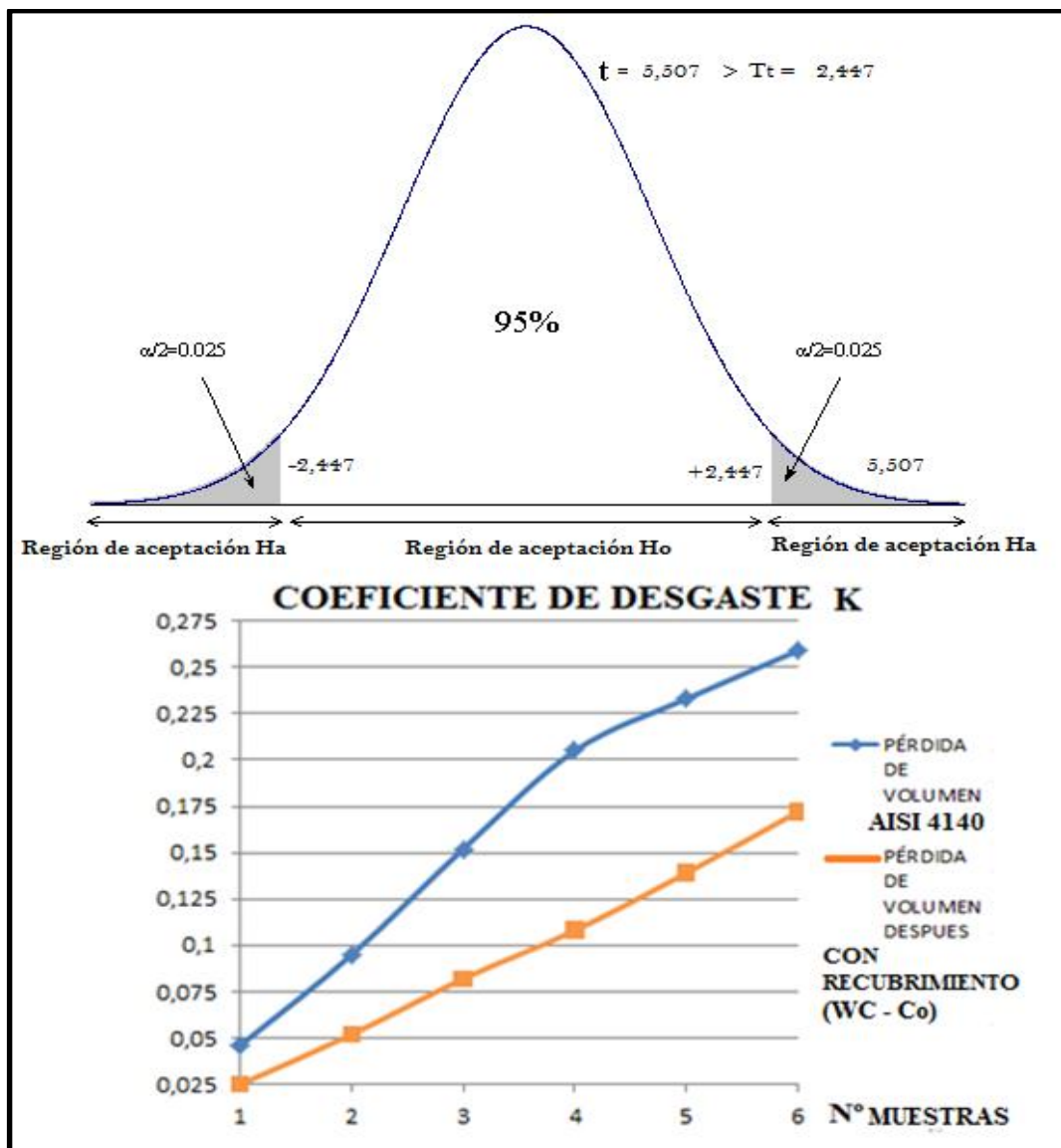
$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{0,069}{0,013} = 5,507$$



$$t = 5,507 > t_t = 2.447$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.447$ , por lo tanto se acepta la  $H_a$ , es decir el recubrimiento tiene mejores propiedades de coeficiente de desgaste.

En la figura se presenta la relación del coeficiente de desgaste obtenida en el acero AISI 4140 con el recubrimiento de carburo de tungsteno y se puede observar la diferencia.



**Figura 4.27** Hipótesis coeficiente de desgaste  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

#### 4.5.6 Verificación de la hipótesis con respecto a la resistencia al desgaste que tiene el sustrato con el recubrimiento de mejores propiedades WC - Co

**Tabla 4.45** Verificación de la Hipótesis respecto a la Resistencia al desgaste del Sustrato con el Recubrimiento de Mejores Propiedades (WC – Co)

N°	Resistencia (mg/m) <sup>-1</sup>		D = h <sub>A1</sub> - h <sub>A2</sub>	D <sup>2</sup>
	ANTES	DESPUES		
	R <sub>A1</sub>	R <sub>A2</sub>		
1	512,123	780,192	-268,069	71860,98876
2	535,213	810,267	-275,054	75654,70292
3	557,078	824,216	-267,138	71362,71104
4	565,56	854,452	-288,892	83458,58766
5	568,47	859,394	-290,924	84636,77378
6	576,918	863,181	-286,263	81946,50517
<b>SUMA</b>	<b>3315,362</b>	<b>4991,702</b>	<b>-1676,34</b>	<b>468920,269</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>552,56033</b>	<b>831,95033</b>	<b>-279,39</b>	

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Calculo de la varianza de las diferencias

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(468920,269) - \frac{(-1676,390)^2}{6}}{6(6-1)} = 17,989$$

$$Sd = \sqrt{S^2d} = 4.241$$

$$t = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{-279,390}{4,241} = -65,871$$

$$t = -65,871 < t_t = -2.447$$

Se encuentra fuera del intervalo  $\pm 2.447$ , por lo tanto se acepta la H<sub>a</sub>, es decir el recubrimiento tiene mejores propiedades de resistencia al desgaste.

En la figura se presenta la relación de la resistencia al desgaste obtenida en el acero AISI 4140 con el recubrimiento de carburo de tungsteno y se puede observar la diferencia.

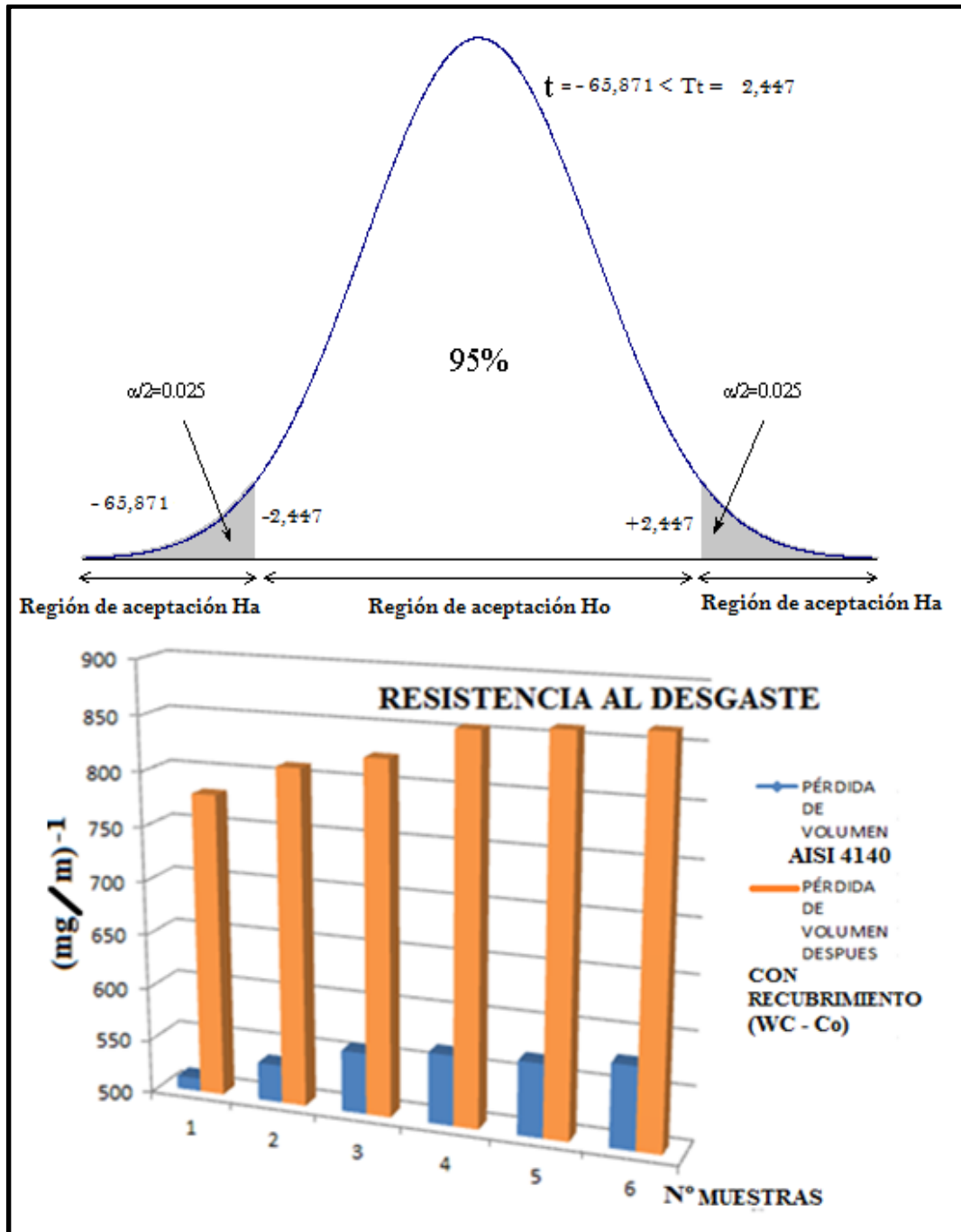


Figura 4.28 Hipótesis resistencia al desgaste  
Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 4.46** Verificación de la Hipótesis respecto a las variables analizadas

<b>Hipótesis</b>	<b>“T” tablas</b>	<b>“T” calculado</b>	<b>Ho</b>	<b>Ha</b>
<b>Dureza</b>	$\pm 2,447$	-39,894		si
<b>Pérdida de masa (m)</b>	$\pm 2,447$	99,693		si
<b>Pérdida de volumen (V)</b>	$\pm 2,447$	5,448		si
<b>Tasa de desgaste (Q)</b>	$\pm 2,447$	5,453		si
<b>Coefficiente de desgaste (k)</b>	$\pm 2,447$	5,507		si
<b>Resistencia a la abrasión (Ra)</b>	$\pm 2,447$	-65,871		si

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Los resultados obtenidos en la comprobación de la hipótesis para cada variable analizada demuestran claramente que el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) depositado por proyección térmica de alta velocidad HVOF en asientos de válvulas API-600, permitieron alcanzar mejores propiedades de dureza y desgaste por lo tanto se puede decir que la Hipótesis fue comprobada.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Las conclusiones y recomendaciones dentro de este estudio de investigación son planteadas mediante los resultados experimentales realizados bajo las exigencias de la Norma ASTM G65-04 Procedimiento A, también de los datos teóricos realizados por autores que dedicaron parte de su vida al análisis de recubrimientos expuestos al desgaste por abrasión.

De los análisis experimentados se puede concluir lo siguiente:

- La composición química del asiento de válvula API-600, se determinó por Espectrometría de Fluorescencia de Rayos demostrada en la tabla 4.1, lo cual permitió establecer los parámetros posteriores de análisis, dando como resultados la composición de un acero AISI 4140.
- La distancia de trabajo de proyección térmica de alta velocidad HVOF, está entre los 150 a 200 milímetros, a distancias mayores a los 200 mm las partículas proyectadas pierden velocidad y se enfrían a lo largo del recorrido de proyección, a distancias menores a los 100 mm puede ocurrir sobrecalentamiento y las partículas proyectadas no cumplirán su función de adherencia al sustrato.
- El efecto del proceso de proyección térmica de alta velocidad HVOF, con los resultados obtenidos en la prueba de desgaste, se obtuvieron un incremento significativo de la resistencia al desgaste por abrasión debido a las partículas sólidas que se adhieren al sustrato.

- El espesor de recubrimiento adherido al sustrato proyectados por HVOF, en promedio se encuentra alrededor de 2 milímetros y son muy similares a los asientos de válvulas API recuperados.
- En todos los recubrimientos aplicados al sustrato por proyección térmica de alta velocidad HVOF, aumentó la resistencia a la pérdida de masa, volumen, tasa de desgaste y coeficiente de desgaste, siendo el carburo de tungsteno en base de cobalto (WC –Co) el que presenta mejores propiedades de resistencia al desgaste abrasivo.
- La dureza del recubrimiento es un parámetro concluyente al evaluar la resistencia al desgaste de recubrimientos obtenidos por proyección térmica de alta velocidad HVOF.
- Se encontraron alternativas al cambio de piezas mecánicas que fallan por desgaste abrasivo, en este caso, los asientos de válvulas API-600, los cuales son cambiados por otros nuevos cada 600 h. Estas piezas se pueden reparar usando recubrimientos cerámico-metálicos usando la proyección térmica de alta velocidad HVOF, logrando similares o mejores prestaciones en servicio.
- Los recubrimientos cerámico-metálicos aplicados por el proceso de proyección térmica de alta velocidad, ofrecen una buena alternativa para recuperar partes sometidas a desgaste abrasivo.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un procedimiento apropiado para la recuperación de asientos de válvulas API-600 mediante la aplicación del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co), mediante un informe que contenga el ensayo de desgaste abrasivo aplicando el procedimiento A de la norma ASTM G-65.

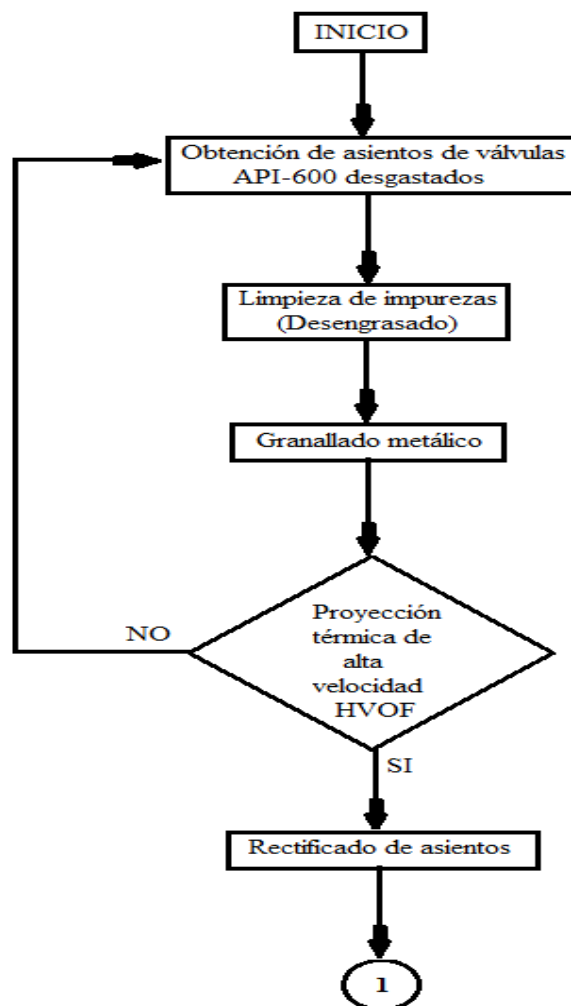
- Es fundamental saber la composición química del material de estudio ya que de eso depende el tipo de procedimiento y tratamiento térmico para los posteriores análisis.
- Se debe tener en cuenta que la variación de espesores analizados por ultrasonido, permiten analizar la profundidad de los recubrimientos adheridos al sustrato en un rango de 0 a 5 mm de espesor ya que para espesores de mayores dimensiones se debe analizar las especificaciones del equipo.
- Para aceros con recubrimientos duros como él (WC – Co), es necesario seguir los pasos que dicta la norma ASTM G65-04 mediante el Procedimiento A, la cual permite garantizar los parámetros de desgaste abrasivo con variables confiables y así obtener resultados satisfactorios.
- Al realizar los ensayos de desgaste se recomienda estar al pendiente de la máquina con el fin de que no ocurra percances hasta terminar el procedimiento.
- El tipo de arena para el procedimiento A es NFS 50/70 y no se debe superar el límite de tamaño de grano ya que puede ocurrir obstrucción en la boquilla de salida del flujo que debe ser laminar y constante.
- Una vez concluida cada ensayo de 5 minutos es necesario dejar que la rueda de caucho se enfrié hasta temperatura ambiente con el fin de evitar el sobrecalentamiento de la rueda y del material de análisis.
- Se debe tomar las mediciones de pérdida de masa en una balanza digital con precisión de 0,001 gramos ya que los recubrimientos y metales duros no poseen mayores pérdidas de masa

## CAPITULO VI

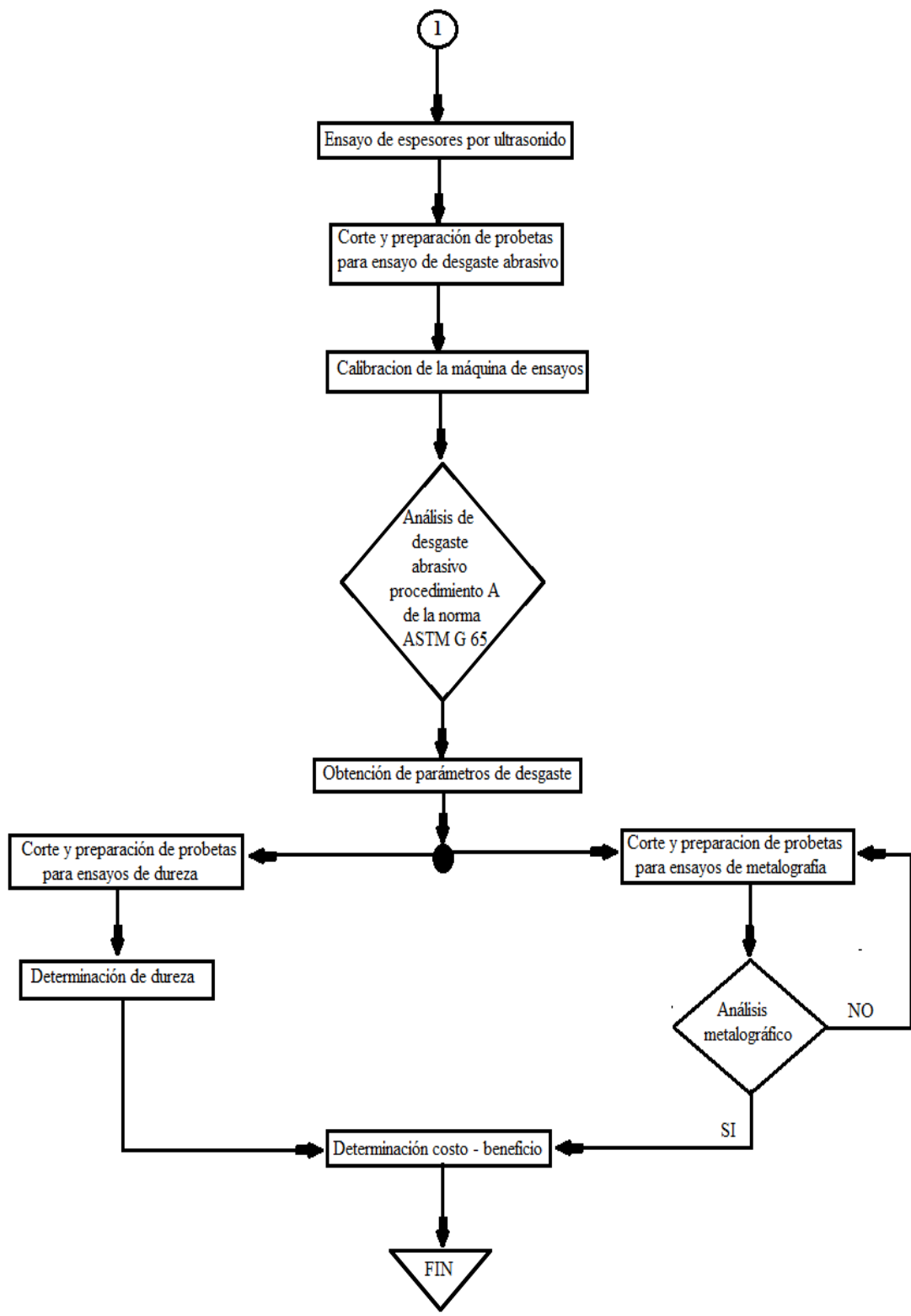
### 6. PROPUESTA

#### PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G65-04 (PROCEDIMIENTO A)

##### 6.1 Diagrama de flujo para el desarrollo de la propuesta







## 6.2 Información y análisis de datos

Una vez realizado el estudio de recubrimientos proyectados térmicamente por HVOF en los asientos de válvulas API-600, evaluando las condiciones de dureza y desgaste para el Inox Martensítico, carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) y carburo de cromo en base cobalto níquel (Cr<sub>3</sub> C<sub>2</sub> – Co Ni), por los procedimientos que dictan la norma ASTM 18-03 para ensayo de Dureza Rockwell C y la norma ASTM G65-04 procedimiento A que es una prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen a la abrasión extrema, es particularmente útil en la clasificación de los materiales de media resistencia a la abrasión extrema.

Se determinó que el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co), tiene mejores propiedades ya que posee elevada dureza y menor pérdida de volumen y mayor resistencia a la abrasión que fueron variables fundamentales para el análisis y la elaboración de este procedimiento

La proyección térmica de alta velocidad HVOF, el análisis de la dureza y el estudio del desgaste abrasivo son parámetros fundamentales que constituyen un aporte importante dentro del área de Ingeniería de Materiales, con esto se logra evaluar los factores que intervienen en la recuperación de piezas mecánicas desechadas por desgaste abrasivo.

Los ensayos de dureza, espesor por ultrasonido, metalografía y desgaste abrasivo se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Ingeniería Civil y Mecánica, posteriormente el pesaje de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Física-Química de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua.

Entre los equipos necesarios que dispone el Laboratorio de Ingeniería de Materiales para realizar los ensayos se puede mencionar:

- Medidor de espesores para ultrasonido en recubrimientos marca Digital Meter.

- Banco de lijas y microscopio para ensayos metalográficos.
- Durómetro para ensayos de dureza y
- Máquina de ensayo para desgaste abrasivo (G-65).

Dentro del laboratorio de Física-Química de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos, se encuentra la balanza analítica de precisión de 0,0001 gramos indispensable para el pesaje de las muestras.

### **6.2.1 Antecedentes de la propuesta**

El desgaste de los materiales ha sido un fenómeno que se ha evidenciado por siempre a nivel mundial, por lo que se ha buscado combatirlo y prevenirlo de muchas maneras, una de las formas de evitar que se presente es la determinación de las características mecánicas del material (resistencia al desgaste, resistencia mecánica, resistencia a la fricción, etc.) y su comportamiento en el momento en que entra en contacto con otro, esto debido a que no solo basta con que un material cumpla con los requerimientos de resistencia, sino que pueda cumplir con su función durante un período de tiempo razonable.

La necesidad de las industrias por recuperar partes y piezas de máquinas y equipos sometidos a desgaste abrasivo y con el advenimiento de los procesos de soldadura, se intentó restaurar las superficies desgastadas de las piezas de acero, algunas veces con éxito y otras infructuosamente, situación que obligó a experimentar con metales y aleaciones cerámico-metálicos que producían recubrimientos duros y distintos procesos de proyección térmica que facilitan la adherencia de estas aleaciones dando soluciones factibles, ágiles y económicas.

Existen pocas investigaciones anteriores acerca del desgaste abrasivo en recubrimientos cerámico-metálicos comúnmente conocidos como Cermets

proyectados térmicamente por HVOF, razón por la cual es muy difícil encontrar ensayos específicos para estudios como la presente investigación.

La norma ASTM G65-04 con el Procedimiento A, establece parámetros recomendados para realizar ensayos de materiales y recubrimientos duros sometidos a desgaste abrasivo, mientras que la normas ASTM 18-03, establece los ensayos de dureza en escala Rockwell para determinar cuan duro es el material que va a ser analizado.

**a) Procedimiento A de la Norma ASTM G65-04:**

Se basa en una Prueba relativamente severa que clasificará los materiales metálicos en una escala de pérdida de volumen mayor de extrema resistencia a la abrasión. (Anexo A3 Pág. 1)

La Fuerza que se aplica en este procedimiento es de 130 N (30 lb) y las revoluciones de la rueda de goma no deben sobrepasar las 6000 durante el ensayo aplicado a cada muestra; se recomienda realizar cada 5 minutos el pesaje de cada muestra en una balanza cuya precisión bordee los 0,001 gramos durante 30 minutos que dura el procedimiento.

El tamaño de la arena de cuarzo como material abrasivo para este procedimiento debe ser de tipo AFS 50/70 y bordea los (300 a 212)  $\mu\text{m}$ . El flujo de partículas sobre la superficie de desgaste debe estar entre (300 a 400) g/min.

La dureza del caucho debe encontrarse en un valor de 60 Shore A, con una tolerancia de  $\pm 2$ . Esta dureza es de gran importancia ya que el recubrimiento de caucho tiene la función de forzar la arena contra el metal de tal modo que las partículas no se desintegren ni se destrocen.

**Tabla 6.1** Parámetros de Desgaste Abrasivo Procedimiento A

<b>PROCEDIMIENTO</b>		<b>FUERZA APLICADA</b>	<b>NÚMERO DE REVOLUCIONES</b>		<b>ABRASIÓN LINEAL</b>	
A		130 N (30Lb)	6000		4309 m	
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>						
<b>Condiciones de Prueba</b>	<b>Número de Muestras</b>	<b>Volumen mm<sup>3</sup></b>	<b>Desviación Estándar mm<sup>3</sup></b>	<b>Coefficiente de Variación %</b>	<b>Coefficiente de variación Total %</b>	<b>Desviación Estándar Total mm<sup>3</sup></b>
WC-14 %C0 0,0010	4	2,18	0,42	6,4	20.4	0,44

**Fuente:** Norma ASTM G-65. 2007 Pág. 11

### **6.2.2 Justificación**

La evaluación de la dureza en escala Rockwell C por la norma ASTM 18-03 y el desgaste abrasivo por el procedimiento A de la norma ASTM G65-04 para materiales con recubrimientos duros proyectados térmicamente por HVOF adheridos al sustrato, permiten determinar la dureza y la resistencia de los materiales sometidos a la abrasión, lo cual es muy indispensable tomar en cuenta en la selección del mejor recubrimiento con las mejores propiedades que permitan la recuperación de asientos de válvulas API-600 de los tres recubrimientos analizados por este método.

Razón por la cual el estudio de la dureza y desgaste abrasivo ayudará a disponer de una guía para realizar correctamente los ensayos mediante el procedimiento más adecuado y de ésta manera contribuir que los estudiantes de Ingeniería Mecánica realicen ensayos y análisis posteriores con otros materiales ya sean estos pares tribológicos del mismo material o de diferentes materiales duros.

## **6.3 Objetivos**

### **6.3.1 Objetivo general**

“REALIZAR UN PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G65-04 (PROCEDIMIENTO A)”

### **6.3.2 Objetivos específicos**

- Describir el proceso de recuperación de asientos de válvulas API-600.
- Determinar el procedimiento de verificación e interpretación de ensayos de medición de espesores, desgaste, dureza y metalografía.
- Realizar un análisis costo - beneficio de la recuperación de asientos de válvulas API-600.

## **6.4 Análisis de factibilidad**

El presente proyecto de investigación es factible debido a que los materiales analizados 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 G65-04 bajo el Procedimiento A.

El Laboratorio de Ingeniería de Materiales se encuentra en condiciones adecuadas de funcionamiento y cuenta con los equipos necesarios para realizar el análisis metalográfico, de dureza, medición de espesores, y desgaste abrasivo, por esta razón el presente estudio es factible.

#### **6.4.1 Análisis económico**

Con el fin de brindar información completa sobre la evaluación del desgaste abrasivo del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto adherido al sustrato, se realizó el análisis económico del estudio, para dar a conocer los costos que están relacionados directamente con el desarrollo del proyecto de investigación como son:

- Costos de adquisición de asientos de válvulas API-600
- Costo de limpieza y desengrasado
- Costo de granallado
- Costo de Proyección HVOF
- Costo de rectificado
- Análisis costo-beneficio

#### **6.4.2 Análisis tecnológico**

Para la realización del procedimiento recuperación de asientos de válvulas API-600 y de evaluación del desgaste abrasivo del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto, adherido al sustrato bajo Norma ASTM G65-04 mediante el procedimiento “A” se debe utilizar equipos en estados 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 (banco de lijas, pulidora de paño, reactivos, microscopio y computadora) Lab. FICM

- Equipo para análisis de espesores en recubrimientos por ultrasonido de marca Digital Meter
- Balanza analítica de precisión 0,001 gr Marca CITIZEN
- Máquina de ensayos de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G65-04

## **6.5 Fundamentación**

Los cálculos se realizaron fundamentados en la teoría del Capítulo II Marco Teórico, donde se puede apreciar los cálculos estadísticos como son el tamaño de la muestra, la probabilidad, la desviación estándar, el ensayo de dureza bajo la norma ASTM 18-03 en escala Rockwell C, la pérdida de volumen, tasa de desgaste y coeficiente de desgaste, para los ensayos de desgaste abrasivo y los datos de la norma ASTM G65-04 mediante el Procedimiento A.



Las probetas se cortaron con sierra eléctrica, se maquinaron en fresadora, se rectificaron y fueron proyectadas térmicamente por el método HVOF, para dar las dimensiones requeridas para el ensayo y que se pueda adaptar en la porta probetas para una sujeción óptima y segura.

Las probetas fueron pesadas en una balanza marca CITIZEN de precisión 0.0001gr, con una capacidad máxima de 300 gr. que cuenta la Universidad Técnica de Ambato en la facultad de Ingeniería en Alimentos en el laboratorio de Física-Química.

A continuación se presentan el procedimiento realizado para la recuperación de asientos de válvulas API-600 mediante el proceso de proyección térmica de alta velocidad HVOF y los cálculos realizados para la evaluación del desgaste abrasivo del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) adherido al asiento de válvula de material AISI 4140 bajo Norma ASTM G65-04 mediante el procedimiento “A”.



## 6.6 Metodología

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
<b>PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A</b>		
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba	
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014	
<p><b>1. Objeto:</b></p> <p>Realizar un procedimiento para la recuperación de asientos de válvulas API-600 con recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto y evaluación de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G65-04 procedimiento A.</p> <p><b>2. Alcance:</b></p> <p>Este método de ensayo cubre el proceso de recuperación y los procedimientos de laboratorio necesarios para la determinación de la resistencia de los materiales metálicos y recubrimientos cerámico-metálicos conocidos como Cermets expuestos a la abrasión por medio de la prueba de la arena / rueda de goma seca. La intención de este método de ensayo es producir datos que se ubicarán a los materiales en base a la resistencia al rayado abrasivo bajo un conjunto específico de condiciones de análisis.</p> <p><b>3. Documentación y Referencia:</b></p> <p>El desarrollo del procedimiento se encuentra sustentado en las investigaciones realizadas en los capítulos II y IV.</p>		



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

#### 4. Generalización:

El proceso HVOF se utiliza para mejorar o restaurar las propiedades o dimensiones de la superficie de un componente donde se atomizan materiales fundidos o semi-fundidos sobre la superficie mediante una corriente de gas de alta temperatura y alta velocidad, produciendo un revestimiento denso que puede ser rectificado para obtener un acabado de superficie de gran calidad. (Cap. 2 Pág.18)

El desgaste Abrasivo es causado por materiales extraños que friccionan contra una pieza metálica. Corresponde al 55 ó 60% del desgaste de los componentes industriales. (Cap. 2 Pág. 25)

Los problemas de desgaste existen en cualquier parte donde exista movimiento, casi todas las industrias encuentran problemas de desgaste. Excesivos desgastes causan grandes pérdidas anualmente debido a:

- Detenciones de producción no planificadas.
- Reemplazos repetitivos de partes costosas.
- Costos elevados por mantenimiento no-planificado.
- Pérdidas de eficiencia de producción.
- Pérdidas de ventas por pobres rendimientos de productos

Para evaluar el desgaste de materiales se utilizó la Norma ASTM G-65 bajo el Procedimiento A, en primera instancia se verificó que todos los parámetros estén correctamente calibrados para obtener resultados claros y valederos.



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

### 5. Realización:

El procedimiento para realizar la recuperación de asientos de válvulas API-600 mediante HVOF con los ensayos de medición de espesores desgaste, dureza y análisis metalográfico se realiza de la siguiente manera:

- 5.1 Obtención del asiento de válvula API-600 desgastados
- 5.2 Limpieza de impurezas (desengrasado)
- 5.3 Granallado metálico para remoción de partículas abrasivas
- 5.4 Proyección térmica de alta velocidad HVOF
- 5.5 Rectificado con las dimensiones originales del asiento
- 5.6 Medición de espesores por ultrasonido
- 5.7 Corte y Preparación de probetas para ensayo de desgaste abrasivo bajo la Norma ASTM G65-04 mediante el Procedimiento A.
- 5.8 Corte y preparación de probetas para ensayo de dureza en escala Rockwell
- 5.9 Corte y preparación de probetas para ensayo de metalografía
- 5.10 Análisis costo - beneficio



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A**

**Realizado por:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Autorizado por:** Ing. Mg. César Arroba

**Lugar:** UTA FICM

**Fecha de ejecución:** 5/12/2014

**5.1 Obtención del asiento de válvula API-600 desgastados**

La obtención de Asientos de válvulas API-600, se realiza mediante un sondeo y caracterización del material, se encuentran en la zona oriental específicamente en compañías de producción petrolera y de acuerdo al análisis químico establecido se puede adquirir también el acero AISI 4140 en dimensiones de un eje y luego preparar el material para posteriores ensayos. (Ver Tabla 4.2 Pág. 45)



**Figura 6.1** Obtención de asientos de válvula API-600

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 6.2** Adquisición de asientos de válvulas API-600

CANTIDAD ASIENTOS	PESO Kg	MEDIDA NOMINAL	TIPO DE VALVULA	PRECIO POR KILOGRAMO USD	PRECIO USD
1	0.5	2-1/16" 5000	Compuerta	0.20 Ctv.	0.10
2	2	3-1/8" 5000	Compuerta	0.20 Ctv.	0.40
1	2.5	4-1/16" 5000	Esclusa	0.20 Ctv.	0.50
<b>TOTAL \$</b>					<b>1.00</b>

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A**

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

### 5.2 Limpieza de impurezas (desengrasado)

El desengrasado se realiza mediante un líquido de remoción de grasas de marca Orange fácilmente se puede adquirir en el mercado.



**Figura 6.2** Desengrasado  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 6.3** Análisis económico desengrasado

Nº Asiento	Medida Nominal	Tipo de válvula	Marca del desengrasante	Precio por aplicación USD
1	2-1/16" 5000	Compuerta	Orange	\$ 1.00
2	3-1/8" 5000	Compuerta	Orange	\$ 1.25
3	3-1/8" 5000	Compuerta	Orange	\$ 1.25
4	4-1/16" 5000	Esclusa	Orange	\$ 1.50
<b>TOTAL \$</b>				<b>5.00</b>

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
 API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
 COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
 ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A**

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

### 5.3 Granallado metálico para remoción de partículas abrasivas

El propósito del granallado metálico es remover partículas abrasivas o de grasa para que el material pueda recibir la proyección térmica de manera constante y uniforme, la granalla utilizada para este procedimiento es Granalla Metálica Grit 46 de óxido de aluminio marca Econoline - USA.



**Figura 6.3** Granallado metálico  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 6.4** Análisis económico de granallado

Nº Asiento	Medida Nominal	Tipo de válvula	Tipo de granalla	Tipo de Aplicación	Precio por aplicación USD
1	2-1/16" 5000	Compuerta	Grit 46	Rociado de impacto	\$ 5.00
2	3-1/8" 5000	Compuerta	Grit 46	Rociado de impacto	\$ 8.00
3	3-1/8" 5000	Compuerta	Grit 46	Rociado de impacto	\$ 8.00
4	4-1/16" 5000	Esclusa	Grit 46	Rociado de impacto	\$ 10.00
<b>TOTAL \$</b>					<b>31.00</b>

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A**

**Realizado por:** Egdo. Eduardo Sánchez

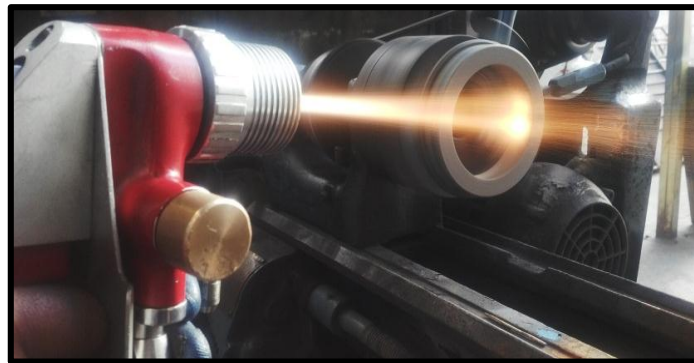
**Autorizado por:** Ing. Mg. César Arroba

**Lugar:** UTA FICM

**Fecha de ejecución:** 5/12/2014

#### 5.4 Proyección térmica de alta velocidad HVOF

La proyección HVOF se la realiza en las partes desgastadas del asiento a una distancia entre 15 a 20 cm con recubrimiento en polvo de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co). (Ver Tabla 4.3 Pág. 47)



**Figura 6.4** Proyección térmica HVOF

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Tabla 6.5** Análisis económico de proyección HVOF

Nº Asiento	Medida Nominal	Tipo de válvula	Tipo de Recubrimiento	Tipo de Aplicación	Precio por aplicación USD
1	2-1/16” 5000	Compuerta	(WC – Co)	Rociado de impacto	\$ 15.00
2	3-1/8” 5000	Compuerta	(WC – Co)	Rociado de impacto	\$ 20.00
3	3-1/8” 5000	Compuerta	(WC – Co)	Rociado de impacto	\$ 20.00
4	4-1/16” 5000	Esclusa	(WC – Co)	Rociado de impacto	\$ 25.00
<b>TOTAL \$</b>					<b>80.00</b>

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez

Autorizado por: Ing. Mg. César Arroba

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 5/12/2014

### 5.5 Rectificado con las dimensiones originales del asiento

Una vez concluida la proyección HVOF, el asiento es sometido a un rectificado para remover el sobrante del recubrimiento y dejar con las dimensiones originales para que pueda ser utilizada y puesta en funcionamiento nuevamente.



**Figura 6.5** Rectificado del asiento  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



**Figura 6.6** Asiento terminado  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez





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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez

Autorizado por: Ing. Mg. César Arroba

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 5/12/2014

Tabla 6.6 Análisis económico de rectificando

Nº Asiento	Medida Nominal	Tipo de válvula	Tipo de Rectificado	Precio por aplicación
1	2-1/16" 5000	Compuerta	Torno CNC	\$ 6.00
2	3-1/8" 5000	Compuerta	Torno CNC	\$ 10.00
3	3-1/8" 5000	Compuerta	Torno CNC	\$ 10.00
4	4-1/16" 5000	Esclusa	Torno CNC	\$ 15.00
<b>TOTAL \$</b>				41.00

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez

## 5.6 Medición de espesores por ultrasonido

La medición de espesores por ultrasonido se realiza con el propósito de medir el espesor de recubrimiento de (WC-Co), que fue proyectado al asiento y así poder preparar probetas para los análisis de desgaste y dureza y las mediciones se realizan en el formato del Anexo A 10. (Ver Tabla 4.5 Pág. 49)



Figura 6.7 Medición de espesores

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez

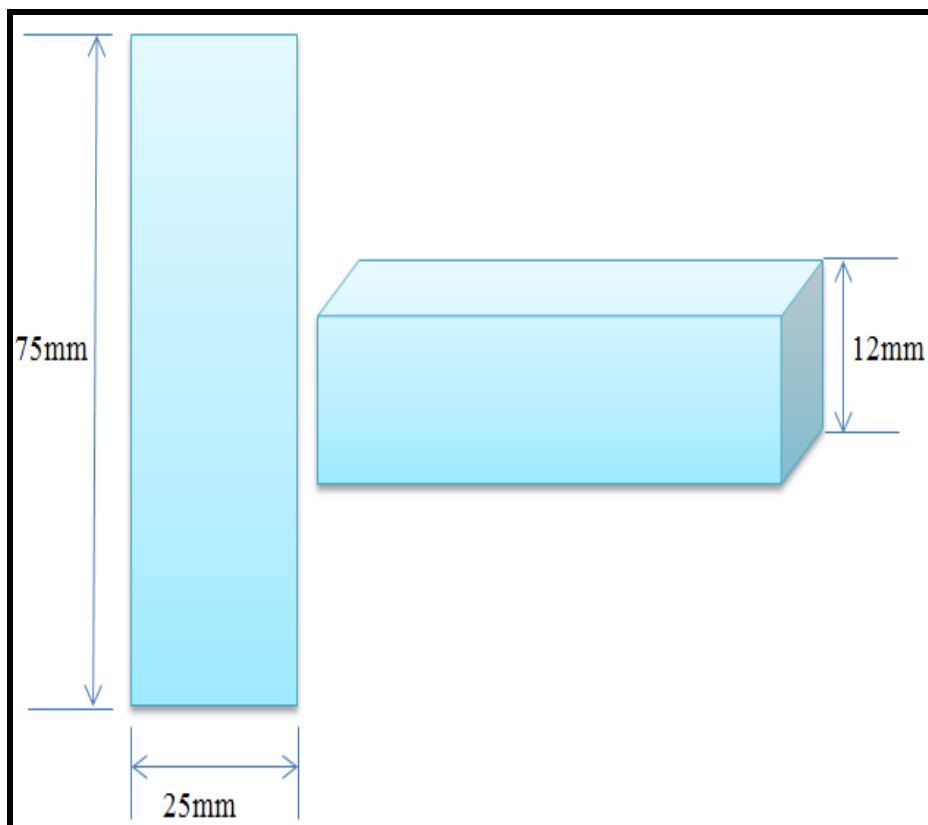
Autorizado por: Ing. Mg. César Arroba

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 5/12/2014

**5.7 Corte y preparación de probetas para ensayo de desgaste abrasivo bajo la Norma ASTM G65-04 mediante el Procedimiento A.**

Obtener una muestra con las dimensiones que exige la norma es indispensable para realizar este ensayo, por eso es importante que el corte de las muestras sea cuidadoso para evitar sobrecalentamiento del material. Las dimensiones son:



**Figura 6.8** Probeta para ensayo de desgaste

Fuente: Egdo. Eduardo Sánchez



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

Luego del corte se procede a dar un rectificando con el propósito de lograr que la superficie del material se encuentre libre de imperfecciones que produzcan errores en el ensayo.



**Figura 6.9** Probetas rectificadas para ensayo de desgaste  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Antes de proceder con el ensayo la toma de datos se las debe hacer en una balanza analítica de precisión de 0.001 gramos, con la que cuenta la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos requerimiento exigido por la Norma para obtener exactitud en los resultados y se debe numerar cada probeta para no confundir los datos del ensayo.



**Figura 6.10** Pesaje de probetas  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A**

**Realizado por:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Autorizado por:** Ing. Mg. César Arroba

**Lugar:** UTA FICM

**Fecha de ejecución:** 5/12/2014

Una vez realizada la medición de peso de las probetas se procede a calibrar la máquina de desgaste abrasivo según las exigencias de la Norma ASTM G65-04 bajo el procedimiento A que exige lo siguiente.

- Estabilizar la máquina para evitar vibraciones durante el procedimiento



**Figura 6.11** Máquina de ensayo de desgaste abrasivo  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

- Revisar el sentido de giro de la rueda vulcanizada, debido a que la conexión es una fuente alterna trifásica y puede cambiar el sentido de giro alterando los resultados y dañando la rueda.

El sentido correcto de giro se toma como referencia las manecillas de reloj.



**Figura 6.12** Sentido de giro de la rueda  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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

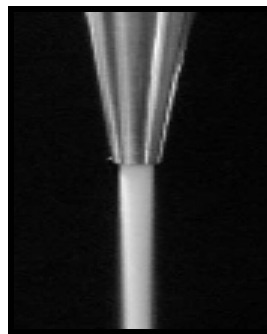


PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

- Es importante revisar el flujo de la arena antes de empezar a realizar los ensayos ya que de esto también depende la precisión de los resultados.

La arena debe ser de clase NFS 50/70 de sílice tamaño de (300 a 212)  $\mu\text{m}$  y el flujo debe ser laminar cuando entre en contacto con la probeta a una velocidad de (300 a 400) gr/min.



**Figura 6.13** Flujo Laminar de arena  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

- Programar el contador de vueltas a 200 rpm como exige el procedimiento, ya que la máquina posee un tablero semiautomático que indica si está listo encendiéndose una luz verde en el tablero.



**Figura 6.14** Caja de control  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

**Realizado por:** Egdo. Eduardo Sánchez

**Autorizado por:** Ing. Mg. César Arroba

**Lugar:** UTA FICM

**Fecha de ejecución:** 5/12/2014

- Una vez programada la caja de control se procede a ubicar la probeta en su lugar, se abre la válvula de flujo de arena que cubra la probeta de manera continua, encendemos la máquina de ensayo y procedemos a colocar la carga de 130 N (30Lb).



**Figura 6.15** Colocación de la carga

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

- El procedimiento A, indica que se debe tomar valores de pérdida de masa cada 5 minutos durante 30 minutos que dura la prueba, llegando a obtener resultados de pérdida de Volumen y Resistencia a la Abrasión, Tasa y Coeficiente de Desgaste, variables fundamentales para el objeto de estudio. (Anexo A11)



**Figura 6.16** Medición de la pérdida de masa

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez

Autorizado por: Ing. Mg. César Arroba

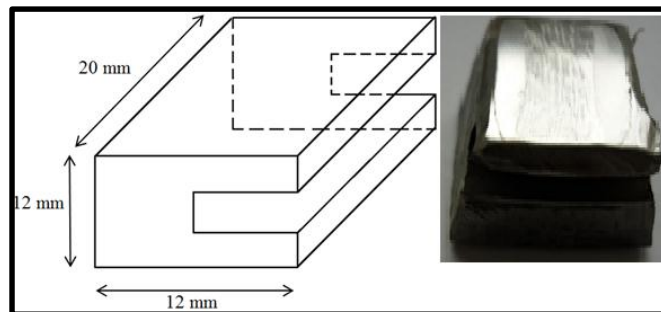
Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 5/12/2014

### 5.8 Corte y preparación de probetas para ensayo de dureza

La dureza en escala Rockwel C, está justificada en la Norma ASTM E 18-03 cuyo objetivo principal es medir la resistencia del material a la penetración del indentador sobre la superficie del material.

La muestra para este ensayo debe ser pulida, eliminando así los defectos que tuviere la superficie.



**Figura 6.17** Corte de probeta para ensayo de dureza

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

La calibración del durómetro se la realiza en función al material que se va analizar, identificando así la carga, el indentador, y la escala asignada. La carga asignada para aceros duros es 1471 N y utilizaremos el penetrador de cono de diamante.



**Figura 6.18** Calibración del durómetro

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

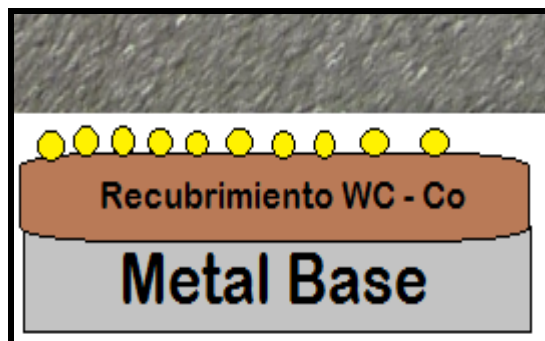
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

Colocamos la probeta sobre la superficie de ensayo del durómetro, ajustamos la máquina hasta que haga contacto, seguido aplicamos la precarga, una vez estabilizada aplicamos la carga de 1471 N y observamos la medición que indica el durómetro.



**Figura 6.19** Ensayo de dureza  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Finalmente se toma los resultados obtenidos de las durezas alcanzadas en escala Rockwell C para diferentes puntos de la probeta y se los registra para obtener una dureza promedio y los datos se evalúan con la tabla del Anexo A 12.



**Figura 6.20** Probeta ensayada en el durómetro  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez





PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

Realizado por: Egdo. Eduardo Sánchez

Autorizado por: Ing. Mg. César Arroba

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 5/12/2014

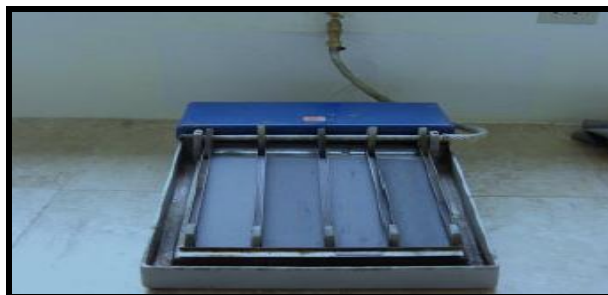
### 5.9 Corte y preparación de probetas para ensayo de metalografía

Para realizar el ensayo metalográfico se debe obtener muestras que faciliten obtener resultados posteriores.



**Figura 6.21** Corte de probetas  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Luego se procede a realizar el desbaste en un banco de probetas utilizando lijas de 240, 320, 400, 600 (gr/plug<sup>2</sup>), el proceso se lo realiza en dirección de un solo sentido, sin aplicar excesiva presión; el objetivo de desbaste es eliminar las asperezas y deformaciones provocadas en la obtención de las probetas.



**Figura 6.22** Lijas para desbaste manual  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

Posteriormente la muestra es sometida a un pulido para eliminar de la superficie las rayas finas producidas en el desbaste, se utiliza una pulidora de discos giratorios con paño aplicando medio abrasivo para el pulido metalográfico que es alúmina (óxido de aluminio) disuelto en agua, el pulido se lo hace en una sola dirección hasta obtener una superficie “espejo” libre de rayones.



**Figura 6.23** Pulido de la muestra  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Luego se procede a realizar el ataque químico donde la probeta debe ser lavada y secada antes de realizar el ataque, para lo cual se utiliza el reactivo de (aleación universal) recomendado para recubrimientos, que permiten observar las características micro estructurales de la superficie atacada; el tiempo de ataque químico para el recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto ( $Wc - Co$ ) será de 8 segundos.



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



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A

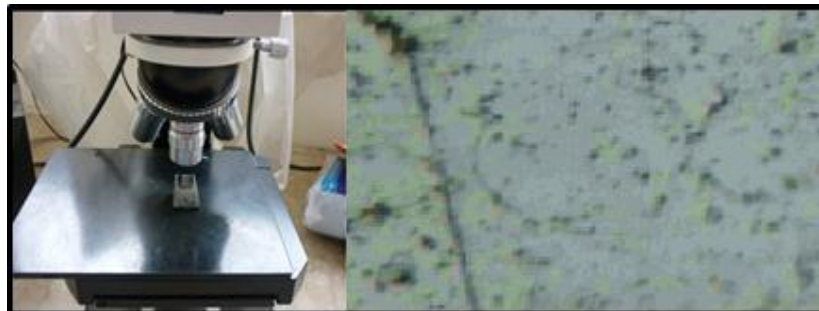
<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

Se rocía con agua para detener el ataque y se seca con flujo de aire.



**Figura 6.24** Ataque químico  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

Con la ayuda del microscopio y el circuito cerrado evaluamos la estructura de recubrimiento (WC – Co), los resultados obtenidos nos permitirán realizar una comparación visual y establecer la composición de la microestructura del recubrimiento. Los resultados se pueden aplicar en las tablas del Anexo A13.



**Figura 6.25** Evaluación de la microestructura  
**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ASIENTOS DE VÁLVULAS  
API-600 CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE  
COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA  
ASTM G65-04 PROCEDIMIENTO A**

<b>Realizado por:</b> Egdo. Eduardo Sánchez	<b>Autorizado por:</b> Ing. Mg. César Arroba
<b>Lugar:</b> UTA FICM	<b>Fecha de ejecución:</b> 5/12/2014

**5.10 Análisis costo - beneficio**

**Tabla 6.7 Análisis Costo - Beneficio**

N° de Asiento de Válvula API-600	1	2	3	4
<b>Tipo de Válvula</b>	Compuerta	Compuerta	Compuerta	Esclusa
<b>Costo de Adquisición \$</b>	0,10	0,40	0,40	0,50
<b>Costo de Desengrasado \$</b>	1,00	1,25	1,25	1,50
<b>Costo de Granallado \$</b>	5,00	8,00	8,00	10,00
<b>Costo de Proyección HVOF \$</b>	15,00	20,00	20,00	25,00
<b>Costo de Rectificado \$</b>	6,00	10,00	10,00	15,00
<b>Costo de Ensayo de espesores \$</b>	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Costo de Ensayo de Desgaste \$</b>	15,00	15,00	15,00	15,00
<b>Costo de ensayo de Dureza \$</b>	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Costo de Ensayo de Metalografía \$</b>	6,00	6,00	6,00	6,00
<b>Total de Costos \$</b>	<b>58,10</b>	<b>70,65</b>	<b>70,65</b>	<b>83,00</b>
<b>IVA 12%</b>	<b>6,97</b>	<b>8,48</b>	<b>8,48</b>	<b>9,96</b>
<b>Total Costo Unitario USD \$</b>	<b>65,07</b>	<b>79,13</b>	<b>79,13</b>	<b>92,96</b>
<b>Costo Aproximado Asiento Como Viene de Fábrica \$</b>	<b>90,00</b>	<b>125,00</b>	<b>125,00</b>	<b>150,00</b>
<b>Diferencia de Costos \$</b>	<b>24,93</b>	<b>45,87</b>	<b>45,87</b>	<b>57,04</b>
<b>Porcentaje Costo Beneficio</b>	<b>27,70</b>	<b>36,70</b>	<b>36,70</b>	<b>38,03</b>

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

## 6.7 Administración

El análisis económico del estudio y del procedimiento de la propuesta se encuentra detallado en la tabla 6.2, donde se describe los materiales y recursos utilizados.

**Tabla 6.8** Administración y Costos de Investigación

COSTOS DE RECURSOS MATERIALES Y ADMINISTRATIVOS					
Ítem	Cantidad	unidad de medida	Descripción	Costo unitario \$	Costo Total \$
1	10	u	Asientos de Válvulas API-600	10	100
2	34	u	Proyección HVOF	15	510
3	1	u	Acero AISI 4140	70	70
4	24	u	Maquinado de Probetas	5	120
5	10	u	Rectificado de Asientos	10	100
6	1	u	Vulcanizado de la Rueda	150	150
7	150	Kg	Arena de cuarzo NFS 50/70	1,70	255
Costo Total d Recursos Materiales					1305
Costo de Recursos Humanos					
9	1	u	Tornero	50	50
10	1	u	ayudante	50	50
11	1	u	Recolección de Información	50	50
Costo total de Recursos Humanos					150
Costo de Recursos Varios					
12	100	horas	Internet	0,70	70
13	3	u	Resmas de Hojas	5	15
14	1	u	Impresiones	100	100
15	3	u	Anillados	0,80	2,40
16	1	u	Transporte	120	120
17	2	u	Empastados	10	20
Costo Total de Recursos Varios					327,4
Subtotal					1782,4
10% de Imprevistos					178,24
Costo Total					1960,64

**Fuente:** Egdo. Eduardo Sánchez

## 6.8 Previsión de la evaluación

Al finalizar el presente estudio de investigación se determina que el mejor recubrimiento adherido al sustrato de una asiento de válvula API-600 es el carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) ya que presentó mejores propiedades de dureza y resistencia al desgaste comparados con los demás recubrimientos como lo fueron el inox martensítico y el carburo de cromo en base de cobalto y níquel (CR3 C2 –Co Ni), todos los recubrimientos de estudio presentaron mejores resultados pero en condiciones de desgaste abrasivo, resalta el carburo de tungsteno y fueron evaluados por el Procedimiento “A” de la norma ASTM G65-04.

El estudio contribuye un aporte muy importante para el área de Materiales, debido a que mediante el procedimiento A de norma ASTM G65-04 se ha logrado determinar la pérdida de recubrimientos cerámico-metálicos proyectados térmicamente al sustrato por el proceso HVOF.

Los resultados obtenidos destacan por el lugar de procedencia ya que las evaluaciones de dureza, espesor y desgaste abrasivo fueron realizadas en el laboratorio de ingeniería de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica, con la ayuda de equipos debidamente calibrados, que sirvieron para obtener datos reales, veraces y confiables.

El desgaste abrasivo se presenta en un sin número de aplicaciones mecánicas y el presente estudio está abierto para investigaciones posteriores de recubrimientos duros cerámico-metálicos adheridos al sustrato por procedimientos alternativos como:

- Proyección Térmica Por Plasma
- Proyección Térmica por Arco Spray
- Proyección térmica por Laser
- Proyección Térmica por Arco Voltaico.
- Etc.

## **Bibliografía.**

### **DOCUMENTOS Y LIBROS**

García Costales, J. M. (2010). *Recubrimientos de proyección por plasma*. Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación Universidad de Oviedo.

Darwin Paul H y Hugo Limber Lozada. (2007). *Cálculo y análisis del régimen de soldadura para el proceso SMAW en acero al carbono y aleados y la implementación del software de aplicación*. Escuela de Formación Tecnológica. Escuela Politécnica Nacional.

ASM International (2003). *Trends in Welding Research*. Materials Park, Ohio: ASM International.

Blunt, Jane and Nigel C. Balchin (2002). *Health and Safety in Welding and Allied Processes*. Cambridge: Woodhead.

Cary, Howard B. and Scott C. Helzer (2005). *Modern Welding Technology*. Upper Saddle River, Nueva Jersey: Pearson Education.

Barbezat, G & Herber R. (2001) *Avance en el recubrimiento de motores*. Sulzer Technical Review. Winterthur, España.

Gutiérrez, J.; León Sevilla, L.; Mesa Grajales, D. & Toro, A. (2004). *Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera*. Scientia Et Technica. Chile.

Fernández, Susana & Dorado, M. (2008). *Reutilización de aguas residuales de procesos de recubrimientos metálicos*. Universidad de Alcalá.

Ortúzar M, R. *Desgaste y recuperación*. Valparaíso: Curso Magíster en Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María (inédito).

Carrasco, J. (2010). *Caracterización de Recubrimientos depositados por proyección térmica HVOF*. Tesis. Universidad de Chile. Santiago.

Lira-Olivares, J. González, S. & De Abreu J (13-04-2011). *Recubrimientos metálicos y cerámicos solucionan el problema económico y ambiental de países desarrollados y en desarrollo*. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.* Volumen (2). Pág. 110-111.

SIDNEY, Avner. (1978). *Introducción a la Metalurgia Física*. McGraw-Ingramex S.A. México. México D.F. Pág. 189.

William Smith. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Cuarta Edición. Por Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. México. Pág. 535.

Rimoldi C & Mundo M. *Ensayo no destructivo por el método de ultrasonido*. Argentina.

Maryory A. Gómez. (2005). *Caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros*. Tesis. Universidad de Barcelona.

V.H. Guerrero, J. Dávila, S. Gales, P. Ponton, N Rosas. Quito 2011. *Nuevos Materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*, Primera Edición

## **CATÁLOGOS Y RECUPERADO DE**

*Acero grado Mquinaria* .Catálogo SUMITEC S.A. (pág. 1-3). Recuperado de [http// www.sumiteccr.com](http://www.sumiteccr.com).



González López, D. (2010). *Recubrimientos superficiales mediante proyección térmica*. Catálogo ARSIDE, Gijón España.

*Aleaciones para recubrimientos duros*. Catálogo KENNAMENTAL.(pág. 17). Recuperado de <http://www.kennametal.com>. Alemania.

Catálogo Técnico euroválvulas ANSI. INVALSA. (pág. 3). Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/214988998/Valvulas-de-Compuerta-Valvulas>

Catálogo Técnico INDURA. Sistemas y materiales de soldadura. Recuperado de [http://www.indura.com.ec/\\_file/file\\_2182\\_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf](http://www.indura.com.ec/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf).

## **NORMAS**

ISO 10434 (diseño de Válvulas API-600).

ASTM G65-04 (Ensayo de desgaste Procedimiento A).


ASME sección 5 Art 4 (Ensayo de Ultrasonido).

Norma ASTM E 18 - 03 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials (determinación de la dureza Rockwell).

# **ANEXOS**

Anexo A1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASIENTO DE VÁLVULA API-600

							
<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>							
<b>INFORME DEL ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS</b>							
<b>FECHA: Julio 15 del 2014</b>							
<b>OPERADOR: Eduardo Villegas</b>							
<b>MÁQUINA: ESPECTRÓMETRO DE RAYOS X EDX-720</b>							
<b>CANAL DE ENSAYO: ENERGY TEST</b>							
<b>Muestra: M1</b>				<b>Beneficiario: Eduardo Sánchez</b>			
<b>QUANTITATIVE RESULT</b>							
<b>RESULT</b>							
<b>ANALITE</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>
<b>AVE</b>	0.396	0.180	0.818	0.0085	0.0161	0.068	0.835
<b>CV</b>	2.7471	.3865	.00324	1.0503	4.8312	.26731	.02503
<b>RESULT</b>							
<b>ANALITE</b>	<b>Mo</b>	<b>Cu</b>	<b>Sn</b>	<b>Al</b>	<b>Nb</b>	<b>As</b>	<b>Ti</b>
<b>AVE</b>	0.150	0.120	0.006	0.020	0.000	0.001	0.001
<b>CV</b>	.43170	.42697	2.7997	1.4235	0.000	4.8826	12.595
<b>RESULT</b>							
<b>ANALITE</b>	<b>V</b>	<b>B</b>	<b>Pb</b>	<b>Sb</b>	<b>N</b>	<b>Ca</b>	<b>FEINT</b>
<b>AVE</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.0498	0.0059	5.886
<b>CV</b>	8.8278	3.7344	0.000	0.000	31.560	6.6031	2.8675
<b>FE%</b>				<b>CEQ</b>			
<b>N=1</b>				97.346			
<b>N=2</b>				97.310			
<b>AVE</b>				97.330			
<b>R</b>				.03620			
<b>STD</b>				.02560			
<b>CV</b>				.02630			
				1.7066			

Cont.  
Group:

AN=4 TAN=144

Tuesday, July 15, 2014 23:45

ACERO1

Common Group:

LABORATORIO NOVACERO S.A. PDA-2

CO[M1 ]No[1 ]LOT[NOVACERO ]OP[ML]ID[PDA2]

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
N=1	0.389	0.181	0.818	0.0086	0.0156	0.068	0.835
N=2	0.404	0.180	0.818	0.0085	0.0167	0.068	0.835
Ave.	<u>0.396</u>	<u>0.180</u>	<u>0.818</u>	<u>0.0085</u>	<u>0.0161</u>	<u>0.068</u>	<u>0.835</u>
R	.01540	.00099	.00004	.00013	.00110	.00026	.00030
STD	.01089	.00070	.00003	.00009	.00078	.00018	.00021
CV	2.7471	.38656	.00324	1.0503	4.8312	.26731	.02503
	Mo	Cu	Sn	Al	Nb	As	Ti
N=1	0.149	0.121	0.006	0.020	0.000	0.001	0.002
N=2	0.150	0.120	0.006	0.020	0.000	0.001	0.001
Ave.	<u>0.150</u>	<u>0.120</u>	<u>0.006</u>	<u>0.020</u>	<u>0.000</u>	<u>0.001</u>	<u>0.001</u>
R	.00091	.00073	.00025	.00040	.00000	.00006	.00025
STD	.00065	.00051	.00018	.00028	.00000	.00004	.00018
CV	.43170	.42697	2.7997	1.4235	.00000	4.8826	12.595
	V	B	Pb	Sb	N	Ca	Feint
N=1	0.001	0.000	0.000	0.000	0.0387	.00056	6.006
N=2	0.001	0.000	0.000	0.000	0.0609	.00062	5.767
Ave.	<u>0.001</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.0498</u>	<u>.00059</u>	<u>5.886</u>
R	.00012	.00002	.00000	.00000	.02223	.00005	.23870
STD	.00008	.00001	.00000	.00000	.01572	.00004	.16879
CV	8.8278	3.7344	.00000	.00000	31.560	6.6031	2.8675
	Fe %	Ceq					
N=1	97.346	0.612					
N=2	97.310	0.627					
Ave.	<u>97.330</u>	<u>0.619</u>					
R	.03620	.01496					
STD	.02560	.01057					
CV	.02630	1.7066					

## Anexo A2



Quito, 07 de octubre de 2014

### CERTIFICADO

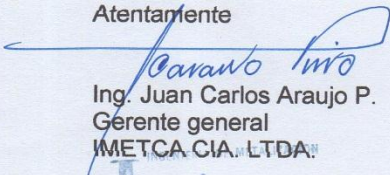
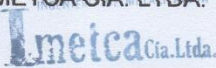
Por medio de la presente me permito certificar que el señor EDUARDO SALVADOR SANCHEZ JIMENEZ, con cedula de ciudadanía N° 1205739012, realizo la recuperación de asientos de válvulas API-600, por métodos de Proyección Térmica HVOF y ARCO SPRAY en las instalaciones de IMETCA CIA. LTDA, durante el periodo comprendido entre 16 de Septiembre al 07 de Octubre del 2014.

A continuación se detalla los recubrimientos adheridos por Proyección Térmica a los asientos de válvulas API- 600:

MATERIAL	TIPO DE RECUBRIMIENTO	METODO DE PROYECCION TERMICA
Asiento de Válvula API-600	Carburo de Tungsteno	HVOF
Asiento de Válvula API-600	Stellite 6	HVOF
Asiento de Válvula API-600	Inox Martencítico	ARCO SPRAY
Asiento de Válvula API-600	Inox 304	ARCO SPRAY

El Señor Eduardo Sánchez puede hacer uso del presente certificado para los fines pertinentes.

Atentamente

  
Ing. Juan Carlos Araujo P.  
Gerente general  
IMETCA CIA. LTDA.  


Quito 20 de Noviembre de 2014.

## CERTIFICADO

Por medio de la presente me permito certificar que el señor EDUARDO SALVADOR SÁNCHEZ JIMÉNEZ, con cedula de identidad N°. 1205739012, realizó la metalización de placas de Acero AISI 4140 de dimensiones (75x25x12) mm, por el método de Proyección Térmica de Alta Velocidad HVOF en las instalaciones de IMETCA.CIA.LTDA; por el periodo comprendido entre lunes 17 de Noviembre hasta el día jueves 20 de Noviembre de 2014.

A continuación se detalla los recubrimientos adheridos por Proyección Térmica HVOF en las placas mencionadas con anterioridad.

MATERIAL	DIMENSIONES (mm)	TIPO DE RECUBRIMIENTO	MÉTODO DE PROYACCION TÉRMICA
PLACA ACERO AISI 4140	75X25X12	Inox Martensítico	HVOF
PLACA ACERO AISI 4140	75X25X12	Carburo de Tungsteno en Base Cobalto	HVOF
PLACA ACERO AISI 4140	75X25X12	Carburo de Cromo en Base Cobalto Níquel	HVOF

El señor Eduardo Sánchez puede hacer uso del presente CERTIFICADO para los fines pertinentes.

Atentamente

INGENIERIA DE METALIZACION  
**Imetca** Cia. Ltda.  
Gerencia General.

## Anexo A3

### Norma ASTM G65-04



Designation: G 65 – 00<sup>ε1</sup>

## Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus<sup>1</sup>

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

<sup>ε1</sup> NOTE—The designation year date was corrected editorially in May 2001.

### 1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Current edition approved Oct. 10, 2000. Published November 2000. Originally published as G 65 – 80. Last previous edition G 65 – 94 (2000)<sup>ε1</sup>.

low-abrasion resistance.

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness<sup>2</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>3</sup>

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>3</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>3</sup>

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion<sup>4</sup>

#### 2.2 American Foundrymen's Society Standards:

AFS Foundry Sand Handbook, 7th Edition<sup>5</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definition:

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

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

### 4. Summary of Test Method

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

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

<sup>5</sup> Available from American Foundrymen's Society, Golf and Wolf Roads, Des Plaines, IL 60016.

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

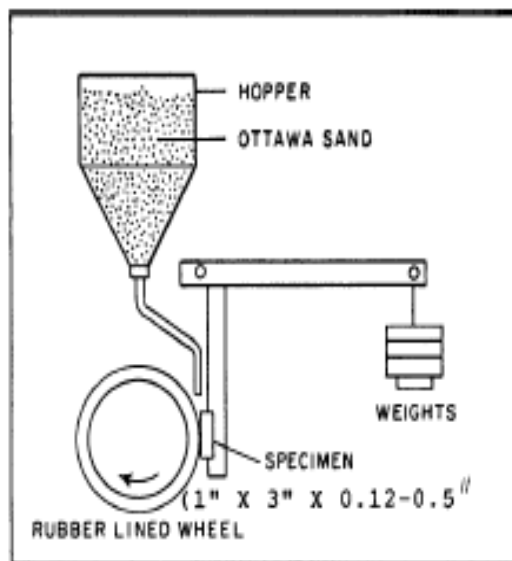


FIG. 1 Schematic Diagram of Test Apparatus

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

### 5. Significance and Use (1-7)

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

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

### 6. Apparatus and Material<sup>7</sup>

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

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

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

U.S. Sieve Size	Sieve Opening	% Retained on Sieve
40	425 $\mu\text{m}$ (0.0165 in.)	none
50	300 $\mu\text{m}$ (0.0117 in.)	5 max
70	212 $\mu\text{m}$ (0.0083 in.)	95 min
100	150 $\mu\text{m}$ (0.0059 in.)	none passing

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

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

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



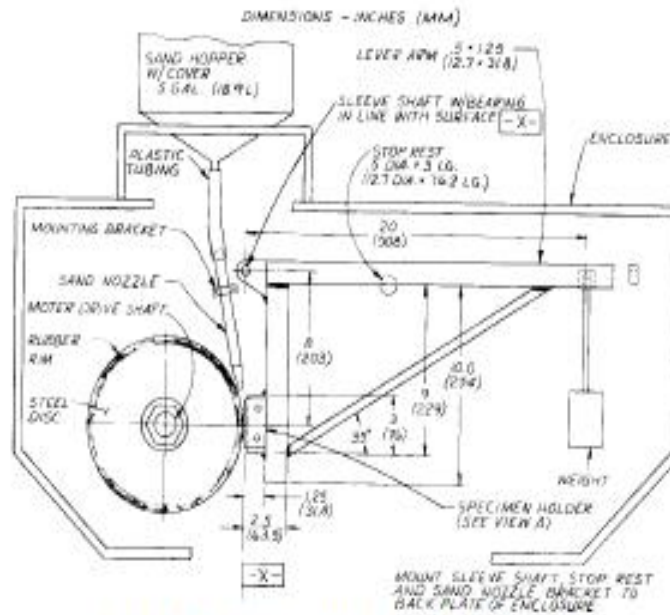
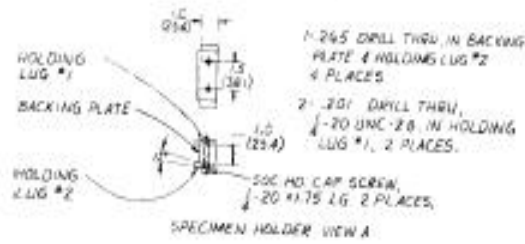


FIG. 2 Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test Apparatus

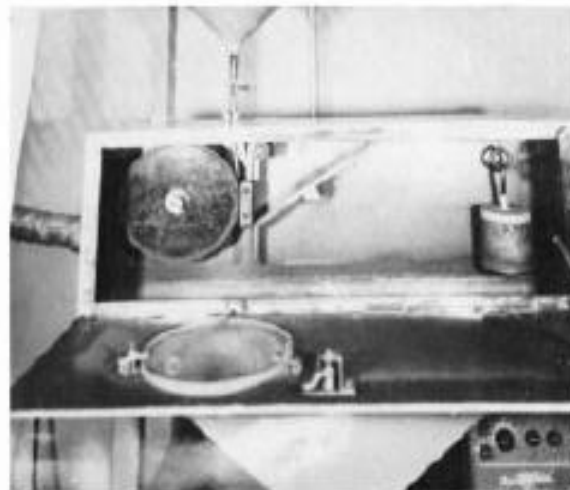


FIG. 3 Wheel and Lever Arm

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

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

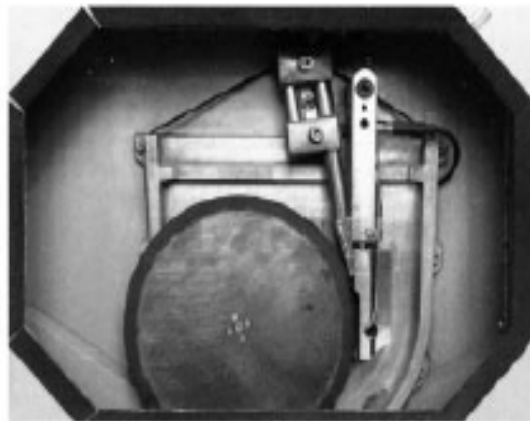


FIG. 4 Enclosure Frame

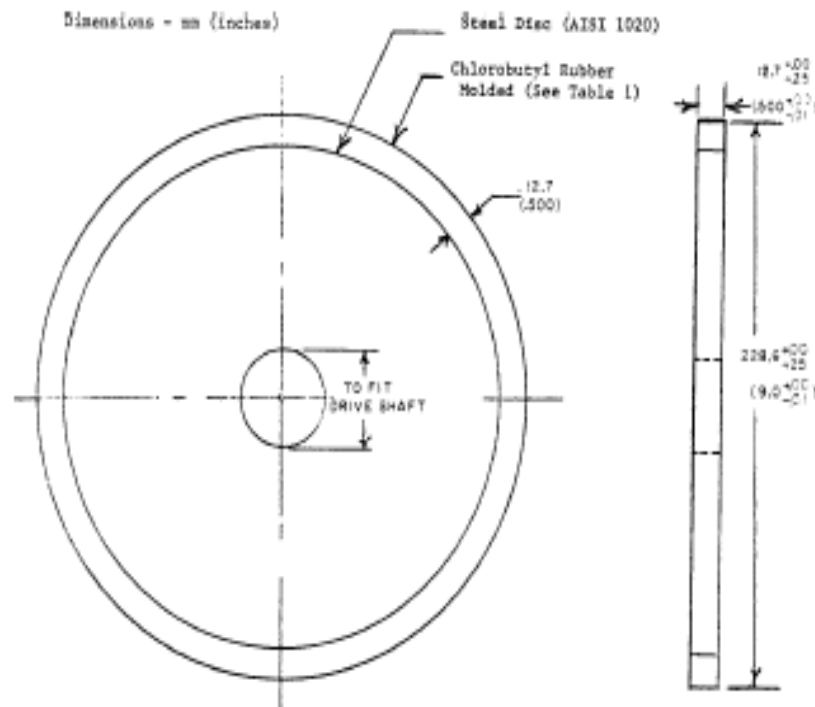


FIG. 6 Rubber Wheel

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 1 Formula for Chlorobutyl Rubber<sup>A</sup>

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

Materials	Proportions by Weight
Chlorobutyl No. HF 10-88 (Enjay Chemical)	100
Agarite Steyite-S	1
HAF black	60
Circolight oil	5
Stearic acid	1
Zinc oxide	5
Ledate	2

<sup>A</sup> The sole source of supply known to the committee at this time is Action Rubber Co., Inc., 801 Fame Rd., Dayton, OH 45449. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

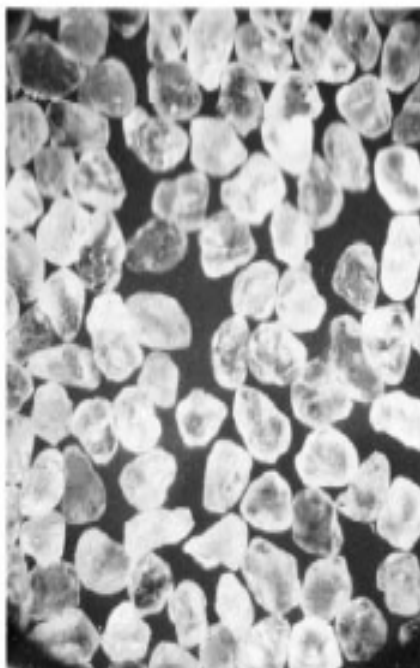


FIG. 8 26X Magnification AFS 60/70 Test Sand Ottawa Silica Co.

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

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

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

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

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

## 7. Specimen Preparation and Sampling

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

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

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

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

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

## 8. Test Parameters

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

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

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

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

FABRICATED SAND NOZZLE

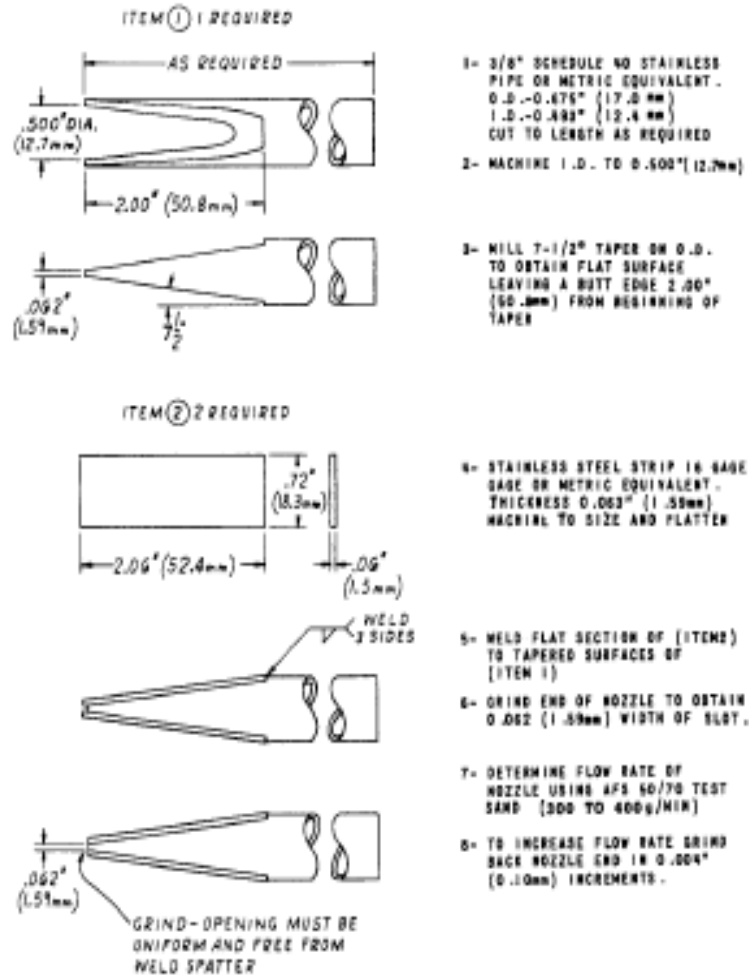


FIG. 7 Sand Nozzle

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

9. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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



FIG. 8 Position of Sand Nozzle

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

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

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

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

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

diamond-cut file<sup>9</sup> in place of the specimen in the holder and run the machine with load until the wheel is clean. Another dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount the wheel on a lathe, and machine the surface with a tool bit especially ground for rubber applications. Grind a carbide or high-speed steel tool bit to very deep rake angles (Fig. 12). Feed the tool across the rubber surface in the opposite direction from that normally used for machining steel. This allows the angular surface of the tool bit to shear away thin layers of rubber without tearing or forming grooves in the rubber as would occur when using the pointed edges of the tool. The recommended machining parameters are: *Feed*—25 mm/min (1.0 in./min); *Speed*—200 rpm; *Depth of Cut*—0.254 mm (0.010 in.) to 0.762 mm (0.030 in.). The dressed wheel should be first used on a soft carbon steel test specimen (AISI 1020 or equivalent) using Procedure A. This results in a smooth, uniform, non-sticky surface. An alternative dressing method involves the use of a high-speed grinder on the tool post of a lathe. Take great care since grinding often tends to overheat and smear the rubber, leaving a sticky surface. Such a surface will pick up and hold sand particles during testing. If the grinding method is used, not more than 0.05 mm (0.002 in.) may be ground from the surface at one time so as to prevent overheating.

## 10. Calculating and Reporting Results

10.1 The abrasion test results should be reported as volume loss in cubic millimetres in accordance with the specified procedure used in the test. For example,  $\underline{\hspace{1cm}}$  mm<sup>3</sup> per ASTM Procedure  $\underline{\hspace{1cm}}$ . While mass loss results may be used internally in test laboratories to compare materials of equivalent densities, it is essential that all users of this test procedure report their results uniformly as volume loss in publications or reports so that there is no confusion caused by variations in density. Convert mass loss to volume loss as follows:

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

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

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

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

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

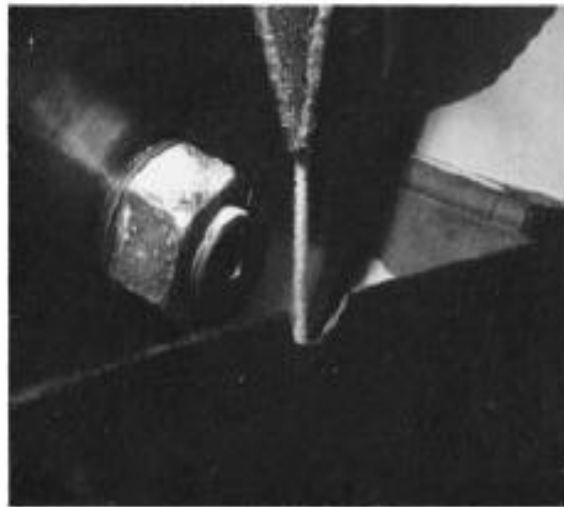


FIG. 9 Sand Flow—Streamlined



FIG. 10 Sand Flow—Turbulence

TABLE 2 Test Parameters

Specified Procedure	Force Against Specimen, <sup>a</sup> N (lb)	Wheel Revolutions	Linear Abrasion <sup>b</sup> m (ft)
A	130 (30)	8000	4309 (14 138)
B	130 (30)	2000	1436 (4 711)
C	130 (30)	100	71.8 (2.98)
D	45 (10.1)	8000	4309 (14 138)
E	130 (30)	1000	718 (2 383)

<sup>a</sup> See 8.4

N = Newton (SI metric term for force)

1 lbf = 4.44822 N

1 Kgf = 9.806650 N

<sup>b</sup> Force tolerance is  $\pm 3\%$ .

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

## 11. Precision and Bias

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

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

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

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

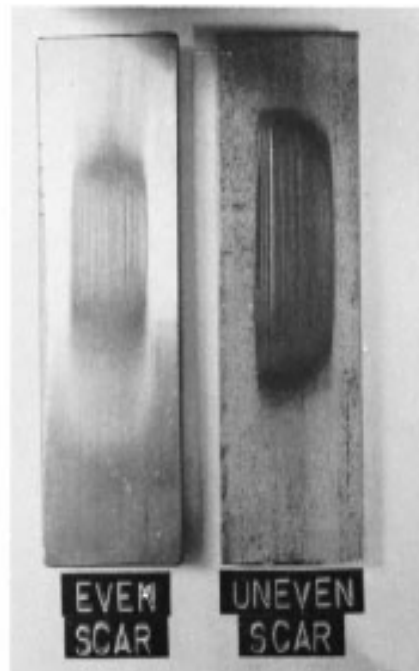


FIG. 11 Typical Wear Scars Uneven and Nonuniform Wear Scars Indicate Improper Alignment or Wear of Rubber Wheel

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

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

11.4.2 The coefficient of variation tends to be higher for materials with volume losses in the range from 1 to 5 mm<sup>3</sup>. In such cases, the coefficient of variation is about 20 %.

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

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

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

own individual test apparatus, their actual averages may be relatively far apart. The selection of sample size and the method for establishing the significance of the difference in averages shall be agreed upon between laboratories and shall be based on established statistical methods in Practices E 122, E 177, and Manual MNL 7.<sup>10</sup>

11.6 *Reference Materials*—Reference materials<sup>11</sup> may be used for periodic monitoring of the test apparatus and procedures in individual laboratories.

11.6.1 While any of the four test procedures (Table 2) may be used on reference materials, it is recommended that Procedure A be used for the more abrasion-resistant materials such as AISI D-2 Tool Steel. When Procedure A volume loss values exceed 100 mm<sup>3</sup> in materials such as annealed low-carbon steel, greater accuracy in material ranking can be obtained by using Procedures B or D.

11.6.2 *Three Types of Reference Materials:*

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

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

(b) Air cool to room temperature.

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

(d) Air Cool Hardness 59–60 HRC.

(e) Procedure A, qualifying volume loss range—36 ± 5 mm<sup>3</sup>.

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

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

(b) Air cool to room temperature.

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

(d) Procedure B, qualifying volume loss range—56 ± 4 mm<sup>3</sup>.

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

(a) Normalizing heat treatment.

(b) Hardness 31–33 HRC.

(c) Procedure E, qualifying volume loss range—49 ± 3 mm<sup>3</sup>.

(d) Procedure B, qualifying volume loss range—91 ± 5 mm<sup>3</sup>.

11.6.3 Volume loss values for reference materials are developed in interlaboratory testing by the Abrasive Wear Task Group of ASTM Subcommittee G02.30.<sup>14</sup> (See XI.3 for typical volume loss values of other materials.) It is the intent of Subcommittee G02.30 to develop several reference materials for abrasive wear testing.

<sup>10</sup> Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, ASTM MNL 7, ASTM.

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

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

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

<sup>14</sup> Supporting data available from ASTM Headquarters. Request RR- G02-1006.

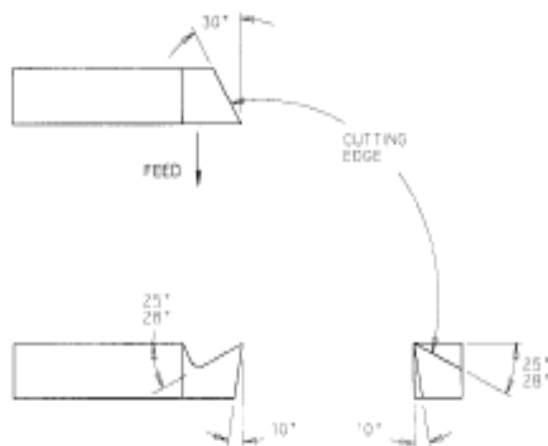


FIG. 12 Typical Wheel Dressing Tool

TABLE 3 Data Sheet

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

<sup>a</sup> Density of materials may be obtained from ASM Metals Handbook, Vol 1, 8th ed. or suppliers of materials.

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### XI. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

##### XI.1 Background

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

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



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

**XI.2 Statistical Equations**

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

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{p} \sum S_j^2} \tag{XI.1}$$

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

where:

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

**XI.3 Typical Volume Loss Values**

XI.3.1 Procedure A of the Dry Sand/Rubber Wheel Test will produce volume losses in metallic materials ranging from 0.25 to 250 mm<sup>3</sup>. The more abrasion-resistant materials will develop the least volume loss. Table XI.2 shows typical volume loss ranges that may be expected in the metals listed. They are offered as guidelines only and not as purchasing specifications or as standard reference specimens. Any material specifications involving this test method must be by agreement between the seller and the purchaser. When volume losses exceed 100 mm<sup>3</sup>, greater accuracy in material ranking is obtained by using Procedure D (see Table 2). Procedure A should be used for the more abrasion-resistant materials. Procedure E or B can be used for materials with volume losses in the range from 50 to 100 mm<sup>3</sup>.

**TABLE XI.1 Statistical Analyses of Interlaboratory Test Results**

Round-Robin Test Conditions	Specified Procedure	Number of Samples	Average, mm <sup>3</sup>	Standard Deviation Within, mm <sup>3</sup>	Standard Deviation Between, mm <sup>3</sup>	Coefficient of Variation Within, %	Coefficient of Variation Between, %	Coefficient of Variation Total, %	Standard Deviation Total, mm <sup>3</sup>
RR No. 15 4340 steel	E	3	51.63	1.67	0.75	3.2	1.5	3.5	1.83
RR No. 14A and 14B 4340 steel	E	3	47.74	1.64	2.46	3.9	5.2	6.04	3.07
RR No. 14A and 14B 4340 steel	B	3	91.68	2.18	4.88	2.4	3.5	6	5.44
RR No. 12 WC-14 weight % CO 0.010 in. thick	A	4	2.18	0.14	0.42	6.4	19.3	20.4	0.44
RR No. 14 hard-chrome plating 0.010 in. thick	C	3	1.33	0.1	0.25	7.4	19.1	20.5	0.27

**TABLE X1.2 Volume Loss Range**

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

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

<sup>B</sup> See 11.6.2 for heat treat.

## REFERENCES

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

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

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

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

Anexo A4

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. BOEHLER  
RUC: 1791304667001



CONTRIBUYENTE ESPECIAL  
Resolución 194 del 10/12/1999

FACTURA No. 004-001-00 0036647  
AUTORIZACIÓN S.R.I.: 1115753912

CLIENTE  
SANCHEZ JIMENEZ EDUARDO SALVADOR  
RUC/C.I: 1205739012  
DIRECCIÓN:  
INGAHURCO BAJO/BARRIO EL PARAISO PO  
TEL: 0997140149  
AMBATO

Fecha de factura: 17.11.2014  
Expedida en: EC04 - Quito Sur  
Nr. pedido cliente: EDUARDO SANCHEZ  
Vendedor: Gerencia Quito Sur  
Cond. de entrega: FV QUITO NORTE  
Condiciones de pago: CO12 Contado  
Vencimiento: 17.11.2014  
Guía de Remisión No:  
Referencia: 594723280

36647

Pos.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Valor USD
000010	5057012748 ACERO AISI/SAE 4140/V320 Rd 80.00MM redonda 80 mm x 312 mm	12,380 KG	4,00 USD/KG	10,00- %	49,52
000020	5057012759 ACERO AISI/SAE 4140/V320 Rd 120.00MM redonda 120 mm x 20 mm	2,100 KG	5,00 USD/KG		10,50
<b>Subtotal 12%</b>					<b>60,02</b>
<b>Subtotal 0%</b>					
<b>Descuento</b>					<b>4,95-</b>
<b>Subtotal</b>					<b>55,07</b>
<b>IVA</b>		<b>12,00 %</b>	<b>55,07 USD</b>		<b>6,61</b>
<b>Valor total</b>					<b>61,68</b>

Observaciones:

17 NOV 2014

ENTREGADO POR

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.  
CAJA - QUITO SUR

17 NOV 2014

DESPACHADO POR:

CANCELADO

RECIBÍ CONFORME

Declaro haber recibido a entera satisfacción los productos y servicios detallados en esta factura y a la vez acepto la obligación del pago de este documento y todos los términos y condiciones que constan al reverso del mismo.

Estimado cliente: Solo se dará por cancelada esta factura mediante la presentación del recibo de caja emitido y suscrito por ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. Sirvase cancelar con cheque cruzado a la orden de ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Matriz: QUITO NORTE  
De las Avellanas E1-112 y  
Panamericana Norte Km. 5 1/2  
Teléf: 02 2473080 / 02 2473081 / 02 2478415  
02 2476138 / 02 2807937 / 02 2807936  
Fax: 02 2477918 Cel.: 099 4764247

Sucursal: QUITO SUR  
Av. Pedro Vicente Maldonado  
S22-151 y Tuira  
Telefax: 02 3061418 / 02 3063721 / 02 3063653  
02 3063730 / 02 3063740 / 02 3063669  
Cel.: 099 7671136

Sucursal: CUENCA  
Av. Hurtado de Mendoza 219 y  
José Joaquín de Olmedo  
Telefax: 07 2805380 / 07 2802313  
Cel.: 099 4766686

Sucursal: GUAYAQUIL  
Vía Daule Km. 7 1/2 s/n y Cuarta  
PBX: 04 2262922  
Fax: 04 2257352  
Cel.: 099 4762359

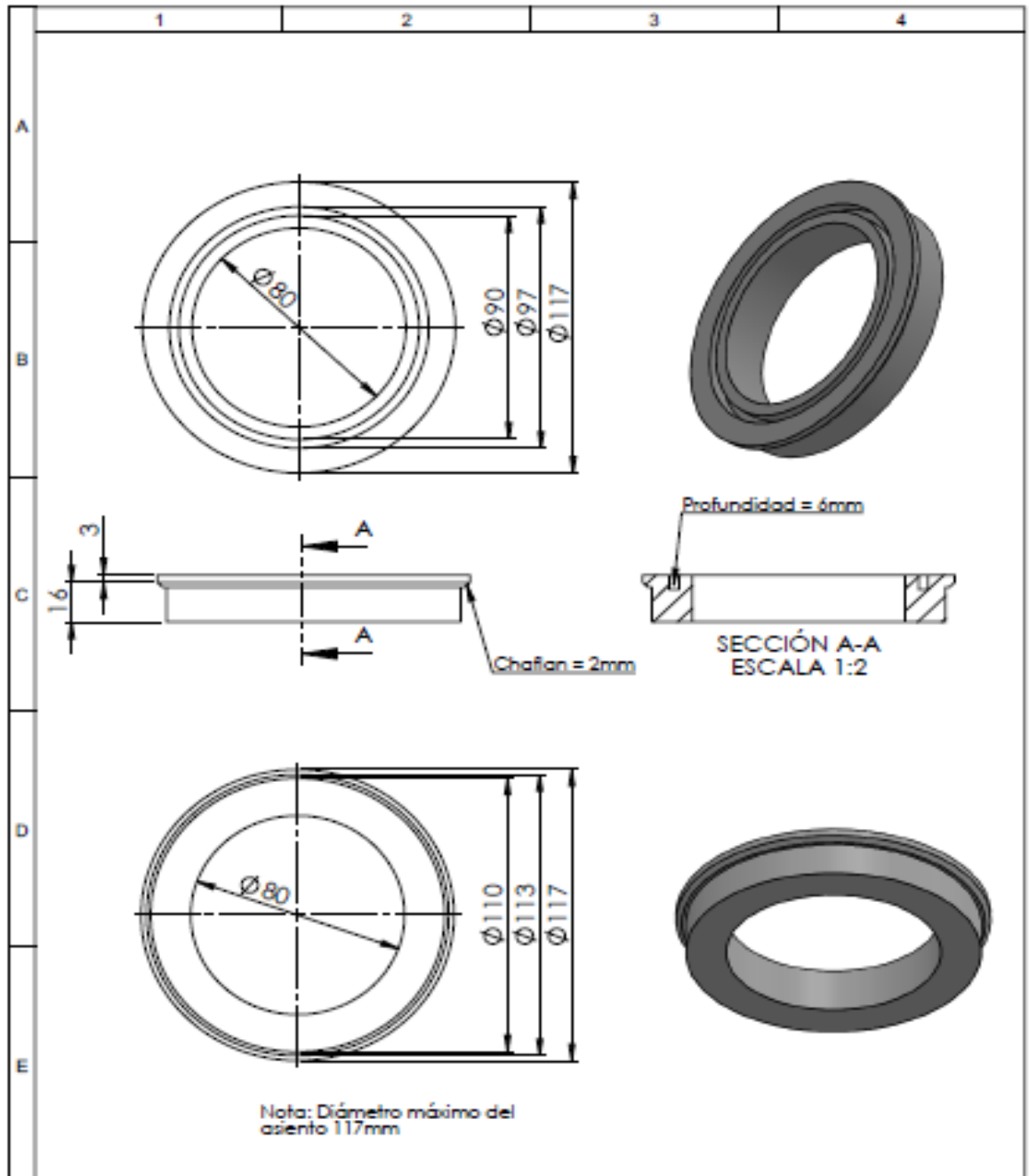
VE-FO-10 V-4.1 10-06-11

CLIENTE

Francellín Jiménez / Gerencia Franco / Telef.: 2541-483 / RUC: 1103241971001 / Aut. 1675 / Fecha de Autorización: 17/03/abre/04 / Impreso del 0036647 al 0036647 \* FECHA DE CADUCIDAD: 17/OCTUBRE/2015 \* DOCUMENTO CATEGORIZADO: NO

## Anexo A5

### Medidas Originales del Asiento de Válvula API-600



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.5 Kg	Acero AISI 4140	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 04/02/15	Sanchez E.	ASIENTO DE VÁLVULA API-600	1:2
				Revisó: 04/02/15	Ing. Amaba C.		
				Aprobó: 04/02/15	Ing. Amaba C.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01 de 2	
Usos	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



## Anexo A6



**Vikingo** GRUPO

Quito, 28 de Noviembre de 2014

000222

### **CERTIFICADO DE GARANTIA Y CALIDAD DE NEOPRENOS**

Señor  
**Eduardo Sánchez**  
Presente.-

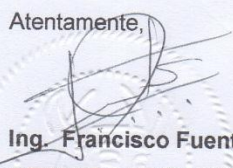
*De mi consideración:*

La empresa CAUCHOS VIKINGO garantiza que la vulcanización del disco de acero AISI 10 20 suministrado por nosotros con la factura 003-001-000001250 con fecha 27 de Noviembre de 2014.

Fue elaborado en caucho **NEOPRENO** marca **Showa Denko** de procedencia **Japonesa**, según consta factura (Invoice Number 104336) con fecha 12 de noviembre 2013. Cumpliendo las normas del MTOP 823-9 del Ecuador (Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador). Con las siguientes medidas:  $\emptyset$  del alma 192mm,  $\emptyset$  terminado 230mm y espesor 12mm. Dureza shore A 65 según la norma ASTM D 2240. Las especificaciones, dimensiones fueron suministradas por el Cliente (medidas y dureza).

El Sr. Eduardo Sánchez, puede dar uso a este certificado como bien tuviere.

Atentamente,

  
**Ing. Francisco Fuentes**  
**GERENTE DE CAUCHOS VIKINGO**

Fábrica: Urb. Industrial "La Bretaña" Calle E2F N° S4390 y Jim Irwin. Tel: 02 2692-107 • E-mail: cauchosvikingo@hotmail.com • Cel: 0996 036-286  
Sucursal: Av. Maldonado 668 y Alamar (gasolinera Terpel) 2do piso. 50 mts al norte del CCR. Tel: 02 2613-091 • Tel/fax: 02 2645-983  
Quito - Ecuador

[www.cauchosvikingo.com](http://www.cauchosvikingo.com)



www.cuchosvikingo.com



FUENTES LARREA  
ORLANDO FRANCISCO  
CAUCHOS VIKINGO  
R.U.C.: 1000654077001

FACTURA

N° 003-001-00 0001250

Matriz: Av. Pedro Vicente Maldonado 668 y Calvas 2do. Piso  
Telf.: 2613-091 / Telefax: 2645 983 - Quito  
Sucursal: E2F S43-90 y Camino Al Conde  
3652 252

RODILLOS - PLACAS DE NEOPRENO  
EMPAQUES PARA INDUSTRIAS - TRACTORES  
AUTOMOTORES - MAQUETAS - O-RING

AUTORIZACIÓN S.R.I. 1115816055  
Fecha de Autorización: 28/Octubre/2014

SEÑORES: <u>Eduardo Sanchez</u>	R.U.C.: /C.I.: <u>1205739012</u>
DIRECCIÓN: <u>Ambato</u>	
TELF.: <u>0997140149</u>	VENDEDOR:

Fecha de Emisión: 27-11-2014 Orden de Trabajo No.: \_\_\_\_\_ GR # \_\_\_\_\_

CANT.	DETALLE.	P. UNIT.	V. TOTAL
1	Vulcanización de un disco	130,00	130,00
	Ø alma 192mm		
	Ø terminado 230mm		
	espesor 12mm		
	Abono \$50		
	<del>130,00</del> CANCELADO		
	\$15,60		

FAVOR EMITIR CHEQUE CRUZADO A NOMBRE DE CAUCHOS VIKINGO

Fecha de Caducidad: 28/Octubre/2015



Original: Celeste; Emisor / Amarilla: Sin Valor Tributario  
FIRMA AUTORIZADA

Firma Autorizada

Recibí Conforme

SUBTOTAL \$	130,00
DESCUENTO	
NETO	
I.V.A. 0%	
I.V.A. 12%	15,60
TOTAL \$	145,60



**ACERO GRADO MAQUINARIA**



**AISI 4140**

**Soluciones sólidas y duraderas...**

## ACERO AISI-SAE 4140 (UNS G41400)

1. **Descripción:** es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser niturado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico

2. **Normas involucradas:** ASTM 322

3. **Propiedades mecánicas:** Dureza 275 - 320 HB (29 - 34 HRC)  
Esfuerzo a la fluencia: 690 MPa (100 KSI)  
Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)  
Elongación mínima 12%  
Reducción de área mínima 50%

4. **Propiedades físicas:** Densidad 7.85 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

5. **Propiedades químicas:** 0.38 - 0.43% C  
0.75 - 1.00% Mn  
0.80 - 1.10% Cr  
0.15 - 0.25% Mo  
0.15 - 0.35% Si  
0.04% P máx  
0.05% S máx

6. **Usos:** se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cincos.

7. **Tratamientos térmicos:** se austeniza a temperatura entre 830 - 850 °C y se da temple en aceite. El revenido se da por dos horas a 200°C para obtener dureza de 57 HRC y si se da a 315°C la dureza será de 50 HRC. Para recocido se calienta entre 680 - 720°C con dos horas de mantenimiento, luego se enfría a 15°C por hora hasta 600°C y se termina enfriando al aire tranquilo. Para el alivio de tensiones se calienta entre 450 - 650°C y se mantiene entre 1/2 y 2 horas. Se enfría en el horno hasta 450°C y luego se deja enfriar al aire tranquilo.

**NOTA:**

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

**ACERO MAQUINARIA - AISI 4140**

## Anexo A8

### VALVULAS DE AISLAMIENTO LINEALES Y DE RETENCION



Las válvulas que conforman el programa de suministro de COMEVAL para el sector energético y de procesos están diseñadas, fabricadas y probadas en cumplimiento con los estándares de diseño API-MSS, estándares de fabricación ASME, materiales ASTM y dimensiones ANSI.

La línea de fabricación cuenta con modelos propios y es subcontrata a terceros tras un estricto proceso de homologación de la planta y los procedimientos de calidad e Ingeniería.



#### VALVULAS DE ACERO FUNDIDO

TIPOS:	COMPUERTA, GLOBO, RETENCION
DISEÑO:	API 600 – ANSI B.16.10 – ASME B.16.34
RATING:	150/300/600/900/1500/2500 LBS (En función de tamaños)
DIMENSIONES ESTANDAR:	2" – 36" (hasta 24" en rating superiores)
MATERIALES CUERPO/TAPA:	ASTM A216 WCB ASTM A217 WC6 ASTM A352 LCB (Aceros estándar – otros bajo demanda).
TRIM Nº:	1, 5, 8, 10" (ver tabla de detalle)
CONEXIONES:	BRIDAS ANSI B.16.5 (diversos acabados) / SOLDAR B16.34
CARACTERISTICAS:	TAPA ATORNILLADA, HUSILLO EXTERNO Y PUENTE (COMPUERTA y GLOBO), RETENCION DE DISCO BATIENTE Y DE ALZAMIENTO CON MUELLE. RETENCION WAFER DISPONIBLE BAJO DEMANDA. PRESSURE SEAL PARA RATINGS 1500# Y SUPERIORES.

#### VALVULAS DE ACERO INOXIDABLE

TIPOS:	COMPUERTA, GLOBO, RETENCION
DISEÑO:	API 600.603 – ANSI B.16.10 – ASME B.16.34
RATING :	150/300/600/900/1500/2500LBS (En función de tamaños)
DIMENSIONES:	2" – 36" (hasta 24" en rating superiores)
MATERIALES CUERPO/TAPA:	A351 CF8 A351 CF8M
TRIM Nº:	1, 5, 8, 10" (ver tabla de detalle)
CONEXIONES:	BRIDAS ANSI B.16.5 (diversos acabados) / SOLDAR B16.34
CARACTERISTICAS:	TAPA ATORNILLADA, HUSILLO EXTERNO Y PUENTE (COMPUERTA y GLOBO), RETENCION DE DISCO BATIENTE Y DE ALZAMIENTO CON MUELLE. RETENCION WAFER DISPONIBLE BAJO DEMANDA. PRESSURE SEAL PARA RATINGS 1500# Y SUPERIORES.

#### VALVULAS FORJADAS

TIPOS:	COMPUERTA, GLOBO, RETENCION BATIENTE Y PISTON
DISEÑO:	API 602, ASME B.16.34
RATING :	150/300/600/900/1500/2500 LBS
DIMENSIONES:	1/2" – 2"
MATERIALES CUERPO/TAPA:	A105N, LF2, F11, F304, F316
TRIM Nº:	1, 5, 8
CONEXIONES:	EXTREMOS ROSCADOS NPT, SW, BW – B.16.34
CARACTERISTICAS:	TAPA ATORNILLADA, SOLDADA, HUSILLO EXTERNO Y PUENTE (COMPUERTA y GLOBO), RETENCION DE DISCO BATIENTE Y DE ALZAMIENTO CON MUELLE.

# VALVULAS DE COMPUERTA

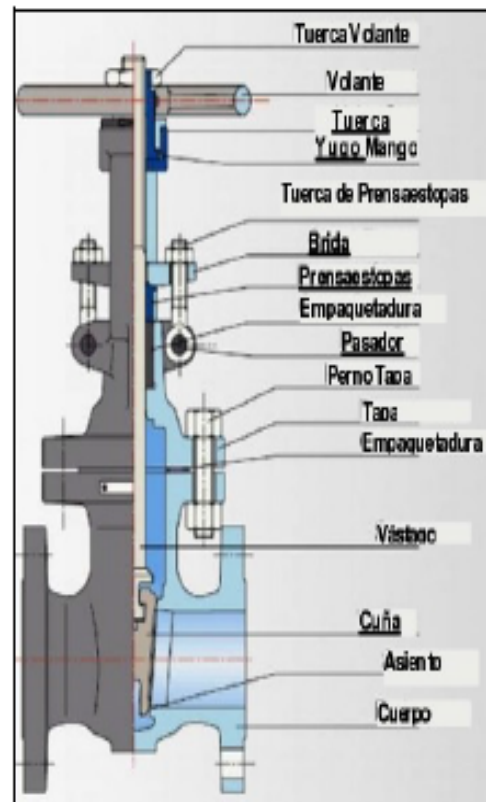
## ESPECIFICACIONES ESTANDAR

### Rango de producción

API 803 / ASME 18.34		API 800 / BS 1414	
Categoría	Tamaño	Categoría	Tamaño
150	2" ~ 24"	150	2" ~ 36"
300	2" ~ 24"	300	2" ~ 36"
600	2" ~ 24"	600	2" ~ 24"
		900	2" ~ 12"
		1500	2" ~ 12"

### Estándares de Diseño

Presión - Rango de Temperatura	ANSI B16.34
Dimensiones cara a cara	ANSI B16.10
Dimensiones de rango externo	ASME B16.05
Ensayo	API 598 / MSS-SP-41
Perno Tapa	ASTM A193 / ASTM A320
Tuerca Tapa	ASTM A194
Marcado	MSS-SP-25
Espesor de pared (Delgado)	API 803 / ANSI B16.34
Espesor de pared (Grueso)	API 800 / BS1414



### Especificaciones de las Normas Estándar

Nombre de la Pieza	Válvulas de Acero Fundido		Válvulas de Acero Inoxidable		
	WCB	LCB	CF8M	CF8	CF3M
Cuerpo	A216-WCB	A352-LCB	A351-CF8M	A351-CF8	A351-CF3M
Disco	A217-CA15	A351-CF8	A351-CF8M	A351-CF8	A351-CF3M
Asiento	A105+CA15	A182-F304	Integral		
Vástago	A479-410	A479-304	A479-316	A479-304	A479-316L
Asiento Posterior	A479-410	A479-304	Integral		
Tapa	A216-WCB	A352-LCB	A351-CF8M	A351-CF8	A351-CF3M
Perno Tapa	A193-B7	A320-L7	A193-B8		
Tuerca Tapa	A194-2H	A194-4	A194-8		
Prensaestopas de la Empaquetadura	A479-410	A479-304	A479-316	A479-304	A479-316L
Pasador de Bisagra	A576-1020		A479-304		
Empaquetadura del Prensaestopas	Grafto				
Breda Prensaestopas	A216-WCB		A351-CF8		
Tornillo prensa	A307-B	A194-8	A194-8		
Empaquetadura	Enrollado en Espiral				
Tuerca Yugo	A576-1020		A576-1020+Zn		
Mango Yugo	A439-D2C		A493-D2C		
Volante de Mano	A197		A193		
Tuerca de volante de mano	A47-32510+Zn		A351-CF8		

Notas: 1 - A solicitud, podemos proveerle cualquier tipo de empaquetadura y prensaestopas de la empaquetadura 2 - STL

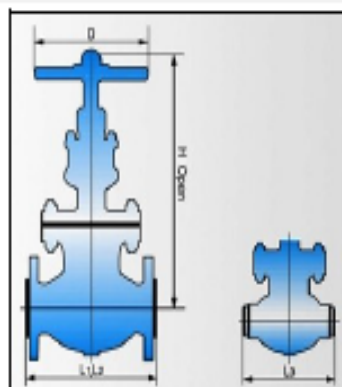
## SERIE ASME 600

### DIMENSIONES

Válvula de Globo de Acero Inoxidable y de Acero Fundido:

Tapa empacada, yugo y tornillo exterior, Vástago y volante

Ascendentes, disco tapón



Tamaño	CARA A CARA						API 600 (RF Extremos)				API 600 (RF Extremos)				
	L1:RF		L2:RTJ		L3:BW		H		D		H		D		
mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas
60	2	292	11-1/2	295.3	11-5/8	292	11-1/2	394	15-1/2	250	9-5/8	394	15-1/2	180	7
66	2 - 1/2	330	13	333.4	13-1/8	330	13	450	17-5/7	300	11-4/5	427	16-4/5	200	7-7/8
80	3	356	14	359	14-1/8	356	14	520	20-1/2	350	13-7/9	475	18-5/7	300	1-4/5
100	4	432	17	435	17-1/8	432	17	609	24	350	13-7/9	591	23-1/4	450	17-5/7
160	8	559	22	562	22-1/8	559	22	750	29-1/2	450	17-5/7	801	31-1/2	560	22
200	8	660	26	664	26-1/8	660	26	815	32	610	24	1005	39-4/7	610	24
260	10	787	31	791	31-1/8	787	31	885	34-5/6	610	24	1192	47	610	24
300	12	838	33	841	33-1/8	838	33	955	37-3/5			1490	58-2/3		

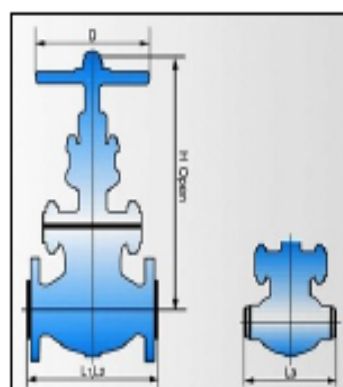
## SERIE ASME 900 Y 1500

### DIMENSIONES

Válvula de Globo de Acero Inoxidable y de Acero Fundido:

Tapa empacada, yugo y tornillo exterior, Vástago y volante

Ascendentes, disco tapón



Tamaño	CARA A CARA						API 600 (RF Extremos)				
	L1:RF		L2:RTJ		L3:BW		H		D		
mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas	mm	pulgadas
<b>CLASE 900</b>											
60	2	368	14-1/2	372	14-5/8	368	14-1/2	450	17-5/7	350	13-7/9
80	3	381	15	384	15-1/8	381	15	535	21	450	17-5/7
100	4	457	18	460	18-1/8	457	18	623	24-1/2	450	17-5/7
160	8	610	24	613	24-1/8	610	24	785	31	610	24
200	8	737	29	740	29-1/8	737	29	860	33-6/7	610	24
260	10	838	33	841	33-1/8	838	33	1350	53-1/7		
300	12	965	38	968	38-1/8	965	38	1500	59		
<b>CLASE 1500</b>											
60	2	368	14-1/2	372	14-5/8	368	14-1/2	500	19-2/3	350	13-7/9
80	3	470	18-1/2	473	18-5/8	470	18-1/2	550	21-2/3	450	17-5/7
100	4	546	21-1/2	549	21-5/8	546	21-1/2	615	24-1/5	450	17-5/7
160	8	705	27-3/4	711	28	705	27-3/4	790	31-1/9		
200	8	832	32-3/4	841	33-1/8	832	32-3/4	1150	45-2/7		
260	10	900	39	1000	39-3/8	900	39				
300	12	1130	44-1/2	1146	45-1/8	1130	44-1/2				



### Anexo A9

TABLA DE VALORES DE “t” DE STUDENT Y PROBABILIDADES “P” ASOCIADA EN FUNCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD “gl”

gl	P (de una cola)									
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.326	31.596
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.706
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
Infinito	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

Anexo A 10

FORMATO PARA EL ANÁLISIS DE ESPESORES POR ULTRASONIDO

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ANÁLISIS DE ULTRASONIDO PIEZA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					<b>N° ENSAYO: 01</b>
Realizado por:			Autorizado por:		
Lugar:			Fecha de ejecución:		
Equipo:			Frecuencia:		
Transductor:			Dimensiones:		
Material:			Norma aplicable:		
Velocidad del aire circundante:			Temperatura ambiente:		
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>					
N° de Mediciones	Zona de incidencia	Espesor $\mu\text{m}$	Espesor mm	<b>Resultados Estadísticos:</b>  Media  Varianza  Desviación estándar  Coeficiente de Variación	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
<b>Gráfico de Variación de Espesores</b>				<b>Detalle Referencial</b>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>					

Anexo A 11

FORMATOS PARA EL ANÁLISIS DE DESGASTE ABRASIVO  
PROCEDIMIENTO A DE LA NORMA ASTM G-65

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
<b>DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Referencia:</b> Tabla X1.2 de la Norma ASTM G-65	<b>Fecha:</b>					
<b>Lugar:</b>	<b>Cantidad de Muestras:</b>					
<b>Tipo de Material:</b>	<b>Tratamiento Térmico:</b>					
<b>Dureza Promedio del Material:</b>	<b>Preparación del Material:</b>					
<b>Datos de la Máquina de Ensayo</b>						
<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)					
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A					
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min					
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min					
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>						
<b>Pérdida de Volumen:</b>	<b>C. de Variación:</b>					
<b>Densidad del Material:</b>	<b>Abrasión Lineal:</b> 4309 m					
<b>N° de Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Masa Inicial (gr)</b>						
<b>Masa Final (gr)</b>						
<b>Pérdida de Masa (gr)</b>						
<b>Resistencia a la Abrasión (m/gr)</b>						
<b>Pérdida de Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>						
<b>Ajuste de Pérdida de Volumen (mm<sup>3</sup>)</b>						
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>						
<b>Realizado por:</b>				<b>Revisado por:</b>		

$$Media \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N}$$

$$Desviacion\ estandar = s = \sqrt{\frac{((n_1 - \bar{x})^2 + \dots + (n - \bar{x})^2)}{N}}$$

$$Coeficiente\ de\ variación = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) * 100$$





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



**ANÁLISIS DE PÉRDIDA MASA**

**DATOS INFORMATIVOS**

**N° ENSAYO:**

<b>Tipo de Estudio:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Lugar:</b>	<b>Cantidad de Muestras:</b>
<b>Tipo de Material:</b>	<b>Tratamiento Térmico:</b>
<b>Dureza Promedio del Material:</b>	<b>Preparación del Material:</b>

**Datos de la Máquina de Ensayo**

<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min

**OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

N°	Masa Inicial (g)	PÉRDIDA DE MASA (g)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1							
2							
3							
4							
5							
6							
	<b>N°</b>	<b>PÉRDIDA DE MASA (g)</b>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
<b>Promedio</b>							

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

--

<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>
-----------------------	----------------------



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



**ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE VOLUMEN**

**DATOS INFORMATIVOS**

**Nº ENSAYO:**

<b>Tipo de Estudio:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Lugar:</b>	<b>Cantidad de Muestras:</b>
<b>Tipo de Material:</b>	<b>Tratamiento Térmico:</b>
<b>Dureza Promedio del Material:</b>	<b>Preparación del Material:</b>

**Datos de la Máquina de Ensayo**

<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Tiempo de Prueba:</b> 30 min

**OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

Nº	Peso Inicial (g)	Pérdida de Volumen mm <sup>3</sup>					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1							
2							
3							
4							
5							
6							
<b>Promedio</b>							

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

**DETALLE REFERENCIAL**

--	--

<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>
-----------------------	----------------------



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



**ANÁLISIS DE LA TASA DE DESGASTE**

**DATOS INFORMATIVOS**

**Nº ENSAYO:**

<b>Tipo de Estudio:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Lugar:</b>	<b>Cantidad de Muestras:</b>
<b>Tipo de Material:</b>	<b>Tratamiento Térmico:</b>
<b>Dureza Promedio del Material:</b>	<b>Preparación del Material:</b>

**Datos de la Máquina de Ensayo**

<b>Método:</b> Procedimiento A	<b>Ancho de la Rueda:</b> 12,7 mm ( ½ Plg)
<b>Diámetro de la Rueda:</b> 228,6 mm (9 Plg)	<b>Dureza de la Rueda:</b> 65 Short A
<b>Revoluciones de la Rueda:</b> 200 rpm	<b>Flujo de Arena:</b> 334,5 gr/min
<b>Carga Aplicada:</b> 130 N (30Lb)	<b>Abrasión lineal:</b> 4309 m

**OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

Nº	Peso Inicial (g)	Tasa de desgaste (mg*m) (Ecuación 2.2 pág. 25)					
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1							
2							
3							
4							
5							
6							
<b>Promedio</b>							

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

**DETALLE REFERENCIAL**

--	--

<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>
-----------------------	----------------------



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



**ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE**

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	<b>N° ENSAYO:</b>
---------------------------	-------------------

Tipo de Estudio:	Fecha:
Lugar:	Cantidad de Muestras:
Tipo de Material:	Tratamiento Térmico:
Dureza Promedio del Material:	Preparación del Material:

**Datos de la Máquina de Ensayo**

Método: Procedimiento A	Ancho de la Rueda: 12,7 mm ( ½ Plg)
Diámetro de la Rueda: 228,6 mm (9 Plg)	Dureza de la Rueda: 65 Short A
Revoluciones de la Rueda: 200 rpm	Flujo de Arena: 334,5 gr/min
Carga Aplicada: 130 N (30Lb)	Abrasión lineal: 4309 m

**OBTENCIÓN DE RESULTADOS (k) (Ecuación 2.3 pág. 26)**

N°	Peso Inicial (g)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1							
2							
3							
4							
5							
6							
<b>Promedio</b>							



<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>DETALLE REFERENCIAL</b>
-------------------------------------	----------------------------

--	--

Realizado por:	Revisado por:
----------------	---------------

Anexo A 12

FORMATO PARA EL ANÁLISIS DE DUREZA

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			<b>N° ENSAYO:</b>
Realizado por:		Autorizado por:	
Lugar:		Fecha de ejecución:	
Tipo de material:		Temperatura ambiente:	
Denominación de Probeta:		Tratamiento Térmico:	
<b>PROPIEDADES DE ENSAYO DE DUREZA</b>			
Norma de aplicación: ASTM E 18-03		Método: Rockwell C	
Carga aplicada: 1471 N (150 Kgf)		Indentador: Cono de Diamante	
Tiempo de Ensayo: 10 min		Zona de Barrido: Interior	
<b>OBTENCIÓN DE RESULTADOS</b>			
N° Huella			
Distancia (mm)			
Dureza (HRc)			
<b>Gráfico de Variación de Dureza</b>		<b>Detalle Referencial</b>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>			

Anexo A 13

FORMATO PARA EL ANÁLISIS DE METALOGRAFÍA

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA</b> 	
<b>ENSAYO METALOGRAFICO DE LA ZAT.</b>	<b>E.M. N°</b>
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN</b>	
<b>Realizado por:</b>	<b>Tutor:</b>
<b>Material base:</b>	<b>T. Pre calentamiento</b>
<b>Material de aporte:</b>	
<b>Proceso:</b>	<b>Tipo de estudio:</b>
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFICO</b>	
<b>Norma de referencia:</b>	
<b>Superficie óptima en:</b>	<b>Temperatura:</b>
<b>Ataque químico:</b>	<b>Acondicionamiento:</b>
<b>Tiempo de ataque:</b>	<b>Instrumento de observación:</b>
<b>RESULTADOS</b>	
Zonas metalúrgicas de la soldadura.	
	MB = Material base ZAT = Zona afectada térmicamente MF = Metal fundido
<b>FIGURA DE LA ZONA</b>	

