

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



**MAESTRÍA EN MECÁNICA**  
**(COHORTE 2017)**

**TEMA:**

---

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL  
RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y SU INCIDENCIA EN LA  
RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN ÁLABES DE TURBINAS  
FRANCIS”**

---

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención

Diseño

**Autor:** Ing. Edgar Rolando Sangucho Yanchapanta

**Director:** Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg

**Ambato – Ecuador**

**2019**

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

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg., Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS”, elaborado y presentado por el señor: Ing. Edgar Rolando Sangucho Yanchapanta, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica Mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Presidente del Tribunal



Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg.

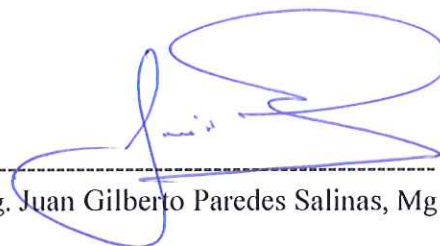
Miembro del Tribunal

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Edgar Rolando Sangucho Yanchapanta, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



-----  
Ing. Edgar Rolando Sangucho  
Yanchapanta  
*c.c. 1804038022*  
**AUTOR**



-----  
Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg  
*c.c. 1803683174*  
**DIRECTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

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

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



---

Ing. Edgar Rolando Sangucho Yanchapanta

*C.C. 1804038022*

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios quien me ha dado la vida, la salud, la maravillosa oportunidad de seguir creciendo profesional y espiritualmente, por permitirme recorrer el camino del conocimiento hasta llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.*

*A mi madre Martha y a mi padre Alfredo, quienes me han demostrado su apoyo incondicional en los momentos de éxito y más aún en los adversos, que con sus conocimientos me han sabido guiar en este maravilloso camino de la vida.*

*A Nancy, Janeth, por ser las hermanas que nunca me han dejado rendir.*

*A una persona muy especial que ha estado junto a mí y ha sido pilar fundamental en el trayecto de esta maestría.*

*A Kevin Andres, porque desde su existencia ha sido el amor, fuente de inagotable alegría e inspiración en mi vida.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a los compañeros de CELEC EP. Unidad de Negocio Hidroagoyán, en especial a quienes forman parte del área de mantenimiento mecánico gracias por su colaboración y sugerencias para que el desarrollo de este trabajo se haga realidad.*

*Mi gratitud y reconocimiento a las autoridades y profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por sus conocimientos experiencias compartidas, de manera especial a mi tutor Ing. Juan Paredes Salinas, Mg., por ser una guía para el buen desarrollo del presente proyecto.*

*A mis familiares, amigos y colegas por haber compartido experiencias únicas en el transcurso de la maestría.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiv
EXECUTIVE SUMMARY .....	xv
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>16</b>
1.1 Tema.....	16
1.2 Planteamiento del problema .....	16
1.2.1 Contextualización.....	16
1.2.2 Análisis crítico .....	18
1.2.3 Prognosis .....	19
1.2.4 Formulación del problema .....	19
1.2.5 Preguntas directrices .....	19
1.2.6 Delimitación del problema .....	19
1.2.6.1 Delimitación de contenidos .....	19
1.2.6.2 Delimitación espacial .....	20
1.2.6.3 Delimitación temporal.....	20
1.3 Justificación.....	20
1.4 Objetivos .....	21
1.4.1 General .....	21
1.4.2 Específicos .....	21
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>22</b>
2.1 Antecedentes investigativos .....	22
2.2 Fundamentación teórica .....	23
2.2.1 Diseño de experimentos DOE en ingeniería de materiales .....	23
2.2.1.1 Reseña histórica del diseño de experimentos .....	23
2.2.1.2 Metodología de superficie de respuesta (RSM) .....	25
2.2.2 Metodología para la aplicación del diseño de experimentos .....	29
2.2.3 Verificación de supuestos del modelo.....	31
2.2.3.1 Supuesto de normalidad .....	31
2.2.3.2 Supuesto de varianza constante .....	33

2.2.3.3 Supuesto de independencia .....	34
2.2.4 Transformación de datos .....	34
2.2.5 Recubrimientos duros.....	35
2.2.5.1 Cerámicos Belzona.....	36
2.2.5.2 Belzona 1321.....	37
2.2.5.3 Propiedades de la Belzona 1321.....	37
2.2.5.4 Aceros inoxidable martensíticos.....	39
2.2.5.5 Acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM .....	39
2.2.6 Tribología.....	41
2.2.7 Propiedades tribológicas .....	41
2.2.7.1 Fricción .....	42
2.2.7.2 Leyes de fricción .....	42
2.2.8 Desgaste .....	43
2.2.8.1 Categorías de desgaste .....	43
2.2.8.2 Desgaste abrasivo de bajo esfuerzo.....	44
2.2.8.3 Desgaste abrasivo de alto esfuerzo.....	45
2.2.8.4 Efectos del desgaste abrasivo sobre las propiedades del material .....	46
2.2.8.5 Medición del desgaste abrasivo.....	48
2.2.8.6 Pérdida de volumen.....	48
2.2.9 Norma ASTM G105.....	49
2.2.10 Procedimiento del ensayo según ASTM G105.....	49
2.3 Fundamentación filosófica .....	50
2.4 Fundamentación legal .....	50
2.5 Categorías fundamentales .....	51
2.6 Hipótesis.....	52
2.7 Señalamiento de variables .....	52
2.7.1 Variable independiente.....	52
2.7.2 Variable dependiente.....	52
2.7.3 Termino de relación .....	52
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>53</b>
3.1 Enfoque .....	53
3.2 Modalidad Básica de la investigación .....	53
3.2.1 Documental .....	53
3.2.2 De campo .....	54
3.2.3 Experimental .....	54
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	54
3.3.1 Experimental .....	54
3.3.2 Prospectiva .....	54
3.3.3 Longitudinal y transversal.....	55



3.3.4 Analítico.....	55
3.4 Población y muestra .....	55
3.4.1 Población.....	55
3.4.2 Muestra.....	55
3.5 Operacionalización de variables.....	56
3.5.1 Variable Independiente .....	56
3.5.2 Variable Dependiente .....	57
3.6 Recolección de la información .....	57
3.7 Procesamiento y análisis .....	57
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>59</b>
4.1 Análisis de los resultados .....	59
4.1.1 Desarrollo del diseño de experimentos DOE .....	61
4.1.1.1 Selección del diseño de experimentos.....	62
4.1.2 Obtención del acero inoxidable martensítico para las probetas.....	65
4.1.2.1 Preparación de las probetas .....	66
4.1.2.2 Proceso de recubrimiento de las probetas con Belzona 1321 .....	68
4.1.2.3 Codificación de las probetas.....	70
4.1.3 Medición de rugosidad superficial del acero inoxidable .....	71
4.1.4 Medición de espesor del recubrimiento.....	72
4.1.5 Temperatura de curado del recubrimiento.....	73
4.1.6 Medición del peso inicial .....	74
4.1.7 Proceso del ensayo de desgaste abrasivo norma ASTM G105.....	75
4.1.8 Registro de resultado del ensayo del desgaste abrasivo norma ASTM G105 .....	76
4.1.9 Corrida del diseño de experimentos para volumen perdido .....	78
4.1.9.1 Verificar supuestos .....	78
4.1.9.2 Transformación de datos .....	83
4.1.9.3 Verificar supuestos de datos transformados de volumen perdido .....	83
4.1.9.4 Análisis de superficie de respuesta del volumen perdido, datos transformados.....	88
4.1.10 Corrida del diseño de experimentos para tasa de desgaste .....	97
4.1.10.1 Verificar supuestos .....	97
4.1.10.2 Transformación de datos .....	102
4.1.10.3 Verificar supuestos de datos transformados de la tasa de desgaste .....	102
4.1.10.4 Análisis de superficie de respuesta tasa de desgaste, datos transformados .....	107
4.2 Interpretación de los resultados.....	116
4.2.1 Resultados del diseño de experimentos del volumen perdido .....	117
4.2.2 Resultados del diseño de experimentos de la tasa de desgaste .....	125
4.3 Verificación de hipótesis .....	134
4.3.1 Análisis de la deseabilidad global DG.....	134
4.3.1.1 Verificar supuestos .....	134

<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>141</b>
5.1 Conclusiones .....	141
5.2 Recomendaciones.....	144
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>145</b>
6.1 Datos informativos .....	145
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	146
6.3 Justificación.....	146
6.4 Objetivos .....	147
6.4.1 Objetivo general .....	147
6.4.2 Objetivos específicos.....	147
6.5 Análisis de factibilidad.....	148
6.5.1 Análisis económico .....	148
6.5.2 Análisis tecnológico .....	148
6.6 Fundamentación .....	148
6.7 Metodología .....	149
6.8 Administración.....	157
6.9 Previsión de la evaluación .....	158
Referencias bibliográficas .....	160

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Número de puntos en los diseños de segundo orden. ....	28
<b>Tabla 2.2</b> Propiedades mecánicas de la Belzona 1321. ....	38
<b>Tabla 2.3</b> Rangos de cobertura de la Belzona 1321.....	38
<b>Tabla 2.4</b> Finalización de la reacción molecular de la Belzona 1321.....	38
<b>Tabla 2.5</b> Composición química nominal del acero ASTM A743 CA6-NM. ....	41
<b>Tabla 2.6</b> Propiedades mecánicas de la aleación CA6-NM según ASTM A743.....	41
<b>Tabla 3.1</b> Matriz de diseño Box-Behnken para tres factores con tres niveles. ....	56
<b>Tabla 3.2</b> Operacionalización de la variable independiente. ....	56
<b>Tabla 3.3</b> Operacionalización de la variable dependiente. ....	57
<b>Tabla 4.1</b> Análisis de las variables de la caja negra. ....	63
<b>Tabla 4.2</b> Niveles de tratamientos. ....	65
<b>Tabla 4.3</b> Diseño de experimentos de Box-Behnken.....	65
<b>Tabla 4.4</b> Propiedades químicas de los aceros inoxidables. ....	66
<b>Tabla 4.5</b> Propiedades mecánicas de los aceros inoxidables. ....	66
<b>Tabla 4.6</b> Grupos de probetas a maquinar. ....	67
<b>Tabla 4.7</b> Preparación de las probetas. ....	67
<b>Tabla 4.8</b> Aplicación del recubrimiento. ....	68
<b>Tabla 4.9</b> Grupos de probetas codificadas.....	70
<b>Tabla 4.10</b> Medición de rugosidad. ....	71
<b>Tabla 4.11</b> Medición de espesor del recubrimiento.....	72
<b>Tabla 4.12</b> Temperatura de curado de las probetas con recubrimiento. ....	73
<b>Tabla 4.13</b> Medición del peso inicial. ....	74
<b>Tabla 4.14</b> Resumen del ensayo abrasivo.....	76
<b>Tabla 4.15</b> Resumen del diseño totalidad de los desplazamientos. ....	78
<b>Tabla 4.16</b> Verificación de supuesto de normalidad de volumen perdido.....	79
<b>Tabla 4.17</b> Verificación de supuesto de igualdad de varianza de volumen perdido. ....	80
<b>Tabla 4.18</b> Gráfica de Residuos vs Ajustes de volumen perdido. ....	81
<b>Tabla 4.19</b> Gráfica de Residuos vs Orden de observación de volumen perdido. ....	82
<b>Tabla 4.20</b> Transformación de datos de volumen perdido. ....	83
<b>Tabla 4.21</b> Verificación de supuesto de normalidad de volumen perdido.....	84
<b>Tabla 4.22</b> Supuesto de igualdad de varianza de volumen perdido datos transformados.....	85
<b>Tabla 4.23</b> Gráfica de Residuos vs Ajustes de volumen perdido, datos transformados. ....	86
<b>Tabla 4.24</b> Residuos vs Orden de observación de volumen perdido, datos transformados. ....	87
<b>Tabla 4.25</b> Análisis de varianza de volumen perdido, datos transformados.....	88
<b>Tabla 4.26</b> Gráfica de contorno de volumen perdido, datos transformados. ....	92
<b>Tabla 4.27</b> Gráfica de superficie de volumen perdido, datos transformados.....	94
<b>Tabla 4.28</b> Optimización de respuesta de volumen perdido, datos transformados.....	96
<b>Tabla 4.29</b> Verificación de supuesto de normalidad de la tasa de desgaste.....	98

<b>Tabla 4.30</b>	Verificación de supuesto de igualdad de varianza de la tasa de desgaste.....	99
<b>Tabla 4.31</b>	Gráfica de Residuos vs Ajustes de la tasa de desgaste. ....	100
<b>Tabla 4.32</b>	Gráfica de Residuos vs Orden de observación de la tasa de desgaste. ....	101
<b>Tabla 4.33</b>	Transformación de datos de la tasa de desgaste. ....	102
<b>Tabla 4.34</b>	Verificación de supuesto de normalidad de la tasa de desgaste.....	103
<b>Tabla 4.35</b>	Supuesto de igualdad de varianza de la tasa de desgaste, datos transformados. ....	104
<b>Tabla 4.36</b>	Gráfica de Residuos vs Ajustes de la tasa de desgaste, datos transformados. ....	105
<b>Tabla 4.37</b>	Residuos vs Orden de observación de la tasa de desgaste, datos transformados. ....	106
<b>Tabla 4.38</b>	Análisis de varianza de tasa de desgaste, datos transformados. ....	107
<b>Tabla 4.39</b>	Gráfica de contorno de tasa de desgaste, datos transformados. ....	111
<b>Tabla 4.40</b>	Gráfica de superficie de tasa de desgaste, datos transformados. ....	113
<b>Tabla 4.41</b>	Optimización de respuesta de tasa de desgaste, datos transformados. ....	115
<b>Tabla 4.42</b>	Resultados de varianza y diagrama de Pareto de volumen perdido.....	117
<b>Tabla 4.43</b>	Gráficas de efectos principales y de interacciones del volumen perdido. ....	118
<b>Tabla 4.44</b>	Gráficas de contorno y de superficie del volumen perdido. ....	120
<b>Tabla 4.45</b>	Gráficas de optimización de respuesta del volumen perdido. ....	124
<b>Tabla 4.46</b>	Resultados de varianza y diagrama de Pareto de la tasa de desgaste.....	125
<b>Tabla 4.47</b>	Gráficas de efectos principales y de interacciones de la tasa de desgaste. ....	127
<b>Tabla 4.48</b>	Gráficas de contorno y de superficie de la tasa de desgaste. ....	129
<b>Tabla 4.49</b>	Gráficas de optimización de respuesta de la tasa de desgaste. ....	133
<b>Tabla 4.50</b>	Verificación de supuesto de normalidad de deseabilidad global. ....	135
<b>Tabla 4.51</b>	Gráfica de Residuos vs Ajustes de la deseabilidad global.....	136
<b>Tabla 4.52</b>	Gráfica de Residuos vs Orden de observación de la deseabilidad global.....	137
<b>Tabla 4.53</b>	Análisis de varianza de la densidad global.....	138
<b>Tabla 4.54</b>	Pruebas de factores optimizados. ....	140
<b>Tabla 6.1</b>	Características del álabe directriz.....	151
<b>Tabla 6.2</b>	Análisis de costos del proyecto de investigación. ....	158

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Clasificación de los diseños experimentales.....	25
<b>Figura 2.2</b> a) Acciones básicas, b) Región de operabilidad (cubo mayor) y experimental. ....	27
<b>Figura 2.3</b> Representación del diseño de Box-Behnken para tres factores.....	27
<b>Figura 2.4</b> Procedimiento para la realización de un DOE. ....	30
<b>Figura 2.5</b> Gráfica de supuestos de normalidad, a) No cumple, b) cumple.....	32
<b>Figura 2.6</b> Gráfica de supuestos de varianza constante, a) cumple, b) no cumple. ....	33
<b>Figura 2.7</b> Gráfica de supuestos de independencia, a) no cumple, b) cumple.....	34
<b>Figura 2.8</b> Aplicación de la Belzona. ....	37
<b>Figura 2.9</b> Aplicación de la Belzona. ....	37
<b>Figura 2.10</b> Estructura martensítica de la fundición CA6-NM. ....	40
<b>Figura 2.11</b> Deslizamiento de un cuerpo libre sobre una superficie.....	42
<b>Figura 2.12</b> Categorías y mecanismos básicos de desgaste.....	44
<b>Figura 2.13</b> (a) Desgaste de bajo esfuerzo, (b) Punta de filo duro y un bocín plástico. ....	45
<b>Figura 2.14</b> Esquema de abrasión de alto esfuerzo. ....	45
<b>Figura 2.15</b> Esquema del desgaste de rozamiento.....	46
<b>Figura 2.16</b> Resistencia al desgaste vs la dureza del material. ....	46
<b>Figura 2.17</b> Efecto de la dureza del abrasivo, relativa a la dureza del material. ....	47
<b>Figura 2.18</b> Diagrama de la máquina según Norma ASTM G105. ....	49
<b>Figura 2.19</b> Tamaño de la probeta para el ensayo abrasivo.....	50
<b>Figura 2.20</b> Categorías fundamentales. ....	51
<b>Figura 4.1</b> Diagrama de flujo para el ensayo abrasivo Norma ASTM G105. ....	60
<b>Figura 4.2</b> Diagrama de flujo de la corrida del diseño de experimentos en software.....	61
<b>Figura 4.3</b> Diagrama de la caja negra a priori. ....	62
<b>Figura 4.4</b> Diagrama de la caja negra final. ....	64
<b>Figura 4.5</b> Acero ASTM A743 GRADO CA6-NM. ....	66
<b>Figura 4.6</b> a, b) Probetas aplicadas la Belzona 1321.....	69
<b>Figura 4.7</b> Medición de espesores de las probetas aplicadas Belzona 1321.....	69
<b>Figura 4.8</b> Ubicación de lámparas para el curado. ....	73
<b>Figura 4.9</b> a) Disco Shore A50, b) Llenado cámara con agua y arena, c) Carga aplicada. ....	76
<b>Figura 4.10</b> Gráfica de efectos principales de volumen perdido. ....	90
<b>Figura 4.11</b> Gráfica de interacciones de volumen perdido.....	91
<b>Figura 4.12</b> Gráfica de efectos principales de tasa de desgaste.....	109
<b>Figura 4.13</b> Gráfica de interacciones de tasa de desgaste.....	110
<b>Figura 6.1</b> Partes del álabe directriz. ....	151
<b>Figura 6.2</b> Inspección de campo de los álabes directrices.....	153
<b>Figura 6.3</b> Pulido y lijado para la aplicación de la Belzona. ....	154
<b>Figura 6.4</b> Aplicación del recubrimiento en el álabe directriz. ....	156
<b>Figura 6.5</b> Inspección final.....	157

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN MECÁNICA**

**Tema:** “OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS”

**Autor:** Ing. Edgar Rolando Sangucho Yanchapanta.

**Director:** Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

**Fecha:** 22 de octubre de 2019.

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo de investigación se desarrolló bajo el objetivo de la optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona y su incidencia en la resistencia al desgaste abrasivo en álabes de turbinas Francis, para lo cual se realizó ensayos de desgaste abrasivo para determinar la tasa de desgaste y la pérdida de volumen del recubrimiento.

Para el desarrollo de la investigación se fundamentó bajo la metodología bibliográfica y de campo, el tipo de investigación utilizando el método experimental, para abordar el fenómeno de optimización de los parámetros se realizó un diseño de experimentos bajo el método de superficies de respuesta utilizando la técnica de Box-Behnken, el fenómeno de estudio que incluyó 15 ensayos con la aplicación y combinación de parámetros de tiempo, espesor, temperatura de curado del recubrimiento para la evaluación de la variable, además se desarrolló 75 réplicas en función del desarrollo de experimentos, a los que se les aplicó los recubrimientos, Con esto se pudo concluir que la aplicación del recubrimiento en los álabes mejoran las características y propiedades con respecto al desgaste abrasivo, estos procesos contribuyen a una mayor dureza y resistencia abrasiva.

**Descriptor:** Recubrimiento, desgaste abrasivo, Box-Behnken, belzona, parámetros de aplicación, álabes.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING**  
**POSGRADUATE UNIT**  
**MASTER IN MECHANICAL**

“OPTIMIZATION OF THE APPLICATION PARAMETERS OF BELZONA HARD COATING AND ITS INCIDENCE IN THE RESISTANCE TO ABRASIVE WEAR IN FRANCIS TURBINE BLADES”

**Author:** Ing. Edgar Rolando Sangucho Yanchapanta.

**Advisor:** Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

**Date:** 22th october, 2019.

**EXECUTIVE SUMMARY**

This research work was carried out under the objective of optimizing the application parameters of the Belzona hard coating and its impact on abrasive wear resistance in Francis turbine blades, for which abrasive wear tests were performed to determine the rate of wear and loss of coating volume.

For the development of the research, the type of research based on the experimental method was based on the bibliographic and field methodology. To design the phenomenon of parameter optimization, an experiment design was carried out under the response surface method using the technique of Box-Behnken, the study phenomenon that included 15 trials with the application and combination of time parameters, thickness, curing temperature of the coating for the evaluation of the variable, in addition to 75 replications depending on the development of experiments, to which The coatings were applied. With this it could be concluded that the application of the coating on the improved materials the characteristics and properties with respect to abrasive wear, these processes affected a greater hardness and abrasive resistance.

**Keywords:** Coating, abrasive wear, Box-Behnken, belzona, application parameters, blades.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1 Tema**

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS”

### **1.2 Planteamiento del problema**

#### **1.2.1 Contextualización**

El desgaste abrasivo es un serio problema que afecta a diversas industrias a nivel mundial. En países que tienen una industria altamente desarrollada como Estados Unidos, Alemania, Japón o China, las pérdidas debido a este tipo de desgaste bordean los miles de millones de dólares anuales. Debido a las exorbitantes cifras de dinero que se pierden año tras año existe la necesidad de realizar investigaciones que minimicen los efectos del desgaste. Debido a este gran problema para la industria, diferentes investigadores vienen desarrollando para minimizar los efectos del desgaste[1].

El desafío permanente de la ingeniería ha permitido la evolución de nuevas tecnologías, lo cual conjugado con la permanente competitividad industrial, la búsqueda de reducción de costos de producción y mantenimiento y un exigente desempeño productivo, está generando en consecuencia el desarrollo de un sin número de opciones con relación al empleo de materiales para aplicaciones específicas de recubrimiento sin que esto implique el desmontaje de la pieza a recuperar o reparar.

A nivel mundial, actualmente el acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM es muy utilizado en la fabricación de elementos de turbinas hidráulicas, es así que los recubrimientos duros de diferentes materiales han sido estudiados por varios autores.

La caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros determina que para optimizar determinadas propiedades de los recubrimientos, es necesario diseñar adecuadamente el proceso de depósito seleccionado parámetros



indicados y para llevar a cabo esta tarea con eficacia se precisa caracterizar las propiedades de los recubrimientos tales como capacidad de adherir al material base, resistencia al impacto, temperatura, los métodos apropiados de preparación de la superficie que va ser aplicado el recubrimiento [1].

En algunas aplicaciones como en las herramientas de corte, piezas que están en contacto con material abrasivo como son bombas hidráulicas, han estado usando recubrimientos para incrementar la resistencia al desgaste y de esta forma extender el tiempo de vida del componente antes de que el equipo entre a un Overhol. Además de la reducción del coeficiente de fricción lo que impacta en el ahorro de energía. Sin embargo aunque se ha realizado muchas investigaciones en los últimos años no se ha creado un material que pueda brindar baja fricción y resistencia al desgaste en condiciones de uso general [2].

Existe investigación basado en técnicas de aplicación y viabilidad de recubrimientos cerámicos anti desgaste para bombas de impulsión navales, llegando a determinar los coeficientes de fricción son muy parecidos entre los recubrimientos cerámicos y los de acero (sin o con grasa) incluso inferiores en los cerámicos; por lo que es de esperar, que el rendimiento energético para menos rozamiento y económico para la durabilidad sea igual o mejor. Es importante considera el parámetro que influye directamente en el desgaste a la hora de elegir un material idóneo para recubrir con el fin deseado que sea bajo fricción, bajo desgaste, auto-lubricación, debido a que los recubrimientos conformados por elementos de más densidad y uniones moleculares más estables formaban recubrimientos idóneos para alta resistencia a desgaste abrasivo es decir tienen una alta resistencia a grandes sedimentos que contiene el agua [3].

A nivel de Sudamérica han ido generando estudios para determinar la microestructura y resistencia adhesivo-cohesiva de recubrimientos de níquel, carburo de tungsteno y óxido de cromo aplicados por aspersion térmica, estableciendo la aplicación de recubrimientos por aspersion térmica por combustión sobre acero inoxidable ASTM A743 grado CA6NM en la cual han demostrado que variaciones en la preparación superficial tienen efecto significativo y reproducible sobre la resistencia adhesivo-cohesiva de diversos sistemas estudiados. La rugosidad superficial es el parámetro que influye más significativamente en la resistencia adhesivo-cohesiva, aumentando entre un 36% y un 51% la adherencia de los recubrimientos Ni-1 y Ni-2, respectivamente[4].

En el Ecuador la utilización del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM se encuentra limitada a aplicaciones de componentes de turbinas hidráulicas, motivo por el cual no existen mayores investigaciones acerca de recubrimientos duros, excepto algunos trabajos de pregrado que han estudiado el recubrimiento Belzona para la aplicación y recuperación de turbinas como una forma de mantenimiento preventivo sin hacer referencia a la selección de la mejor combinación de los parámetros de la Belzona a ser aplicado en los álabes, por tal razón se va a implementar un estudio específico para álabes de turbinas Francis de Hidroagoyán para en función de estas tener referencia y poder aplicar en otras unidades de negocio.

### **1.2.2 Análisis crítico**

Para la generación hidroeléctrica del país, el agua de muchas cuencas hidrográficas tiene alto contenido de sólidos que desgastan agresivamente las partes de las turbinas, las mismas que sufren desgates abrasivo y de otros daños como cavitación y fisuras. Cuando las partes de las turbinas hidráulicas se encuentran fuera de los estándares operativos es necesario reemplazarlos, la cual involucra altos costos para ser adquiridos debido a que son de fabricación extranjera, a esto sumado a la insuficiente investigación y al no iniciarse un proceso tecnológico de reparación de los álabes y partes de las turbinas, ha llevado a que estos elementos sean considerados como chatarra constituyendo un alto desperdicio y gran impacto para el medio ambiente, así también causando indirectamente pérdidas económicas dentro de la empresa.

Una de las causas principales para que se produzca el desgaste de los elementos de las turbinas es el alto contenido de impurezas que existen en el agua que se utiliza para la producción de energía eléctrica, las Centrales Agoyán y San Francisco poseen unidades que generan con turbinas Francis, utilizan el agua del río Pastaza el cual acarrea sedimentación y materiales abrasivos que son perjudiciales para los álabes y demás componentes de las turbinas.

En la actualidad se ha ido desarrollando varias alternativas de reparación en la partes de la turbina siendo estos métodos usualmente de recuperación por soldadura gracias a su bajo contenido de carbono el acero ASTM A743 grado CA6-NM posee una buena soldabilidad, pero este proceso tiene una gran desventaja que limita a tan solo dos veces que se pueden recuperar bajo el método de soldadura, debido al progresivo

deterioro del material base a causa de los ciclos de calentamiento y enfriamiento durante la soldadura por lo tanto es necesario realizar tratamiento térmico para afinar la microestructura y propiedades mecánicas del acero, con lo cual conlleva a un problema ya que no permite una reparación puntual donde están instalados los álabes.

### **1.2.3 Prognosis**

Al no realizar el estudio de la optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona sobre los álabes de la turbina podría producir fisuras de gran magnitud y posteriormente la rotura total de dichos elementos, así también al no efectuar la presente investigación y no definir cuál es el método adecuado o la cantidad adecuada de Belzona que se debe untar sobre el acero para que este actúe como un recubrimiento protector del desgaste por abrasión ocasionado por los contaminantes del agua, no se dispondrán de datos que permitan cuantificar para comparar la cantidad correcta del recubrimiento duro que se debe aplicar en las condiciones de funcionamiento de la planta de generación hidroeléctrica.

### **1.2.4 Formulación del problema**

¿Cuáles son los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona y su incidencia en la resistencia al desgaste abrasivo en álabes de turbinas Francis?

### **1.2.5 Preguntas directrices**

1. ¿Cuáles son los parámetros que influyen en el desgaste abrasivo del recubrimiento duro Belzona?
2. ¿Qué diseño de experimentos permitirá realizar la combinación de los parámetros influyentes en el desgaste abrasivo de álabes de turbinas Francis?
3. ¿Cuál será la tasa de desgaste o pérdida de volumen del recubrimiento duro Belzona?
4. ¿Cuál es el punto óptimo que permita disminuir la tasa de desgaste del recubrimiento duro Belzona?

### **1.2.6 Delimitación del problema**

#### **1.2.6.1 Delimitación de contenidos**

El presente estudio se fundamentó en el campo de la Maestría en Diseño Mecánico que se encuentra inmerso en la línea de investigación de edificación y construcción-

desarrollo y procesos de fabricación de nuevos materiales con los módulos de Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos, Ensayo de Materiales.

#### **1.2.6.2 Delimitación espacial**

La presente investigación se realizó en la biblioteca y laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi Chico del cantón Ambato. La obtención y preparación de las probetas se efectuaron en las instalaciones de CELEC EP Hidroagoyán de la ciudad de Baños de Agua Santa.

#### **1.2.6.3 Delimitación temporal**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el periodo comprendido entre Julio 2018 y Julio 2019.

### **1.3 Justificación**

La presente investigación tiene un aspecto metodológico exploratorio debido a que se va a optimizar los parámetros de aplicación del recubrimiento utilizando la técnica experimental ya que se va definir el punto óptimo que permita disminuir la tasa de desgaste combinando los parámetros de tiempo espesor, temperatura, rugosidad del recubrimiento para esto se va a desarrollar el diseño de experimento bajo superficie de respuestas.

El estudio de la optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona en álabes de turbinas Francis es **importante**, ya que a través del mismo se podrá evaluar los parámetros necesarios al momento de aplicar la Belzona en los lugares que los álabes están expuestos al desgaste abrasivo.

También por la importancia económica, ya que en las instalaciones de Hidroagoyán existen grandes pérdidas por desgaste abrasivo en álabes, esto conlleva a tener tiempos muertos, rápido deterioro en dichos elementos, frente a estos fenómenos la tendencia que ha asumido durante años es remplazar piezas desgastadas por nuevas o reconstruir las existentes por métodos tradicionales como es de soldadura, pero no se han preocupado en solucionar en aumentar la vida útil de los álabes realizando mantenimiento preventivo en sitio sin tener que desmontar, por esta razón el aporte de esta investigación constituye una importante oportunidad de crecimiento tecnológico con el interés de CELE EP. Hidroagoyán especialmente en el área de mantenimiento

por realizar esta investigación para incorporar nuevos métodos de reparación en sitio en sus unidades de generación hidroeléctrica.

En la provincia de Tungurahua existen investigaciones relacionadas al desgaste abrasivo en álabes de turbinas Francis por el método de recuperación por soldadura, es por este hecho que se ha tomado esta iniciativa ya que es una investigación **factible** de realizar por cuanto se cuenta con bibliografía del recubrimiento y normativa para ejecutar los ensayos, además existe la factibilidad técnica para los cuales se disponen del material y el equipo necesario en las instalaciones de CELEC EP Hydroagoyán, así también de los laboratorios externos para realizar los ensayos que sean necesarios.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Determinar los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona y su incidencia en la resistencia al desgaste abrasivo en álabes de turbinas Francis.

### **1.4.2 Específicos**

1. Establecer los parámetros que influyen en el desgaste abrasivo del recubrimiento duro Belzona.
2. Elaborar un diseño de experimentos de superficies de respuestas para optimizar los parámetros de aplicación de recubrimiento duro Belzona.
3. Determinar la tasa de desgaste o pérdida de volumen del recubrimiento duro Belzona.
4. Definir el punto óptimo que permita disminuir la tasa de desgaste del recubrimiento duro Belzona.

## CAPÍTULO II

### 2.1 Antecedentes investigativos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se revisó una serie de documentos relacionados con el tema de estudio las cuales fueron tomados como referencias citadas a continuación:

Gutiérrez, J.C; León, L; Mesa, Dairo, H en su estudio titulado “Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera” estudió la resistencia al desgaste abrasivo de dos recubrimientos duros de alto Cr y alto W, los mismos que fueron aplicados en una sola capa sobre un sustrato de acero estructural AISI A36, con la utilización de soldadura eléctrica SMAW. Una vez realizadas las pruebas se concluyó que los recubrimientos duros aplicados por procesos de soldadura ofrecen una excelente alternativa para la recuperación de las partes que se encuentran sometidas al desgaste abrasivo como en el caso de la industria minera. Además, se determina que la dureza no es un parámetro determinante al momento de realizar la evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo de los materiales estudiados, puesto que pequeñas variaciones en dureza llevaron a cambios muy grandes en pérdidas de masa de abrasión usando ensayo normalizado de arena seca y rueda de caucho [5].

Varela, A.; García, R. & Artiaga, R. en su estudio titulado “Comportamiento tribológico de un acero austenítico al manganeso usado en revestimientos de molinos de carbón” se estudia el desgaste por abrasión de un acero al manganeso (5 % Mn) obtenido por modelo utilizando el ensayo de “rueda de caucho y arena húmeda”, según la Norma G105 el mismo que concluye que la composición del acero favorece la transformación de la austenita en martensita por rozamiento, lo que incide en una mayor dureza del acero por lo tanto en una mayor resistencia al desgaste, además se indica que la resistencia al desgaste del acero hipertemplado en aceite y del revenido durante 2 horas a 250°C son equivalentes [6].

Cañaris Cristhian y Quinchuela Juan en su tesis de Ingeniería presentada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, bajo el tema “Tecnologías para la recuperación por soldadura de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM (UNS J91540)”, en el año 2017 presentan una alternativa de recuperación de álabes de turbinas Francis mediante la aplicación de recubrimiento duro por soldadura utilizando materiales de aporte austenítico (ER309LMo) para los primeros pases y martensítico (E410NiMo-15 o ER410NiMo) para los pases finales, posteriormente se realizó precalentamiento y PWHT para el alivio de tensiones residuales, además del control de temperatura entre pases, con un aporte de energía por debajo de 1 KJ/mm en los tres procedimientos desarrollados, habiéndose controlado adecuadamente el aporte de calor, encontrándose por debajo del promedio de estudios similares [7].

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Diseño de experimentos DOE en ingeniería de materiales**

El diseño de experimentos (DOE) es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos en los que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso, de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida. Con esta técnica se puede conseguir, por ejemplo, mejorar el rendimiento de un proceso y reducir su variabilidad o los costos de producción. Su aplicación en la industria comprende campos como la química, la mecánica, los materiales, la ingeniería industrial o la electrónica. A pesar de que el DOE se define como una herramienta eficaz para mejorar y optimizar procesos y productos, su aplicación no es muy habitual en las industrias. Los ingenieros utilizan limitadamente las técnicas estadísticas avanzadas para solucionar sus problemas, pues están condicionados por no tener conocimientos estadísticos.

#### **2.2.1.1 Reseña histórica del diseño de experimentos**

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. El diseño de experimentos fue aplicado por primera vez por R. A. Fisher en Inglaterra en los años veinte en el campo de la agricultura; sus experiencias le llevaron a publicar en 1935 su libro *Design Experiments*. Desde entonces, varios investigadores han contribuido al desarrollo y

aplicación de la técnica en diferentes campos. Montgomery considera que ha habido cuatro etapas en el desarrollo del diseño de experimentos.

**La primera etapa.-** Iniciada en la década del veinte por Fisher se caracteriza por la introducción sistemática del pensamiento científico y la aplicación del diseño factorial completa y fraccionada y el análisis de varianza en las investigaciones experimentales científicas [8].

**La segunda etapa.-** Iniciada por Box y Wilson se caracteriza por el desarrollo de la superficie de respuesta (RSM). Estos autores notaron que los experimentos industriales diferían de los de la agricultura en dos aspectos:

- Inmediatez, porque la respuesta se puede observar bastante rápido, sin tener que esperar tanto como en la agricultura.
- Secuencialidad: el experimentador puede realizar unos pocos experimentos y planificar los siguientes en función de los resultados.

En esta última etapa surgen diseños como:

- Diseños compuestos centrales (CCD).
- Diseños compuestos centrales centrados en las caras (FCD).
- Diseños de Box-Behnken. Durante los siguientes años, la RSM y otras técnicas de diseño se extendieron a la industria química y a los procesos industriales, en especial en las áreas de investigación y desarrollo.

**La tercera etapa.-** Comienza a finales de la década del setenta con el creciente interés de las industrias en la mejora de sus procesos. Los trabajos de Taguchi sobre diseño robusto de parámetros (RPD) sirvieron para difundir el interés y el uso del DOE en otras áreas como automoción, industria aeroespacial, electrónica o industria de semiconductores. Aunque los análisis propuestos por Taguchi fueron fuertemente criticados por ser ineficientes y en algunos casos poco efectivos, ellos sirvieron para desarrollar el concepto de robustez y extender el empleo del diseño de experimentos a otras áreas, lo que ha dado pie al comienzo de la cuarta etapa del diseño de experimentos en la década del noventa; en ella surgen los diseños óptimos y se han desarrollado numerosas herramientas software para el análisis del DOE [8].

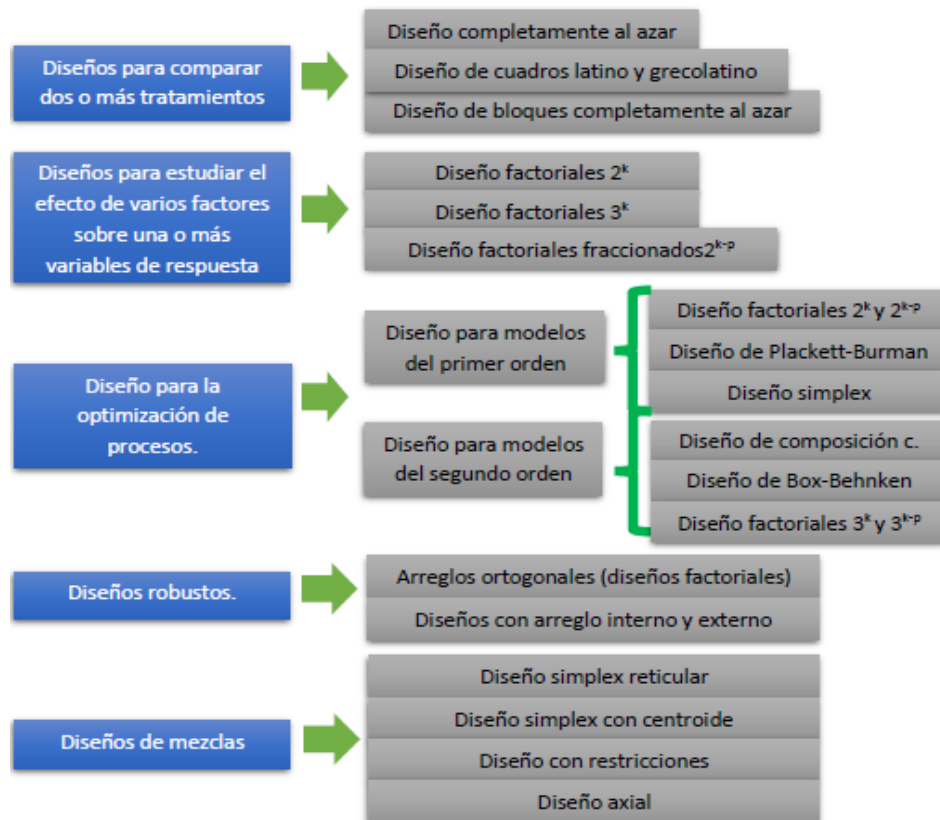


### 2.2.1.2 Metodología de superficie de respuesta (RSM)

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso. Actualmente se utiliza en la industria como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, con ellas se maximiza la eficacia de los procesos minimizando los costos. El diseño de experimentos no solo permite que un producto contenga la calidad requerida desde la etapa del diseño del producto y del proceso [9].

El diseñar un experimento es planear un experimento de acuerdo al problema y objetivos a tratar para encontrar la información que se busca. El diseño de experimentos la técnica de definir e investigar todas las condiciones posibles en un experimento que envuelve múltiples factores como lo es el diseño de experimentos [10].

En la Figura 2.1, se muestra los tipos de diseños de experimentos que se puede utilizar en función de los factores que se tenga en el estudio y las variables de salida que se pretenda analizar.



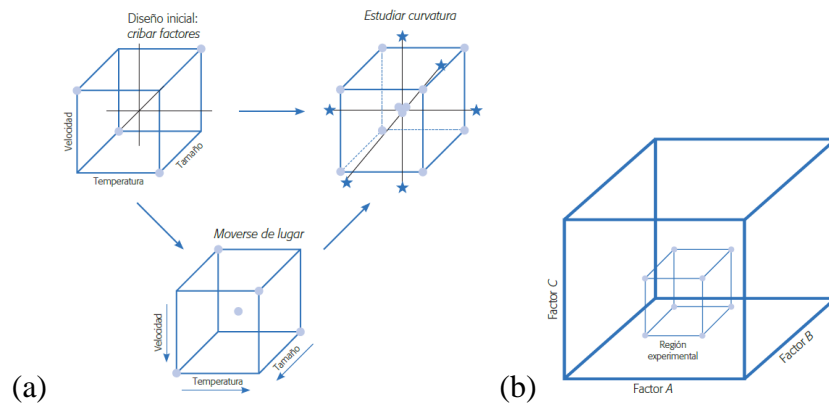
**Figura 2.1** Clasificación de los diseños experimentales [9].

Algunas veces hay experimentos con los que no se obtienen las respuestas buscadas o el nivel de mejoras logrado no es suficiente, por lo que es necesario experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejoras deseado. En este caso, después de una primera etapa experimental quizá sea necesario desplazar la región experimental (moverse de lugar) en una dirección adecuada, o bien, explorar en forma más detallada la región experimental inicial Figura 2.3. La forma de realizar ambas cosas es parte de la cita metodología de superficie de respuesta (MSR o RSM). La (MSR) es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto [9].

### **Región experimental y región de operabilidad**

La región experimental es el espacio delimitado por los rangos de experimentación utilizados con cada factor. La región de operabilidad está delimitada por el conjunto de puntos o condiciones donde el equipo o proceso puede ser operado. Es difícil delimitar con certeza el tamaño de la región de operabilidad, ya que aun cuando se conozca (por especificaciones del equipo) el rango en que se puede colocar cada factor individual, es necesario determinar esos límites considerando varios factores de manera simultánea. Por ejemplo, es posible que la temperatura se pueda correr en su nivel más alto de operabilidad, siempre y cuando los factores velocidad y fuerza se mantengan bajos. La región de operabilidad considera todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores donde el proceso puede operarse y ésta siempre es igual o más grande que la región experimental. Para mayor sencillez se consideran regiones de forma regular; en la Figura 2.2 se representan las regiones de operabilidad y experimental. En la MSR es importante tener presente esta visión de las regiones de operabilidad y experimental, ya que en principio, el punto óptimo que interesa encontrar pudiera localizarse en cualquier lugar de la región de operabilidad, dentro o afuera de la región experimental inicial. En procesos ya establecidos y muy estudiados, es de esperarse que dicho punto óptimo se encuentre “no muy lejos” de las condiciones de operación usuales, posiblemente dentro de la región experimental inicial. En cambio, cuando el proceso es nuevo o cuando se está escalando o rediseñando, es más probable que el punto de interés se ubique fuera de la primera región experimental

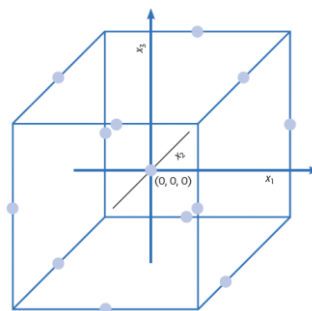
propuesta para el experimento inicial, y en ese caso primero será necesario acercarse a dicho punto para luego aprisionar [9].



**Figura 2.2** a) Acciones básicas, b) Región de operabilidad (cubo mayor) y experimental [9].

### Diseño de Box-Behnken

Este diseño se aplica cuando se tienen tres o más factores y suelen ser eficientes en cuanto al número de corridas. Es un diseño rotatable o casi rotatable que se distingue porque no incluye como tratamientos a los vértices de la región experimental. En la Tabla 2.1 se muestran los 15 tratamientos del diseño Box-Behnken para tres factores. Su representación geométrica se muestra en la Figura 2.3, note que los puntos de este diseño se ubican en medio de las aristas del cubo centrado en el origen y como se había señalado, no incluye los tratamientos de los vértices, como el  $(1, 1, 1)$  y el  $(-1, -1, -1)$  que en algunas situaciones experimentales resultan complejos y no se pueden correr. Esto hace que los tratamientos sean menos complicados que del factorial completo  $3^2$ . En cualquier tratamiento del diseño de Box-Behnken al menos uno de los factores se fija en la mitad de su rango de prueba. Lo anterior también ocurre con este diseño para más factores [9].



**Figura 2.3** Representación del diseño de Box-Behnken para tres factores [9].

Existen varios criterios que se pueden tomar en cuenta para seleccionar un diseño de segundo orden, entre los que destacan:

- Que tenga un número mínimo de tratamientos y que permita estimar todos los parámetros del modelo de segundo orden completo.
- Que sea flexible, en el sentido de que se pueda construir a partir de diseños de primer orden.
- Que tenga buenas propiedades como ortogonalidad, rotabilidad y/o precisión uniforme, las cuales tienen que ver con la calidad de estimación con el modelo [9].

**Tabla 2.1** Número de puntos en los diseños de segundo orden [9].

Número de factores	Número de corridas				
	Número de parámetros	Factorial completo $3^k$	Central compuesto	Box-Behnken	Draper y Lin
2	6	9	13-16	—	—
3	10	27	17-23	15	12
4	15	81	27-36	27	18
5	21	243	29-36	46	24
6	28	729	47-59	54	30

En la Tabla 2.1, se muestra los números de corridas a realizar según la cantidad de factores que se tenga y el tipo de diseño de experimentos, en cuanto a economía, el diseño  $3^k$  no compite con los de Box-Behnken y DCC, excepto cuando se tienen dos factores. El diseño central compuesto es el más flexible y se puede construir de manera que cumpla alguna o varias propiedades deseables. El diseño de Box-Behnken es una buena alternativa porque tiene un número competitivo de tratamientos, además de que por su construcción los puntos de prueba no son extremos, en el sentido de que cualquiera de ellos siempre tiene, al menos uno de los factores en su nivel intermedio. La flexibilidad del diseño central compuesto es en el sentido de que se puede construir a partir de aumentar diseños más simples. Esta propiedad es de suma importancia porque permite optimizar el gasto de los recursos experimentales, es decir, si ya se corrió una factorial completa y con punto central, y se detectó la presencia de curvatura, ahora se corren los puntos axiales para completar el diseño. No hay necesidad de comenzar de cero, sino que se aprovechan las corridas que ya se han hecho. Aquí es clave, al hacer las corridas adicionales, poder reproducir fielmente las condiciones ambientales que se tenían antes, en cualquier caso se debe vigilar que no

aparezca algún efecto de bloque imprevisto. Por lo anterior, se prefiere el diseño central compuesto, seguido del Box-Behnken y en última instancia el factorial  $3^k$  [9].

### **Elección del tamaño de la muestra**

Una decisión importante en cualquier diseño de experimentos es decidir el número de réplicas que se hará por cada tratamiento (tamaño de muestra). Por lo general, si se esperan diferencias pequeñas entre tratamientos será necesario un mayor tamaño de muestra. Aunque existen varios métodos para estimar el tamaño muestral, muchas veces tienen poca aplicabilidad porque requieren cierto conocimiento previo sobre la varianza del error experimental [9]. Si recurrimos a la experiencia vemos que el número de réplicas en la mayoría de las situaciones experimentales en las que se involucra un factor varía entre cinco y diez; incluso, en algunos casos puede llegar hasta 30. La tendencia podría inclinarse por un extremo de este rango e incluso salirse de éste, de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- A menor diferencia que se espera en los tratamientos, mayor será la cantidad de réplicas si se quieren detectar diferencias significativas y viceversa, es decir, si se esperan grandes diferencias quizá con pocas réplicas sea suficiente.
- Si se espera mucha variación dentro de cada tratamiento, debido a la variación de fuentes no controladas como métodos de medición, medio ambiente, materia prima, etc., entonces se necesitarán más réplicas.
- Si son varios tratamientos (cuatro o más), entonces éste es un punto favorable para reducir el número de réplicas.

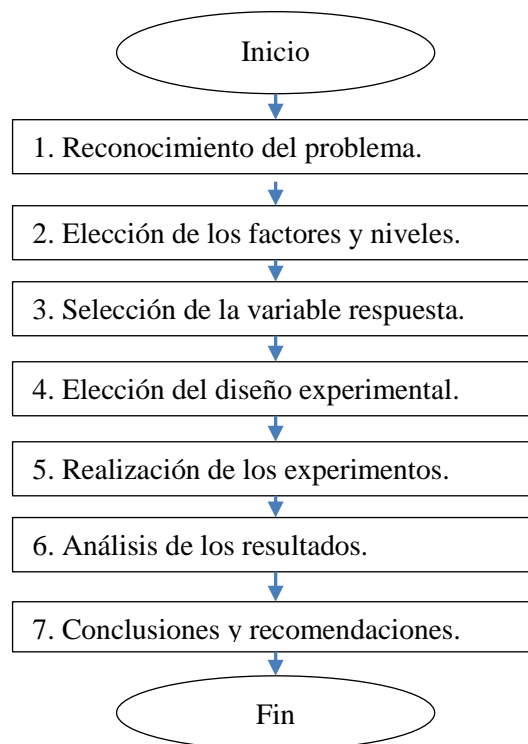
Además de lo anterior, es preciso considerar los costos y el tiempo global del experimento. De aquí que tomando en cuenta las consideraciones antes expuestas se podrá establecer el tamaño de muestra que permita responder en una primera fase las preguntas más importantes que se plantearon con el experimento [9].

### **2.2.2 Metodología para la aplicación del diseño de experimentos**

Un diseño de experimentos implica mucho más que decidir cuáles son las condiciones en las que se realizarán cada uno de los experimentos necesarios para conseguir el objetivo; se deben considerar, además, varias etapas previas y posteriores a la ejecución de tales experimentos. Por esto, Hahn prefiere denominarlo planificación de

la investigación, pues considera que este término es más amplio que el DOE. Sin embargo, la mayor parte de la bibliografía mantiene el término antiguo, por lo que en este artículo se continuará usando, aclarando que posee un sentido más amplio que la propia experimentación. A lo largo de la historia varios autores han clasificado de distintas maneras las etapas necesarias para aplicar el DOE [11].

Para el presente trabajo de investigación se seguirá la metodología de Montgomery, base de muchas otras, que consta de las siete etapas mostradas en el Figura 2.4.



**Figura 2.4** Procedimiento para la realización de un DOE [12].

Montgomery sugiere tener en cuenta algunas recomendaciones durante el desarrollo del DOE:

- Utilizar los conocimientos previos sobre el problema: el conocimiento del proceso adquiere una importancia significativa en cada una de las etapas del diseño.
- Mantener el diseño y el análisis lo más sencillo posible: si se realizan correctamente los pasos establecidos para el diseño del experimento se obtendrá un diseño sencillo que, en general, conduce a un análisis sencillo y más fácil de interpretar.

- Entender la diferencia entre estadísticamente significativo y no significativo en la práctica: aunque las nuevas condiciones produzcan mejores resultados, esto no significa que en la práctica sean aplicables. Algunas veces suele suceder que modificar las condiciones de operación de una variable resulta más caro que las ventajas obtenidas con el cambio.
- Recordar que los experimentos son iterativos: generalmente, al principio de toda experimentación no se posee la información suficiente para realizar un análisis completamente correcto. Por eso se recomienda no invertir más del 25-40% del presupuesto en los primeros experimentos [13].

### **2.2.3 Verificación de supuestos del modelo**

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda supeditado a que los supuestos del modelo se cumplan, Estos supuestos son:

1. Normalidad.
2. Varianza constante (igual varianza de los tratamientos).
3. Independencia.

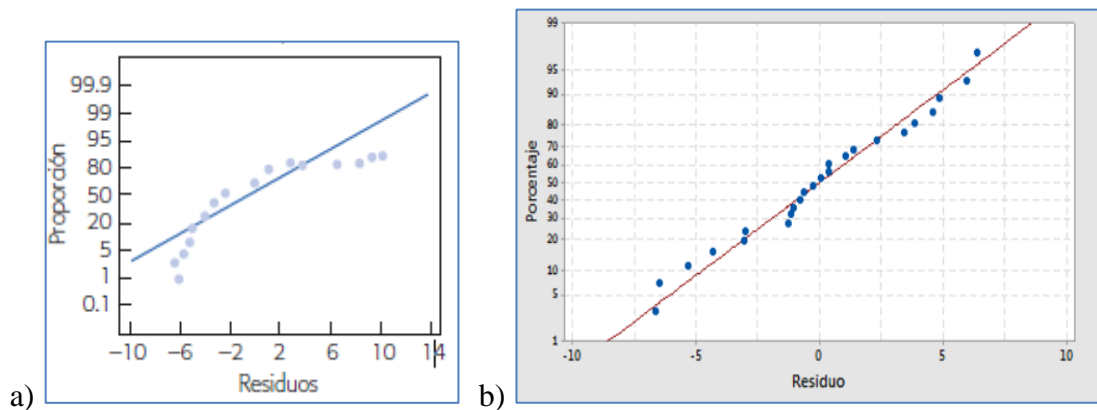
Los supuestos se refiere básicamente a la respuesta de  $Y$  en cada tratamiento se debe distribuir de manera normal, con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes. Los supuestos sobre  $Y$  se traducen en supuestos sobre el termino erro  $\varepsilon$  en el modelo [9].

Es una práctica común utilizar la muestra de residuos para comprobar los supuestos del modelo, ya que si los supuestos se cumplen, los residuos o residuales se pueden ver como una muestra aleatoria de una distribución normal con media cero y varianza constante [9].

#### **2.2.3.1 Supuesto de normalidad**

Para verificar el supuesto de normalidad se puede graficar un histograma de los datos, otra forma es realizar una gráfica de probabilidad normal de los residuales, pero la mejor manera de tener una correcta interpretación de que los datos sigan una distribución normal o no, es la contrastar significancias empleando una prueba de bondad de ajuste normal, como la de Kolmogorov – Smirnov [10].

Un procedimiento gráfico para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos consiste en graficar los residuos en papel o en la gráfica de probabilidad normal que se incluye casi en todos los paquetes estadísticos. Esta gráfica del tipo X-Y tiene las escalas de tal manera que si los residuos siguen una distribución normal, al graficar tienden a quedar alineados en una línea recta; por lo tanto, si claramente no se alinean, se concluye que el supuesto de normalidad no es correcto. Cabe enfatizar el hecho de que el ajuste de los puntos a una recta no tiene que ser perfecto, dado que el análisis de varianza resiste pequeñas y moderadas desviaciones al supuesto de normalidad. En las Figura 2.5 se representan la gráfica de probabilidad normal, en los cuales el supuesto de normalidad no se cumple [9].



**Figura 2.5** Gráfica de supuestos de normalidad, a) No cumple, b) cumple [9].

Para verificar el supuesto de normalidad la gráfica de probabilidad normal de los residuos debe seguir aproximadamente una línea recta como se muestra en la Figura 2.5b, en esta gráfica de probabilidad normal, los residuos generalmente parecen seguir una línea recta, es importante satisfacer el supuesto de normalidad de manera que los resultados de la prueba sean fiables, en el caso de la Figura 2.5a, se puede ver que no cumple el supuesto, en ese caso se recomienda ejecutar la transformación de los datos.

Calculando los valores de la significancia (valor-p) se puede concluir lo siguiente:

H0.- La muestra proviene de una distribución normal.

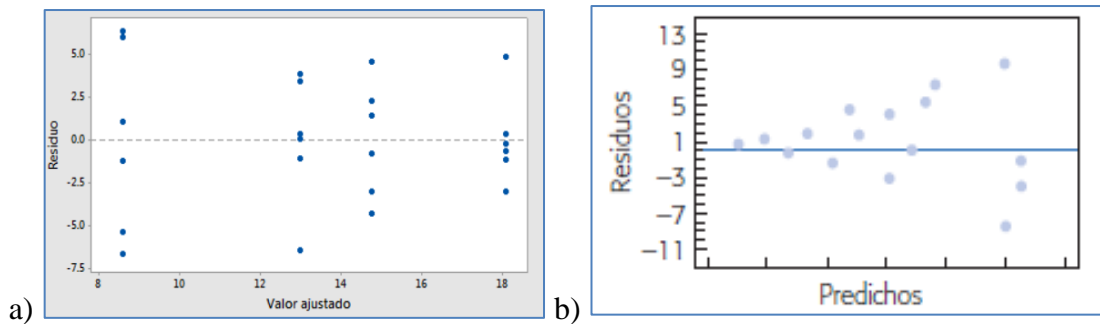
H1.- La muestra no proviene de una distribución normal.

Si el valor-p  $< \alpha$ , rechazamos  $H_0$ , es decir si valor-p  $< 0,05$ .



### 2.2.3.2 Supuesto de varianza constante

Una forma de verificar el supuesto de varianza constante (o que los tratamientos tienen la misma varianza) es graficando los predichos contra los residuos ( $\hat{Y}_{ij}$  vs.  $e_i$ ), por lo general  $\hat{Y}_{ij}$  va en el eje horizontal y los residuos en el eje vertical. Si los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal (sin ningún patrón claro y contundente), entonces es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza, ver Figura 2.6a. Por el contrario, si se distribuyen con algún patrón claro y contundente, como por ejemplo una forma de “corneta o embudo”, entonces es señal de que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante como se puede ver en la Figura 2.6b. Un claro embudo en los residuales indicará que el error de pronóstico del modelo tiene una relación directa (positiva o negativa) con la magnitud del pronóstico (predicho) [9].



**Figura 2.6** Gráfica de supuestos de varianza constante, a) cumple, b) no cumple [9].

Otra manera de verificar el supuesto de igualdad de varianzas es aplicar una prueba estadística, una de ellas es la prueba de Levene, el cual es un procediendo robusto a desviaciones de la normalidad. La prueba de Levene utiliza la desviación absoluta de las observaciones  $Y_{ij}$  de cada tratamiento de la mediana de los tratamientos  $\tilde{Y}_i$ . Esta prueba evalúa si la media de estas desviaciones es igual o no para todos los tratamientos. Si las desviaciones medias son iguales, las varianzas de las observaciones de todos los tratamientos son iguales [10].

Calculando los valores de la significancia (valor-p) se puede concluir lo siguiente:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \dots \dots \sigma_K^2 = \sigma^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algún } i \neq j$$

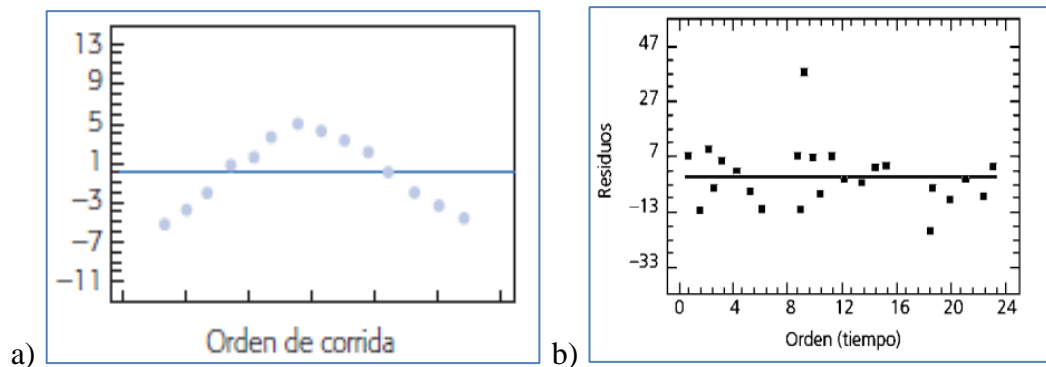
H0.- La muestra tiene igual varianza.

H1.- La muestra no tiene igual varianza.

Si el valor- $p < \alpha$ , rechazamos  $H_0$ , es decir si valor- $p < 0,05$ .

### 2.2.3.3 Supuesto de independencia

La suposición de independencia en los residuos puede verificarse si se gráfica el orden en el que se colectó un dato contra el residuo correspondiente. De esta manera, si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, esto es evidencia de que existe una correlación entre los errores y, por lo tanto, el supuesto de independencia no se cumple ver Figura 2.7a. Si el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, el supuesto se está cumpliendo Figura 2.7b. La violación de este supuesto generalmente indica deficiencias en la planeación y ejecución del experimento; asimismo, puede ser un indicador de que no se aplicó en forma correcta el principio de aleatorización, o de que conforme se fueron realizando las pruebas experimentales aparecieron factores que afectaron la respuesta observada [9].



**Figura 2.7** Gráfica de supuestos de independencia, a) no cumple, b) cumple [9].

### 2.2.4 Transformación de datos

Las pruebas paramétricas son herramientas potentes y alternativas altamente confiables al momento de analizar datos, por lo que son las pruebas más destacadas, sin embargo para su aplicación se requiere que ciertos supuestos que cumplan, como el de normalidad y el de igualdad de varianzas [10].

Cuando no se cumple el supuesto de igualdad surge la necesidad de emplear una prueba paramétrica sin contar con alguno de estos supuestos, existe la posibilidad de transformar los datos para hacer validos los supuestos y así analizar los datos transformados sin alterar el sentido del análisis del experimento.

Entre la más frecuente existe las transformaciones mayormente empleada es la familia de transformaciones Box-Cox, en donde los datos  $Y_i$  serán transformados en  $W_i$ .

$$W_i = Y_i^\lambda, \quad SI \lambda \neq 0 : Ln(Y_i), \quad SI \lambda = 0$$

Donde,  $Y_i$  es un valor de los datos originales y  $\lambda$  es el parámetro de transformación.

### 2.2.5 Recubrimientos duros

Un recubrimiento o recargue duro es la aplicación superficial por soldadura, spray térmico o un proceso similar de una o varias capas, cordones o puntos de un material generalmente duro, resistente a uno o varios tipos de desgaste, sobre un componente metálico.

Los recubrimientos duros se aplican con el objetivo de mejorar la resistencia al desgaste de una pieza o componente y para extender su vida de servicio. Son empleados principalmente en operaciones de reparación y reconstrucción para evitar así el costoso de reemplazo de la pieza. También se vienen aplicando últimamente en piezas que se producen en serie. Como posible solución a tal problema, existe la posibilidad de reconstruir las partes dañadas por medio de recubrimientos duros (aleaciones) depositados por soldadura, como una forma económica y rápida para enfrentar y dar una mayor vida útil a los elementos de máquinas sometidos a desgaste, una clasificación presentada por Crook P. y H. Farmer, divide las aleaciones de recargues duros en los siguientes: [14].

a) Cerámicos.

b) Metalizado.

c) Soldadura.

**a) Cerámicos.-** Consiste en aplicar un cerámico resistente, generalmente belzona (Marca comercial), en las zonas dañadas por la erosión y la cavitación, rellenando con

este componente los agujeros y fallas dejando la superficie completamente liza. Este método es preventivo, no es necesario que se esmerile las aristas afiladas que se producen por la erosión y la cavitación debido a que el cerámico es aplicado en forma de masilla lo cual facilita su empleo pero su duración no es permanente y su costo es elevado [15].

**b) Metalizado.-** Es un método el cual consiste en aplicar en forma de rocío, una capa de metal puro. Opuesto a otros métodos donde se aplica capas metálicas por zambullida caliente como galvanizados y cromados, la metalización se realiza con un equipo portátil y adecuado para formas complejas, no está limitado por el tamaño, además la combinación con otros métodos o sistemas de capas, aumenta drásticamente la adherencia y la resistencia al desgaste cuando es aplicado encima de las capas de metal aportado [15].

**c) Soldadura.-** Los procedimientos de soldadura por arco son los más utilizados, sobre todo para soldar acero, y requieren el uso de corriente eléctrica. Esta corriente se utiliza para crear un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, lo que genera el calor suficiente para fundir el metal y crear la unión [15]

#### **2.2.5.1 Cerámicos Belzona**

Cuando partículas sólidas chocan o rozan sobre cualquier superficie, el desgaste por abrasión es evidente. Este es un problema crítico que enfrentan muchas industrias, en la Figura 2.8, muestra la belzona, el cual es un compuesto altamente especializado que combinan un relleno sumamente duro y resistente a la abrasión en una matriz polimérica, haciendo de estos productos la solución ideal para la reconstrucción y modificación de equipos sujetos al desgaste por abrasión de partículas sólidas. Por muchos años la solución para la mayoría de los problemas de abrasión y su exitoso historial de aplicación comprueba su resistencia a la abrasión de partículas gruesas como el carbón pulverizado. Para situaciones donde la abrasión es causada por partículas finas, como en cementeras se ha desarrollado el producto Belzona 1321, este material utiliza la última generación en resinas poliméricas que permiten aumentar la concentración de rellenos anti-abrasivos, ofreciendo un acabado más liso y extremadamente resistente a la abrasión. Esta característica facilita su aplicación en

múltiples capas y la formación de perfiles para el mejoramiento del flujo en muchos equipos [16].



**Figura 2.8** Aplicación de la Belzona [16].

### 2.2.5.2 Belzona 1321

Belzona 1321 es un recubrimiento muy resistente compuesto por Cerámico más Metal, de dos componentes, para la protección de superficies de metal sometidas a la erosión y la corrosión como se puede observar en la Figura 2.9. Este producto de Belzona está diseñado para funcionar bajo inmersión continua a temperaturas de hasta 60°C. Puede aplicarse sin necesidad de herramientas especiales y se adhiere con gran fuerza a una gran variedad de sustratos. Este recubrimiento polimérico multiuso no se corroe y presenta una excepcional resistencia a una amplia variedad de sustancias químicas. Este producto también puede utilizarse como material de inyección para el acuñamiento y la unión de componentes, o como material de relleno estructural de gran resistencia [17].



**Figura 2.9** Aplicación de la Belzona [18].

### 2.2.5.3 Propiedades de la Belzona 1321

Son determinadas después de 7 días de fraguado a 25°C. Post-fraguado utilizando calor resultante en un polímero altamente entrecruzado para mejorar el desempeño del

material, este deberá ser post-fraguado utilizando calor a 100°C por un periodo de hasta 24 horas [18].

**Tabla 2.2** Propiedades mecánicas de la Belzona 1321 [17].

Resistencia a la abrasión	Adhesión kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo máximo de compresión	Resistencia a la flexión	Resistencia al impacto	Dureza
Mojado: 172mm <sup>3</sup> Seco: 55mm <sup>3</sup> Pérdida por cada 1000ciclos	Acero dúctil: 204 Latón: 155 Cobre: 168 Acero inoxidable: 211 Aluminio: 140	914 kg/cm <sup>2</sup>	703 kg/cm <sup>2</sup>	50 J/m	80 Shore D 578 HB

**Tabla 2.3** Rangos de cobertura de la Belzona 1321 [17].

Propiedades	Rangos
Cantidad recomendada de capas	2
Espesor objetivo una capa	375 micrones
Espesor objetivo dos capas	375 micrones
Espesor de película seca total mínimo	600 micrones
Espesor de película seca total máxima	Solo limitado por la resistencia al descuelgue
Rango de cobertura teórico una capa	1,14 m <sup>2</sup> /kg
Rango de cobertura teórico dos capas	1,14 m <sup>2</sup> /kg
Rango de cobertura teórico para alcanzar el espesor mínimo recomendado para el sistema	0,71 m <sup>2</sup> /kg

En la Tabla 2.2, se detalla las propiedades mecánicas de la belzona, mientras que en la Tabla 2.3, se muestra los rangos de cobertura que alcanza el recubrimiento en función del espesor, además en la Tabla 2.4 se lista los tiempos de solidificación que se debe esperar antes de someterlo a las condiciones de trabajo.

**Tabla 2.4** Finalización de la reacción molecular de la Belzona 1321 [17].

Temperatura	Movimiento o uso que no implique carga	Mecanizado y/o carga leve	Carga mecánica/térmica a plena o inmersión en agua	Contacto con químicos
5°C	12 horas	18 horas	7 días	10 días
10°C	8 horas	12 horas	3 días	5 días
15°C	5,5 horas	9 horas	2 días	3 días
20°C	4 horas	6 horas	1,5 días	2 días
25°C	3,5 horas	4,5 horas	24 horas	1,5 días
30°C	2 horas	3 horas	18 horas	1 días

#### **2.2.5.4 Aceros inoxidables martensíticos**

Son aleaciones que atraviesan el campo gamma del diagrama de equilibrio Cr-Fe, debido a lo cual pueden austenizarse y templarse. Pueden estar aleados con pequeñas cantidades de otros elementos. Son ferríticos en estado de recocido pero martensíticos con un enfriamiento más rápido ya sea en aire o en un medio líquido desde una temperatura superior a la crítica. Fueron los primeros aceros inoxidables desarrollados comercialmente como cuchillería y tienen contenido relativamente alto del carbono (0,1 - 1,2%) comparado a otros aceros inoxidables. Aceros de este grupo en general no contienen más de 14% de Cr – excepto los tipos 440 A, B, y C que contienen 16-18%Cr y una cantidad de Carbono suficiente para producir el endurecimiento. Junto con la clase de aceros inoxidables ferríticos comparten la denominada serie AISI 400. En contraste con los aceros inoxidables auténticos, no contienen níquel como elemento de aleación. Algunos ejemplos son aceros tipo AISI 410, 416, 420, 431, 501 y 502 [19].

#### **Aplicaciones típicas.**

En piezas que están sometidas a corrosión y que requieren cierta resistencia mecánica. Aspas de turbinas.

- Revestimiento de asientos para válvulas.
- Carcazas de bombas.
- Cuerpos de válvulas y compresores.
- Cuchillería, Hojas de afeitarse e instrumentos quirúrgicos (Tipos 420 y 431).
- Ejes, husos y pernos [20].

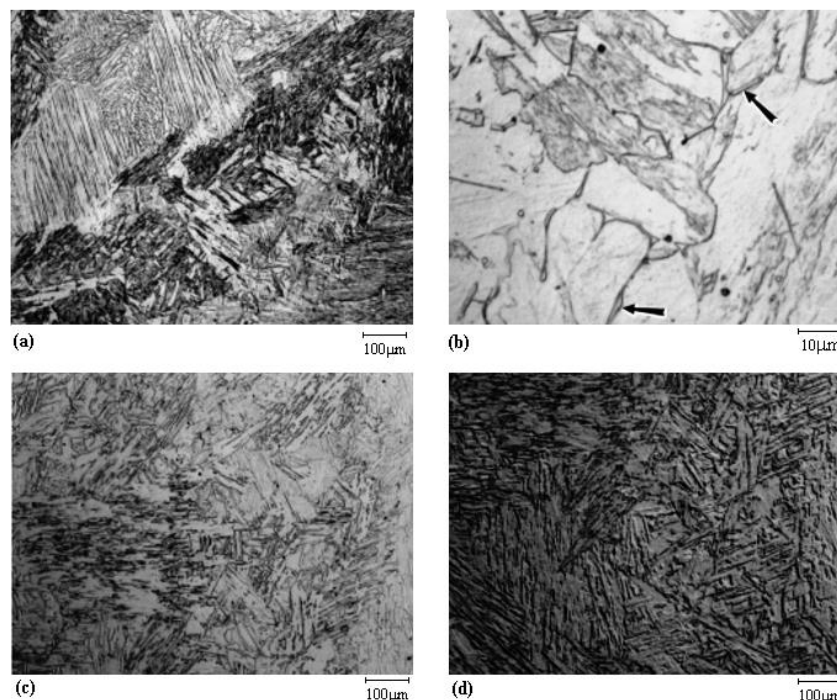
#### **2.2.5.5 Acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM**

Según la American Society for Testing and Materials el acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM es una aleación de la categoría de los aceros martensíticos de bajo carbono. La designación proporciona información inicial sobre su composición química, la primera letra: C indica que es una aleación resistente a la corrosión a temperaturas inferiores a 650 °C, la letra: A se refiere a la relación entre los contenidos de Cr y Ni, el número que sigue a las letras: 6 indica el porcentaje máximo de carbono

multiplicado por 100; y la presencia de otros elementos de aleación como níquel y molibdeno es determinado por últimas letras de la designación [21].

De las aleaciones listadas por el Instituto de Aleaciones de Fundición para aceros inoxidable fundidos resistentes a la corrosión, la CA6-NM es esencialmente martensítica cuando se enfría desde la temperatura de austenización (alrededor de 980°C). La estructura martensítica de ésta aleación depende de un balance adecuado de bajo contenido de carbono (0.06% máximo) y el contenido de níquel (nominalmente 4%) [22].

La Figura 2.10 muestra la estructura martensítica de la fundición CA6-NM (341 HV) atacado químicamente con el reactivo de Ralph (a), en (b) nótese la pequeña cantidad de ferrita  $\delta$  señalado con flechas; y, con 15 ml de HCl-10 ml de ácido acético-10 ml de HNO<sub>3</sub>, figuras (c) y (d). Este último ataque, aunque bastante fuerte, no reveló la estructura del todo, pero al pasar a contraste diferencial de interferencia Nomarski (d) los detalles pueden ser mejor revelados [3].



**Figura 2.10** Estructura martensítica de la fundición CA6-NM [23].

En las Tablas 2.5 y 2.6, se detalla las propiedades químicas, mecánicas que tiene el acero martensítico ASTM A743 empleados en la fabricación de las partes de la turbinas hidráulicas.



**Tabla 2.5** Composición química nominal del acero ASTM A743 CA6-NM [23].

ASTM A743 Grado	Composición wt %							
	Carbono máx	Manganeso máx	Silicio máx	Fósforo máx	Azufre máx	Cromo	Níquel	Molibdeno
CA6-NM	0.06	1	1	0.04	0.03	11.5 – 14.00	3.5 – 4.5	0.4 - 1

**Tabla 2.6** Propiedades mecánicas de la aleación CA6-NM según ASTM A743 [23].

ASTM A743 Grado CA6- NM	Resistencia a la tensión, mínimo		Resistencia a la fluencia, mínimo		Elongación en 2 plg. (50 mm), mínimo, % <sup>A</sup>	Reducción de área, mínimo, %
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
	110	[755]	80	[550]	15	35

### 2.2.6 Tribología

La tribología es conocida como la ciencia y la tecnología de superficies interactuando en movimiento relativo y prácticas relacionadas, es decir, la tribología estudia condiciones de operación aplicadas a problemas de gran significado económico, es decir, fiabilidad, mantenimiento y desgaste de equipo técnico, de dispositivos tanto de naves espaciales hasta equipos del hogar [24].

Es una nueva disciplina científica de carácter multidisciplinario en la que entre otras ciencias participan la física, la química, la metalurgia, la economía, la ciencia de materiales, la matemática y la computación. Para poder evaluar el par tribológico de materiales bronce acero es decir el que tenga mejor comportamiento ante el desgaste [24].

La tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son: rodamiento, frenos y embragues, sellos, anillos de pistones, enganches y levas, además las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos, aunque en la práctica no se nombren como tales, son en motores eléctricos y de combustión, las turbinas, rolado, fundición, forja, proceso de corte y componentes de almacenamiento magnético [25].

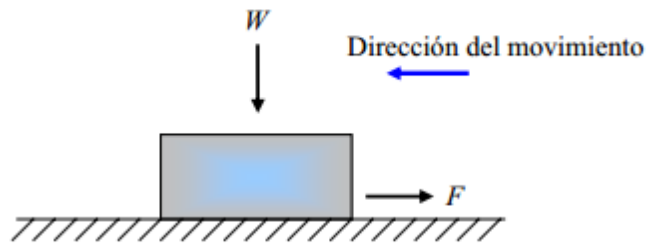
### 2.2.7 Propiedades tribológicas

Las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros modernos son, en general muy importantes en sus aplicaciones y usualmente son muy diferentes de las propiedades tribológicas de los materiales macizos que forman las piezas recubiertas,

también son bastantes distintos los procedimientos utilizados para la caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros en capa fina cuando se comparan con los procedimientos de caracterización clásicos empleados en la ingeniería metalúrgica convencional [24].

### 2.2.7.1 Fricción

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Toda fuerza de fricción ( $F$ ) se opone a la dirección del movimiento relativo y su esquema se presenta en la Figura 2.11.



**Figura 2.11** Deslizamiento de un cuerpo libre sobre una superficie [25].

### 2.2.7.2 Leyes de fricción

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

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

$$F' = u_s N; \quad F_k = u_k N \quad (2.1)$$

Donde:

$F'$  = la fuerza de fricción estática máxima.

$F_k$  = la fuerza de fricción cinética.

$\mu_s$  = el coeficiente de fricción estática.

$\mu_k$  = el coeficiente de fricción cinética.

2. La fuerza de fricción estática máxima es independiente del tamaño del área aparente de contacto entre los cuerpos de contacto.

3. La fuerza de fricción cinética es independiente de la velocidad relativa de deslizamiento una vez que empieza el movimiento [24].

### **2.2.8 Desgaste**

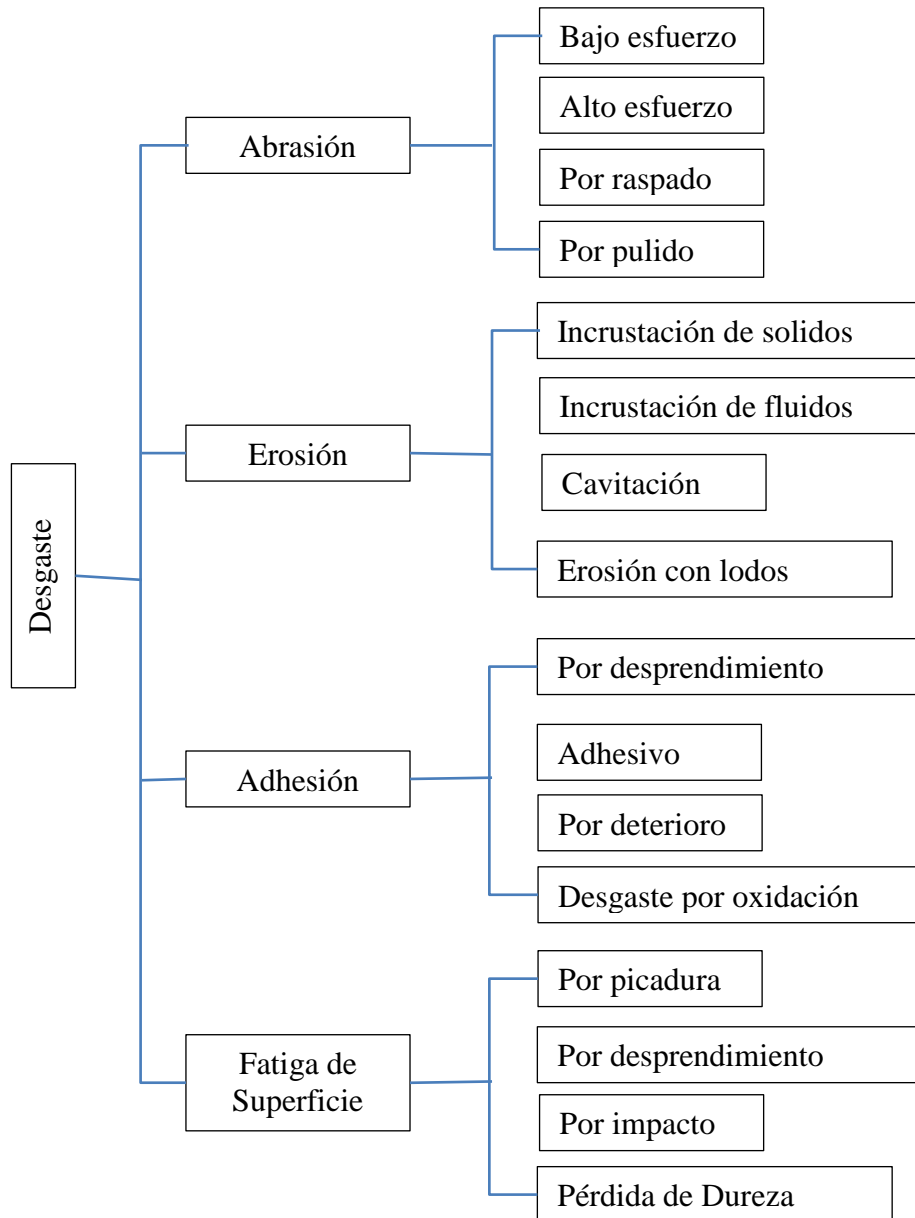
El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interface de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. En el proceso de desgaste, el material puede ser removido de la superficie y expulsado o puede resultar transferido a la otra superficie o también puede romperse y quedar atrapado dentro del contacto como una partícula libre de desgaste, está relacionado con las interacciones entre superficies, más específicamente con la eliminación de material de una superficie como resultado de una acción mecánica. La necesidad de una acción mecánica, en forma de contacto debido a un movimiento relativo, es una distinción importante entre desgaste mecánico y cualquier otro proceso con similares resultados [24].

#### **2.2.8.1 Categorías de desgaste**

El desgaste y la corrosión son causas principales de pérdidas de recursos en las empresas. Asimismo, la fricción es una causa de pérdida de energía. De manera que los factores se controlan es posible obtener ahorro significativo para la industria [26].

La lubricación es parte de la tribología y su rol es separar las superficies en movimiento por medio de una película de baja resistencia, ya sea esta sólida, líquida o gaseosa, el estudio de los procesos de desgaste es parte de la ciencia de la tribología. La naturaleza compleja del desgaste ha retardado su estudio y lo ha encaminado hacia mecanismos o procesos específicos de desgaste [27].

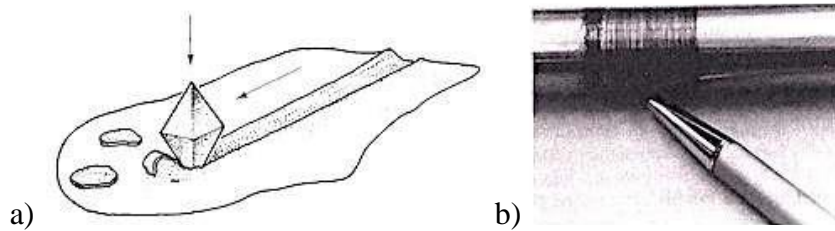
Para poder entender de mejor manera los múltiples términos de los efectos del desgaste Kenneth G. Budinski, lo describe en cuatro categorías como se puede ver en la Figura 2.12 [26].



**Figura 2.12** Categorías y mecanismos básicos de desgaste [28].

### 2.2.8.2 Desgaste abrasivo de bajo esfuerzo

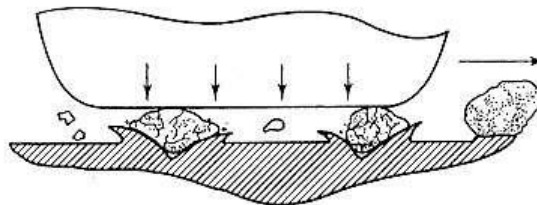
Todo tipo de desgaste empieza como un desgaste abrasivo de bajo esfuerzo. Las partículas abrasivas por lo general tienen que ser duras y afiladas para poder provocar pequeñas ranuras en el material que está en desgaste. Según H. Avery el criterio de un desgaste de bajo esfuerzo está en que el material abrasivo debe tener la fuerza suficiente para desgastar el material y el agente abrasivo se mantenga intacto. Como se puede ver en la Figura 2.13 [26].



**Figura 2.13** (a) Desgaste de bajo esfuerzo, (b) Punta de filo duro y un bocín plástico [28].

### 2.2.8.3 Desgaste abrasivo de alto esfuerzo

Esta forma de abrasión se caracteriza por dejar ranuras, deformación plástica en la superficie y además picaduras generadas por impregnación de partículas. El daño que esta produce es mucho más severo que el desgaste abrasivo de bajo esfuerzo. Este tipo de desgaste en metales genera una deformación plástica en la superficie que ocurre por lo general en la dirección del movimiento. La Figura 2.14 ilustra este tipo de desgaste en el que las partículas que se encuentran entre la superficie y la masa que genera un esfuerzo en forma tangencial y normal provocando así un desgaste abrasivo de alto esfuerzo [26].



**Figura 2.14** Esquema de abrasión de alto esfuerzo [28].

También se dice que este tipo de desgaste es la remoción de material causada por la acción de una carga repetitiva de un material duro sobre una superficie, dicho material puede ser por ejemplo; rocas contra una superficie de menor dureza. El desgaste por rozamiento se puede decir que es la unión del desgaste de bajo y alto esfuerzo. Este mecanismo de desgaste al tener el desgaste de bajo esfuerzo provocara remoción de material y el de alto esfuerzo será el que produzca la deformación plástica de la superficie, todos estos desgates son usualmente de carácter macroscópico. En la Figura 2.15 se puede ver un esquema de dicho desgaste en el cual hay un impacto de una partícula grande, que cumple con las características de un agente de desgaste bajo y alto esfuerzo, contra una superficie provocando un desgaste por rozamiento [26].

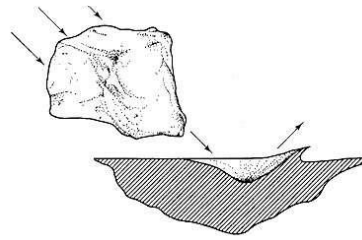


Figura 2.15 Esquema del desgaste de rozamiento [28].

#### 2.2.8.4 Efectos del desgaste abrasivo sobre las propiedades del material

Las principales propiedades de los materiales que tienen una influencia directa sobre el comportamiento del desgaste abrasivo son: dureza, tenacidad a la fractura, estructura cristalina, microestructura, elementos de aleación, formación de precipitados (segunda fase) y tamaño de las partículas [29].

**Dureza:** La dureza de un material se relaciona con su velocidad de abrasión. Khrushchov, encontró una relación inversa entre la velocidad de abrasión y la dureza para materiales puros. Si la dureza de la partícula abrasiva es mayor a la de la superficie de contacto, el grano es capaz de penetrar el material y formar un surco sobre éste. El abrasivo se considera duro, cuando su dureza es mayor a la del material en contacto. Por el contrario, una partícula se considera blanda si su dureza es menor a la del material en contacto, el abrasivo no es capaz de penetrar la superficie, pero si puede desgastarlo por medio de fatiga superficial como se puede ver en la Figura 2.16 [30].

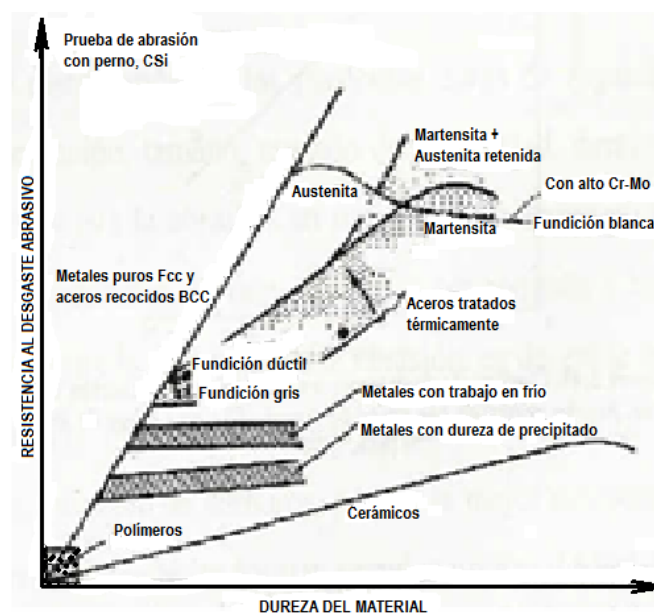
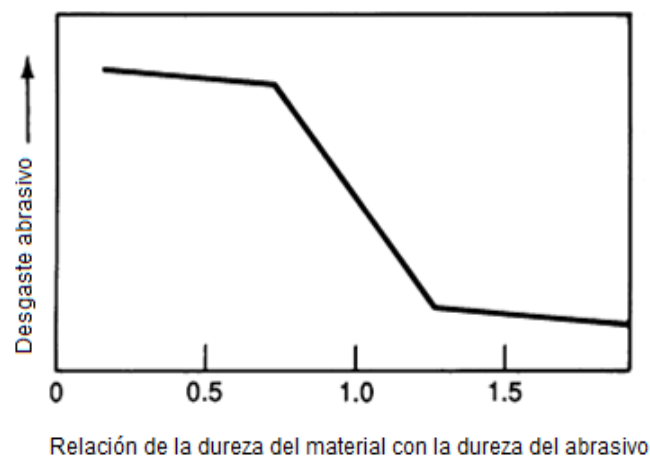


Figura 2.16 Resistencia al desgaste vs la dureza del material [31].

**Formación de precipitados:** Una forma común de modificar las propiedades de un material es producir una segunda fase. Los tratamientos que causan la formación de precipitados pueden generar incrementos más grandes en la dureza y el esfuerzo de fluencia. Los precipitados duros o partículas tales como carburos pueden ser útiles para la disminución del desgaste abrasivo. En algunos metales, tales como fundiciones blancas, la segunda fase es más dura que la matriz, por tal razón protege la matriz. Para este tipo de fundiciones, investigaciones indican que aproximadamente el 30% del volumen de los carburos proporcionan la mejor resistencia a la abrasión [32].

**Tamaño de las partículas:** La relación entre el tamaño de las partículas y el tamaño de grano del abrasivo es importante. Los granos abrasivos más grandes tienden a crear astillas de desgaste más grandes. Cuando las partículas incoherentes son pequeñas, relativas a los granos abrasivos y a las astillas de desgaste, ellas pueden cortarse con la matriz, sumando una pequeña resistencia a la abrasión en el material. Si los granos abrasivos son muy pequeños, relativos a las partículas duras, y los espacios entre partículas son grandes, entonces los granos son capaces de socavar las partículas duras, consiguiendo que ellas falten o sean desalojadas por el grano abrasivo ocasional [32].

**Abrasivo.** El tipo de abrasivo y sus características como la dureza, la tenacidad y el tamaño del abrasivo afectan el desgaste abrasivo. La dureza de las partículas abrasivas es importante por la velocidad de abrasión del material. En la Figura 2.17 se analiza cuando la dureza excede al del material, el desgaste será más crítico ya que podrá penetrar la superficie y cortar/remover el material sin tener sus filos de corte angulares o redondeados [33].



**Figura 2.17** Efecto de la dureza del abrasivo, relativa a la dureza del material [32].

#### **2.2.8.5 Medición del desgaste abrasivo**

En aplicaciones de ingeniería lo más importante está relacionado con la pérdida de dimensiones o el cambio en la geometría del elemento, por tal razón, la unidad más utilizada para cuantificar el daño a la superficie, es el volumen ( $\text{mm}^3$ ). Estos cambios y la pérdida de volumen se relacionan a través de la geometría del surco, teniendo en cuenta que no siempre la relación entre volumen y dimensión de desgaste es necesariamente lineal. Algunos casos sólo se utiliza la pérdida de masa por facilidad de medición [34].

Por lo general el desgaste se mide de manera directa, por medio de la reducción de masa, o medición del área de desgaste. Cuando la región desgastada es bastante irregular y asimétrica se realiza el cálculo del desgaste en forma directa o cuando se requiere un resultado con exactitud, puesto que esto proporciona resultados confiables debido a que establece su valor en forma cuantitativa [35].

#### **2.2.8.6 Pérdida de volumen**

La forma más común de daño superficial es la pérdida o desplazamiento del material, por lo tanto, el volumen puede ser utilizado como medida de desgaste. Para propósitos científicos el volumen es frecuentemente la medida para cuantificar este proceso, aunque en algunos casos solo se utiliza la pérdida de masa por su factibilidad de medición [31].

Los resultados de la prueba de abrasión que se notifica es la pérdida de volumen en milímetros cúbicos, de acuerdo con el procedimiento especificado utilizado en la prueba por ejemplo,  $\text{mm}^3$  por procedimiento ASTM. Si bien los resultados de pérdida de masa se pueden utilizar internamente en los laboratorios de pruebas para comparar los materiales de densidades equivalentes, es esencial que todos los usuarios de este procedimiento de ensayo informen sobre sus resultados de manera uniforme como la pérdida de volumen en las publicaciones o informes de manera que no haya confusión causada por las variaciones en la densidad de convertir la pérdida de masa de la pérdida de volumen de la siguiente manera:

$$\text{Pérdida de volumen} = \frac{\text{masa pérdida}}{\text{densidad}} * 1000 \quad (2.11)$$



La tasa de desgaste se calcula con la expresión que sigue a continuación:

$$Q = mL \quad (2.12)$$

$$k = \frac{Q}{W} \quad (2.13)$$

Donde:

Q= Tasa de desgaste (gr/m). m= Pérdida de peso (mm).

L= Distancia delizada (m). k= Coeficiente de desgaste.

### 2.2.9 Norma ASTM G105

Método Estándar para la Medición de la Abrasión por medio de Arena mojada y un Aparato de Rueda de Goma”. Este ensayo consiste en desgastar una probeta con arena de sílice ayudado con una rueda recubierta de goma que puede ser neopreno, este ensayo es particular debido a que la arena no cae ni es seca como en el ensayo mencionado anteriormente, sino que es húmeda mezclada con una cantidad definida de agua y ubicada en un contenedor, la misma que es arrastrada por la goma; gracias al brazo multiplicador de fuerzas es empujada sobre la probeta originando de esta manera el desgaste abrasivo [36].

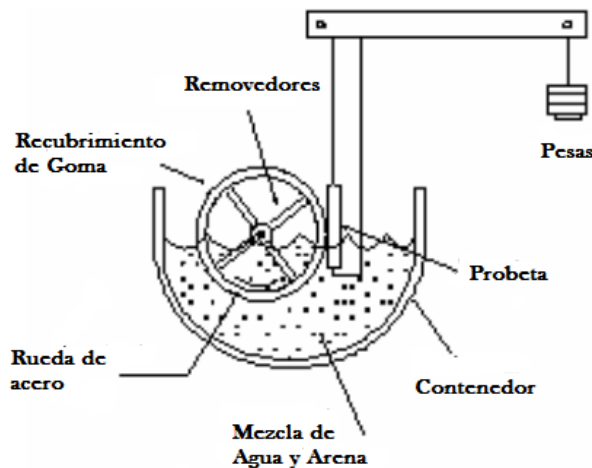
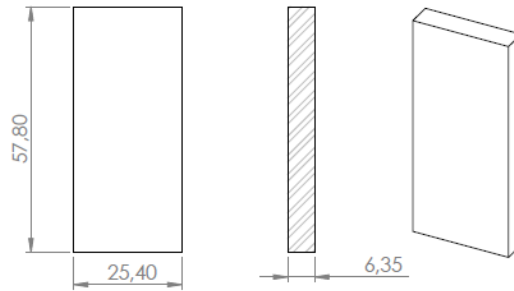


Figura 2.18 Diagrama de la máquina según Norma ASTM G105 [36].

### 2.2.10 Procedimiento del ensayo según ASTM G105

1. Preparar la muestra, para realizar los ensayos de desgaste abrasivo se fabricaron probetas de 57.8x25.4x6.35mm de espesor, para posteriormente aplicar el recubrimiento.



**Figura 2.19** Tamaño de la probeta para el ensayo abrasivo [36].

2. Limpiar la muestra con solvente o limpiador para eliminar completamente material extraño o suciedad presente y secar con aire caliente.
3. Pesar la muestra para conocer su masa inicial.
4. Colocar la muestra en la porta-probeta y fijarla.
5. Colocar el peso suspendido para que entre en contacto la probeta y el disco empezar el ensayo.
6. Una vez transcurrido el período de tiempo, se detiene la máquina y se retira el brazo con el porta probetas, se observa la huella producida, se procede a lavar el espécimen, secar y pesar nuevamente, obteniendo un nuevo valor de peso el cual se registra [36].

### **2.3 Fundamentación filosófica**

La optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona se fundamentó en el paradigma crítico propositivo, crítico debido a que se analizó la realidad y el efecto de las variables que interviene en el problema bajo una relación causa-efecto y se considera el propositivo debido a que busca plantear alguna alternativa de solución al problema del desgaste abrasivo en los álabes. Además permitió una correcta interpretación, comprensión y explicación de las variables a estudiar para considerar las cualidades del recubrimiento y también las cantidades proporcionales que se debe usar en el desarrollo de esta investigación.

### **2.4 Fundamentación legal**

El presente trabajo fue aprobado por el reglamento de posgrado de la Universidad Técnica de Ambato con resolución 0109-CU-P-2019, en la cual establece que el Reglamento, regula, norma y orienta las actividades académicas.

También bajo el reglamento de titulación para obtener los títulos de cuarto nivel de la Universidad Técnica de Ambato con resolución 2122-CU-P-2015, en la cual establece formar profesionales e investigadores con competencias de alto nivel. Las maestrías pueden ser profesionales o de investigación.

Además para los ensayos y el desarrollo de experimentos fueron basados en las normas técnicas siguientes:

1. ASTM G105. Ensayo para medir la abrasión por medio de arena húmeda con rueda de caucho.
2. ASTM A743/A743M. Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application.
3. ASTM D4060. Norma de propiedades de resistencia a la abrasión por roce y mojado de la Belzona.
4. ASTM E 122. Norma para determinar y procesar la calidad y confiabilidad del Tamaño de la Muestra de ensayos de laboratorio.
5. ASTM E 177. Norma para la determinación de la Precisión de las Condiciones y métodos de ensayo.

## 2.5 Categorías fundamentales

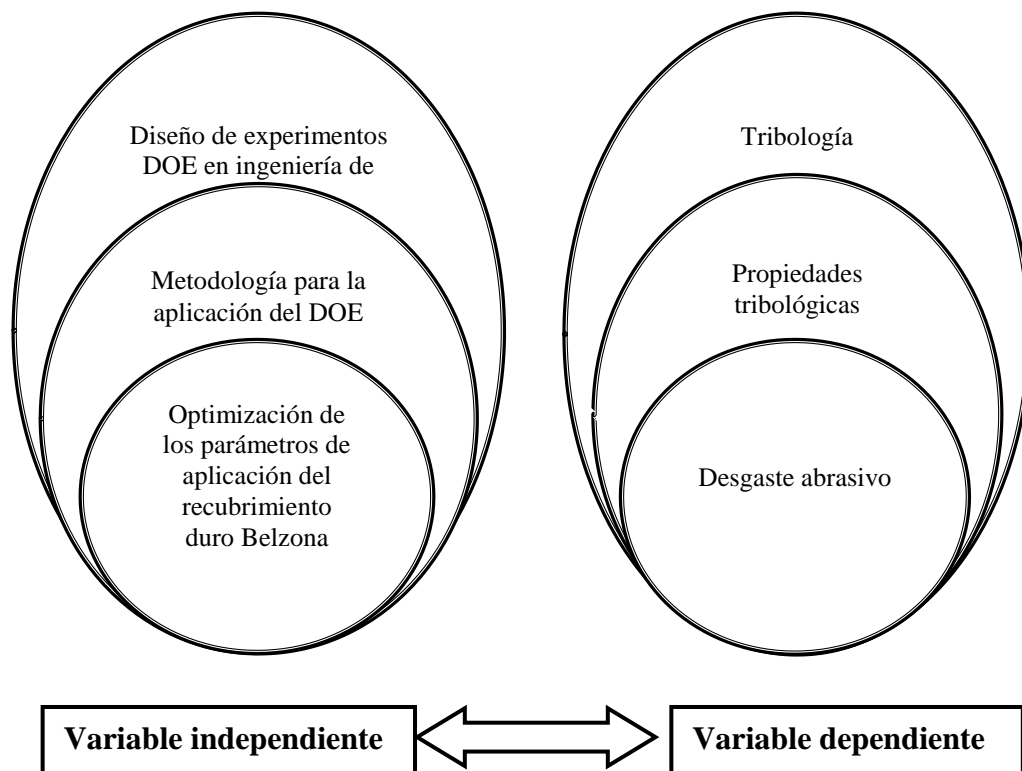


Figura 2.20 Categorías fundamentales.

## **2.6 Hipótesis**

El análisis estadístico del recubrimiento duro Belzona permitirá la optimización de los parámetros de aplicación para obtener el menor desgaste abrasivo.

## **2.7 Señalamiento de variables**

### **2.7.1 Variable independiente**

Análisis estadístico del recubrimiento duro Belzona.

### **2.7.2 Variable dependiente**

Desgaste abrasivo.

### **2.7.3 Terminó de relación**

Permitirá.

## **CAPÍTULO III**

### **3.1 Enfoque**

La presente investigación se realizó bajo un enfoque mixto, mediante el enfoque cuantitativo busca probar la hipótesis a partir de los elementos que integran el recubrimiento Belzona en álabes de turbinas Francis, las cuales se pueden cuantificar los datos numéricos a través de la estadística para dar solución a preguntas de investigación, además se usa la recolección de datos estandarizados se determinó el efecto de dicho recubrimiento sobre el acero mediante ensayos para evaluar el desgaste abrasivo.

Mientras que en el enfoque cualitativo determina la tasa de desgaste o pérdida de volumen del recubrimiento duro Belzona, así también definir el punto óptimo que permita disminuir la tasa de desgaste de los elementos que integran el recubrimiento en álabes de turbinas Francis, las cuales se pueden cuantificar los datos numéricos a través de la estadística para dar solución a preguntas de investigación.

Además se usa la recolección de datos estandarizados se determinó el efecto de dicho recubrimiento sobre el acero mediante ensayos para evaluar el desgaste abrasivo.

### **3.2 Modalidad Básica de la investigación**

#### **3.2.1 Documental**

La presente investigación se complementó con una modalidad documental ya que por su contextualización es necesario la aplicación de esta modalidad de investigación, debido a que los hechos se estudiaron para profundizar diferentes enfoques teóricos, conceptualizaciones y criterios de diversos autores basándose en documentos tales como:

Libros físicos que se encuentran en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato, libros virtuales como e-libro, revistas, publicaciones electrónicas, tesis de grados, artículos científicos, bibliotecas virtuales, fichas, catálogos técnicos, manuales entre otros que ayudaron a sustentar los resultados obtenidos.

### **3.2.2 De campo**

Es necesario realizar la investigación en el lugar donde se ejecuta la recuperación de los álabes para conocer a detalle el proceso de reparación con la Belzona para de esta forma conocer los parámetros que intervienen en este proceso y así elaborar probetas para el ensayo de desgaste abrasivo mediante normativa ASTM G105, dureza y de adherencia para la recolección y tabulación de datos.

### **3.2.3 Experimental**

Se manipuló los parámetros del recubrimiento que corresponde a la variable independiente para observar como varia el desgaste y la pérdida de volumen, con los datos de las variable se realizó pre-experimentos en probetas para ajustes del proceso de aplicación de la Belzona controlando parámetros de tiempo, espesores, temperatura y rugosidad, con estos datos afinados se realizó probetas para ejecutar un cuasi-experimental para ajustar parámetros de ensayos de desgaste abrasivo en la máquina, finalmente se ejecutó la experimentación verdadera elaborando grupos de muestras las mismas que fueron codificados para evitar confusiones en el registro de los datos, para finalmente ejecutar las comparaciones de los resultados.

## **3.3 Nivel o tipo de investigación**

### **3.3.1 Experimental**

Según la intervención del investigador abarcó el nivel de investigación experimental como solución a un problema que ha sido poco estudiado y reconocido dentro de la ingeniería de materiales, así también permitió realizar un contacto y familiarización con la realidad estudiada para dar solución, obtener información científica y concreta e identificar relaciones potenciales entre las variables del recubrimiento duro y el desgaste abrasivo.

### **3.3.2 Prospectiva**

Según la planificación de la toma de datos este tipo de investigación buscó determinar la relación existente entre el recubrimiento duro y el desgaste abrasivo, puesto que mediante la misma se logró determinar el comportamiento de la Belzona sometido al desgaste.

### **3.3.3 Longitudinal y transversal**

Según el número de ocasiones en que se mide la variable de estudio este tipo de investigación buscó determinar la relación existente entre el recubrimiento duro y el desgaste abrasivo, puesto que mediante la misma se logró determinar el comportamiento de la Belzona sometido al desgaste bajo un medio acuoso.

### **3.3.4 Analítico**

El nivel analítico permitió determinar la realidad investigada cuyo propósito es describir como se manifiesta y cuál es la incidencia del recubrimiento duro Belzona sobre el acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, en base a los valores obtenidos de los ensayos de desgaste abrasivo.

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1 Población**

Para determinar la población del presente trabajo de investigación se llevó a cabo sobre probetas estandarizadas de acuerdo a la norma ASTM G105 de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM aplicadas el recubrimiento duro Belzona, por lo tanto la población sobre el cual se realizó esta investigación constituye todas las probetas maquinadas.

### **3.4.2 Muestra**

El tipo de muestreo es probabilístico debido a que se fundamentó mediante el desarrollo de experimentos bajo el método de superficie de respuestas, se utilizó la técnica de Box-Behnken, la cual establece de 15 probetas por cada corrida debido a que se tiene tres factores y dos variables que se muestra en la Tabla 3.1.

El número de repeticiones que se consideró de acuerdo a los lineamientos que establece en el libro de Gutiérrez Pulido [9], se toma en consideración los criterios que expone para determinar el número de repeticiones, para el presente diseño de experimento se ha estipulado como 5 el número de repeticiones por cada tratamiento, la matriz de experimento para el diseño de Box-Behnken con cinco repeticiones queda como se muestra en la Tabla 3.1:

**Tabla 3.1** Matriz de diseño Box-Behnken para tres factores con tres niveles.

TRAT.	NIVELES CODIFICADAS		
	A	B	C
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

**Factor A** = Espesor del recubrimiento [um].

**Factor B** = Temperatura de curado [°C].

**Factor C** = Tiempo de curado [H].

### 3.5 Operacionalización de variables

#### 3.5.1 Variable Independiente

Análisis estadístico del recubrimiento duro Belzona.

**Tabla 3.2** Operacionalización de la variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>El diseño de experimentos (DOE) es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos para conseguir mejorar el rendimiento de un proceso y reducir los costos de producción.</p> <p>Un recubrimiento duro es la aplicación superficial ya sea por soldadura, spray térmica o procesos similares que deben cumplir ciertos parámetros de aplicación.</p>	-Diseño de experimentos DOE	-Mejor combinación -Punto óptimo	Verificar hipótesis	- Observación - Norma FN10026
		- Espesor	- (375-1000)um	- Observación - Norma FN10026 - Medidor de espesores
	- Parámetros de aplicación	- Temperatura	- (17-30) °C	- Observación - Norma FN10026 - Pirómetro
		- Tiempo	- (24-48)Horas	- Observación - Norma FN10026 - Cronometro
		- Rugosidad	- $\geq 75$ um	- Observación - Norma FN10026 - Rugosidad



### 3.5.2 Variable Dependiente

Desgaste abrasivo.

**Tabla 3.3** Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El desgaste abrasivo es la remoción de material o pérdida de volumen causado por la acción de una carga repetitiva de un material duro sobre una superficie, dicho material puede ser sedimentos, rocas que chocan contra una superficie de menor dureza.	-Desgaste abrasivo	- Pérdida de volumen.	- (0 – 100)%	- Observación - Norma ASTM G105 - Hoja de toma de datos - Máquina de ensayo abrasivo
		- Tasa de desgaste.	-(1000-0)um	- Observación - Norma ASTM G105 - Hoja de toma de datos - Máquina de ensayo abrasivo

### 3.6 Recolección de la información

La recolección de la información se realizó conforme a la operacionalización de las variables, por lo tanto los datos obtenidos del recubrimiento duro y del desgaste abrasivos se recolectaron mediante ensayos experimentales, observación directa, fichas técnicas de toma de datos y reporte de ensayo de laboratorio de las pruebas realizadas a las probetas de acero inoxidable ASTM A743.

### 3.7 Procesamiento y análisis

Para el procesamiento y análisis de la información se planificó lo siguiente:

1. Revisión de la información bibliográfica y de campo de los parámetros y procedimiento para la aplicación del recubrimiento.
2. Selección de la información más relevante tales como: espesores de cada capa, el tiempo y temperatura de curado del recubrimiento y rugosidad superficial del acero ASTM A743.
3. El procesamiento de la información se realizó bajo la metodología inferencial debido a que se tiene variables cuantitativos para esto se desarrolló el cálculo de los parámetros del recubrimiento para generalizar el comportamiento del

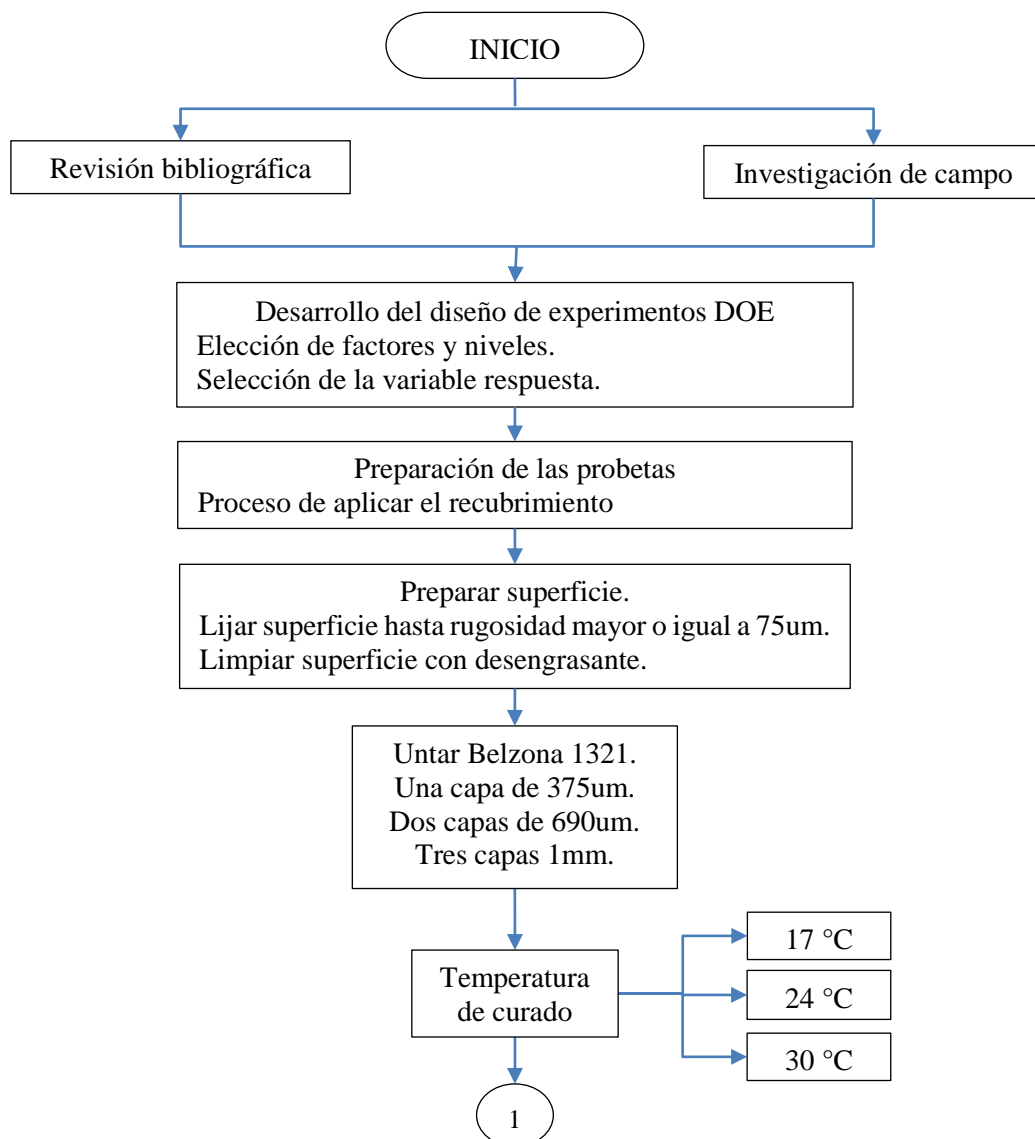
recubrimiento se utilizó estimadores como es el diseño de experimentos de superficies de respuestas mediante la técnica de Box-Benhken.

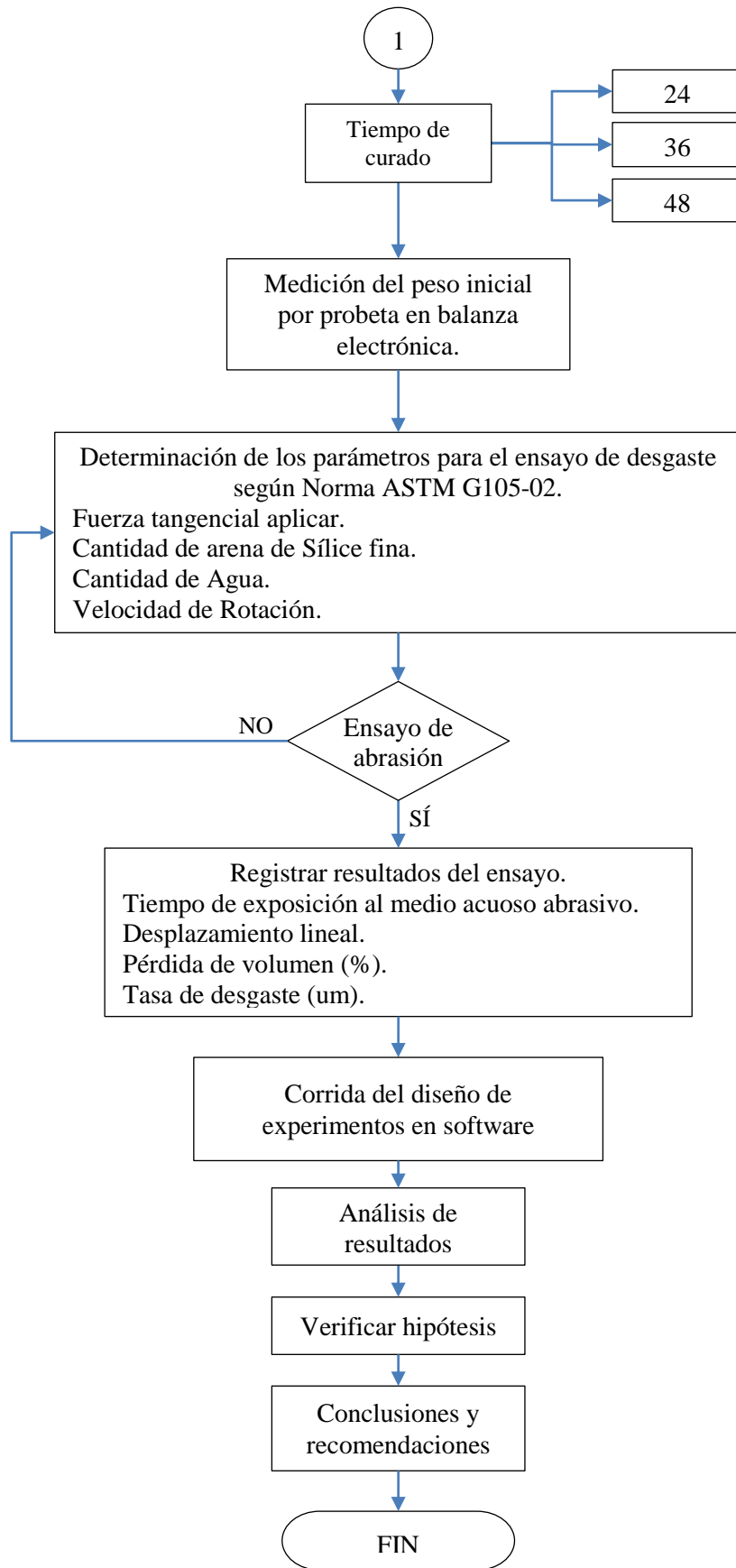
4. También se utilizó la metodología de frecuencia debido a que se manipuló variables cualitativos, calculando las cantidades de veces que aparece el valor del desgaste superficial con distintas combinaciones de los parámetros del recubrimiento, además se agrupó según los parámetros de aplicación.
5. Obtención del material ASTM A743, fabricación de las probetas y aplicación del recubrimiento duro Belzona según Norma ASTM G105, en función del número de muestras que arroge el diseño de experimentos.
6. Ejecución de ensayos para obtener la información requerida según Norma ASTM G105.
7. Tabulación de datos y resultados, se utilizó software de diseño estadístico para la elaboración de tablas, gráficos, fotografías para obtener los puntos óptimos de la combinación de los parámetros del recubrimiento.
8. Análisis de los resultados obtenidos en base a la norma ASTM G105, de acuerdo a estas dos variables calculadas se seleccionó el punto óptimo de la combinación de los parámetros del recubrimiento que permita tener el menor desgaste de pérdida de volumen y la tasa de desgaste.
9. Comparar los resultados del ensayo con los valores establecidos en la norma de especificación del material o producto.
10. Relacionar los resultados a través de representación gráficas estadísticos.
11. Comprobar la hipótesis.
12. Establecer conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

## CAPÍTULO IV

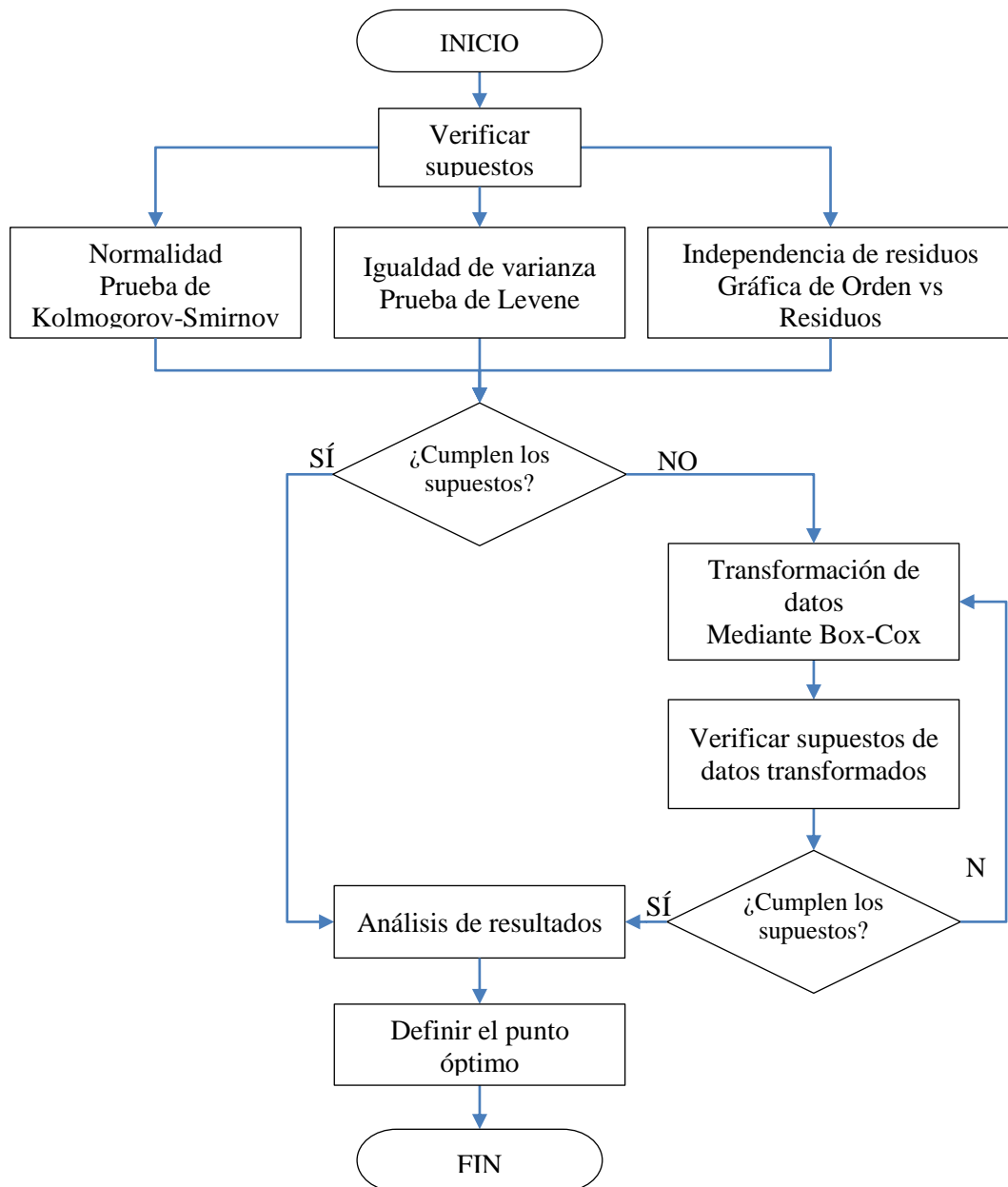
### 4.1 Análisis de los resultados

Para el presente trabajo de investigación se consideró el flujograma que se muestra en la Figura 4.1, en la cual se desarrolló el diseño de experimentos DOE para determinar el punto óptimo que permita disminuir la tasa de desgaste del recubrimiento duro Belzona con una perspectiva apegada al procedimiento de mantenimiento de turbinas Francis, mientras que en la Figura 4.2, se detalla el diagrama de flujo de la corrida del diseño de experimentos en un software estadístico.





**Figura 4.1** Diagrama de flujo para el ensayo abrasivo Norma ASTM G105.



**Figura 4.2** Diagrama de flujo de la corrida del diseño de experimentos en software.

#### 4.1.1 Desarrollo del diseño de experimentos DOE

La metodología estadística por excelencia para optimizar la experimentación se conoce como Diseño de Experimentos, este método permite aplicar sistemáticamente la estadística al proceso de experimentación del desgaste abrasivo en un medio acuoso del recubrimiento duro Belzona, en las cuales se realizaron un conjunto de pruebas cambiando algunos parámetros que se puede controlar en nuestro sistema, así poder observar e identificar las razones de los cambios en la variable de salida o respuesta del proceso.

#### 4.1.1.1 Selección del diseño de experimentos

La selección del tipo de diseño de experimentos que se quiera realizar depende de que se está buscando estudiar, es decir que mejor combinación de factores se quiere seleccionar, cuales son los factores que predominan dentro de un proceso y cuál es el punto óptimo dentro de una región experimental.

En el presente trabajo de investigación se plantea y se estructura un análisis a priori de todas las variables que intervienen en el proceso de aplicación del recubrimiento duro Belzona en álabes de turbinas Francis como se puede ver en la Figura 4.3, a continuación se descartaran los factores que no intervienen directamente en el proceso las mismas que serán debidamente justificadas el por qué no son tomadas en cuenta en el presente estudio.

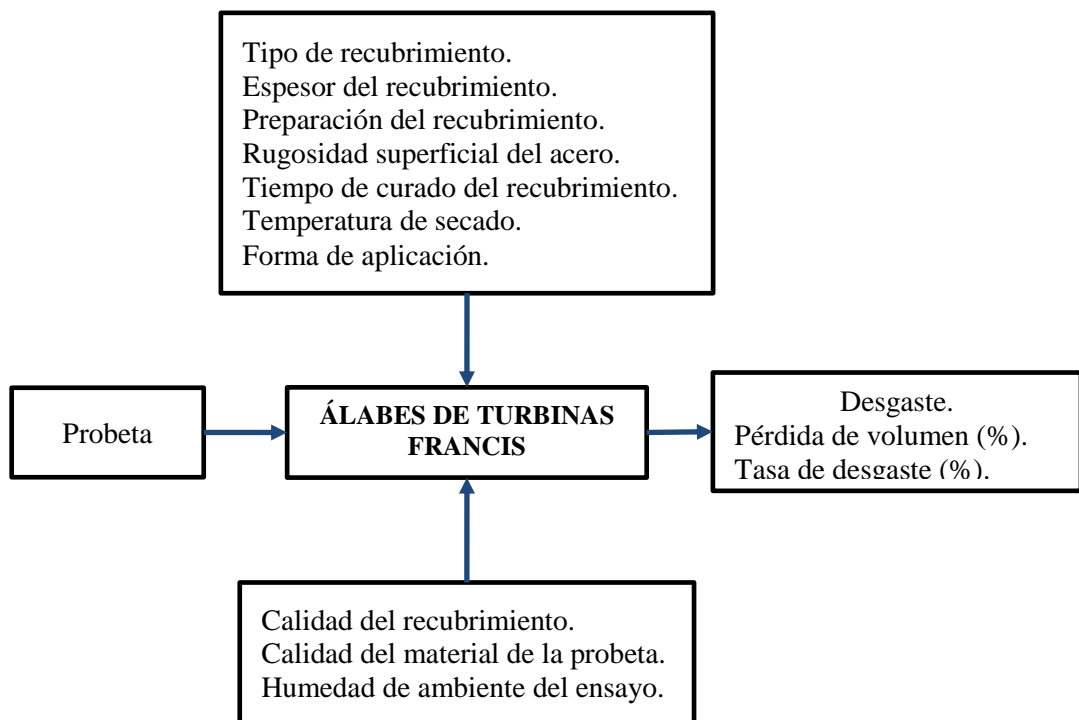


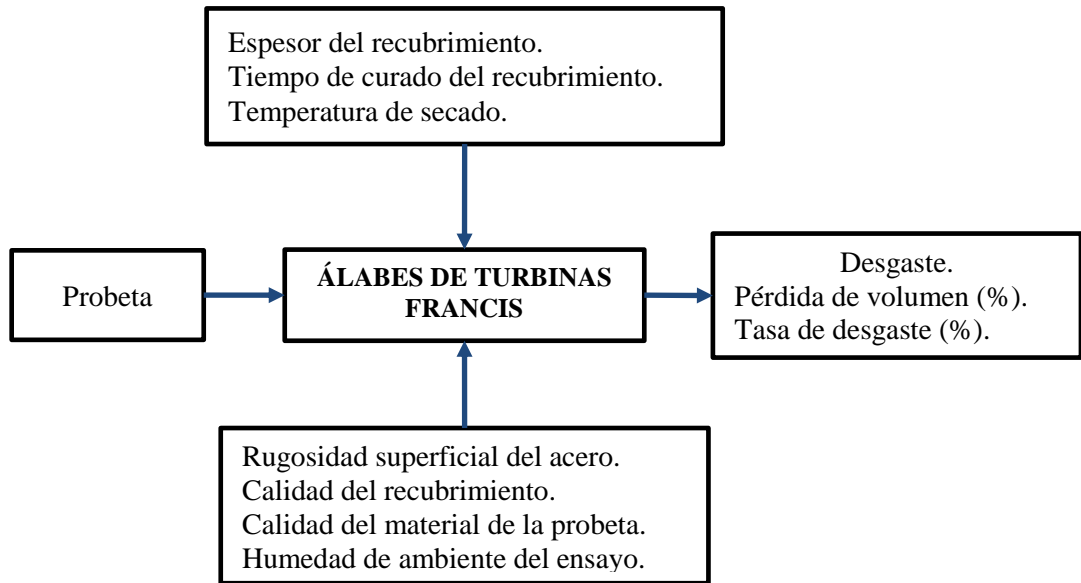
Figura 4.3 Diagrama de la caja negra a priori.

A continuación se realiza un análisis de las variables en las cuales se justifican las razones por las que se descartan o se toman en consideración las variables para este estudio.

**Tabla 4.1** Análisis de las variables de la caja negra.

<b>VARIABLES</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>
<b>VARIABLES CONTROLABLES</b>	
Tipo de recubrimiento.	Esta variable no es considerada tomar en cuenta para efectos de este estudio, debido a que el tipo de recubrimiento que se debe usar corresponde a los criterios del fabricante que recomiendan usar la Belzona 1321.
Espesor del recubrimiento.	Esta variable es considerada a tomar en cuenta para este estudio, ya que se controla el espesor que se debe dejar cuando se realiza la recuperación por este método para que no interfiera en la correcta apertura y cierre de los álabes.
Preparación del recubrimiento.	Este factor se descarta para el presente estudio, debido a que se sigue el procedimiento de preparación de acuerdo a las hojas técnicas del producto, en las cuales vienen especificado que porcentajes de cantidades de uno u otro producto se utiliza para una buena preparación.
Rugosidad superficial del acero.	Este factor se descartara para el presente estudio, debido a que las especificaciones técnicas del recubrimiento establecen que la rugosidad del material base debe ser mayor a 75um.
Tiempo de curado del recubrimiento.	El tiempo que dura el curado es un factor considerado tomar en cuenta, ya que este factor va ir variando en función de la duración del mantenimiento, de esta forma nos va permitir realizar comparaciones del desgaste entre los tiempos máximos y mínimos de curado.
Forma de aplicación.	Este factor se descarta para efectos del presente estudio, debido a que la única forma de aplicación que se realiza en el sitio es manualmente, ya que por condiciones de espacio no se puede aplicar con algún equipo.
Temperatura de secado.	Este factor se considera tomar en cuenta para el presente estudio, debido a que en el sitio de aplicación se puede controlar la temperatura de secado mediante lámparas incandescentes.
<b>VARIABLES NO CONTROLABLES</b>	
Calidad del recubrimiento.	Esta variable no se toma en cuenta, ya que dependemos del método que fue utilizado para elaborar el recubrimiento y de la ética del proveedor.
Calidad del material de la probeta.	Esta variable no se toma en cuenta, ya que dependemos del método que fue utilizado para elaborar el material de la probeta y de la ética del proveedor.
Humedad de ambiente del ensayo.	Este factor no es considerado, ya que no tenemos control de la humedad del ambiente de trabajo, debido a que las pruebas no se van a realizar en ambientes controlados.

De lo expuesto en la Tabla 4.1, el diagrama de procesos final queda como se muestra a continuación:



**Figura 4.4** Diagrama de la caja negra final.

De acuerdo a la Figura 4.4, el número de factores considerados a estudiar son tres, las mismas que estarán variando sus valores dentro de los rangos siguientes:

1. Número de capas del recubrimiento, (375 a 1000)um.
2. Temperatura de curado, ambiente (17, 24 y 30) °C.
3. Tiempo de curado o secado, (24 a 48) horas.

Los valores que se consideran para cada factor, son tomados en base a los conocimientos técnicos que se tiene por parte del personal que ejecutan el mantenimiento, es así para el presente estudio se ha decidido realizar el Diseño para la Optimización de Procesos de segundo orden mediante la Metodología de Superficie de Respuestas (RSM), debido a que se requiere encontrar las condiciones óptimas de aplicación del recubrimiento, es decir, aquellas que dan por resultado valores óptimos de un mínimo desgaste considerando los factores antes mencionados.

De acuerdo al marco referencial y a la Figura 2.1, el diseño experimental para el presente trabajo de investigación de optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro, es un diseño para modelos del segundo orden de Box-Behnken, debido a que se tiene tres factores a analizar, este diseño es eficiente en cuanto al número de corridas, en la Tabla 2.3 se muestran los 15 tratamientos del diseño Box-Behnken para tres factores. A demás para poder aplicar esta técnica de diseño, es recomendable tener tres niveles para cada factor como se ilustra en la Tabla 4.2.



**Tabla 4.2** Niveles de tratamientos.

FACTORES	NIVELES		
	-1	0	1
A Espesor del recubrimiento [um]	375	687,5	1000
B Temperatura de curado [°C]	17	24,0	30
C Tiempo de curado o secado [H]	24	36,0	48

El número de repeticiones se consideró de acuerdo a los lineamientos que establece en el libro de Gutiérrez Pulido [9], tomando en consideración los criterios que expone para determinar el número de repeticiones, para el presente diseño de experimento se ha estipulado como 5 el número de repeticiones, la matriz de experimento para el diseño Box-Behnken de tres factores, con tres niveles y cinco repeticiones queda como se muestra en la Tabla 2.3.

**Tabla 4.3** Diseño de experimentos de Box-Behnken.

TRAT.	NIVELES CODIFICADAS			NIVELES NATURALES		
	A	B	C	A	B	C
1	-1	-1	0	375	17	36
2	1	-1	0	1000	17	36
3	-1	1	0	375	30	36
4	1	1	0	1000	30	36
5	-1	0	-1	375	24	24
6	1	0	-1	1000	24	24
7	-1	0	1	375	24	48
8	1	0	1	1000	24	48
9	0	-1	-1	687,5	17	24
10	0	1	-1	687,5	30	24
11	0	-1	1	687,5	17	48
12	0	1	1	687,5	30	48
13	0	0	0	687,5	24	36
14	0	0	0	687,5	24	36
15	0	0	0	687,5	24	36

#### 4.1.2 Obtención del acero inoxidable martensítico para las probetas

Debido al alto costo para obtener el material ASTM A743 GRADO CA6-NM con el cual están fabricados los álabes de turbinas Francis, se procedió a realizar comparaciones de las propiedades químicas y mecánicas de los aceros inoxidable martensítico que se puede adquirir con facilidad en el mercado, tomando en cuenta

también que hay materiales de similares características con las cuales están fabricados algunos componentes y partes de las turbinas es así que en las Tablas 4.4 y 4.5, se detallan las propiedades químicas y mecánicas de los aceros a ser seleccionados.

**Tabla 4.4** Propiedades químicas de los aceros inoxidable [7].

Acero	Carbono	Manganeso	Silicio	Fósforo	Azufre	Cromo	Níquel	Molibdeno
ASTM A743 GRADO CA6-NM	0,06	1	1	0,04	0,030	11,5-14	3,5-4,5	0,4-1
AISI 410	0,08-0,15	≤1,5	≤1	0,04	0,015	11,5-13,5	≤0,75	≤0,6
AISI 420	≥0,15	0,03	≤1	0,04	0,03	12-14	-	-

**Tabla 4.5** Propiedades mecánicas de los aceros inoxidable [7].

Acero	Resistencia a la tensión		Resistencia a la fluencia		Elongación en 50mm	Reducción de área	Dureza Brinell
	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%	HB
ASTM A743 GRADO CA6-NM	110	755	80	550	15	35	285
AISI 410	124	850	66	450	20	-	220-260
AISI 420	124	850	73	500	13	-	228

Se realizó comparaciones de las propiedades de las Tablas 4.4 y 4.5, en caso de no contar con el material base original se puede trabajar con los aceros de propiedades químicas y mecánicas similares como son los aceros AISI 410 y 420. Para el presente estudio se va utilizar el acero ASTM A743 debido a que se puede encontrar fácilmente en los talleres de la Central Agoyán de las placas del Facing-Plate como se puede ver en la Figura 4.5.



**Figura 4.5** Acero ASTM A743 GRADO CA6-NM.

#### 4.1.2.1 Preparación de las probetas

Las probetas se obtuvieron de una placa del Facing-Plate, las mismas que fueron cortados en planchas rectangulares mediante el proceso de plasma y sierra circular, además para un mejor acabado se maquinó en la fresadora y así obtener probetas de

dimensiones 57,8x25,4mm, cabe recalcar que la norma recomienda probetas de espesor 6,35 mm para el ensayo abrasivo, por tal razón se maquinaron tres grupos de probetas con espesores diferentes para posteriormente aplicar el recubrimiento y así alcanzar el espesor recomendado de 6,35mm, para las cantidades de probetas que se requiere para cada caso, se tomó en cuenta la corrida del diseño de experimentos que se realizó de acuerdo a la Tabla 4.2 Niveles de tratamientos, con estos criterios los grupos de las probetas queda como se indica en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6** Grupos de probetas a maquinar.

Grupos	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Cantidad
G1	57,8	25,4	5,8±0,2	20
G2	57,8	25,4	5,6±0,3	35
G3	57,8	25,4	5,4±0,3	20
<b>Total Probetas</b>				<b>75</b>

**Tabla 4.7** Preparación de las probetas.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>GUÍA PARA LA PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS</b>			
Doc. No.: UTA-EDA-001		Fecha: 31/07/2019	Hoja: 1 de 1
Descripción	Fotos		
<p><b>Corte del Facing-Plate.-</b> Del material en bruto se realizó los cortes para obtener planchas de 200x400mm, mediante el equipo de corte por plasma.</p>			
<p><b>Platinas.-</b> De las planchas que se obtuvo del facing-plate se procedió a cortar platinas de 30x400mm para fácil maquinado, los cortes se realizó mediante plasma.</p> <p><b>Pulido.-</b> Se eliminó aristas vivas, eliminación de restos de recubrimientos para el fácil montaje y maquinado en la fresadora.</p>			
<p><b>Maquinado.-</b> Este proceso se realizó mediante el fresado, en la cual se maquinó el espesor hasta alcanzar un promedio de 6mm, ancho de 25,4mm</p>			
<p><b>Corte de probetas.-</b> Las platinas de 25,4x400x6mm se cortó cada 58mm en una sierra circular para de esta manera obtener probetas de 25,4x58x6mm sin recubrimiento.</p>			
<b>ELABORADO POR</b>	<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho	Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

#### 4.1.2.2 Proceso de recubrimiento de las probetas con Belzona 1321

El proceso del recubrimiento de las muestras se realizó en el taller de Hidroagoyán, el procedimiento para realizar el recubrimiento se describe en la Tabla 4.8.

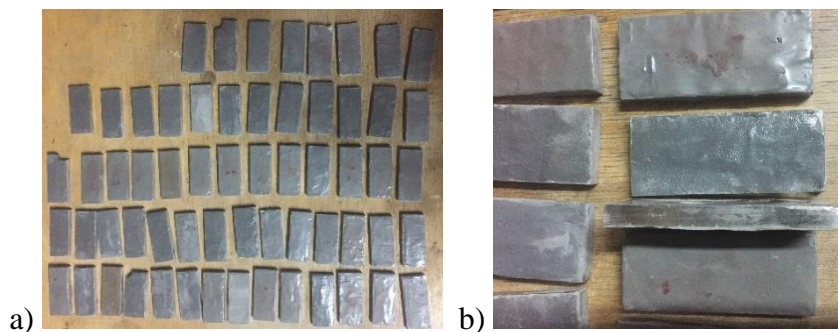
**Tabla 4.8** Procedimiento para aplicar el recubrimiento.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>GUÍA PARA LA APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO</b> 		
Doc. No.: UTA-EDA-002	Fecha: 31/7/2019	Hoja: 1 de 1
Descripción	Fotos	
Se lima y se pule la una cara de la probeta para ganar rugosidad mayor o igual a 75um que es recomendado por el fabricante de la Belzona, se utilizó este método debido a que no se tiene acceso equipo de granallado al sitio de los álabes, por tal razón para tener condiciones reales en la probeta se utilizó el método antes mencionado.		
Medir la rugosidad superficial de cada probeta con el rugosímetro de marca INSIZE modelo ISR-C100, rango de medida de 0 a 160um, precisión ±3%, resolución 0,001um. Para ver mayores características del equipo revisar el Anexo F.		
Limpiar la cara de la probeta con un lienzo empapado en Belzona 9111-NF que es un limpiador desengrasante con acción controlada o cualquier otro limpiador eficaz que no deje residuos, el fabricante de la Belzona recomienda aplicar el recubrimiento lo más rápido posible, antes que se produzca la oxidación de la superficie.		
Preparar la mezcla de la Belzona 1321 usando 4 partes de base y una parte de endurecedor en volumen, mezclar bien para lograr un material uniforme sin imperfecciones, la mezcla debe usarse dentro de los tiempos que indica el fabricante contados a partir del mezclado, ver Anexo A.		
Aplicar la primera capa de la Belzona 1321 directamente sobre la superficie preparada con un pincel de cerda dura o con el aplicador plástico provisto hasta el rango de cobertura recomendado.		
<b>ELABORADO POR</b>	<b>APROBADO POR</b>	
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho	Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas	

Para aplicar la segunda capa se debe esperar un tiempo de 1 a 2 horas a 20°C, la primera capa no se debe dejar más de 6 horas antes de aplicar la segunda, independientemente

de la temperatura, si esto ocurre se deberá aplicar un pulido o volver áspera la superficie antes de comenzar la aplicación, tomar las mismas consideraciones antes mencionada para aplicar la tercera capa, el control de la temperatura se realizó con lámparas incandescentes tal como se controla la temperatura en el sitio de la recuperación.

Inspeccionar visualmente después de la aplicación de cada capa para determinar si hay agujeros o partes sin cubrir, las imperfecciones detectadas deberán cubrirse inmediatamente con pincel, esperar un tiempo hasta que se solidifique la Belzona 1321 de acuerdo a la Tabla 2.4 para el presente estudio los tiempos de secado corresponde a 24, 36 y 48 horas, tomado también criterios de fabricante, ver Anexo A. En la Figura 4.6, se puede observar las probetas aplicado la Belzona mientras transcurre el tiempo de secado.



**Figura 4.6** a, b) Probetas aplicadas la Belzona 1321.

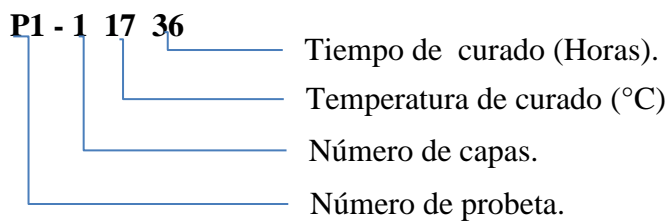
Transcurrido el tiempo de solidificación medir el espesor con el equipo (medidor de espesores) como se puede ver en la Figura 4.7, en caso de tener un sobre espesor se debe pulir hasta llegar al espesor requerido, terminado esta actividad llevar las muestras al laboratorio para el ensayo de desgaste abrasivo mediante la norma ASTM G105.



**Figura 4.7** Medición de espesores de las probetas aplicadas Belzona 1321.

### 4.1.2.3 Codificación de las probetas

Como se tiene gran cantidad de probetas se procedió a codificar para poder identificar y no confundir en los ensayos de desgaste abrasivo, mediciones de rugosidad y espesor del recubrimiento, de esta manera tener una tabulación adecuado de los datos para el ingreso al software para la corrida del diseño de experimentos y su análisis. La codificación de las probetas está formado por los primeros números de cada factor como son: el espesor en este caso corresponde al número de capas del recubrimiento, temperatura y tiempo de curado.







En base a la codificación anterior, tenemos los grupos de probetas que se detallan en la Tabla 4.9 grupos de probetas codificadas, para en función de estas categorizaciones proceder a elaborar las muestras para el ensayo de desgaste abrasivo.

**Tabla 4.9** Grupos de probetas codificadas.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
P1-11736 al P5-11736	Probeta 1, 1capa, 17°C, 36horas
P6-31736 al P10-31736	Probeta 6, 3capas, 17°C, 36horas
P11-13036 al P15-13036	Probeta 11, 1capa, 30°C, 36horas
P16-33036 al P20-33036	Probeta 16, 3capas, 30°C, 36horas
P21-12424 al P25-12424	Probeta 21, 1capa, 24°C, 24horas
P26-32424 al P30-32424	Probeta 26, 3capas, 24°C, 24horas
P31-12448 al P35-12448	Probeta 31, 1capa, 24°C, 48horas
P36-32448 al P40-32448	Probeta 36, 3capas, 24°C, 48horas
P41-21724 al P45-21724	Probeta 41, 2capas, 17°C, 24horas
P46-23024 al P50-23024	Probeta 46, 2capas, 30°C, 24horas
P51-21748 al P55-21748	Probeta 51, 2capas, 17°C, 48horas
P56-23048 al P60-23048	Probeta 56, 2capas, 30°C, 48horas
P61-22436 al P65-22436	Probeta 61, 2capas, 24°C, 36horas
P66-22436 al P70-22436	Probeta 66, 2capas, 24°C, 36horas
P71-22436 al P75-22436	Probeta 71, 2capas, 24°C, 36horas




### 4.1.3 Medición de rugosidad superficial del acero inoxidable

Tabla 4.10 Medición de rugosidad.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>REPORTE DE MEDICIÓN RUGOSIDAD DEL ACERO ASTM A743</b>							
	Doc. No.: UTA-EDA-003	Fecha: 9/7/2019	Hoja: 1 de 1					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>								
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>ENSAYO</b>		<b>TIPO DE ENSAYO</b>				
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	Ensayo No.:	1	<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio				
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	Probeta No.:	75	<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller				
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	Norma:	ASTM G105-89	<input type="checkbox"/> De Campo				
<b>PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD</b>								
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA</b>			<b>CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO</b>					
Material base:	Acero ASTM A743		Marca:	INSIZE				
Recubrimiento:	Belzona 1321		Modelo:	ISR-C100				
Temperatura:	20 °C		Capacidad:	0 - 160 um				
Humedad relativa:	72%		Resolución:	0,001 um				
<b>CROQUIS / FIGURA</b>								
 								
<b>RESULTADOS</b>								
No. Probeta	Código	Rugosidad Ra (um)	No. Probeta	Código	Rugosidad Ra (um)	No. Probet	Código	Rugosidad Ra (um)
1	P1-11736	80	26	P26-32424	75	51	P51-21748	75
2	P2-11736	88	27	P27-32424	77	52	P52-21748	77
3	P3-11736	75	28	P28-32424	81	53	P53-21748	80
4	P4-11736	90	29	P29-32424	75	54	P54-21748	77
5	P5-11736	91	30	P30-32424	80	55	P55-21748	75
6	P6-31736	83	31	P31-12448	77	56	P56-23048	80
7	P7-31736	84	32	P32-12448	78	57	P57-23048	79
8	P8-31736	77	33	P33-12448	77	58	P58-23048	79
9	P9-31736	79	34	P34-12448	76	59	P59-23048	80
10	P10-31736	90	35	P35-12448	80	60	P60-23048	83
11	P11-13036	77	36	P36-32448	75	61	P61-22436	75
12	P12-13036	85	37	P37-32448	81	62	P62-22436	88
13	P13-13036	95	38	P38-32448	76	63	P63-22436	78
14	P14-13036	98	39	P39-32448	77	64	P64-22436	84
15	P15-13036	76	40	P40-32448	79	65	P65-22436	91
16	P16-33036	79	41	P41-21724	80	66	P66-22436	89
17	P17-33036	81	42	P42-21724	81	67	P67-22436	79
18	P18-33036	80	43	P43-21724	81	68	P68-22436	77
19	P19-33036	75	44	P44-21724	81	69	P69-22436	90
20	P20-33036	78	45	P45-21724	75	70	P70-22436	82
21	P21-12424	80	46	P46-23024	79	71	P71-22436	79
22	P22-12424	82	47	P47-23024	77	72	P72-22436	81
23	P23-12424	77	48	P48-23024	75	73	P73-22436	87
24	P24-12424	76	49	P49-23024	76	74	P74-22436	91
25	P25-12424	83	50	P50-23024	81	75	P75-22436	78
<b>OBSERVACIONES:</b>								
La medición se realizó en la ciudad de Baños de Agua Santa en la Central Agoyán.								
<b>ELABORADO POR</b>					<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho					Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

#### 4.1.4 Medición de espesor del recubrimiento

Tabla 4.11 Medición de espesor del recubrimiento.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>REPORTE DE MEDICIÓN DE ESPESOR</b>							
	Doc. No.: UTA-EDA-004	Fecha: 9/7/2019	Hoja: 1 de 1					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>								
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>ENSAYO</b>		<b>TIPO DE ENSAYO</b>				
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	Ensayo No.:	2	<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio				
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	Probeta No.:	75	<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller				
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	Norma:	ASTM G105-89	<input type="checkbox"/> De Campo				
<b>PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD</b>								
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA</b>			<b>CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO</b>					
Material base:	Acero ASTM A743		Marca:	elcometer				
Recubrimiento:	Belzona 1321		Modelo:	A456FSS				
Temperatura:	18,3 °C		Capacidad:	31mm (1220 mils)				
Humedad relativa:	68%		Capacidad medición:	± 1%				
<b>CROQUIS / FIGURA</b>								
								
<b>RESULTADOS</b>								
No. Probeta	Código	Espesor (um)	No. Probeta	Código	Espesor (um)	No. Probet	Código	Espesor (um)
1	P1-11736	999	26	P26-32424	695	51	P51-21748	690
2	P2-11736	1000	27	P27-32424	695	52	P52-21748	692
3	P3-11736	1001	28	P28-32424	691	53	P53-21748	692
4	P4-11736	1000	29	P29-32424	690	54	P54-21748	690
5	P5-11736	1002	30	P30-32424	692	55	P55-21748	690
6	P6-31736	1002	31	P31-12448	695	56	P56-23048	377
7	P7-31736	999	32	P32-12448	692	57	P57-23048	377
8	P8-31736	1002	33	P33-12448	691	58	P58-23048	377
9	P9-31736	1000	34	P34-12448	692	59	P59-23048	375
10	P10-31736	1002	35	P35-12448	691	60	P60-23048	377
11	P11-13036	1001	36	P36-32448	691	61	P61-22436	377
12	P12-13036	1000	37	P37-32448	691	62	P62-22436	377
13	P13-13036	998	38	P38-32448	691	63	P63-22436	378
14	P14-13036	1002	39	P39-32448	692	64	P64-22436	377
15	P15-13036	1001	40	P40-32448	691	65	P65-22436	378
16	P16-33036	1003	41	P41-21724	691	66	P66-22436	376
17	P17-33036	1001	42	P42-21724	693	67	P67-22436	376
18	P18-33036	1000	43	P43-21724	693	68	P68-22436	376
19	P19-33036	999	44	P44-21724	690	69	P69-22436	375
20	P20-33036	1000	45	P45-21724	690	70	P70-22436	376
21	P21-12424	691	46	P46-23024	690	71	P71-22436	376
22	P22-12424	691	47	P47-23024	689	72	P72-22436	375
23	P23-12424	692	48	P48-23024	692	73	P73-22436	376
24	P24-12424	690	49	P49-23024	692	74	P74-22436	377
25	P25-12424	691	50	P50-23024	691	75	P75-22436	372
<b>OBSERVACIONES:</b>								
La medición se realizó en la ciudad de Baños de Agua Santa en la Central Agoyán.								
<b>ELABORADO POR</b>					<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho					Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			



#### 4.1.5 Temperatura de curado del recubrimiento

En caso de necesitar menos tiempo para un retorno a servicio, el curado o fraguado se puede acelerar elevando la temperatura de la reparación, esto puede llevarse a cabo utilizando mantas calientes, lámparas de calor, cajas de calor o cualquier dispositivo que produzca calor en seco y que no altere la integridad de la reparación, en este caso para aumentar y controlar la temperatura de secado del recubrimiento se instaló lámparas como se puede ver en la Figura 4.8, en la Tabla 4.12, se indica el número de lámparas instaladas según la temperatura que se requiere en función del facto del diseño de experimentos, dichos valores de temperatura definidos se puede ver en la Tabla 4.12.

**Tabla 4.12** Temperatura de curado de las probetas con recubrimiento.

Tiempo de curado [H]	Temperatura de curado [°C]	Número de lámparas
24	17	0
36	24	1
48	30	2



**Figura 4.8** Ubicación de lámparas para el curado.







Código	Potencia	Ancho	Alto	Largo
0429011	150W	135mm.	80mm.	180mm.
0429005	500W	185mm.	115mm.	265mm.
0429006	1.000W	340mm.	181mm.	375mm.
0429007	1.500W	340mm.	181mm.	375mm.

**Figura 4.9** Características técnicas de la lámpara.

En la Figura 4.9, se detalla las propiedades de la lámpara utilizado para acelerar el secado y así reducir el tiempo de curado de la Belzona.

#### 4.1.6 Medición del peso inicial

Tabla 4.13 Medición del peso inicial.

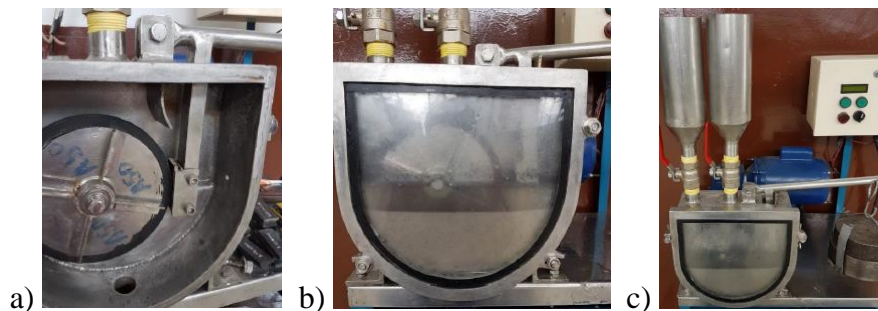
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS		REPORTE DE MEDICIÓN DE PESO INICIAL		
		Doc. No.: UTA-EDA-005		Fecha: 9/7/2019		Hoja: 1 de 1		
								
DATOS INFORMATIVOS								
IDENTIFICACIÓN				ENSAYO		TIPO DE ENSAYO		
Solicitado por:		Ing. Edgar Sangucho		Ensayo No.: 3		<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio		
Realizado por:		Ing. Edgar Sangucho		Probeta No.: 75		<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller		
Lugar de ejecución:		Hidroagoyán		Norma: ASTM G105-89		<input type="checkbox"/> De Campo		
PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE PESO INICIAL								
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA				CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO				
Material base:		Acero ASTM A743		Marca:		TSCALE		
Recubrimiento:		Belzona 1321		Modelo:		DJ6001A		
Temperatura:		19,7 °C		Capacidad:		6000g x 0,1g		
Humedad relativa:		68%						
CROQUIS / FIGURA								
								
RESULTADOS								
No. Probeta	Código	Peso inicial (g)	No. Probeta	Código	Peso inicial (g)	No. Probeta	Código	Peso inicial (g)
1	P1-11736	65,0348	26	P26-32424	72,0185	51	P51-21748	69,4136
2	P2-11736	67,5385	27	P27-32424	62,6745	52	P52-21748	75,3839
3	P3-11736	62,6558	28	P28-32424	76,1747	53	P53-21748	68,9771
4	P4-11736	70,2989	29	P29-32424	73,7322	54	P54-21748	63,2006
5	P5-11736	65,3319	30	P30-32424	64,0549	55	P55-21748	72,4823
6	P6-31736	64,8954	31	P31-12448	62,4491	56	P56-23048	68,1972
7	P7-31736	64,0175	32	P32-12448	66,5523	57	P57-23048	74,6030
8	P8-31736	65,7387	33	P33-12448	70,4460	58	P58-23048	68,5015
9	P9-31736	71,7085	34	P34-12448	63,7257	59	P59-23048	62,7451
10	P10-31736	71,2829	35	P35-12448	65,7459	60	P60-23048	64,8457
11	P11-13036	71,7619	36	P36-32448	63,8156	61	P61-22436	69,5018
12	P12-13036	65,9386	37	P37-32448	66,5523	62	P62-22436	65,8377
13	P13-13036	64,1726	38	P38-32448	63,1575	63	P63-22436	71,7215
14	P14-13036	66,2879	39	P39-32448	67,2505	64	P64-22436	66,7258
15	P15-13036	65,1712	40	P40-32448	76,6139	65	P65-22436	75,5786
16	P16-33036	65,2130	41	P41-21724	68,9517	66	P66-22436	69,7519
17	P17-33036	70,3770	42	P42-21724	59,8084	67	P67-22436	63,8186
18	P18-33036	64,0926	43	P43-21724	64,1934	68	P68-22436	60,3723
19	P19-33036	75,3079	44	P44-21724	64,0197	69	P69-22436	64,9345
20	P20-33036	68,8972	45	P45-21724	74,5365	70	P70-22436	66,5787
21	P21-12424	63,1685	46	P46-23024	64,5896	71	P71-22436	61,7340
22	P22-12424	77,7753	47	P47-23024	64,7856	72	P72-22436	68,5590
23	P23-12424	74,4378	48	P48-23024	62,0150	73	P73-22436	63,8055
24	P24-12424	66,7258	49	P49-23024	69,4136	74	P74-22436	63,1967
25	P25-12424	65,4832	50	P50-23024	61,6315	75	P75-22436	57,7095
OBSERVACIONES:								
La medición se realizó en la ciudad de Baños de Agua Santa en la Central Agoyán.								
ELABORADO POR				APROBADO POR				
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas				

#### **4.1.7 Proceso del ensayo de desgaste abrasivo norma ASTM G105**

La ejecución del ensayo de desgaste abrasivo se realizó en las instalaciones del laboratorio de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato, siguiendo el procedimiento de acuerdo a la norma ASTM G105 que se detalla a continuación:

1. Limpiar la cámara de lodos antes de la prueba para eliminar cualquier resto de suspensión de pruebas anterior.
2. Instalar la rueda de goma Shore A70, se ejecutó el ensayo con este disco debido a que es menos favorable para la resistencia a la abrasión de las probetas, así también se tomó en consideración los criterios de la norma ASTM G105.
3. Antes de la prueba se recomienda desmagnetizar cada espécimen de acero, generalmente este proceso se ejecuta aplicando un ligero precalentamiento a fuego directo a las probetas, debido a que el aumento de la temperatura disminuye el campo magnético de las muestras, para de esta forma evitar que se acumule limallas producto de la fricción entre la probeta y la rueda de goma.
4. Tomar el peso inicial del espécimen en una balanza electrónica de precisión 0,0001gr, para realizar esta actividad las muestras deben estar completamente limpias libre de impurezas o líquidos existentes sobre ellas para tener una medición de peso correcto.
5. Instalar la muestra en el soporte de la muestra, se recomienda utilizar una calza adecuada si la superficie del espécimen es inferior a 6 mm por encima de la superficie del asiento del soporte, llenar la cámara de lodos con 1,5 kg de arena silícica y 1 litro de agua.
6. Encender la máquina, la rueda de goma gira a 245 rpm de velocidad de superficie periférica.
7. Bajar el soporte de la muestra con cuidado contra la rueda para evitar rebotes y aplicar una fuerza de 222 N contra la muestra de ensayo, una cicatriz de desgaste se ejecuta para 1000 revoluciones de la rueda, cada 1000 revoluciones produce 5585 m de abrasión lineal cada 4 minutos asumiendo una rueda de 177,8 m de diámetro, el rodaje elimina la capa superficial y expone el material fresco eso no se ve afectado por la preparación de la superficie.



8. Transcurrido el tiempo del ensayo, detener la máquina, retirar el brazo con la muestra, limpiar, secar y pesar nuevamente la muestra, se tabula los datos para cada conjunto de probetas, se efectúan cálculos de pérdida de peso, pérdida de volumen y la tasa de desgaste de acuerdo a la norma ASTM G105.
9. Colocar nuevamente la probeta en la máquina y repetir los pasos 6 al 8 hasta conseguir un desplazamiento de 5585 m lineales una vez alcanzado se concluye el ensayo para la probeta, seguir este procedimiento para los demás especímenes



**Figura 4.10** a) Disco Shore A50, b) Llenado cámara con agua y arena, c) Carga aplicada.

#### 4.1.8 Registro de resultado del ensayo del desgaste abrasivo norma ASTM G105

**Tabla 4.14** Resumen del ensayo abrasivo.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>REPORTE DE ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>					
		Doc. No.: UTA-EDA-006	Fecha: 17/7/2019	Hoja: 1 de 3			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			<b>ENSAYO</b>		<b>TIPO DE ENSAYO</b>		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho		Ensayo No.:	4	<input checked="" type="checkbox"/>	De Laboratorio	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho		Probeta No.:	75		De Proceso/Taller	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán		Norma:	ASTM G105-89		De Campo	
<b>RESULTADOS</b>							
Código	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso (g)	Desgaste promedio $\Delta P$ (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefi. de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
P1-11736 al P5-11736	1117	66,0736	0,0984	12,5376	0,0881	0,0004	0,0261
	2234	65,9710	0,2009	25,5975	0,1799	0,0009	0,0533
	3351	65,8456	0,3264	41,5771	0,2922	0,0015	0,0866
	4468	65,7359	0,4361	55,5490	0,3904	0,0020	0,1157
	5585	65,6638	0,5081	64,7312	0,4549	0,0023	0,1349
P6-31736 al P10-31736	1117	67,3749	0,1537	19,5796	0,1376	0,0007	0,0408
	2234	67,2272	0,3014	38,3924	0,2698	0,0014	0,0800
	3351	66,8793	0,6493	82,7083	0,5813	0,0029	0,1723
	4468	66,7623	0,7663	97,6153	0,6860	0,0034	0,2034
	5585	66,7067	0,8219	104,6955	0,7358	0,0037	0,2181
P11-13036 al P15-13036	1117	66,4916	0,1748	22,2675	0,1565	0,0008	0,0464
	2234	66,3136	0,3528	44,9478	0,3159	0,0016	0,0936
	3351	66,0059	0,6605	84,1401	0,5913	0,0030	0,1753
	4468	65,9000	0,7665	97,6408	0,6862	0,0034	0,2034
	5585	65,7896	0,8768	111,6943	0,7850	0,0039	0,2327



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS**  
**REPORTE DE ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**





Doc. No.: UTA-EDA-006

Fecha: 17/7/2019

Hoja: 2 de 3

**RESULTADOS**

Código	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso (g)	Desgaste promedio $\Delta P$ (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefi. de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
P16-33036 al P20-33036	1117	68,5876	0,1899	24,1962	0,1700	0,0009	0,0504
	2234	68,3916	0,3859	49,1618	0,3455	0,0017	0,1024
	3351	68,0589	0,7186	91,5439	0,6433	0,0032	0,1907
	4468	67,9237	0,8538	108,7694	0,7644	0,0038	0,2266
	5585	67,8076	0,9699	123,5567	0,8683	0,0044	0,2574
P21-12424 al P25-12424	1117	70,3059	0,2014	25,6535	0,1803	0,0009	0,0534
	2234	70,1101	0,3971	50,5911	0,3555	0,0018	0,1054
	3351	69,8045	0,7027	89,5159	0,6291	0,0032	0,1865
	4468	69,5372	0,9701	123,5745	0,8685	0,0044	0,2574
	5585	69,5074	0,9999	127,3707	0,8951	0,0045	0,2654
P26-32424 al P30-32424	1117	69,5317	0,1993	25,3860	0,1784	0,0009	0,0529
	2234	69,3258	0,4052	51,6153	0,3627	0,0018	0,1075
	3351	69,0141	0,7168	91,3146	0,6417	0,0032	0,1902
	4468	68,8088	0,9221	117,4701	0,8256	0,0041	0,2447
	5585	68,7129	1,0180	129,6841	0,9114	0,0046	0,2702
P31-12448 al P35-12448	1117	65,6211	0,2147	27,3496	0,1922	0,0010	0,0570
	2234	65,4082	0,4276	54,4739	0,3828	0,0019	0,1135
	3351	64,9599	0,8759	111,5796	0,7842	0,0039	0,2325
	4468	64,7894	1,0464	133,2994	0,9368	0,0047	0,2777
	5585	64,7584	1,0775	137,2561	0,9646	0,0048	0,2860
P36-32448 al P40-32448	1117	67,2408	0,2372	30,2166	0,2124	0,0011	0,0630
	2234	67,0036	0,4744	60,4306	0,4247	0,0021	0,1259
	3351	66,6515	0,8265	105,2815	0,7399	0,0037	0,2193
	4468	66,3522	1,1258	143,4140	1,0079	0,0051	0,2988
	5585	66,2876	1,1904	151,6382	1,0657	0,0054	0,3159
P41-21724 al P45-21724	1117	66,0481	0,2539	32,3414	0,2273	0,0011	0,0674
	2234	65,7916	0,5104	65,0166	0,4569	0,0023	0,1355
	3351	65,3863	0,9157	116,6446	0,8197	0,0041	0,2430
	4468	65,3016	1,0003	127,4268	0,8955	0,0045	0,2655
	5585	65,2537	1,0482	133,5287	0,9384	0,0047	0,2782
P46-23024 al P50-23024	1117	64,2336	0,2534	32,2828	0,2269	0,0011	0,0673
	2234	64,0375	0,4495	57,2662	0,4025	0,0020	0,1193
	3351	63,7372	0,7498	95,5210	0,6713	0,0034	0,1990
	4468	63,5175	0,9696	123,5134	0,8680	0,0044	0,2573
	5585	63,5024	0,9847	125,4369	0,8815	0,0044	0,2613
P51-21748 al P55-21748	1117	69,6374	0,2541	32,3669	0,2275	0,0011	0,0674
	2234	69,3846	0,5069	64,5783	0,4538	0,0023	0,1345
	3351	68,8912	1,0003	127,4293	0,8955	0,0045	0,2655
	4468	68,6710	1,2205	155,4828	1,0927	0,0055	0,3239
	5585	68,6162	1,2753	162,4561	1,1417	0,0057	0,3385
P56-23048 al P60-23048	1117	67,4854	0,2931	37,3401	0,2624	0,0013	0,0778
	2234	67,1937	0,5848	74,4943	0,5235	0,0026	0,1552
	3351	66,6114	1,1671	148,6777	1,0449	0,0053	0,3097
	4468	66,3672	1,4113	179,7860	1,2635	0,0063	0,3746
	5585	66,3221	1,4564	185,5287	1,3038	0,0066	0,3865
P61-22436 al P65-22436	1117	69,5537	0,3193	40,6803	0,2859	0,0014	0,0848
	2234	69,2383	0,6348	80,8688	0,5683	0,0029	0,1685
	3351	68,7058	1,1673	148,6981	1,0450	0,0053	0,3098
	4468	68,4738	1,3993	178,2497	1,2527	0,0063	0,3714
	5585	68,2905	1,5826	201,6076	1,4168	0,0071	0,4200

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>REPORTE DE ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
	Doc. No.: UTA-EDA-006	Fecha: 17/7/2019	Hoja: 3 de 3				
RESULTADOS							
Código	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso (g)	Desgaste promedio $\Delta P$ (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefi. de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
P66-22436 al P70-22436	1117	64,7726	0,3186	40,5834	0,2852	0,0014	0,0845
	2234	64,4578	0,6334	80,6930	0,5671	0,0029	0,1681
	3351	63,9261	1,1651	148,4153	1,0430	0,0052	0,3092
	4468	63,6897	1,4015	178,5350	1,2547	0,0063	0,3719
	5585	63,5103	1,5809	201,3941	1,4153	0,0071	0,4196
P71-22436 al P75-22436	1117	62,6841	0,3168	40,3557	0,2836	0,0014	0,0841
	2234	62,3682	0,6327	80,6038	0,5665	0,0029	0,1679
	3351	61,8347	1,1662	148,5631	1,0441	0,0053	0,3095
	4468	61,6015	1,3994	178,2673	1,2528	0,0063	0,3714
	5585	61,4193	1,5816	201,4826	1,4160	0,0071	0,4198
<b>OBSERVACIONES:</b> Se hace un resumen de las 15 corridas del diseño de experimentos de Box-Behnken y se promedió los resultados.							
<b>ELABORADO POR</b>				<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

#### 4.1.9 Corrida del diseño de experimentos para volumen perdido

Para realizar la corrida del diseño de experimento por método de superficie de respuestas en el software, se utilizó los tres factores espesor, temperatura, tiempo, adicional para obtener resultados compilados se incluye los datos totales en función del desplazamiento del desgaste abrasivo, es así que en la Tabla 4.15 indica el resumen del diseño.

**Tabla 4.15** Resumen del diseño totalidad de los desplazamientos.

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Factores	3
2	Factores categóricos	1
3	Réplicas	5
4	Total de corridas	375
5	Puntos centrales	75

##### 4.1.9.1 Verificar supuestos



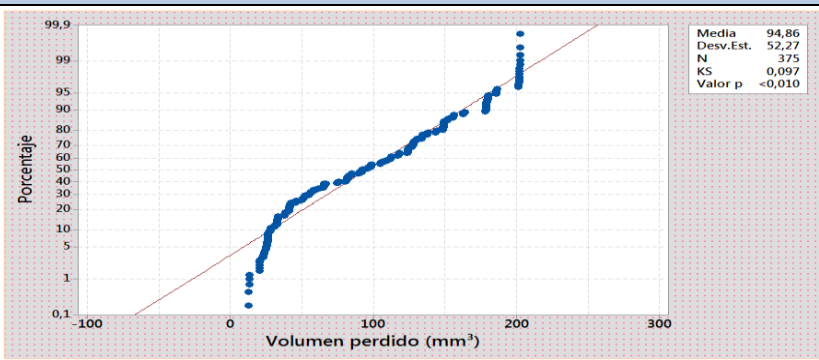
El análisis de experimentos que se va a realizar, sabiendo que se aplicarán pruebas paramétricas y teniendo presente el objetivo del diseño de experimentos a realizar, en términos generales se va asegurar que los datos se cumplan con los supuestos mencionados en el Capítulo II para contar con la efectividad de los resultados y en función de esto poder llegar a unas conclusiones acordes al objetivo de la investigación. Cabe mencionar para poder aplicar el diseño de experimentos de

superficies de respuesta o cualquier otro diseño la teoría recomienda estrictamente que se cumplan los supuestos paramétricos, ya que de estos dependerá si los datos requieren ser tratados para obtener resultados veraces.

### Verificación de supuesto de normalidad

Para comprobar si cumple el supuesto de normalidad se empleó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, para verificar los datos del volumen perdido para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.16 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos originales no cumplen con el supuesto de normalidad, es necesario que el valor- $p$  sea mayor o igual a 0,05, siendo este de 0,01, en tal virtud se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , por lo que es necesario transformar los datos para su verificación y posterior análisis.



**Tabla 4.16** Verificación de supuesto de normalidad de volumen perdido.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>													
		Doc. No.: UTA-EDA-007	Fecha: 11/9/2019	Hoja: 1 de 1											
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>															
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>											
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad										
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante										
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia										
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>															
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>											
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	El volumen perdido tiene distribución normal.	<input checked="" type="checkbox"/>	1117										
Factores categóricos:	1			<input checked="" type="checkbox"/>	2234										
Replicas:	5	<b>H<sub>1</sub>:</b>	El volumen perdido no tiene distribución normal.	<input checked="" type="checkbox"/>	3351										
Totales de corridas:	375			<input checked="" type="checkbox"/>	4468										
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585										
<b>RESULTADOS</b>															
				<table border="1"> <tr><td>Media</td><td>94,86</td></tr> <tr><td>Desv.Est.</td><td>52,27</td></tr> <tr><td>N</td><td>375</td></tr> <tr><td>KS</td><td>0,097</td></tr> <tr><td>Valor p</td><td>&lt;0,010</td></tr> </table>		Media	94,86	Desv.Est.	52,27	N	375	KS	0,097	Valor p	<0,010
Media	94,86														
Desv.Est.	52,27														
N	375														
KS	0,097														
Valor p	<0,010														
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Kolmogorov – Smirnov = 0,097													
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = 0,05$		Valor-p = 0,01											
<b>DECISIÓN:</b>		Debido a que el valor-p es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula.													
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos del volumen perdido en función de los desplazamientos totales no tienen distribución normal.													
<b>OBSERVACIONES:</b>		Como los datos no cumplen el supuesto de normalidad, dichos datos requieren transformación.													
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>												
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas												

## Verificación de supuesto de igualdad de varianza

Para comprobar si cumple el supuesto de igual de varianza se empleó la prueba de Leven, para verificar los datos del volumen perdido para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.17 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos originales cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, debido a que los tratamientos no tienen diferencias significativas ya que el valor- $p$  es de 0,702 que es mayor a 0,05, en tal virtud no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .



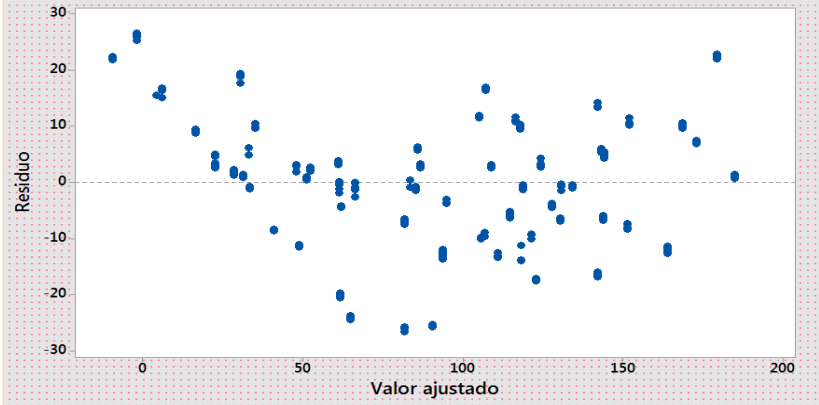
**Tabla 4.17** Verificación de supuesto de igualdad de varianza de volumen perdido.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>																																																																									
		Doc. No.: UTA-EDA-008	Fecha: 11/9/2019			Hoja: 1 de 1																																																																					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>																																																																											
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>																																																																							
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<b>X</b>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>		Supuesto de normalidad																																																																						
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho		Tasa de desgaste (mg/m)	<b>X</b>	Supuesto de varianza constante																																																																						
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán				Supuesto de independencia																																																																						
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>																																																																											
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>																																																																							
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	El volumen perdido tiene igual varianza.	<b>X</b>	1117																																																																						
Factores categóricos:	1			<b>X</b>	2234																																																																						
Replicas:	5	<b>H1:</b>	El volumen perdido no tiene igual varianza.	<b>X</b>	3351																																																																						
Totales de corridas:	375			<b>X</b>	4468																																																																						
Puntos central:	75			<b>X</b>	5585																																																																						
<b>RESULTADOS</b>																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Espesor (µm)</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (H)</th> <th>Desplazamiento L (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="12">375,0</td> <td rowspan="3">17,0</td> <td>36</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">23,5</td> <td rowspan="3">24</td> <td>36</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">30,0</td> <td rowspan="3">36</td> <td>36</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">687,5</td> <td rowspan="2">17,0</td> <td>24</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">23,5</td> <td rowspan="2">36</td> <td>36</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">30,0</td> <td rowspan="2">24</td> <td>36</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">1000,0</td> <td rowspan="2">17,0</td> <td>36</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>4468</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">23,5</td> <td rowspan="2">24</td> <td>36</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">30,0</td> <td rowspan="2">36</td> <td>36</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td>48</td> <td>1117</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Comparaciones múltiples</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Valor p</td> <td style="text-align: center;">0,000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Prueba de Levene</td> <td style="text-align: center;">Valor p 0,702</td> </tr> </table> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">Si los intervalos no se sobrepone, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.</p>						Espesor (µm)	Temperatura (°C)	Tiempo (H)	Desplazamiento L (m)	375,0	17,0	36	1117	48	3351	24	5585	23,5	24	36	3351	48	1117	24	5585	30,0	36	36	3351	48	1117	24	5585	687,5	17,0	24	1117	48	3351	23,5	36	36	5585	48	1117	30,0	24	36	3351	48	5585	1000,0	17,0	36	5585	48	4468	23,5	24	36	1117	48	3351	30,0	36	36	5585	48	1117	Comparaciones múltiples		Valor p	0,000	Prueba de Levene	Valor p 0,702
Espesor (µm)	Temperatura (°C)	Tiempo (H)	Desplazamiento L (m)																																																																								
375,0	17,0	36	1117																																																																								
		48	3351																																																																								
		24	5585																																																																								
	23,5	24	36	3351																																																																							
			48	1117																																																																							
			24	5585																																																																							
	30,0	36	36	3351																																																																							
			48	1117																																																																							
			24	5585																																																																							
	687,5	17,0	24	1117																																																																							
			48	3351																																																																							
		23,5	36	36	5585																																																																						
48				1117																																																																							
30,0		24	36	3351																																																																							
			48	5585																																																																							
1000,0	17,0	36	5585																																																																								
		48	4468																																																																								
	23,5	24	36	1117																																																																							
			48	3351																																																																							
	30,0	36	36	5585																																																																							
			48	1117																																																																							
Comparaciones múltiples																																																																											
Valor p	0,000																																																																										
Prueba de Levene	Valor p 0,702																																																																										
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Levene = 0,89																																																																									
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$		<b>Valor-p =</b> 0,702																																																																									
<b>DECISIÓN:</b>	Debido a que el valor-p es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.																																																																										
<b>CONCLUSIÓN:</b>	Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.																																																																										
<b>OBSERVACIONES:</b>	Los datos cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, pero requieren ser verificados después de la transformación por falta de normalidad.																																																																										
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>																																																																								
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas																																																																								



Para corroborar lo expresado en la Tabla 4.17 se realizó la verificación del supuesto de varianza constante graficando los predichos contra los residuos, como se puede ver en la Tabla 4.18 los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal sin ningún patrón claro y contundente, por lo tanto es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza, al contrario; es decir la distribuyen con algún patrón claro y contundente, como por ejemplo una forma de corneta o embudo es señal de que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante.



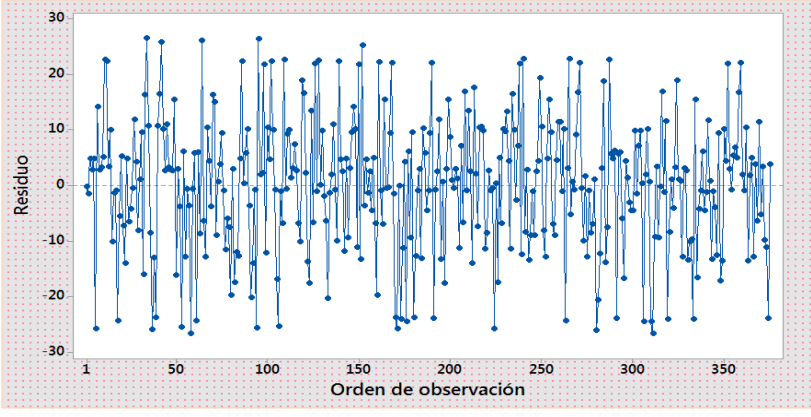
**Tabla 4.18** Gráfica de Residuos vs Ajustes de volumen perdido.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>				
		Doc. No.: UTA-EDA-009	Fecha: 11/9/2019			Hoja: 1 de 1
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán			<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>						
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>		
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	El volumen perdido tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1				<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	El volumen perdido no tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375				<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585
<b>RESULTADOS</b>						
						
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Gráfico Residuo vs Valor ajustado				
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = N/A$	<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b>		N/A				
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.				
<b>OBSERVACIONES:</b>		Los datos cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, pero requieren ser verificados después de la transformación por falta de normalidad.				
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

## Verificación de supuesto de independencia

Para comprobar si cumple el supuesto de igualdad de independencia de los datos del volumen perdido para cada combinación en función del desplazamiento se realizó la gráfica de Residuos vs Orden de observación que se puede ver en la Tabla 4.19, en la cual se puede observar que no existe ninguna tendencia o patrón definido que toma los datos, es decir que se puede evidencia un comportamiento aleatorio de los puntos dentro de la banda horizontal, por lo tanto se puede concluir que existe independencia de los residuos.



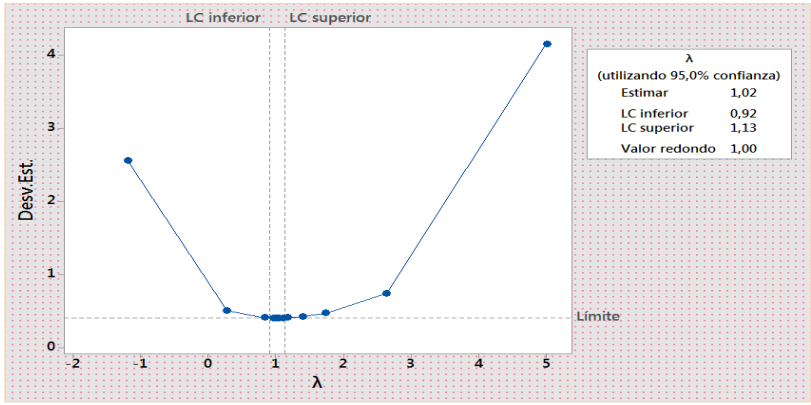
**Tabla 4.19** Gráfica de Residuos vs Orden de observación de volumen perdido.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>				
		Doc. No.: UTA-EDA-010	Fecha: 11/9/2019			Hoja: 1 de 1
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>						
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>		
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	El volumen perdido tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1				<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	El volumen perdido no tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375				<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585
<b>RESULTADOS</b>						
						
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b> Gráfico Residuo vs Orden de observación						
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = N/A$			<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b>		N/A				
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen independencia de datos.				
<b>OBSERVACIONES:</b>		Los datos cumplen con el supuesto de independencia, pero requieren ser verificados después de la transformación por falta de normalidad.				
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

#### 4.1.9.2 Transformación de datos

Debido a que no se cumplió el primer supuesto de normalidad, es necesario transformar los datos para obtener un valor  $\lambda$  del parámetro de transformación, para lo cual se empleó el método de transformación de Box-Cox, los resultados que se obtuvieron se puede ver en la Tabla 4.20.

**Tabla 4.20** Transformación de datos de volumen perdido.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>TRANSFORMACIÓN DE DATOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>			
		Doc. No.: UTA-EDA-011	Fecha: 11/9/2019		
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	N/A	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1			<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	N/A	<input checked="" type="checkbox"/>	3351
Totales de corridas:	375			<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Transformación de Box-Cox			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$		<b>Parámetro de transformación <math>\lambda = 1,02</math></b>			
<b>DECISIÓN:</b>		Se transformó los datos utilizando el valor de $\lambda$ de 1,02.			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Para transformar los datos se puede tomar cualquier valor de $\lambda$ dentro del límite inferior 0,92 y superior 1,13.			
<b>OBSERVACIONES:</b>		Para transformar los datos, la teoría recomienda utilizar el valor de $\lambda$ el promedio de los límites.			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

#### 4.1.9.3 Verificar supuestos de datos transformados de volumen perdido

Debido a que el supuesto de normalidad no cumple, el diseño de experimentos es muy estricto con el cumplimiento de los tres supuestos para que el diseño pase a la etapa de

la ejecución y el análisis, razón por la cual se procedió con la transformación de los datos utilizando el parámetro de transformación  $\lambda$  de 1,02, con la cual los supuestos se cumplieron como se va a mostrar a continuación:

### Verificación de supuesto de normalidad

Para comprobar si cumple el supuesto de normalidad se empleó nuevamente la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, para verificar los datos transformados del volumen perdido para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.21 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos transformados cumplen con el supuesto de normalidad, debido a que el valor- $p$  es de 0,067 mayor al nivel de significancia 0,05, en tal virtud se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .



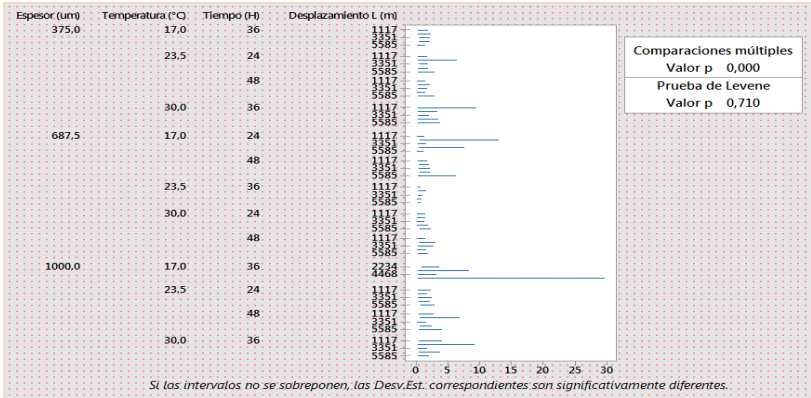
**Tabla 4.21** Verificación de supuesto de normalidad de volumen perdido.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES DATOS TRANSFORMADOS		Doc. No.: UTA-EDA-012		Fecha: 11/9/2019		Hoja: 1 de 1	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho		<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho		<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>							
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>			<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>		
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	El volumen perdido tiene distribución normal.		<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1	<b>H<sub>1</sub>:</b>	El volumen perdido no tiene distribución normal.		<input checked="" type="checkbox"/>	2234	
Replicas:	5				<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375				<input checked="" type="checkbox"/>	4468	
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585	
<b>RESULTADOS</b>							
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Kolmogorov – Smirnov = 0,083					
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = 0,05$		<b>Valor-p = 0,067</b>			
<b>DECISIÓN:</b>		Debido a que el valor-p es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.					
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos transformados del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen distribución normal.					
<b>OBSERVACIONES:</b>		Como los datos transformados cumplen el supuesto de normalidad, dichos datos se utilizan para la corrida del diseño de experimentos de superficie de respuesta.					
<b>ELABORADO POR</b>				<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

## Verificación de supuesto de igualdad de varianza



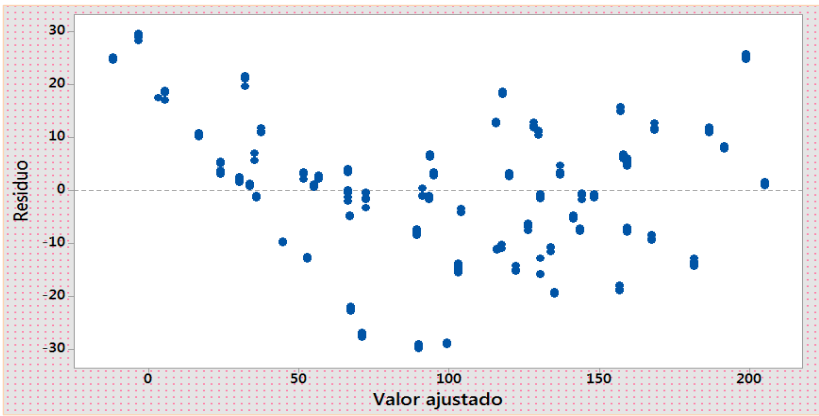
Para comprobar si cumple el supuesto de igual de varianza se empleó la prueba de Leven, para verificar los datos transformados del volumen perdido para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.22 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos transformados cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, debido a que los tratamientos no tienen diferencias significativas ya que el valor- $p$  es de 0,710 que es mayor a 0,05, en tal virtud no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

**Tabla 4.22** Supuesto de igualdad de varianza de volumen perdido datos transformados.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES DATOS TRANSFORMADOS				
		Doc. No.: UTA-EDA-013	Fecha: 11/9/2019	Hoja: 1 de 1		
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
PROTOCOLO DE PRUEBA						
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]		
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	El volumen perdido tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1				<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H<sub>1</sub>:</b>	El volumen perdido no tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375				<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS						
 <p><i>Si los intervalos no se sobrepone, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.</i></p>						
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Levene = 0,89				
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$		Valor-p = 0,71				
<b>DECISIÓN:</b>	Debido a que el valor-p es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.					
<b>CONCLUSIÓN:</b>	Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos transformados del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.					
<b>OBSERVACIONES:</b>	Los datos transformados cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, dichos datos se utilizan para la corrida del diseño de experimentos de superficie de respuesta.					
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

Para corroborar lo expresado en la Tabla 4.22 se realizó la validación del supuesto de varianza constante graficando los predichos contra los residuos como se puede ver en la Tabla 4.23 los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal sin ningún patrón claro y contundente, por lo tanto es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza, al contrario; es decir la distribuyen con algún patrón claro y contundente, como por ejemplo una forma de corneta o embudo es señal de que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante.



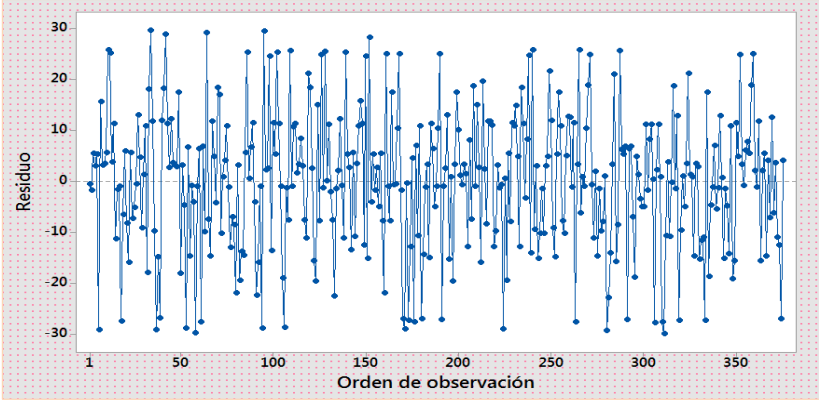
**Tabla 4.23** Gráfica de Residuos vs Ajustes de volumen perdido, datos transformados.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b> <b>DATOS TRANSFORMADOS</b>				
		Doc. No.: UTA-EDA-014	Fecha: 11/9/2019	Hoja: 1 de 1		
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
PROTOCOLO DE PRUEBA						
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]		
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	El volumen perdido tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1				<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	El volumen perdido no tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375				<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS						
						
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Gráfico Residuo vs Valor ajustado				
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = N/A$	<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b>		N/A				
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos transformados del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.				
<b>OBSERVACIONES:</b>		Se puede observar que los datos transformados cumplen con el supuesto de igualdad de varianza.				
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

## Verificación de supuesto de independencia

Para comprobar si cumple el supuesto de igualdad de independencia los datos transformados del volumen perdido para cada combinación en función del desplazamiento se realizó la gráfica de Residuos vs Orden de observación que se puede ver en la Tabla 4.24, en la cual se puede observar que no existe ninguna tendencia o patrón definido que toma los datos transformados, es decir que se puede evidencia un comportamiento aleatorio de los puntos dentro de la banda horizontal, por lo tanto se puede concluir que existe independencia de los residuos.

**Tabla 4.24** Residuos vs Orden de observación de volumen perdido, datos transformados.



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b> <b>DATOS TRANSFORMADOS</b>			
		Doc. No.: UTA-EDA-015	Fecha: 11/9/2019		
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>					
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>	
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	El volumen perdido tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1		El volumen perdido no tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H<sub>1</sub>:</b>		<input checked="" type="checkbox"/>	3351
Totales de corridas:	375			<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
<b>RESULTADOS</b>					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b> Gráfico Residuo vs Orden de observación					
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = N/A$			<b>Valor-p =</b> N/A		
<b>DECISIÓN:</b>		N/A			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos transformados del volumen perdido en función de los desplazamientos totales tienen independencia de datos.			
<b>OBSERVACIONES:</b>		Los datos transformados cumplen con el supuesto de independencia, dichos datos se utilizan para la corrida del diseño de experimentos de superficie de respuesta.			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

#### 4.1.9.4 Análisis de superficie de respuesta del volumen perdido, datos transformados



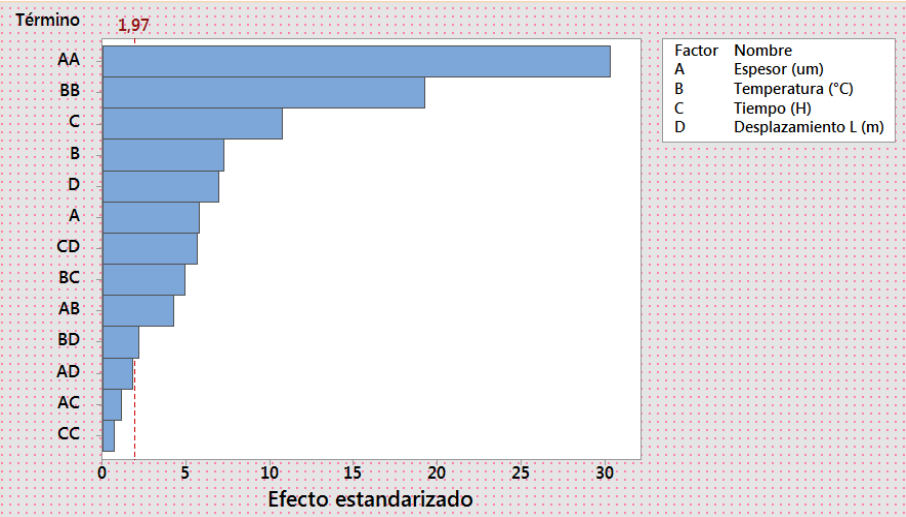
##### Análisis del diseño de superficie Box-Behnken

Una vez validado los datos en función del cumplimiento de los supuestos, se procede a aplicar el diseño de experimentos de superficie de respuesta a partir del diseño de Box-Behnken, se presentó el número de tratamientos entre las combinaciones de las variables independientes, los resultados se presentan en la Tabla 4.25 y en el Anexo H se puede ver los tratamientos experimentales como resultado de la corrida en el software estadístico.

**Tabla 4.25** Análisis de varianza de volumen perdido, datos transformados.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>					
		Doc. No.: UTA-EDA-016	Fecha: 17/9/2019			Hoja: 1 de 2	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>			
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2234	<input checked="" type="checkbox"/>	5585
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán			<input checked="" type="checkbox"/>	3351		
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>							
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>				<b>FACTORES DEL RECUBRIMIENTO</b>			
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta	<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>		
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken		<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Replicas:	5	Factores continuos:	15	A: Espesor [um]	##	687,5	1000
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17	24	30
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05	C: Tiempo [H]	24	36	48
<b>RESULTADOS</b>							
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>							
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor-p
Modelo	25	966630	94,59%	966630	38665	244,28	0,000
Lineal	7	757591	74,14%	757591	108227	683,77	0,000
Espesor (um)	1	5270	0,52%	5270	5270	33,29	0,000
Temperatura (°C)	1	8289	0,81%	8289	8289	52,37	0,000
Tiempo (H)	1	18233	1,78%	18233	18233	115,2	0,000
Desplazamiento L (m)	4	725799	71,03%	725799	181450	1146,39	0,000
Cuadrado	3	192275	18,82%	192275	64092	404,93	0,000
Espesor (um)*Espesor (um)	1	133581	13,07%	145442	145442	918,89	0,000
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	58622	5,74%	58591	58591	370,17	0,000
Tiempo (H)*Tiempo (H)	1	72	0,01%	72	72	0,46	<b>0,500</b>
Interacción de 2 factores	15	16764	1,64%	16764	1118	7,06	0,000
Espesor (um)*Temperatura (°C)	1	2833	0,28%	2833	2833	17,9	0,000
Espesor (um)*Tiempo (H)	1	200	0,02%	200	200	1,26	<b>0,262</b>
Espesor (um)*Desplazamiento L (m)	4	1365	0,13%	1365	341	2,16	<b>0,073</b>
Temperatura (°C)*Tiempo (H)	1	3872	0,38%	3872	3872	24,46	0,000
Temperatura (°C)*Desplazamiento L (m)	4	1723	0,17%	1723	431	2,72	0,029
Tiempo (H)*Desplazamiento L (m)	4	6770	0,66%	6770	1692	10,69	0,000
Error	349	55240	5,41%	55240	158		
Falta de ajuste	39	55188	5,40%	55188	1415	8556,92	0,000
Error puro	310	51	0,01%	51	0		
<b>Total</b>	<b>374</b>	<b>1021869</b>	<b>100,00%</b>				



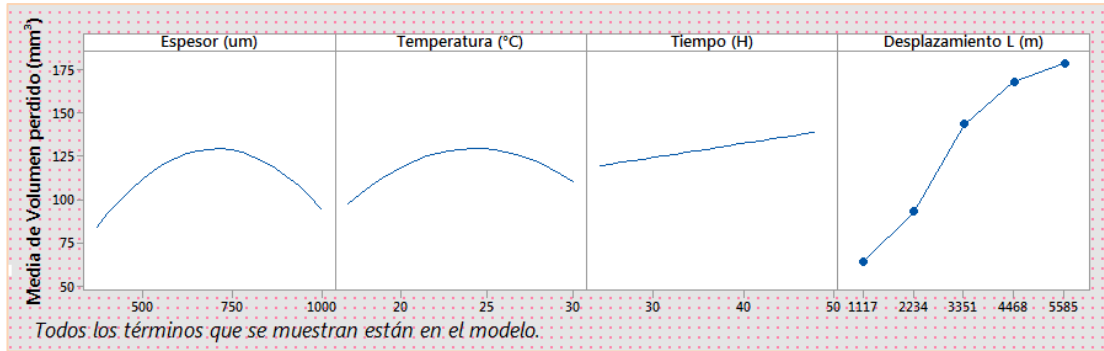
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>		
	Doc. No.: UTA-EDA-016	Fecha: 17/9/2019	
<b>RESULTADOS</b>			
<b>RESUMEN DEL MODELO</b>			
Coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) =		94,59%	Error falta de ajuste = 5,40%
Coeficiente de determinación ajustado (Raf <sup>2</sup> )		94,21%	Error puro = 0,01%
<b>ECUACIÓN DE REGRESIÓN DEL MODELO</b>			
<b>Desplazamiento L (m)</b>	<b>Volumen perdido (mm<sup>3</sup>)</b>		
1117	-446,5 + 0,6115 A + 27,33 B - 1,571 C - 0,000406 A*A - 0,5963 B*B - 0,00613 C*C - 0,002621 A*B + 0,000377 A*C + 0,0798 B*C		
2234	-433,5 + 0,6165 A + 27,58 B - 1,385 C - 0,000406 A*A - 0,5963 B*B - 0,00613 C*C - 0,002621 A*B + 0,000377 A*C + 0,0798 B*C		
3351	-423,9 + 0,6245 A + 27,95 B - 0,651 C - 0,000406 A*A - 0,5963 B*B - 0,00613 C*C - 0,002621 A*B + 0,000377 A*C + 0,0798 B*C		
4468	-420,6 + 0,6298 A + 28,37 B - 0,442 C - 0,000406 A*A - 0,5963 B*B - 0,00613 C*C - 0,002621 A*B + 0,000377 A*C + 0,0798 B*C		
5585	-416,4 + 0,6343 A + 28,51 B - 0,433 C - 0,000406 A*A - 0,5963 B*B - 0,00613 C*C - 0,002621 A*B + 0,000377 A*C + 0,0798 B*C		
<b>DIAGRAMA DE PARETO</b>			
			
<b>CONCLUSIÓN:</b>	<p>Se llega a la conclusión que la calidad de ajuste del modelo es el adecuado debido a que se tiene el coeficiente de determinación de 94,59% siendo mayor al 70% sugerido como mínimo para fines de optimización.</p> <p>A demás solo existe tres términos que son mayores al nivel de significancia 0,05, lo que indica que el modelo es altamente significativo con términos de Valor-p menores a 0,05, como se puede observar en el análisis de varianza y el diagrama de Pareto.</p>		
<b>ELABORADO POR</b>	<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho	Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

## Gráfica de efectos principales

Esta gráfica ayuda a determinar cuáles son los factores de mayor influencia sobre la variable de respuesta.

### Gráfica de efectos principales para media de volumen perdido

En la Figura 4.11, se muestra como se relacionan el estadístico desviación estándar con respecto a los factores de espesor, temperatura y tiempo en función del desplazamiento.



**Figura 4.11** Gráfica de efectos principales de volumen perdido.

El factor espesor al cambiar de nivel de bajo a alto afecta en gran medida la pérdida de volumen, es así que al llegar a un espesor de nivel medio 750um es el punto donde se tiene mayor pérdida de volumen, mientras que en los niveles 375um y 1000um la pérdida de volumen es mínimo, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia.

El efecto de variar el factor temperatura de nivel 17°C a 30°C genera variación de pérdida de volumen, por lo que se considera que un factor de alta dependencia. El factor tiempo al pasar de nivel bajo al alto no afecta en gran medida el estadístico de la pérdida de volumen, por lo que se considera una dependencia casi nula. El factor desplazamiento al pasar de nivel bajo al alto afecta en gran medida el estadístico de la pérdida de volumen, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia

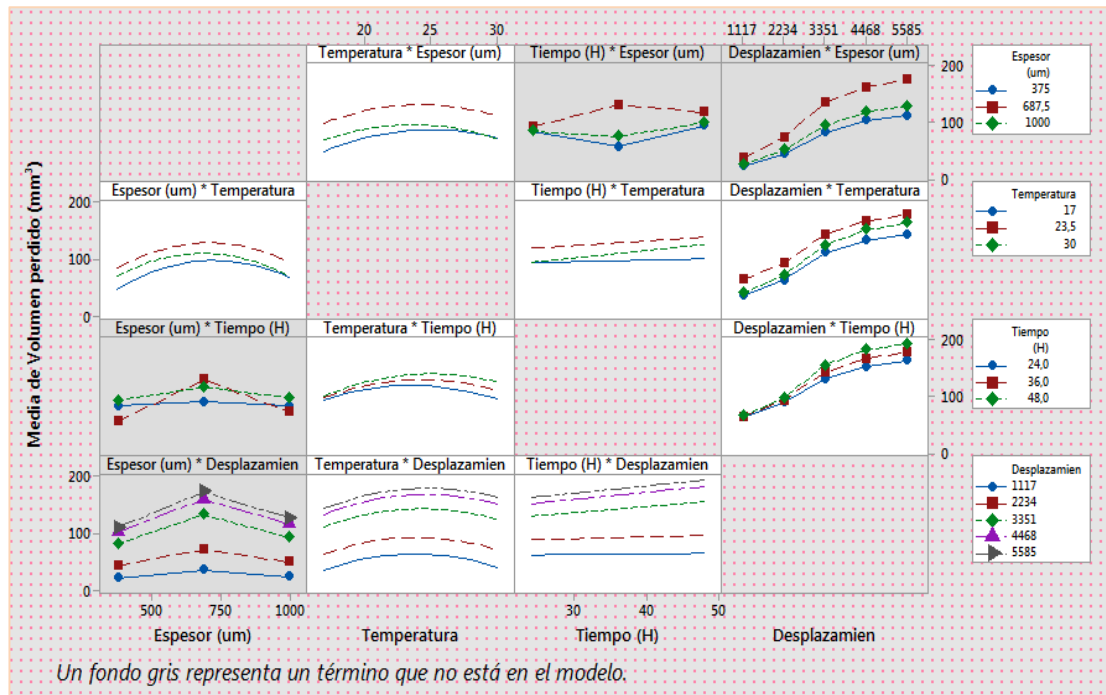
### Gráfica de interacciones para media de volumen perdido

En la Figura 4.12, se muestra las gráficas de interacción de los factores que afectan la variable de salida volumen perdido, las gráficas relacionan si un factor depende del nivel de otro factor en cuestión.

La teoría expresa dos situaciones para interpretar la Figura 4.12.

1. Si las líneas son paralelas indican que no hay interacción entre los factores.

2. Si existe cruce entre las líneas hay interacción entre los factores y mientras mayor sea la diferencia de sus pendientes el grado de interacción será mayor.



**Figura 4.12** Gráfica de interacciones de volumen perdido.

Las interacciones significativas están presentes entre el espesor\*temperatura, así también entre temperatura\*espesor, temperatura\*tiempo, tiempo\*temperatura y desplazamiento\*tiempo.

Las demás interacciones tales como temperatura\*desplazamiento, tiempo\*desplazamiento y desplazamiento\*temperatura tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo largo de las curvas que se ha formado, razón por la cual las interacciones no son significativas.



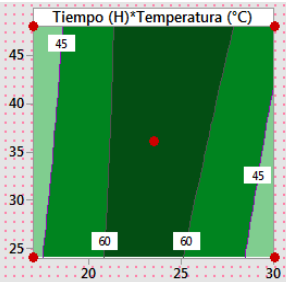
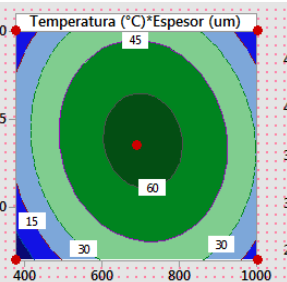
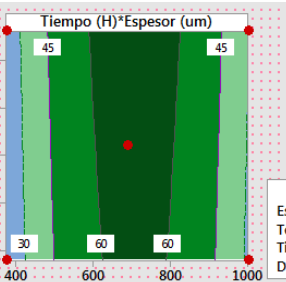
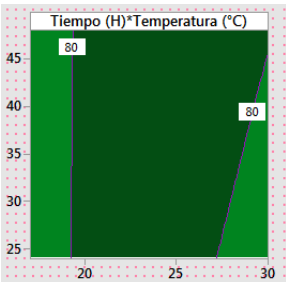
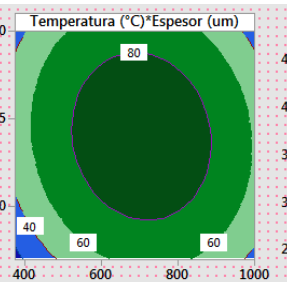
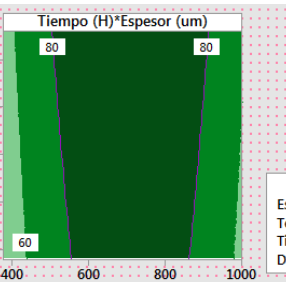
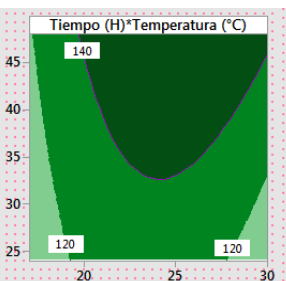
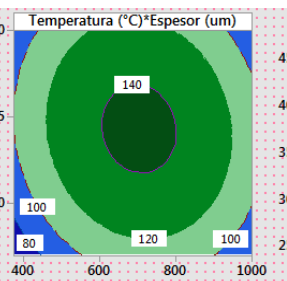
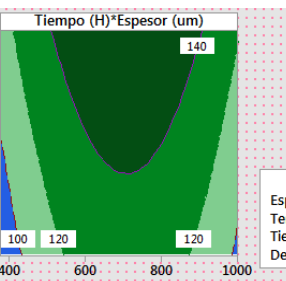
### Gráfica de superficie de respuesta de volumen perdido



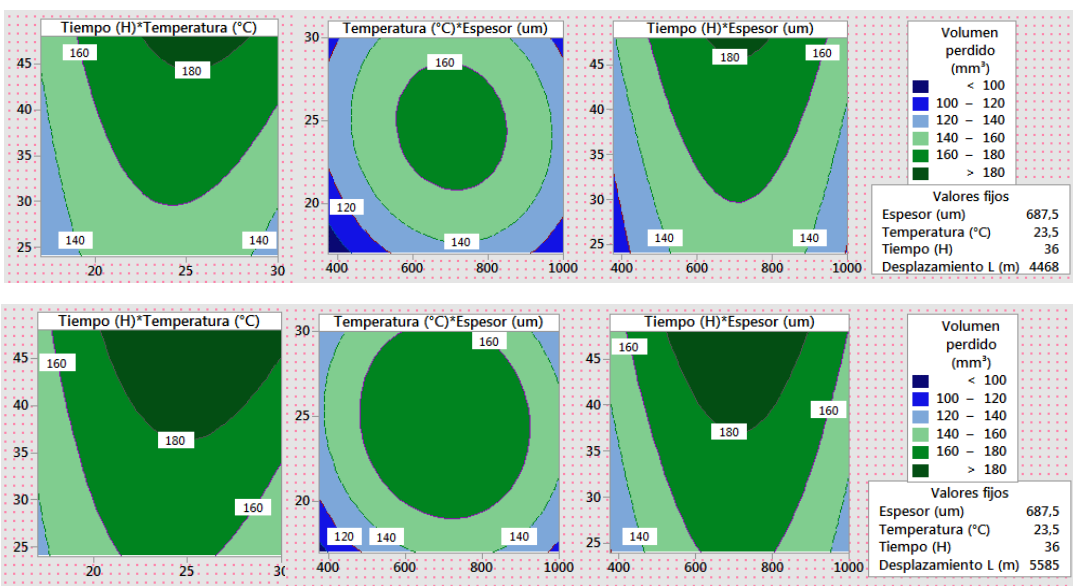
#### Gráfica de contorno

En la Tabla 4.26, se muestra las gráficas de contorno para dos factores, es así que se han formado tres tipos de gráficos, para una interacción tiempo\*temperatura se tiene el gráfico del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente o descendente, la gráfica de temperatura\*espesor es del tipo máximo o mínimo, finalmente las gráficas

tiempo\*espesor se tiene el gráfico del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente o descendente.

**Tabla 4.26** Gráfica de contorno de volumen perdido, datos transformados.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>				
Doc. No.: UTA-EDA-017		Fecha: 19/9/2019		Hoja: 1 de 2		
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		DESPLAZAMIENTO (L) [m]		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2234	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
PROTOCOLO DE PRUEBA						
RESUMEN DEL DISEÑO				FACTORES DEL RECUBRIMIENTO		
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta	FACTORES	NIVELES	
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken			
Replicas:	5	Factores continuos:	15	A: Espesor [um]	## 687,5 1000	
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17 24 30	
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05	C: Tiempo [H]	24 36 48	
RESULTADOS						
GRÁFICAS DE CONTORNO						
						<p>Volumen perdido (mm<sup>3</sup>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> &lt; 0</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> 0 - 15</li> <li><span style="color: green;">■</span> 15 - 30</li> <li><span style="color: darkgreen;">■</span> 30 - 45</li> <li><span style="color: forestgreen;">■</span> 45 - 60</li> <li><span style="color: black;">■</span> &gt; 60</li> </ul> <p>Valores fijos</p> <p>Espesor (um) 687,5                      Temperatura (°C) 23,5                      Tiempo (H) 36                      Desplazamiento L (m) 1117</p>
						<p>Volumen perdido (mm<sup>3</sup>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> &lt; 20</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> 20 - 40</li> <li><span style="color: green;">■</span> 40 - 60</li> <li><span style="color: darkgreen;">■</span> 60 - 80</li> <li><span style="color: black;">■</span> &gt; 80</li> </ul> <p>Valores fijos</p> <p>Espesor (um) 687,5                      Temperatura (°C) 23,5                      Tiempo (H) 36                      Desplazamiento L (m) 2234</p>
						<p>Volumen perdido (mm<sup>3</sup>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> &lt; 80</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> 80 - 100</li> <li><span style="color: green;">■</span> 100 - 120</li> <li><span style="color: darkgreen;">■</span> 120 - 140</li> <li><span style="color: black;">■</span> &gt; 140</li> </ul> <p>Valores fijos</p> <p>Espesor (um) 687,5                      Temperatura (°C) 23,5                      Tiempo (H) 36                      Desplazamiento L (m) 3351</p>

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>		
	Doc. No.: UTA-EDA-017	Fecha: 19/9/2019	
<b>RESULTADOS</b>			
			
<p>Las gráficas de contornos muestran que tienen una máxima pérdida de volumen dentro de la región experimental, mientras se aleja el desgaste es mínimo en todos los casos de desplazamiento.</p>			
<b>CONCLUSIÓN:</b>			
<b>ELABORADO POR</b>		<b>APROBADO POR</b>	
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho		Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas	



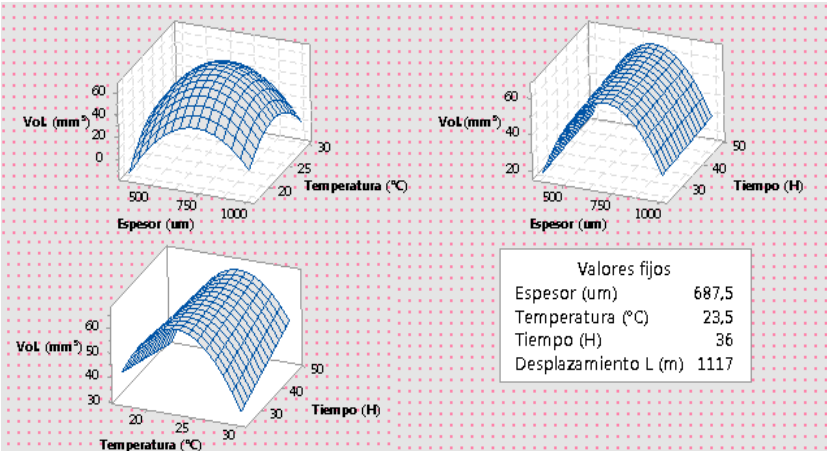
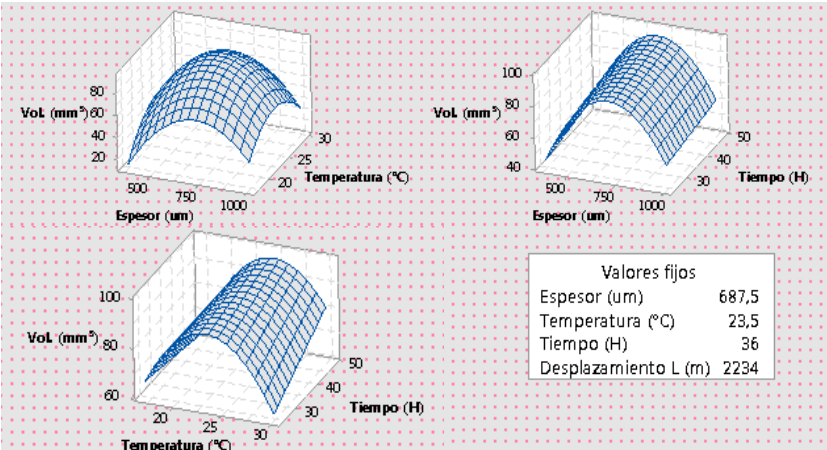
### Gráfica de superficie de respuesta

La Tabla 4.27, muestra las gráficas de superficie para el volumen perdido se tomó en cuenta un par de factores para los distintos desplazamientos.

En las gráficas se puede observar que se colocó como valor constante la variable de salida en este caso el volumen, debido a que se necesita saber cuánto se pierde de Belzona al variar los factores, por tal razón se tiene tres gráficas para cada avance de los desplazamientos.

Además en las gráficas se observa que al combinar los factores temperatura vs espesor se tiene una gráfica tipo esfera mientras al combinar los factores tiempo vs espesor y tiempo vs temperatura la gráfica es tipo parabólica, esto depende de las interacciones de los datos que se dan entre los factores, en el primer caso la forma de la figura indica que los datos están mejor interrelacionados y los factores dependen mutuamente una de la otra para variar el volumen de desgaste.

**Tabla 4.27** Gráfica de superficie de volumen perdido, datos transformados.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>																
	Doc. No.: UTA-EDA-018	Fecha: 19/9/2019	Hoja: 1 de 2														
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>																	
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>													
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	<input checked="" type="checkbox"/>	4468										
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2234	<input checked="" type="checkbox"/>	5585										
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<input checked="" type="checkbox"/>	3351												
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>																	
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>				<b>FACTORES DEL RECUBRIMIENTO</b>													
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta	<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>												
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken		-1	0	1										
Replicas:	5	Factores continuos:	15	A: Espesor [um]	##	687,5	1000										
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17	24	30										
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05	C: Tiempo [H]	24	36	48										
<b>RESULTADOS</b>																	
<b>GRÁFICAS DE SUPERFICIE</b>																	
																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Valores fijos</td> </tr> <tr> <td>Espesor (um)</td> <td style="text-align: right;">687,5</td> </tr> <tr> <td>Temperatura (°C)</td> <td style="text-align: right;">23,5</td> </tr> <tr> <td>Tiempo (H)</td> <td style="text-align: right;">36</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento L (m)</td> <td style="text-align: right;">1117</td> </tr> </table>								Valores fijos		Espesor (um)	687,5	Temperatura (°C)	23,5	Tiempo (H)	36	Desplazamiento L (m)	1117
Valores fijos																	
Espesor (um)	687,5																
Temperatura (°C)	23,5																
Tiempo (H)	36																
Desplazamiento L (m)	1117																
																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Valores fijos</td> </tr> <tr> <td>Espesor (um)</td> <td style="text-align: right;">687,5</td> </tr> <tr> <td>Temperatura (°C)</td> <td style="text-align: right;">23,5</td> </tr> <tr> <td>Tiempo (H)</td> <td style="text-align: right;">36</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento L (m)</td> <td style="text-align: right;">2234</td> </tr> </table>								Valores fijos		Espesor (um)	687,5	Temperatura (°C)	23,5	Tiempo (H)	36	Desplazamiento L (m)	2234
Valores fijos																	
Espesor (um)	687,5																
Temperatura (°C)	23,5																
Tiempo (H)	36																
Desplazamiento L (m)	2234																



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS**  
**DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA**

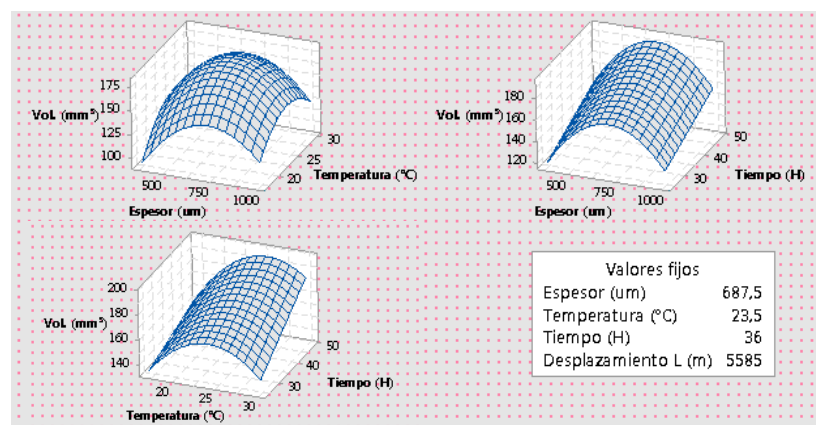
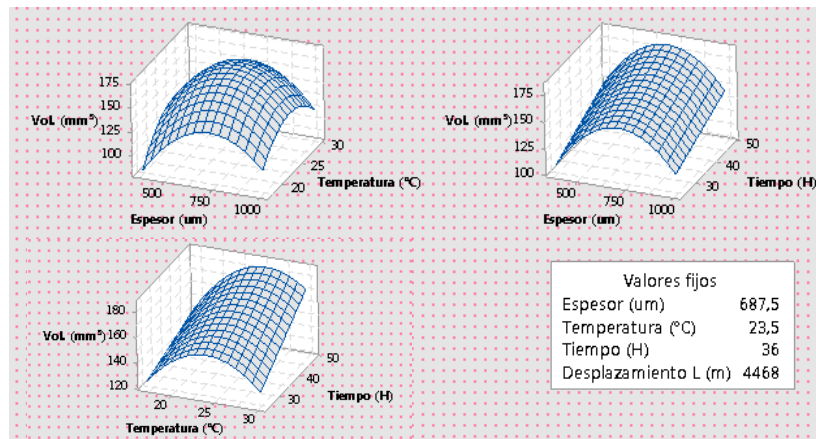
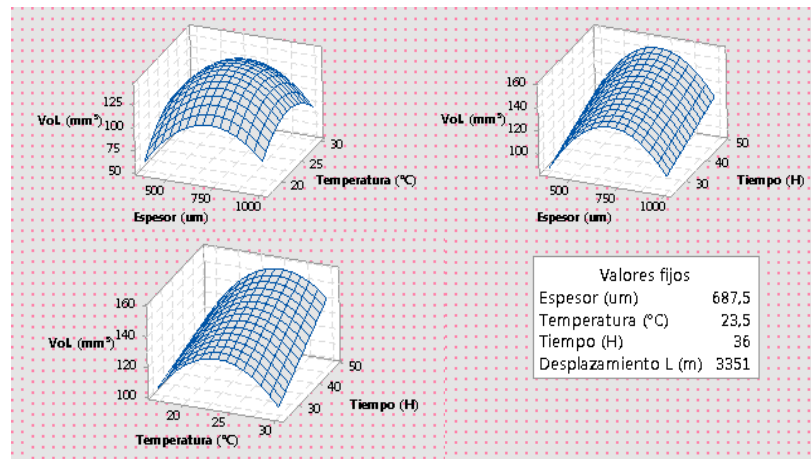


Doc. No.: UTA-EDA-018

Fecha: 19/9/2019

Hoja: 2 de 2

**RESULTADOS**



**CONCLUSIÓN:** Las gráficas representan un par de factores manteniendo el valor constante la pérdida de volumen en función de avance de los desplazamientos.

**ELABORADO POR**

Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho



**APROBADO POR**

Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas



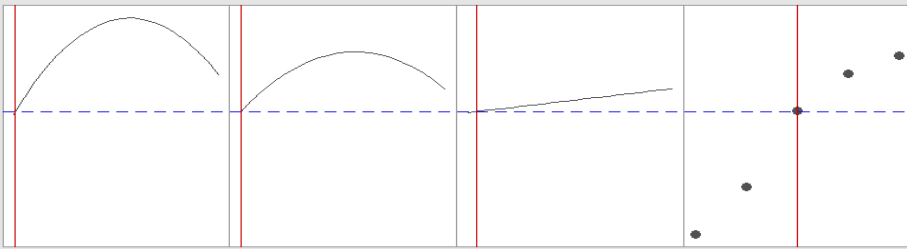
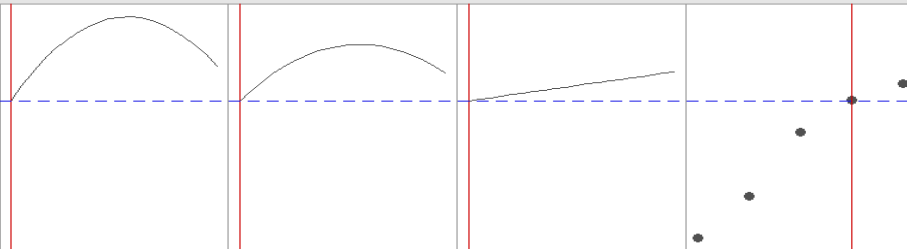
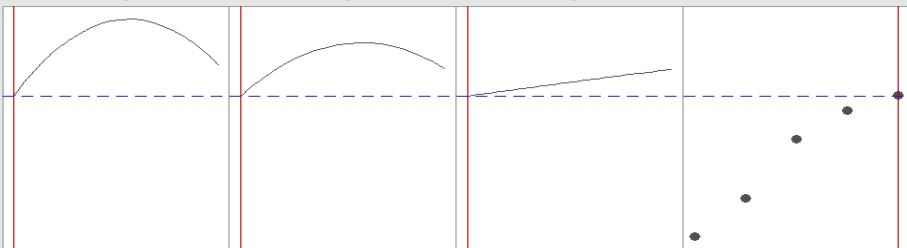
## Optimización de respuesta

La optimización de respuesta implica encontrar el punto óptimo que es la mejor combinación posible en toda la región de operabilidad, la misma que debe cumplir con el objetivo planteado en la presente investigación que de obtener el mínimo de pérdida de volumen del recubrimiento, es así que en la Tabla 4.28, se tiene los valores óptimos para cada factor y la mejor combinación para cada avance de los desplazamientos.

**Tabla 4.28** Optimización de respuesta de volumen perdido, datos transformados.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA						
		Doc. No.: UTA-EDA-019	Fecha: 19/9/2019	Hoja: 1 de 2				
DATOS INFORMATIVOS								
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		DESPLAZAMIENTO (L) [m]				
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	<input checked="" type="checkbox"/>	4468	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2234	<input checked="" type="checkbox"/>	5585	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<input checked="" type="checkbox"/>	3351			
PROTOCOLO DE PRUEBA								
RESUMEN DEL DISEÑO				FACTORES DEL RECUBRIMIENTO				
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta	FACTORES		NIVELES		
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken			-1	0	1
Replicas:	5	Factores continuos:	15	A: Espesor [um]	375	687,5	1000	
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17	24	30	
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05	C: Tiempo [H]	24	36	48	
RESULTADOS								
OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS								
Nuevo D: 1,000 <u>Predecir</u>	Alto <b>Act</b> Bajo	Espesor 1000,0 <b>[375,0]</b> 375,0	Temperat 30,0 <b>[30,0]</b> 17,0	Tiempo ( ) 48,0 <b>[48,0]</b> 24,0	Desplaza 5585 <b>1117</b> 1117			
Volumen Mínimo $y = 9,5961$ $d = 1,0000$								
Nuevo D: 1,000 <u>Predecir</u>	Alto <b>Act</b> Bajo	Espesor 1000,0 <b>[375,0]</b> 375,0	Temperat 30,0 <b>[17,0]</b> 17,0	Tiempo ( ) 48,0 <b>[48,0]</b> 24,0	Desplaza 5585 <b>2234</b> 1117			
Volumen Mínimo $y = 11,3360$ $d = 1,0000$								



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS		DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	
		Doc. No.: UTA-EDA-019			Fecha: 19/9/2019		Hoja: 2 de 2	
								
RESULTADOS								
Nuevo D: 0,7622 Predecir	Alto Act Bajo	Espesor 1000,0 [380,0] 375,0	Temperat 30,0 [17,0] 17,0	Tiempo ( ) 48,0 [25,0] 24,0	Desplaza 5585 3351 1117			
Volumen Mínimo $y = 57,3338$ $d = 0,76220$								
Nuevo D: 0,6712 Predecir	Alto Act Bajo	Espesor 1000,0 [375,0] 375,0	Temperat 30,0 [17,0] 17,0	Tiempo ( ) 48,0 [24,0] 24,0	Desplaza 5585 4468 1117			
Volumen Mínimo $y = 74,5841$ $d = 0,67125$								
Nuevo D: 0,6191 Predecir	Alto Act Bajo	Espesor 1000,0 [375,0] 375,0	Temperat 30,0 [17,0] 17,0	Tiempo ( ) 48,0 [24,0] 24,0	Desplaza 5585 5585 1117			
Volumen Mínimo $y = 84,4782$ $d = 0,61908$								
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Las gráficas muestran la optimización para cada valor de desplazamiento, las filas de color rojo indican el punto óptimo con las combinaciones de los factores.						
<b>ELABORADO POR</b>				<b>APROBADO POR</b>				
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas				

#### 4.1.10 Corrida del diseño de experimentos para tasa de desgaste

Para realizar la corrida del diseño de experimento por método de superficie de respuestas en el software se utilizó el mismo procedimiento de evaluación de la pérdida de volumen, es así que en la Tabla 4.15 indica el resumen del diseño.



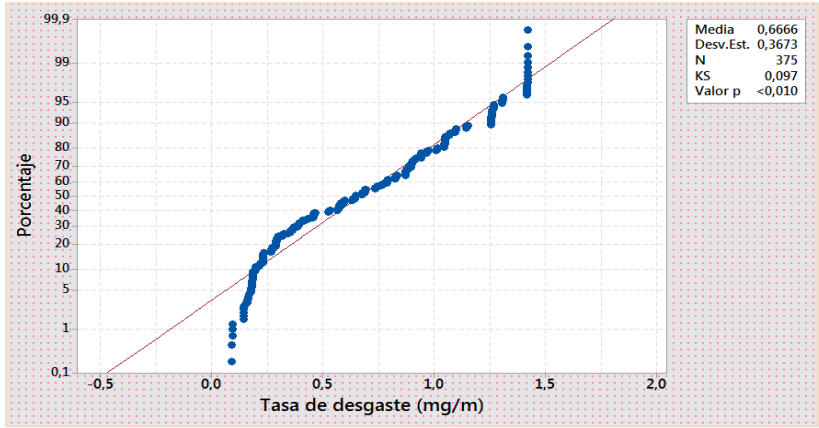
##### 4.1.10.1 Verificar supuestos

En función de lo expuesto en el ítem 4.1.9.1, se va a verificar los supuestos paramétricos de normalidad, igualdad de varianza e independencia de resultados.

## Verificación de supuesto de normalidad

Para comprobar si cumple el supuesto de normalidad se empleó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, para verificar los datos de la tasa de desgaste para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.29, se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos originales no cumplen con el supuesto de normalidad, por lo que es necesario transformar los datos para su verificación y posterior análisis.



**Tabla 4.29** Verificación de supuesto de normalidad de la tasa de desgaste.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>				
		Doc. No.: UTA-EDA-020	Fecha: 21/9/2019			Hoja: 1 de 1
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
PROTOCOLO DE PRUEBA						
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]		
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	La tasa de desgaste tiene distribución normal.	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1				<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	La tasa de desgaste no tiene distribución normal.	<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375				<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS						
						
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Kolmogorov – Smirnov = 0,097				
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = 0,05$	<b>Valor-p =</b> 0,01			
<b>DECISIÓN:</b>	Debido a que el valor-p es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula.					
<b>CONCLUSIÓN:</b>	Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales no tienen distribución normal.					
<b>OBSERVACIONES:</b>	Como los datos no cumplen el supuesto de normalidad, dichos datos requieren transformación.					
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

## Verificación de supuesto de igualdad de varianza



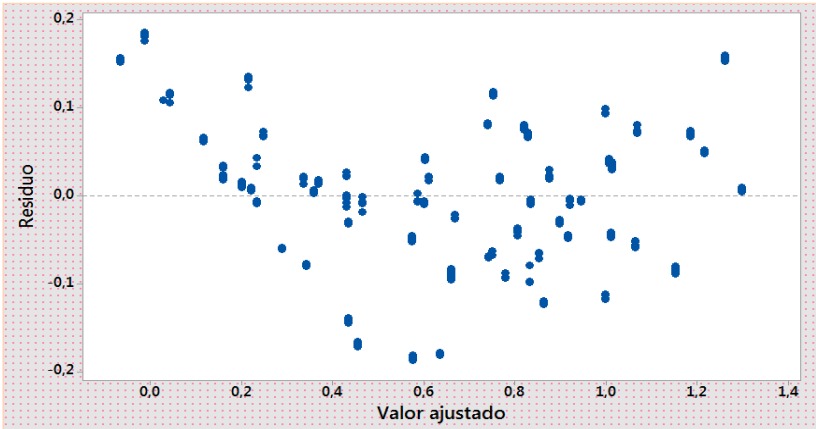
Para comprobar si cumple el supuesto de igual de varianza se empleó la prueba de Leven, para verificar los datos de la tasa de desgaste de cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.30 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos originales cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, debido a que los tratamientos no tienen diferencias significativas ya que el valor- $p$  es de 0,703 que es mayor a 0,05, en tal virtud no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

**Tabla 4.30** Verificación de supuesto de igualdad de varianza de la tasa de desgaste.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>																																																																																																																								
		Doc. No.: UTA-EDA-021	Fecha: 21/9/2019	Hoja: 1 de 1																																																																																																																						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>																																																																																																																										
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>																																																																																																																						
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad																																																																																																																					
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante																																																																																																																					
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán				Supuesto de independencia																																																																																																																					
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>																																																																																																																										
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>																																																																																																																						
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	La tasa de desgaste tiene	<input checked="" type="checkbox"/>	1117																																																																																																																					
Factores categóricos:	1		igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	2234																																																																																																																					
Replicas:	5	<b>H1:</b>	La tasa de desgaste no	<input checked="" type="checkbox"/>	3351																																																																																																																					
Totales de corridas:	375		tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	4468																																																																																																																					
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585																																																																																																																					
<b>RESULTADOS</b>																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Espesor (um)</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Tiempo (h)</th> <th>Desplazamiento L (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>375.0</td><td>17.0</td><td>36</td><td>1117</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td>23.5</td><td>24</td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>48</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td>30.0</td><td>36</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1117</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>3351</td></tr> <tr><td>687.5</td><td>17.0</td><td>24</td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1117</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>48</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td>23.5</td><td>36</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1117</td></tr> <tr><td></td><td>30.0</td><td>24</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>48</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td>17.0</td><td>36</td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>2234</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>4468</td></tr> <tr><td>1000.0</td><td>23.5</td><td>24</td><td>1117</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>48</td><td>5585</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1117</td></tr> <tr><td></td><td>30.0</td><td>36</td><td>3351</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>5585</td></tr> </tbody> </table> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <p>Comparaciones múltiples            Valor p 0,000            Prueba de Levene            Valor p 0,703</p> </div> <p style="font-size: small; text-align: center; margin-top: 10px;">Si los intervalos no se sobrepone, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.</p>							Espesor (um)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Desplazamiento L (m)	375.0	17.0	36	1117				3351		23.5	24	5585				3351			48	3351				5585		30.0	36	3351				1117				3351	687.5	17.0	24	5585				1117			48	3351				5585		23.5	36	3351				1117		30.0	24	3351				5585			48	3351				5585		17.0	36	5585				2234				4468	1000.0	23.5	24	1117				3351			48	5585				1117		30.0	36	3351				5585
Espesor (um)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Desplazamiento L (m)																																																																																																																							
375.0	17.0	36	1117																																																																																																																							
			3351																																																																																																																							
	23.5	24	5585																																																																																																																							
			3351																																																																																																																							
		48	3351																																																																																																																							
			5585																																																																																																																							
	30.0	36	3351																																																																																																																							
			1117																																																																																																																							
			3351																																																																																																																							
687.5	17.0	24	5585																																																																																																																							
			1117																																																																																																																							
		48	3351																																																																																																																							
			5585																																																																																																																							
	23.5	36	3351																																																																																																																							
			1117																																																																																																																							
	30.0	24	3351																																																																																																																							
			5585																																																																																																																							
		48	3351																																																																																																																							
			5585																																																																																																																							
	17.0	36	5585																																																																																																																							
			2234																																																																																																																							
			4468																																																																																																																							
1000.0	23.5	24	1117																																																																																																																							
			3351																																																																																																																							
		48	5585																																																																																																																							
			1117																																																																																																																							
	30.0	36	3351																																																																																																																							
			5585																																																																																																																							
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Levene = 0,89																																																																																																																								
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$		<b>Valor-p =</b> 0,703																																																																																																																								
<b>DECISIÓN:</b>	Debido a que el valor-p es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.																																																																																																																									
<b>CONCLUSIÓN:</b>	Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.																																																																																																																									
<b>OBSERVACIONES:</b>	Los datos cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, pero requieren ser verificados después de la transformación por falta de normalidad.																																																																																																																									
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>																																																																																																																							
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas																																																																																																																							

Para corroborar lo expresado en la Tabla 4.30 se realizó la verificación del supuesto de varianza constante graficando los predichos contra los residuos, como se puede ver en la Tabla 4.31 los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal sin ningún patrón claro y contundente, por lo tanto es señal que cumple el supuesto es decir los tratamientos tienen igual varianza, al contrario; si la distribución tiene algún patrón claro y contundente, como por ejemplo una forma de corneta o embudo es señal de que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante.



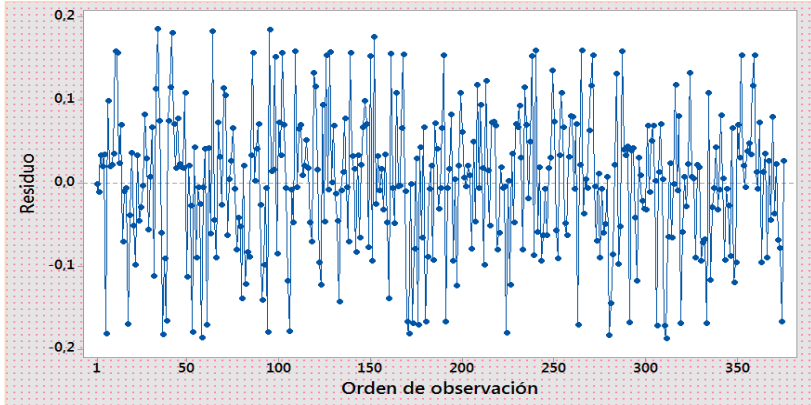
**Tabla 4.31** Gráfica de Residuos vs Ajustes de la tasa de desgaste.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>			
Doc. No.: UTA-EDA-022		Fecha: 21/9/2019		Hoja: 1 de 1	
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	
Solicitado por: Ing. Edgar Sangucho		<input type="checkbox"/> Volumen perdido mm <sup>3</sup>		<input type="checkbox"/> Supuesto de normalidad	
Realizado por: Ing. Edgar Sangucho		<input checked="" type="checkbox"/> Tasa de desgaste (mg/m)		<input checked="" type="checkbox"/> Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución: Hidroagoyán				<input type="checkbox"/> Supuesto de independencia	
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Número de factores: 3		<b>H0:</b> La tasa de desgaste tiene igual varianza.		<input checked="" type="checkbox"/> 1117	
Factores categóricos: 1				<input checked="" type="checkbox"/> 2234	
Replicas: 5		<b>H1:</b> La tasa de desgaste no tiene igual varianza.		<input checked="" type="checkbox"/> 3351	
Totales de corridas: 375				<input checked="" type="checkbox"/> 4468	
Puntos central: 75				<input checked="" type="checkbox"/> 5585	
RESULTADOS					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Gráfico Residuo vs Valor ajustado			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = N/A$		<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b>		N/A			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.			
<b>OBSERVACIONES:</b>		Los datos cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, pero requieren ser verificados después de la transformación por falta de normalidad.			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

## Verificación de supuesto de independencia

Para comprobar si cumple el supuesto de igualdad de independencia de los datos de la tasa de desgaste para cada combinación en función del desplazamiento se realizó la gráfica de Residuos vs Orden de observación que se puede ver en la Tabla 4.32, en la cual se puede observar que no existe ninguna tendencia o patrón definido que toma los datos, es decir que se puede evidencia un comportamiento aleatorio de los puntos dentro de la banda horizontal, por lo tanto se puede concluir que existe independencia de los residuos.



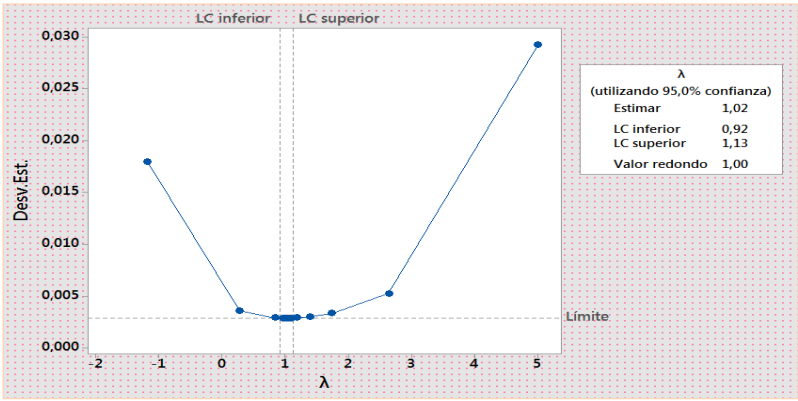
**Tabla 4.32** Gráfica de Residuos vs Orden de observación de la tasa de desgaste.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>			
		Doc. No.: UTA-EDA-023	Fecha: 21/09/2019		
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>					
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>	
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	La tasa de desgaste tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1			<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H<sub>1</sub>:</b>	La tasa de desgaste no tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	3351
Totales de corridas:	375			<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
<b>RESULTADOS</b>					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Gráfico Residuo vs Orden de observación			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = N/A$	<b>Valor-p=</b> N/A		
<b>DECISIÓN:</b>		N/A			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen independencia de datos.			
<b>OBSERVACIONES:</b>		Los datos cumplen con el supuesto de independencia, pero requieren ser verificados después de la transformación por falta de normalidad.			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

#### 4.1.10.2 Transformación de datos

Debido a que no se cumplió el primer supuesto de normalidad, es necesario transformar los datos para obtener un valor  $\lambda$  del parámetro de transformación, para lo cual se empleó el método de transformación de Box-Cox, los resultados que se obtuvieron se puede ver en la Tabla 4.33.

**Tabla 4.33** Transformación de datos de la tasa de desgaste.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>TRANSFORMACIÓN DE DATOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b>			
Doc. No.: UTA-EDA-024		Fecha: 21/9/2019		Hoja: 1 de 1	
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	
Solicitado por: Ing. Edgar Sangucho		<input type="checkbox"/> Volumen perdido mm <sup>3</sup>		<input type="checkbox"/> Supuesto de normalidad	
Realizado por: Ing. Edgar Sangucho		<input checked="" type="checkbox"/> Tasa de desgaste (mg/m)		<input type="checkbox"/> Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución: Hidroagoyán				<input type="checkbox"/> Supuesto de independencia	
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Número de factores: 3		<b>H0:</b> N/A		<input checked="" type="checkbox"/> 1117	
Factores categóricos: 1				<input checked="" type="checkbox"/> 2234	
Replicas: 5		<b>H1:</b> N/A		<input checked="" type="checkbox"/> 3351	
Totales de corridas: 375				<input checked="" type="checkbox"/> 4468	
Puntos central: 75				<input checked="" type="checkbox"/> 5585	
RESULTADOS					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Transformación de Box-Cox			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$		<b>Parámetro de transformación <math>\lambda = 1,02</math></b>			
<b>DECISIÓN:</b>		Se transformó los datos utilizando el valor de $\lambda$ de 1,02.			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Para transformar los datos se puede tomar cualquier valor de $\lambda$ dentro del límite inferior 0,92 y superior 1,13.			
<b>OBSERVACIONES:</b>		Para transformar los datos, la teoría recomienda utilizar el valor de $\lambda$ el promedio de los límites			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

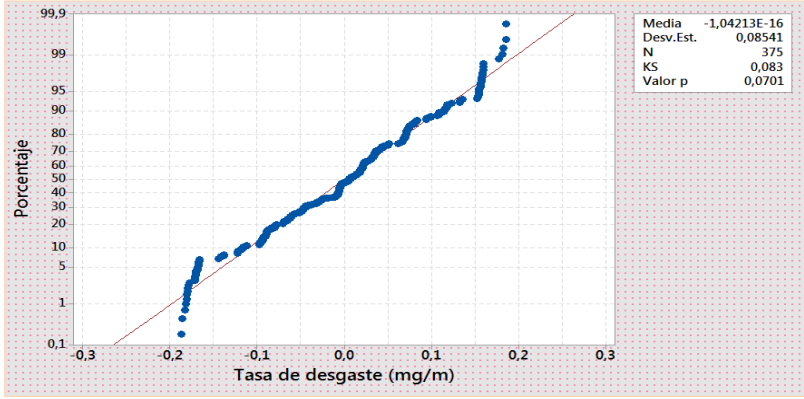
#### 4.1.10.3 Verificar supuestos de datos transformados de la tasa de desgaste

Debido a que el supuesto de normalidad no cumple, se utilizó el mismo criterio del numerar 4.1.9.3.

## Verificación de supuesto de normalidad

Para comprobar si cumple el supuesto de normalidad se empleó nuevamente la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, para verificar los datos transformados de la tasa de desgaste para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.34 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos transformados cumplen con el supuesto de normalidad, debido a que el valor- $p$  es de 0,0701 mayor al nivel de significancia 0,05, en tal virtud se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .



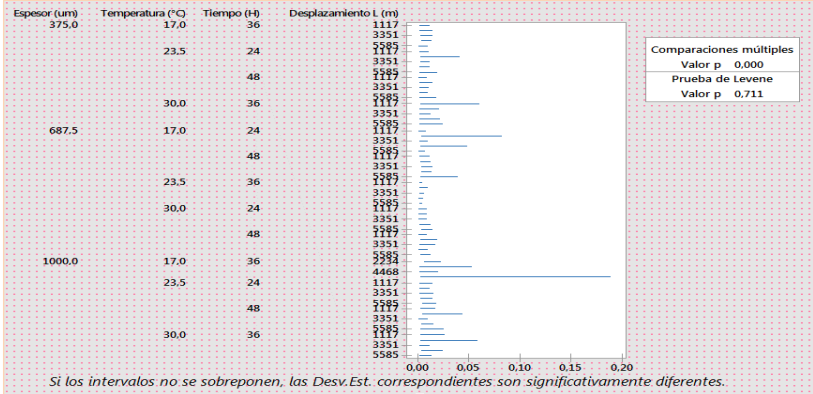
**Tabla 4.34** Verificación de supuesto de normalidad de la tasa de desgaste.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES DATOS TRANSFORMADOS		Doc. No.: UTA-EDA-025		Fecha: 21/9/2019		Hoja: 1 de 1	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>			
Solicitado por: Ing. Edgar Sangucho		<input type="checkbox"/> Volumen perdido mm <sup>3</sup>		<input checked="" type="checkbox"/> Supuesto de normalidad			
Realizado por: Ing. Edgar Sangucho		<input checked="" type="checkbox"/> Tasa de desgaste (mg/m)		<input type="checkbox"/> Supuesto de varianza constante			
Lugar de ejecución: Hidroagoyán				<input type="checkbox"/> Supuesto de independencia			
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>							
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>			
Número de factores: 3		<b>H<sub>0</sub>:</b> La tasa de desgaste tiene distribución normal.		<input checked="" type="checkbox"/> 1117			
Factores categóricos: 1		<b>H<sub>1</sub>:</b> La tasa de desgaste no tiene distribución normal.		<input checked="" type="checkbox"/> 2234			
Replicas: 5				<input checked="" type="checkbox"/> 3351			
Totales de corridas: 375				<input checked="" type="checkbox"/> 4468			
Puntos central: 75				<input checked="" type="checkbox"/> 5585			
<b>RESULTADOS</b>							
							
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b> Kolmogorov – Smirnov = 0,083							
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$				<b>Valor-p =</b> 0,0701			
<b>DECISIÓN:</b> Debido a que el valor- $p$ es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.							
<b>CONCLUSIÓN:</b> Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos transformados de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen distribución normal.							
<b>OBSERVACIONES:</b> Como los datos transformados cumplen el supuesto de normalidad, dichos datos se utilizan para la corrida del diseño de experimentos de superficie de respuesta.							
<b>ELABORADO POR</b>				<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

## Verificación de supuesto de igualdad de varianza

Para comprobar si cumple el supuesto de igual de varianza se empleó la prueba de Leven, para verificar los datos transformados de la tasa de desgaste para cada combinación en función del desplazamiento. En la Tabla 4.35 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos transformados cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, debido a que los tratamientos no tienen diferencias significativas ya que el valor- $p$  es de 0,711 que es mayor a 0,05, en tal virtud no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .



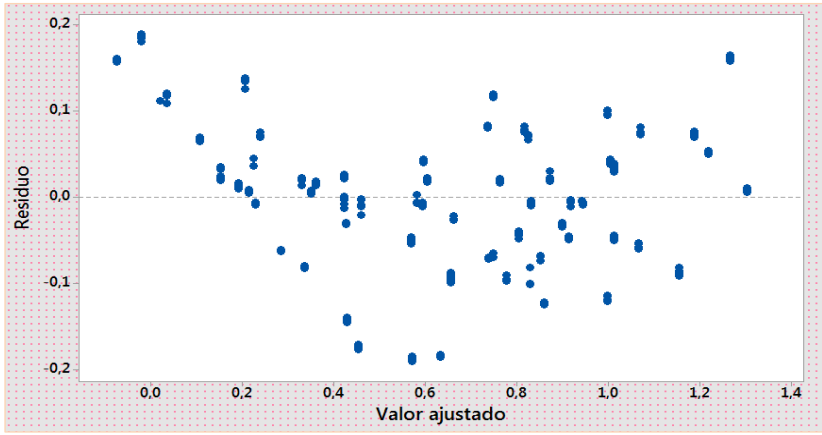
**Tabla 4.35** Supuesto de igualdad de varianza de la tasa de desgaste, datos transformados.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b> <b>DATOS TRANSFORMADOS</b>			
		Doc. No.: UTA-EDA-026	Fecha: 21/9/2019		
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>					
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>	
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	La tasa de desgaste tiene	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1		igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H<sub>1</sub>:</b>	La tasa de desgaste no	<input checked="" type="checkbox"/>	3351
Totales de corridas:	375		tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
<b>RESULTADOS</b>					
 <p style="text-align: center;"><i>Si los intervalos no se sobrepone, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.</i></p>					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Levene = 0,89			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = 0,05$		<b>Valor-p =</b> 0,711			
<b>DECISIÓN:</b>	Debido a que el valor- $p$ es mayor al nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.				
<b>CONCLUSIÓN:</b>	Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos transformados de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.				
<b>OBSERVACIONES:</b>	Los datos transformados cumplen con el supuesto de igualdad de varianza, dichos datos se utilizan para la corrida del diseño de experimentos de superficie de respuesta.				
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		



Para corroborar lo expresado en la Tabla 4.35, se realizó la validación del supuesto de varianza constante graficando los predichos contra los residuos, como se puede ver en la Tabla 4.36 los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal sin ningún patrón claro y contundente, por lo tanto es señal que cumple el supuesto es decir los tratamientos tienen igual varianza, al contrario; si la distribución tiene algún patrón claro y contundente, como por ejemplo una forma de corneta o embudo es señal de que no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante.



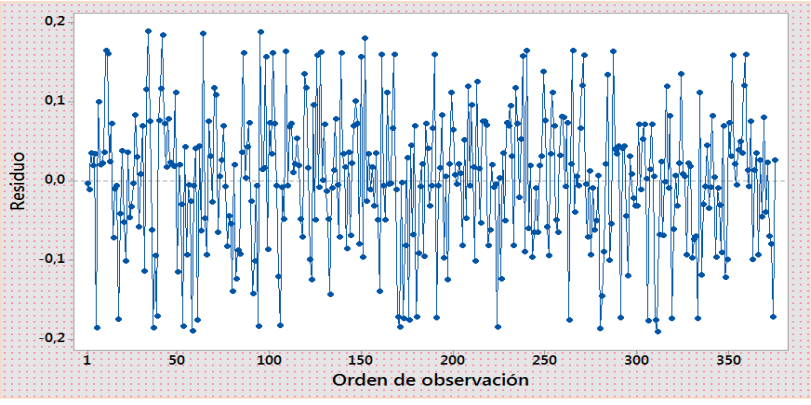
**Tabla 4.36** Gráfica de Residuos vs Ajustes de la tasa de desgaste, datos transformados.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES DATOS TRANSFORMADOS			
		Doc. No.: UTA-EDA-027	Fecha: 21/9/2019	Hoja: 1 de 1	
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	La tasa de desgaste tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1			<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	La tasa de desgaste no tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	3351
Totales de corridas:	375			<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Gráfico Residuo vs Valor ajustado			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = N/A$		<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b>		N/A			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos transformados de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen igual varianza.			
<b>OBSERVACIONES:</b>		Se puede observar que los datos transformados cumplen con el supuesto de igualdad de varianza.			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

## Verificación de supuesto de independencia

Para comprobar si cumple el supuesto de igualdad de independencia los datos transformados de la tasa de desgaste para cada combinación en función del desplazamiento se realizó la gráfica de Residuos vs Orden de observación que se puede ver en la Tabla 4.37, en la cual se puede observar que no existe ninguna tendencia o patrón definido que toma los datos transformados, es decir que se puede evidenciar un comportamiento aleatorio de los puntos dentro de la banda horizontal, por lo tanto se puede concluir que existe independencia de los residuos.

**Tabla 4.37** Residuos vs Orden de observación de la tasa de desgaste, datos transformados.



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES</b> <b>DATOS TRANSFORMADOS</b>				
		Doc. No.: UTA-EDA-028	Fecha: 21/9/2019			Hoja: 1 de 1
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho		Volumen perdido mm <sup>3</sup>		Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<b>X</b>	Tasa de desgaste (mg/m)		Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<b>X</b>	Supuesto de independencia	
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>						
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>		
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	La tasa de desgaste tiene independencia de residuos	<b>X</b>	1117	
Factores categóricos:	1				<b>X</b>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	La tasa de desgaste no tiene independencia de residuos	<b>X</b>	3351	
Totales de corridas:	375				<b>X</b>	4468
Puntos central:	75				<b>X</b>	5585
<b>RESULTADOS</b>						
						
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b> Gráfico Residuo vs Orden de observación						
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = N/A$			<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b>		N/A				
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos transformados de la tasa de desgaste en función de los desplazamientos totales tienen independencia de datos.				
<b>OBSERVACIONES:</b>		Los datos transformados cumplen con el supuesto de independencia, dichos datos se utilizan para la corrida del diseño de experimentos de superficie de respuesta.				
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			



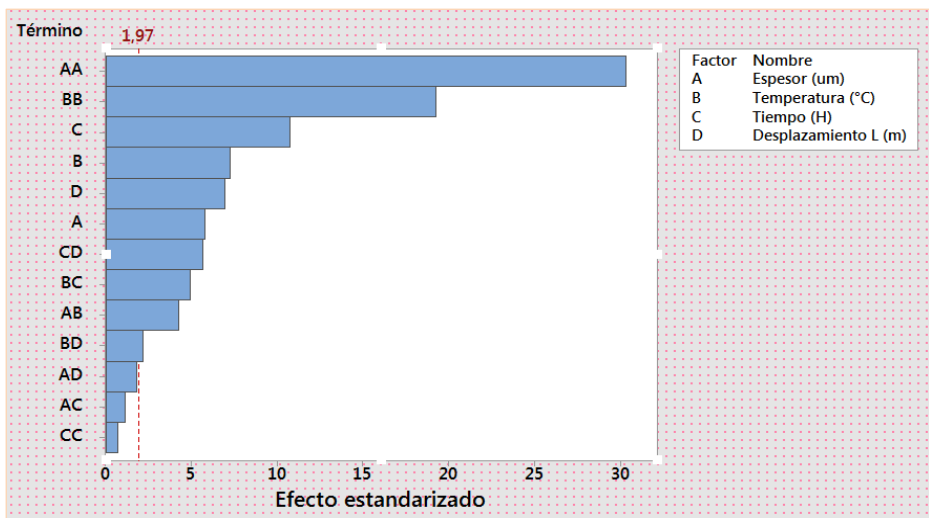
#### 4.1.10.4 Análisis de superficie de respuesta tasa de desgaste, datos transformados

##### Análisis del diseño de superficie Box-Behnken

Una vez validado los datos en función del cumplimiento de los supuestos, se procede a aplicar el diseño de experimentos de superficie de respuesta a partir del diseño de Box-Behnken, se presentó el número de tratamientos entre las combinaciones de las variables independientes, los resultados se presentan en la Tabla 4.38 y en el Anexo H se puede ver los tratamientos experimentales como resultado de la corrida en el software estadístico.

**Tabla 4.38** Análisis de varianza de tasa de desgaste, datos transformados.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA					
		Doc. No.: UTA-EDA-029	Fecha: 23/9/2019	Hoja: 1 de 2			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>			
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho		Volumen perdido mm <sup>3</sup>	X	1117	X	4468
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	X	Tasa de desgaste (mg/m)	X	2234	X	5585
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			X	3351		
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>							
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>				<b>FACTORES DEL RECUBRIMIENTO</b>			
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta	<b>FACTORES</b>		<b>NIVELES</b>	
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken			-1	0
Replicas:	5	Factores continuos:	15	A: Espesor [um]	##	687,5	1000
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17	24	30
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05	C: Tiempo [H]	24	36	48
<b>RESULTADOS</b>							
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>							
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Sec.</b>	<b>Contribución</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-p</b>
Modelo	25	47,7412	94,59%	47,741	1,90965	244,28	0,000
Lineal	7	37,4171	74,14%	37,417	5,3453	683,76	0,000
Espesor (um)	1	0,2603	0,52%	0,2603	0,26027	33,29	0,000
Temperatura (°C)	1	0,4094	0,81%	0,4094	0,40939	52,37	0,000
Tiempo (H)	1	0,9005	1,78%	0,9005	0,90053	115,19	0,000
Desplazamiento L (m)	4	35,8469	71,03%	35,847	8,96172	1146,36	0,000
Cuadrado	3	9,4962	18,82%	9,4962	3,16539	404,91	0,000
Espesor (um)*Espesor (um)	1	6,5974	13,07%	7,1832	7,1832	918,86	0,000
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	2,8953	5,74%	2,8937	2,89371	370,16	0,000
Tiempo (H)*Tiempo (H)	1	0,0036	0,01%	0,0036	0,00355	0,45	<b>0,501</b>
Interacción de 2 factores	15	0,8279	1,64%	0,8279	0,0552	7,06	0,000
Espesor (um)*Temperatura (°C)	1	0,1399	0,28%	0,1399	0,13994	17,9	0,000
Espesor (um)*Tiempo (H)	1	0,0099	0,02%	0,0099	0,00986	1,26	<b>0,262</b>
Espesor (um)*Desplazamiento L (m)	4	0,0674	0,13%	0,0674	0,01686	2,16	<b>0,074</b>
Temperatura (°C)*Tiempo (H)	1	0,1912	0,38%	0,1912	0,19124	24,46	0,000
Temperatura (°C)*Desplazamiento L (m)	4	0,0851	0,17%	0,0851	0,02128	2,72	0,029
Tiempo (H)*Desplazamiento L (m)	4	0,3344	0,66%	0,3344	0,08359	10,69	0,000
Error	349	2,7283	5,41%	2,7283	0,00782		
Falta de ajuste	39	2,7258	5,40%	2,7258	0,06989	8556,69	0,000
Error puro	310	0,0025	0,01%	0,0025	0,00001		
<b>Total</b>	<b>374</b>	<b>50,4695</b>	<b>100,00%</b>				

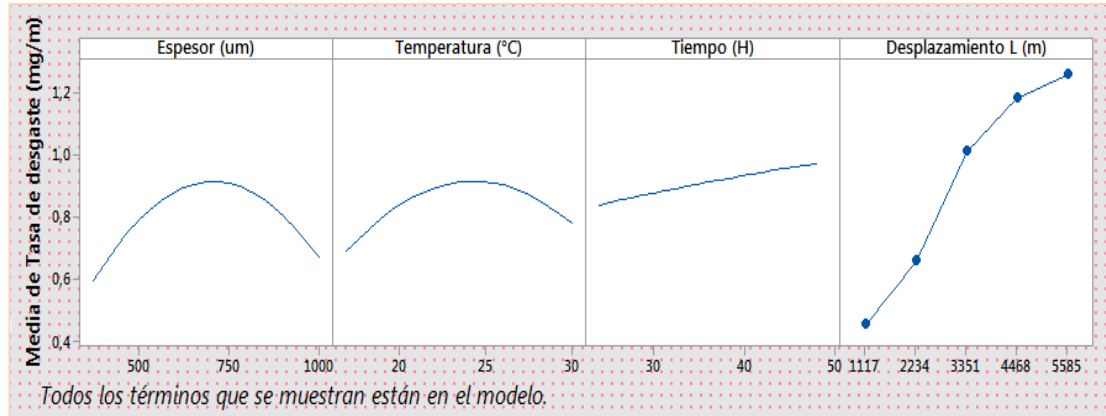
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>		
	Doc. No.: UTA-EDA-029	Fecha: 23/9/2019	
<b>RESULTADOS</b>			
<b>RESUMEN DEL MODELO</b>			
Coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> ) =		94,59%	Error falta de ajuste = 5,40%
Coeficiente de determinación ajustado (Raf <sup>2</sup> )		94,21%	Error puro = 0,01%
<b>ECUACIÓN DE REGRESIÓN DEL MODELO</b>			
<b>Desplazamiento L (m)</b>	<b>Tasa de desgaste (mg/m)</b>		
1117	-3,138 + 0,004298 A+ 0,1920 B- 0,01104 C - 0,000003 A*A- 0,004191 B*B- 0,000043 C*C- 0,000018 A*B+ 0,000003 A*C+ 0,000561 B*C		
2234	-3,046 + 0,004333 A+ 0,1938 B - 0,00973 C - 0,000003 A*A- 0,004191 B*B- 0,000043 C*C- 0,000018 A*B+ 0,000003 A*C+ 0,000561 B*C		
3351	-2,979 + 0,004389 A+ 0,1964 B - 0,00457 C - 0,000003 A*A- 0,004191 B*B- 0,000043 C*C- 0,000018 A*B+ 0,000003 A*C+ 0,000561 B*C		
4468	-2,956 + 0,004426 A+ 0,1994 B - 0,00311 C - 0,000003 A*A- 0,004191 B*B- 0,000043 C*C- 0,000018 A*B+ 0,000003 A*C+ 0,000561 B*C		
5585	-2,926 + 0,004458 A+ 0,2004 B - 0,00305 C - 0,000003 A*A- 0,004191 B*B- 0,000043 C*C- 0,000018 A*B+ 0,000003 A*C+ 0,000561 B*C		
<b>DIAGRAMA DE PARETO</b>			
			
<b>CONCLUSIÓN:</b>	<p>Se llega a la conclusión que la calidad de ajuste del modelo es el adecuado debido a que se tiene el coeficiente de determinación de 94,59% siendo mayor al 70% sugerido como mínimo para fines de optimización.</p> <p>A demás solo existe tres términos que son mayores al nivel de significancia 0,05, lo que indica que el modelo es altamente significativo con términos de Valor-p menores a 0,05, como se puede observar en el análisis de varianza y el diagrama de Pareto.</p>		
<b>ELABORADO POR</b>		<b>APROBADO POR</b>	
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho		Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas	

### Gráfica de efectos principales

La gráfica de efectos principales ayuda a determinar cuáles son los factores de mayor influencia sobre la variable de respuesta.

### Gráfica de efectos principales para media de tasa de desgaste

En la Figura 4.13, se muestra como se relacionan el estadístico desviación estándar con respecto a los factores de espesor, temperatura y tiempo en función del desplazamiento.



**Figura 4.13** Gráfica de efectos principales de tasa de desgaste.

El factor espesor al cambiar de nivel de bajo a alto afecta en gran medida la tasa de desgaste, es así que al llegar a un espesor de nivel medio 750um es el punto donde se tiene mayor desgaste del recubrimiento, mientras que en los niveles 375um y 1000um el desgaste es mínimo, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia.

El efecto de variar el factor temperatura de nivel 17°C a 30°C genera variación en la tasa de desgaste, por lo que se considera un factor de alta dependencia. El factor tiempo al pasar de nivel bajo al alto no afecta en gran medida el estadístico de la tasa de desgaste, por lo que se considera una dependencia casi nula. El factor desplazamiento al pasar de nivel bajo al alto afecta en gran medida el estadístico de la tasa de desgaste, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia.

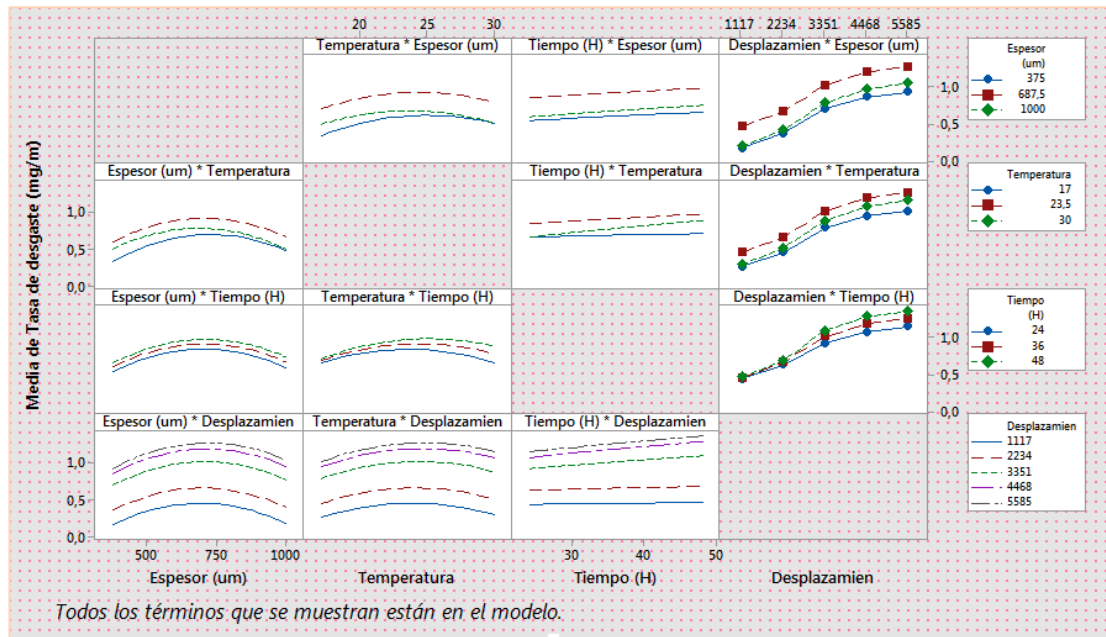
### Gráfica de interacciones para media de tasa de desgaste

En la Figura 4.14, se muestra las gráficas de interacción de los factores que afectan la variable de salida de la tasa de desgaste, las gráficas relacionan si un factor depende del nivel de otro factor en cuestión.

La teoría expresa dos situaciones para interpretar la Figura 4.14.

1. Si las líneas son paralelas indican que no hay interacción entre los factores.

- Si existe cruce entre las líneas hay interacción entre los factores y mientras mayor sea la diferencia de sus pendientes el grado de interacción será mayor.



**Figura 4.14** Gráfica de interacciones de tasa de desgaste.

Las interacciones significativas están presentes entre el espesor\*temperatura, así también entre temperatura\*espesor, temperatura\*tiempo, desplazamiento\*tiempo, tiempo\*temperatura y en baja medida la interacción tiempo\*espesor.

Las demás interacciones tales como; espesor\*temperatura, espesor\*desplazamiento, temperatura\*desplazamiento, tiempo\*desplazamiento, desplazamiento\*espesor y desplazamiento\*temperatura tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo largo de las curvas que se ha formado, razón por la cual las interacciones no son significativas.



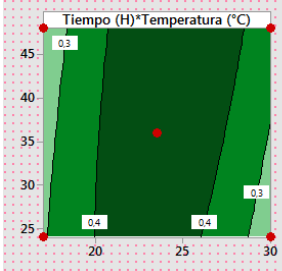
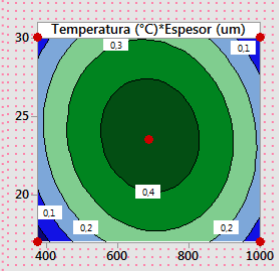
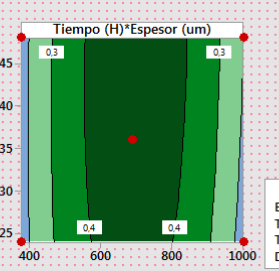
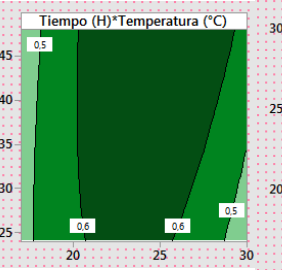
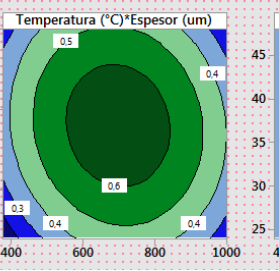
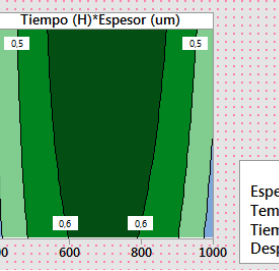
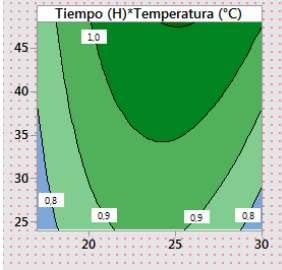
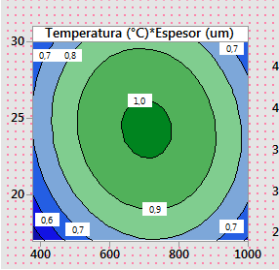
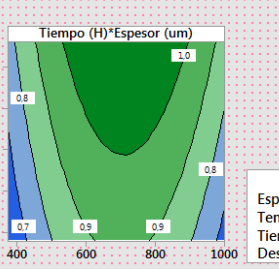
### Gráfica de superficie de respuesta de tasa de desgaste



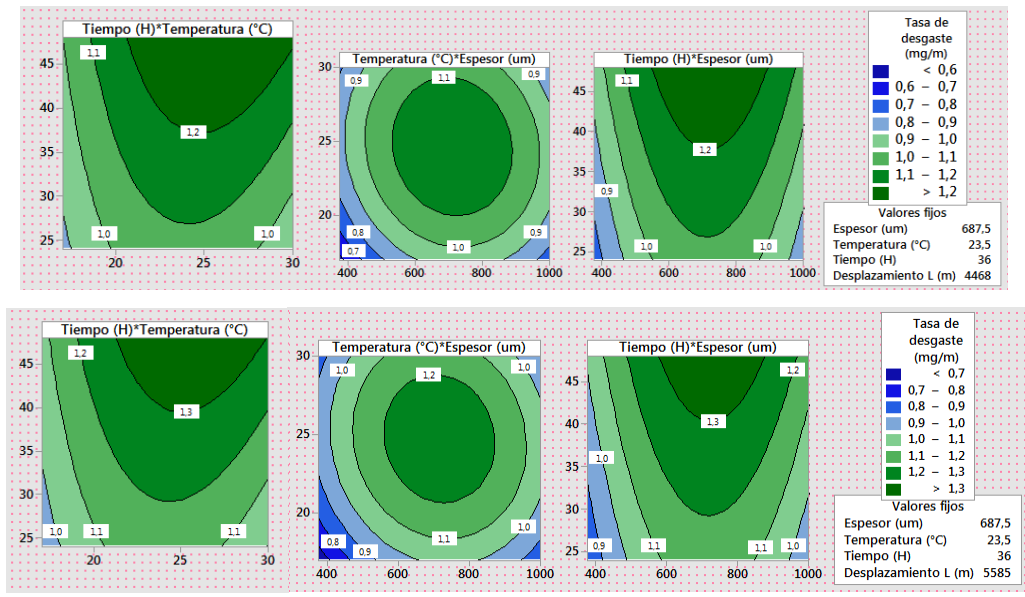
#### Gráfica de contorno

En la Tabla 4.39, se muestra las gráficas de contorno para dos factores, es así que se han formado tres tipos de gráficos, para una interacción tiempo\*temperatura se tiene el gráfico del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente o descendente, la gráfica de temperatura\*espesor es del tipo máximo o mínimo para todos los niveles de los

desplazamientos, finalmente las gráficas tiempo\*espesor se tiene el del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente o descendente.

**Tabla 4.39** Gráfica de contorno de tasa de desgaste, datos transformados.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>			
Doc. No.: UTA-EDA-030		Fecha: 23/9/2019		Hoja: 1 de 2	
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Lugar de ejecución:	Hydrogoyán	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	3351
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO			FACTORES DEL RECUBRIMIENTO		
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta		FACTORES
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken		
Replicas:	5	Factores continuos:	15		-1
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado		0
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05		1
			A: Espesor [um]	375	687,5
			B: Temperatura [°C]	17	24
			C: Tiempo [H]	24	36
RESULTADOS					
GRÁFICAS DE CONTORNO					
					
					
					
<p>Valores fijos                  Espesor (um) 687,5                  Temperatura (°C) 23,5                  Tiempo (H) 36                  Desplazamiento L (m) 1117</p>					
					
					
					
<p>Valores fijos                  Espesor (um) 687,5                  Temperatura (°C) 23,5                  Tiempo (H) 36                  Desplazamiento L (m) 2234</p>					
					
					
					
<p>Valores fijos                  Espesor (um) 687,5                  Temperatura (°C) 23,5                  Tiempo (H) 36                  Desplazamiento L (m) 3351</p>					

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>		
	Doc. No.: UTA-EDA-030	Fecha: 23/9/2019	
<b>RESULTADOS</b>			
			
<p>Las gráficas de contornos muestran que tienen una máxima pérdida de la tasa de desgaste en la región experimental, mientras se aleja el desgaste es mínimo en todos los casos de desplazamiento.</p>			
<b>CONCLUSIÓN:</b>			
<b>ELABORADO POR</b>		<b>APROBADO POR</b>	
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho		Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas	

### Gráfica de superficie de respuesta



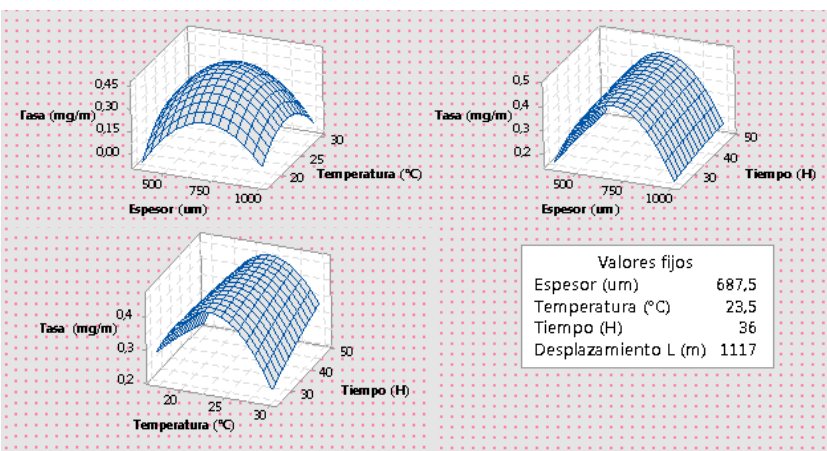
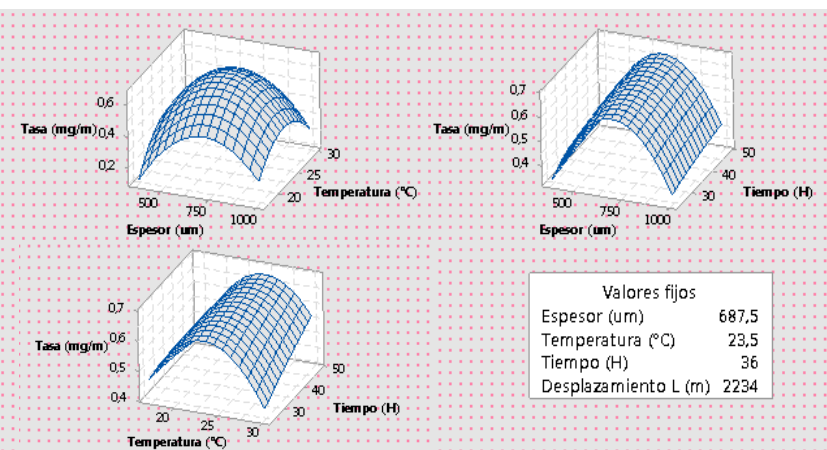
La Tabla 4.40, muestra las gráficas de superficie para la tasa de desgaste se tomó en cuenta un par de factores para los distintos desplazamientos.

En las gráficas se puede observar que se colocó como valor constante la variable de salida en este caso la tasa de desgaste, debido a que se necesita saber cuánto se pierde de Belzona al variar los factores, por tal razón se tiene tres gráficas para cada avance de los desplazamientos.

Además en las gráficas se observa que al combinar los factores temperatura vs espesor se tiene una gráfica tipo esfera mientras al combinar los factores tiempo vs espesor y tiempo vs temperatura la gráfica es tipo parabólica, esto depende de las interacciones de los datos que se dan entre los factores, en el primer caso la forma de la figura indica que los datos están mejor interrelacionados y los factores dependen mutuamente una de la otra para variar la tasa de desgaste.

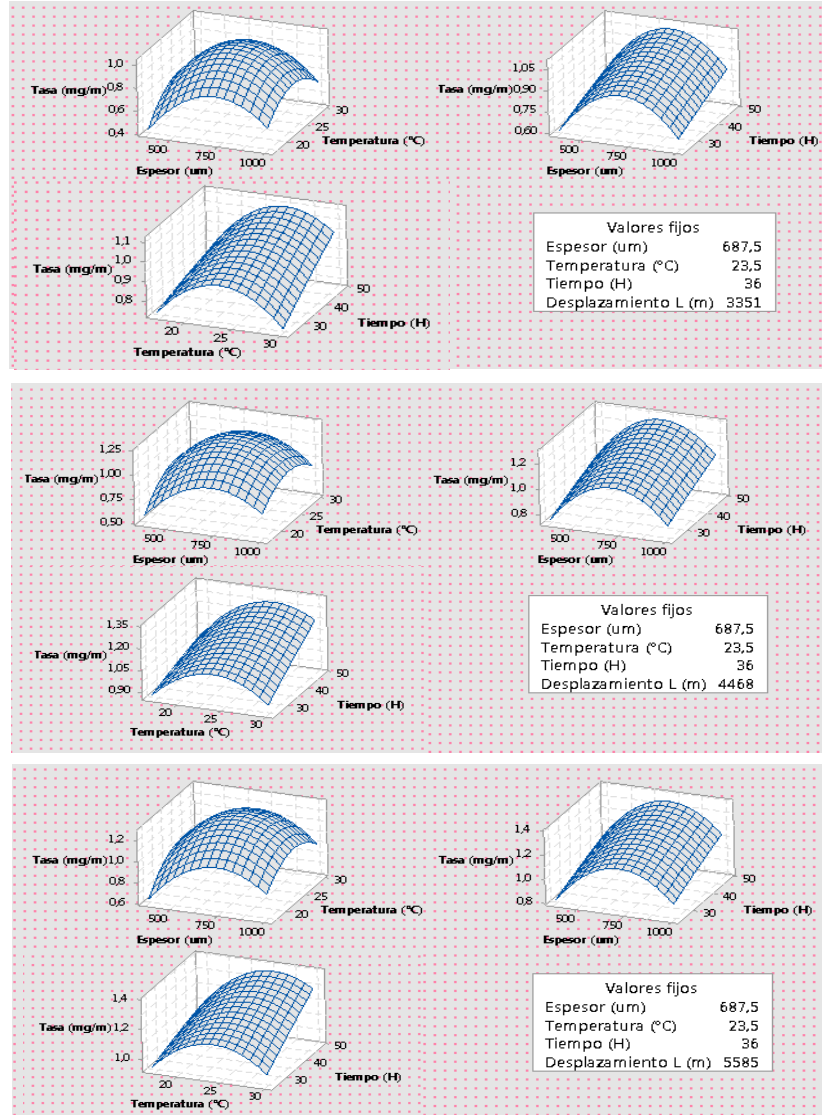


**Tabla 4.40** Gráfica de superficie de tasa de desgaste, datos transformados.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>					
	Doc. No.: UTA-EDA-031	Fecha: 23/9/2019	Hoja: 1 de 2			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>VARIABLE DE SALIDA</b>	<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>			
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/> Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/> 1117	<input checked="" type="checkbox"/> 4468		
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/> Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/> 2234	<input checked="" type="checkbox"/> 5585		
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán		<input checked="" type="checkbox"/> 3351			
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>						
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>			<b>FACTORES DEL RECUBRIMIENTO</b>			
Número de factores:	3	Método: Diseño de superficie de respuesta	<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>		
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño: Box-Behnken		-1	0	1
Replicas:	5	Factores continuos: 15	A: Espesor [um]	375	687,5	1000
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño: Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17	24	30
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ : 0,05	C: Tiempo [H]	24	36	48
<b>RESULTADOS</b>						
<b>GRÁFICAS DE SUPERFICIE</b>						
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Valores fijos</p> <p>Esesor (um) 687,5</p> <p>Temperatura (°C) 23,5</p> <p>Tiempo (H) 36</p> <p>Desplazamiento L (m) 1117</p> </div> </div>						
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Valores fijos</p> <p>Esesor (um) 687,5</p> <p>Temperatura (°C) 23,5</p> <p>Tiempo (H) 36</p> <p>Desplazamiento L (m) 2234</p> </div> </div>						



**RESULTADOS**



**CONCLUSIÓN:** Las gráficas representan un par de factores manteniendo el valor constante la pérdida de la tasa de desgaste en función de avance de los desplazamientos.

**ELABORADO POR**

Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho



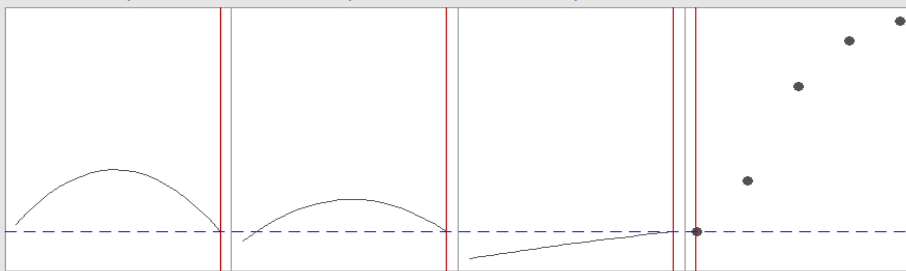
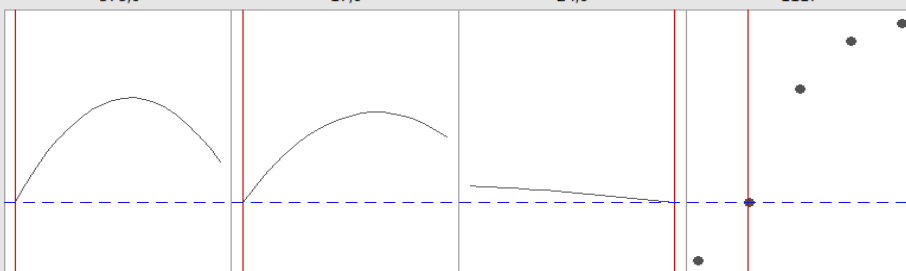
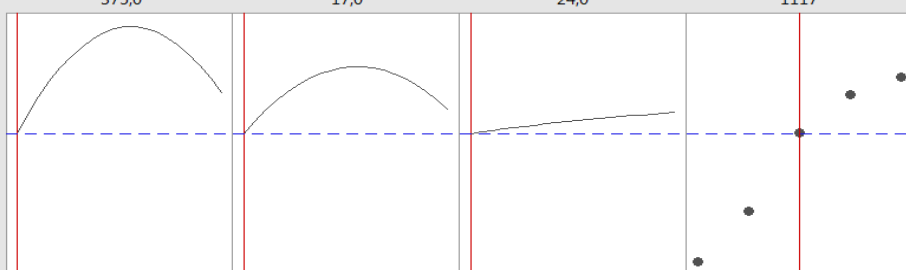
**APROBADO POR**


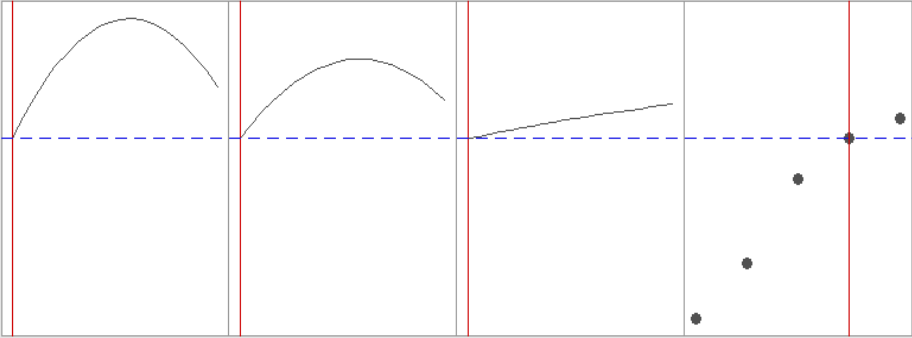
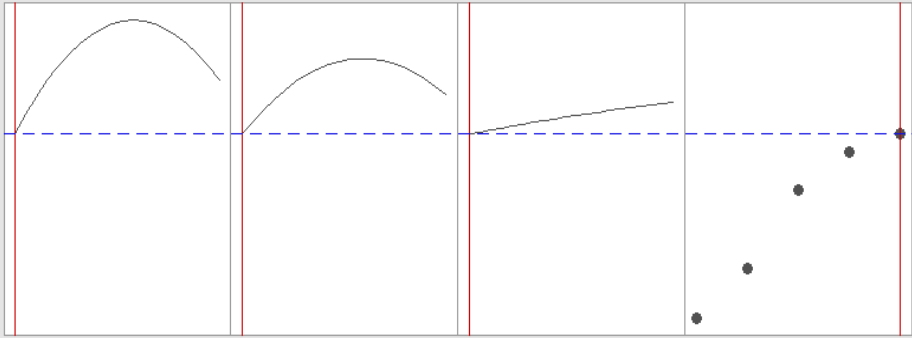
Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas

### Optimización de respuesta

La optimización de respuesta implica encontrar el punto óptimo que es la mejor combinación posible en toda la región de operabilidad, la misma que debe cumplir con el objetivo planteado en la presente investigación que es de obtener la mínima tasa de desgaste, es así que en la Tabla 4.41, tenemos los valores óptimos para cada factor y la mejor combinación para cada avance de los desplazamientos.

**Tabla 4.41** Optimización de respuesta de tasa de desgaste, datos transformados.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS</b> <b>DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA</b>																												
Doc. No.: UTA-EDA-032		Fecha: 23/9/2019		Hoja: 1 de 2																										
DATOS INFORMATIVOS																														
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		DESPLAZAMIENTO (L) [m]																										
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	1117	<input checked="" type="checkbox"/>	4468																							
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2234	<input checked="" type="checkbox"/>	5585																							
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán			<input checked="" type="checkbox"/>	3351																									
PROTOCOLO DE PRUEBA																														
RESUMEN DEL DISEÑO				FACTORES DEL RECUBRIMIENTO																										
Número de factores:	3	Método:	Diseño de superficie de respuesta	FACTORES		NIVELES																								
Factores categóricos:	1	Tipo de diseño:	Box-Behnken			-1	0	1																						
Replicas:	5	Factores continuos:	15	A: Espesor [um]	375	687,5	1000																							
Totales de corridas:	375	Tabla de diseño:	Aleatorizado	B: Temperatura [°C]	17	24	30																							
Puntos central:	75	Nivel de significancia $\alpha$ :	0,05	C: Tiempo [H]	24	36	48																							
RESULTADOS																														
OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS																														
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Nuevo</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;">Espesor</td> <td style="width: 15%;">Temperat</td> <td style="width: 15%;">Tiempo (</td> <td style="width: 15%;">Desplaza</td> </tr> <tr> <td>D: 1,000</td> <td>Alto</td> <td>1000,0</td> <td>30,0</td> <td>48,0</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td><b>Predecir</b></td> <td>Act</td> <td>[1000,0]</td> <td>[30,0]</td> <td>[48,0]</td> <td>1117</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Bajo</td> <td>375,0</td> <td>17,0</td> <td>24,0</td> <td>1117</td> </tr> </table>							Nuevo		Espesor	Temperat	Tiempo (	Desplaza	D: 1,000	Alto	1000,0	30,0	48,0	5585	<b>Predecir</b>	Act	[1000,0]	[30,0]	[48,0]	1117		Bajo	375,0	17,0	24,0	1117
Nuevo		Espesor	Temperat	Tiempo (	Desplaza																									
D: 1,000	Alto	1000,0	30,0	48,0	5585																									
<b>Predecir</b>	Act	[1000,0]	[30,0]	[48,0]	1117																									
	Bajo	375,0	17,0	24,0	1117																									
<p>Tasa de Mínimo <math>y = 0,0454</math> <math>d = 1,0000</math></p> 																														
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Nuevo</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;">Espesor</td> <td style="width: 15%;">Temperat</td> <td style="width: 15%;">Tiempo (</td> <td style="width: 15%;">Desplaza</td> </tr> <tr> <td>D: 1,000</td> <td>Alto</td> <td>1000,0</td> <td>30,0</td> <td>48,0</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td><b>Predecir</b></td> <td>Act</td> <td>[375,0]</td> <td>[17,0]</td> <td>[48,0]</td> <td>2234</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Bajo</td> <td>375,0</td> <td>17,0</td> <td>24,0</td> <td>1117</td> </tr> </table>							Nuevo		Espesor	Temperat	Tiempo (	Desplaza	D: 1,000	Alto	1000,0	30,0	48,0	5585	<b>Predecir</b>	Act	[375,0]	[17,0]	[48,0]	2234		Bajo	375,0	17,0	24,0	1117
Nuevo		Espesor	Temperat	Tiempo (	Desplaza																									
D: 1,000	Alto	1000,0	30,0	48,0	5585																									
<b>Predecir</b>	Act	[375,0]	[17,0]	[48,0]	2234																									
	Bajo	375,0	17,0	24,0	1117																									
<p>Tasa de Mínimo <math>y = 0,0814</math> <math>d = 1,0000</math></p> 																														
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Nuevo</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;">Espesor</td> <td style="width: 15%;">Temperat</td> <td style="width: 15%;">Tiempo (</td> <td style="width: 15%;">Desplaza</td> </tr> <tr> <td>D: 0,7695</td> <td>Alto</td> <td>1000,0</td> <td>30,0</td> <td>48,0</td> <td>5585</td> </tr> <tr> <td><b>Predecir</b></td> <td>Act</td> <td>[375,0]</td> <td>[17,0]</td> <td>[24,0]</td> <td>3351</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Bajo</td> <td>375,0</td> <td>17,0</td> <td>24,0</td> <td>1117</td> </tr> </table>							Nuevo		Espesor	Temperat	Tiempo (	Desplaza	D: 0,7695	Alto	1000,0	30,0	48,0	5585	<b>Predecir</b>	Act	[375,0]	[17,0]	[24,0]	3351		Bajo	375,0	17,0	24,0	1117
Nuevo		Espesor	Temperat	Tiempo (	Desplaza																									
D: 0,7695	Alto	1000,0	30,0	48,0	5585																									
<b>Predecir</b>	Act	[375,0]	[17,0]	[24,0]	3351																									
	Bajo	375,0	17,0	24,0	1117																									
<p>Tasa de Mínimo <math>y = 0,3932</math> <math>d = 0,76948</math></p> 																														

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS		DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	
	Doc. No.: UTA-EDA-032			Fecha: 23/9/2019		Hoja: 2 de 2		
	<b>RESULTADOS</b>							
Nuevo D: 0,6769 Alto Act Predecir Bajo		Espesor 1000,0 [375,0] 375,0	Temperat 30,0 [17,0] 17,0	Tiempo ( 48,0 [24,0] 24,0	Desplaza 5585 4468 1117			
Tasa de Mínimo $y = 0,5166$ $d = 0,67694$								
Nuevo D: 0,6322 Alto Act Predecir Bajo		Espesor 1000,0 [375,0] 375,0	Temperat 30,0 [17,0] 17,0	Tiempo ( 48,0 [24,0] 24,0	Desplaza 5585 5585 1117			
Tasa de Mínimo $y = 0,5762$ $d = 0,63223$								
<b>CONCLUSIÓN:</b> Las gráficas muestran la optimización para cada valor de desplazamiento, las filas de color rojo indican el punto óptimo con las combinaciones de los factores para tener una mínima tasa de desgaste.								
<b>ELABORADO POR</b>					<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho					Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			


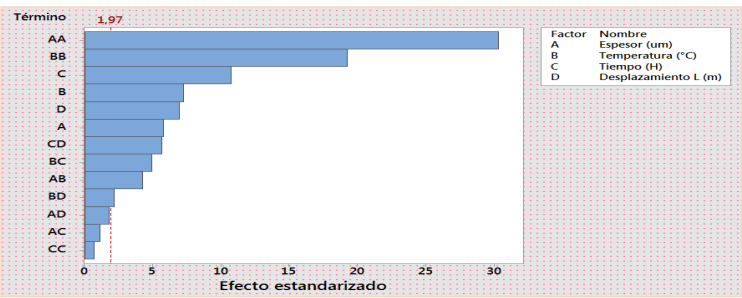
## 4.2 Interpretación de los resultados

Una vez validado los datos obtenidos del ensayo del de desgaste abrasivo mediante la verificación de los supuestos y ejecutado el análisis de los resultados del diseño de experimentos de superficie de respuestas bajo la técnica de Box-Behmken.

Se procede a interpretar los resultados para definir el punto óptimo que permita tener valores mínimos de la tasa de desgaste y la pérdida de volumen del recubrimiento.

#### 4.2.1 Resultados del diseño de experimentos del volumen perdido

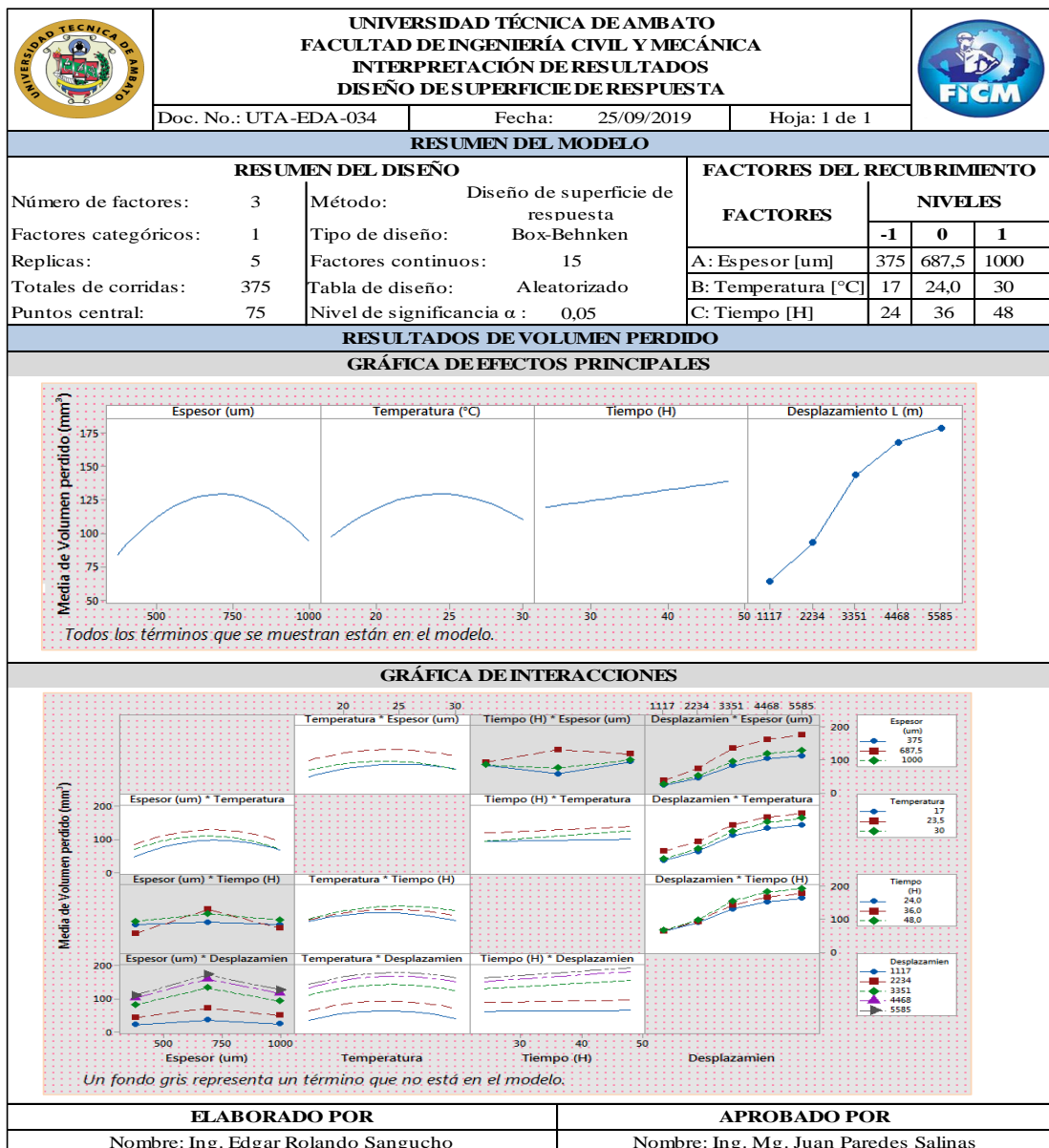
Tabla 4.42 Resultados de varianza y diagrama de Pareto de volumen perdido.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA															
		Doc. No.: UTA-EDA-033	Fecha: 25/9/2019	Hoja: 1 de 1													
RESULTADOS DE VOLUMEN PERDIDO																	
ANÁLISIS DE VARIANZA																	
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor-p										
Modelo	25	966630	94,59%	966630	38665	244,28	0,000										
Lineal	7	757591	74,14%	757591	108227	683,77	0,000										
Espesor (um)	1	5270	0,52%	5270	5270	33,29	0,000										
Temperatura (°C)	1	8289	0,81%	8289	8289	52,37	0,000										
Tiempo (H)	1	18233	1,78%	18233	18233	115,2	0,000										
Desplazamiento L (m)	4	725799	71,03%	725799	181450	1146,39	0,000										
Cuadrado	3	192275	18,82%	192275	64092	404,93	0,000										
Espesor (um)*Espesor (um)	1	133581	13,07%	145442	145442	918,89	0,000										
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	58622	5,74%	58591	58591	370,17	0,000										
Tiempo (H)*Tiempo (H)	1	72	0,01%	72	72	0,46	<b>0,500</b>										
Interacción de 2 factores	15	16764	1,64%	16764	1118	7,06	0,000										
Espesor (um)*Temperatura (°C)	1	2833	0,28%	2833	2833	17,9	0,000										
Espesor (um)*Tiempo (H)	1	200	0,02%	200	200	1,26	<b>0,262</b>										
Espesor (um)*Desplazamiento L (m)	4	1365	0,13%	1365	341	2,16	<b>0,073</b>										
Temperatura (°C)*Tiempo (H)	1	3872	0,38%	3872	3872	24,46	0,000										
Temperatura (°C)*Desplazamiento L (m)	4	1723	0,17%	1723	431	2,72	0,029										
Tiempo (H)*Desplazamiento L (m)	4	6770	0,66%	6770	1692	10,69	0,000										
Error	349	55240	5,41%	55240	158												
Falta de ajuste	39	55188	5,40%	55188	1415	8556,92	0,000										
Error puro	310	51	0,01%	51	0												
<b>Total</b>	<b>374</b>	<b>1021869</b>	<b>100,00%</b>														
RESUMEN DEL MODELO				DIAGRAMA DE PARETO													
<b>R<sup>2</sup></b>	94,59%																
<b>Raf<sup>2</sup></b>	94,21%																
<b>Error falta de ajuste</b>	5,40%																
<b>Error puro</b>	0,01%																
<b>Número de factores:</b>	3																
<b>Factores categórico</b>	1	<table border="1"> <tr> <th>Factor</th> <th>Nombre</th> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Espesor (um)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Temperatura (°C)</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Tiempo (H)</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Desplazamiento L (m)</td> </tr> </table>						Factor	Nombre	A	Espesor (um)	B	Temperatura (°C)	C	Tiempo (H)	D	Desplazamiento L (m)
Factor	Nombre																
A	Espesor (um)																
B	Temperatura (°C)																
C	Tiempo (H)																
D	Desplazamiento L (m)																
<b>Replicas:</b>	5																
<b>Totales de corridas:</b>	375																
<b>Puntos central:</b>	75																
ELABORADO POR				APROBADO POR													
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas													

En la Tabla 4.42, se muestra la calidad de ajuste del modelo es el adecuado debido a que se tiene el coeficiente de determinación de 94,59% siendo mayor al 70% sugerido como mínimo para fines de optimización, es decir el diseño de Box-Behnken es el indicado para este tipo de análisis, en el caso de que se obtenga el coeficiente de determinación ajustado  $R_{af}^2$  menor al 70% se debe cambiar la técnica de diseño de experimento. El análisis de varianza se puede apreciar que solo existe tres términos que son mayores al nivel de significancia 0,05, siendo estos el efecto cuadrático de tiempo\*tiempo con valores 0,5 y los efectos de interacción, espesor\*tiempo, espesor\*desplazamiento con valores 0,262 y 0,073 respectivamente, es decir no

afectan significativamente al modelo, esto también se puede evidenciar en el diagrama de Pareto ya que están al lado izquierdo de la línea de 1,97 que es el valor crítico de T de Student. Además se observa que todos los factores principales así como las cuadráticas espesor\*espesor, temperatura\* temperatura y las interacciones espesor\*temperatura, temperatura\*tiempo, temperatura\*desplazamiento, tiempo\*desplazamiento son significativos con un nivel de confianza del 95%, debido a que son menores al nivel de significancia (Valor-p) 0,05. También se evidencia que los factores cuadráticos espesor\*espesor y temperatura\*temperatura son los más significativos. Por lo tanto los tres factores estudiados y sus interacciones cuadráticas tienen efecto sobre la pérdida de volumen del recubrimiento duro Belzona.

**Tabla 4.43** Gráficas de efectos principales y de interacciones del volumen perdido.



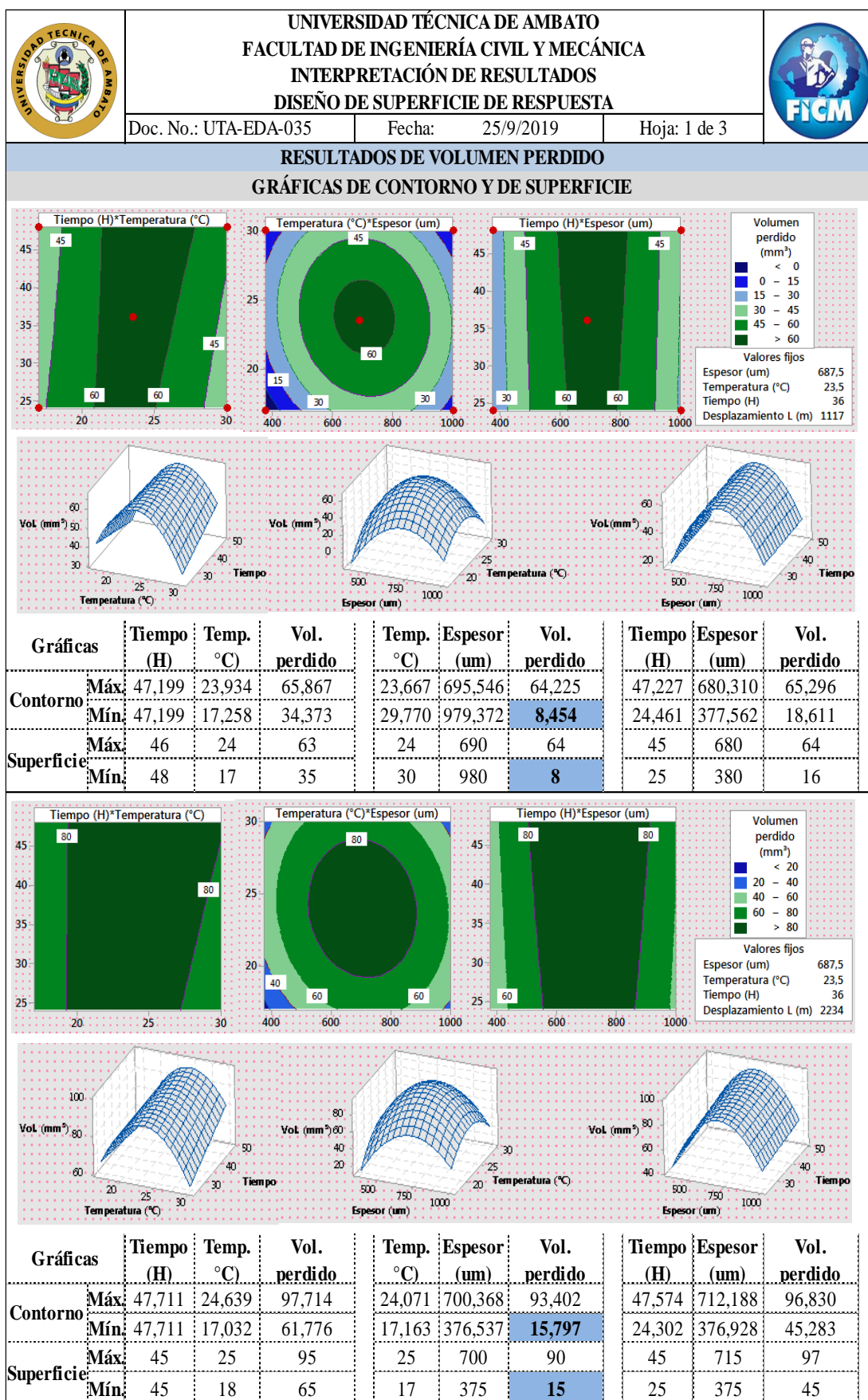
En la Tabla 4.43, se muestra las gráficas tanto de efectos principales como de interacciones de factores, las mismas que se interpretan como sigue a continuación:

En la gráfica de efectos principales muestran cuál de los factores son las que afectan directamente en la pérdida de volumen del recubrimiento y cual o cuales no tienen relevancia para efectos del presente estudio, es así que el factor espesor al cambiar de nivel de bajo a alto afecta en gran medida la pérdida de volumen, debido que al llegar a un espesor de nivel medio 750um es el punto donde se tiene mayor pérdida de volumen, mientras que en los extremos en los niveles 375um y 1000um la pérdida de volumen es mínimo, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia, el efecto de variar el factor temperatura de nivel 17°C a 30°C genera variación de pérdida de volumen del recubrimiento, igual con el espesor al llegar al nivel medio 25°C la pérdida de volumen del recubrimiento es considerable, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia, finalmente el factor tiempo al pasar de nivel bajo al alto 24 a 48 horas no afecta en gran medida el estadístico de la pérdida de volumen, por lo que se considera una dependencia casi nula.

En esta gráfica se ha tomado el factor desplazamiento debido a que el modelo analiza el global de los datos para determinar cómo es la pérdida de volumen del recubrimiento al avanzar el desplazamiento lineal en el transcurso del ensayo de desgaste abrasivo propuesto por la Norma ASTM G105, a pesar que este factor es categórico influye mucho ya que en la gráfica se puede observar mientras avanza el desplazamiento en función del tiempo la pérdida de volumen va aumentando y al llegar al desplazamiento máximo de 5585 la curva tiende a estabilizar, en este caso el desgaste abrasivo consumido la totalidad del recubrimiento Belzona y ha llegado al material base, para obtener esta curva depende de los tres factores principales.

Las gráficas de interacción de factores nos ayudan a interpretar que factores combinados son más significativos para la pérdida de volumen del recubrimiento, es así que las interacciones más significativas están presentes entre el espesor\*temperatura, así también entre temperatura\*espesor, temperatura\*tiempo, y desplazamiento\*tiempo, mientras que las demás interacciones tales como temperatura\*desplazamiento, tiempo\*desplazamiento y desplazamiento\*temperatura tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo largo de las curvas que se ha formado, razón por la cual las interacciones no son significativas.

Tabla 4.44 Gráficas de contorno y de superficie del volumen perdido.







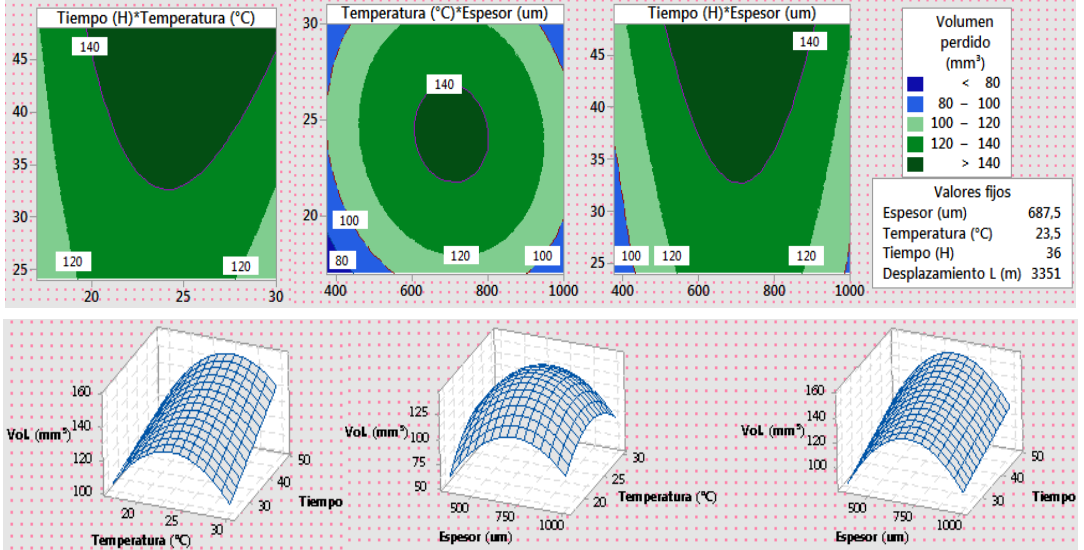
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**  
**DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA**



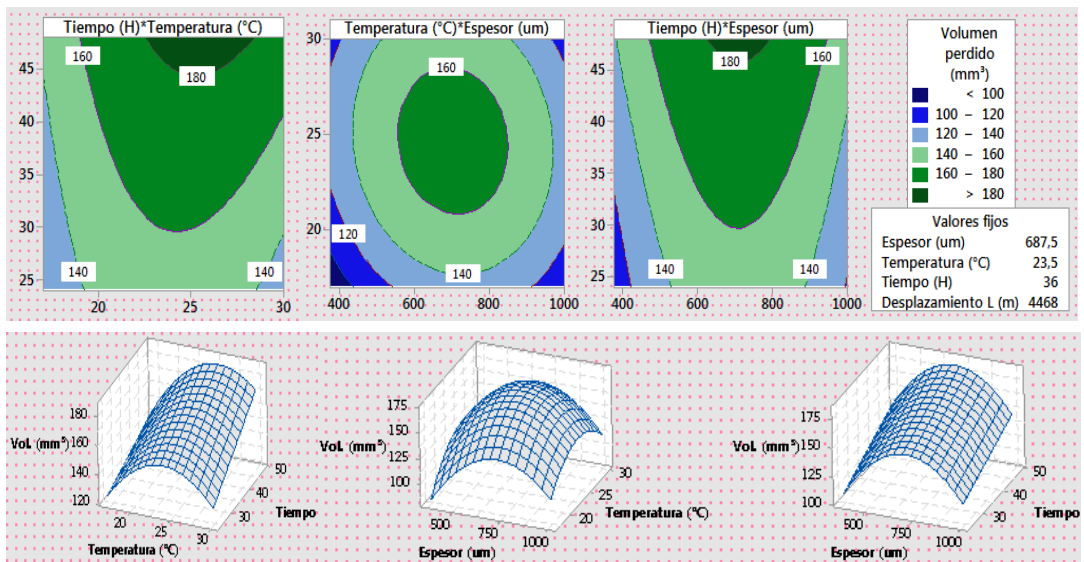
Doc. No.: UTA-EDA-035

Fecha: 25/09/2019

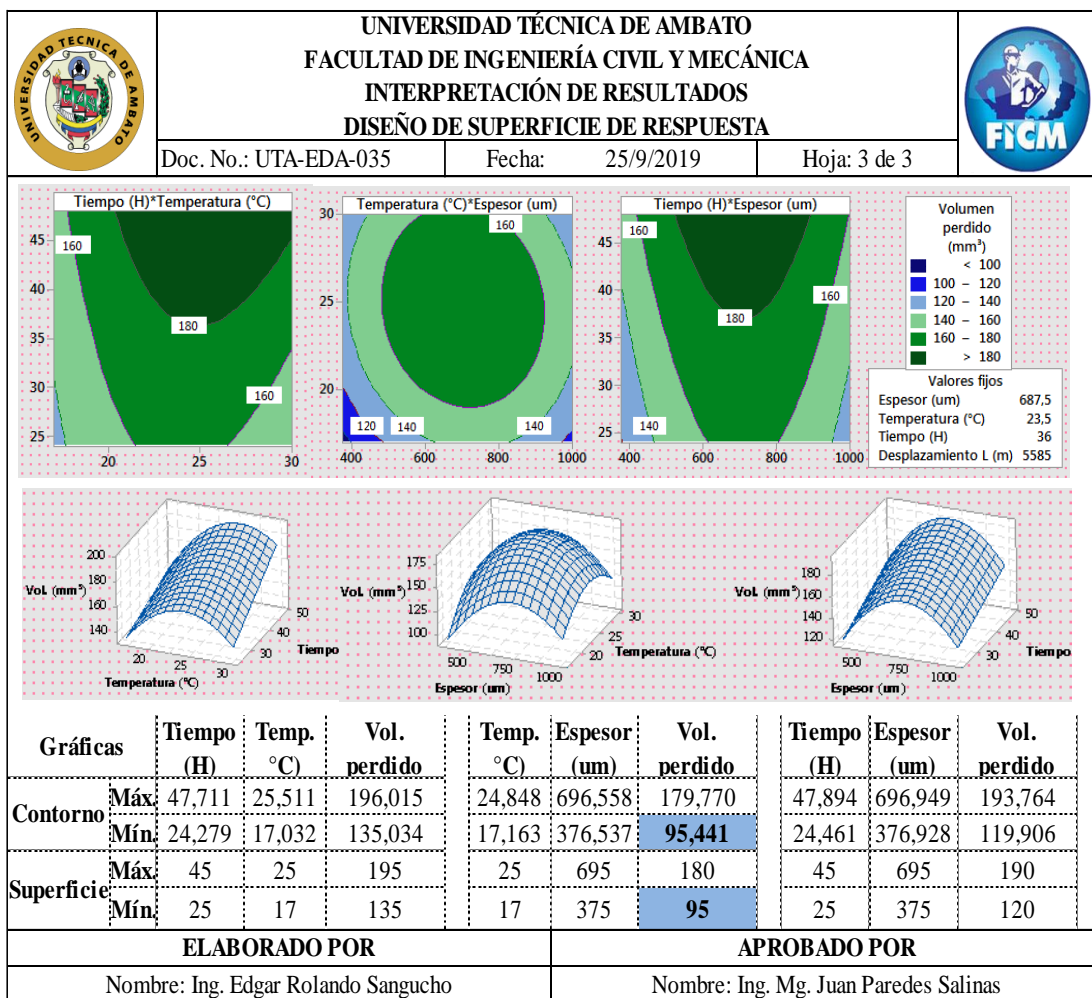
Hoja: 2 de 3



Gráficas		Tempo	Temp.	Vol. perdido:	Temp.	Espesor	Vol. perdido:	Tempo	Espesor	Vol. perdido:
		(H)	°C	(mm³)	°C	(um)	(mm³)	(H)	(um)	(mm³)
Contorno	Máx.	47,711	24,3224	156,686	23,984	707,987	143,789	47,893	712,188	155,852
	Mín.	24,279	17,032	105,863	17,077	376,537	<b>62,834</b>	24,78	376,928	87,3845
Superficie:	Máx.	45	25	155	25	700	140	45	700	155
	Mín.	25	17	105	17	375	<b>60</b>	25	375	85



Gráficas		Tempo	Temp.	Vol. perdido:	Temp.	Espesor	Vol. perdido:	Tempo	Espesor	Vol. perdido:
		(H)	°C	(mm³)	°C	(um)	(mm³)	(H)	(um)	(mm³)
Contorno	Máx.	47,871	25,6695	184,94	24,848	700,368	168,701	47,893	700,759	182,787
	Mín.	24,1201	17,032	125,016	17,163	376,537	<b>85,416</b>	24,621	376,928	109,31
Superficie:	Máx.	45	25	185	25	700	170	45	700	180
	Mín.	25	17	125	17	375	<b>85</b>	25	375	110



En la Tabla 4.44, se muestra las gráficas de contorno y de superficie para cada desplazamiento, de esta manera permite interpretar los resultados en función de avance del desplazamiento a lo largo del tiempo y ver en que par de combinaciones se tiene una menor pérdida de volumen del recubrimiento Belzona, se tiene 5 gráficas de contorno y de superficie en las cuales se mantiene constante la variable salida que es la pérdida de volumen y se va variando las interacciones.

Las gráficas de contorno se han formado tres tipos, para una interacción tiempo\*temperatura se tiene el gráfico del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente o montaña, la gráfica de temperatura\*espesor es del tipo máximo, finalmente en las gráficas tiempo\*espesor se tiene del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente, además las áreas están pintadas por colores para una fácil visualización de los niveles máximos y mínimos, así también indica una tabla de colores con su respectivo rango de pérdida de volumen.

En cambio en las gráficas de superficie se puede ver de forma tridimensional la forma de la curva generada de un par de interacciones para la pérdida de volumen del recubrimiento y se puede seleccionar los niveles máximos y mínimos de pérdida de volumen del recubrimiento, estas gráficas están íntimamente relacionadas con los gráficos de contorno, para más de dos factores las superficies de respuesta no se pueden graficar completas de forma conjunta debido a que se encuentran en cuatro dimensiones o más, pero se mantiene la misma idea la de dos factores.

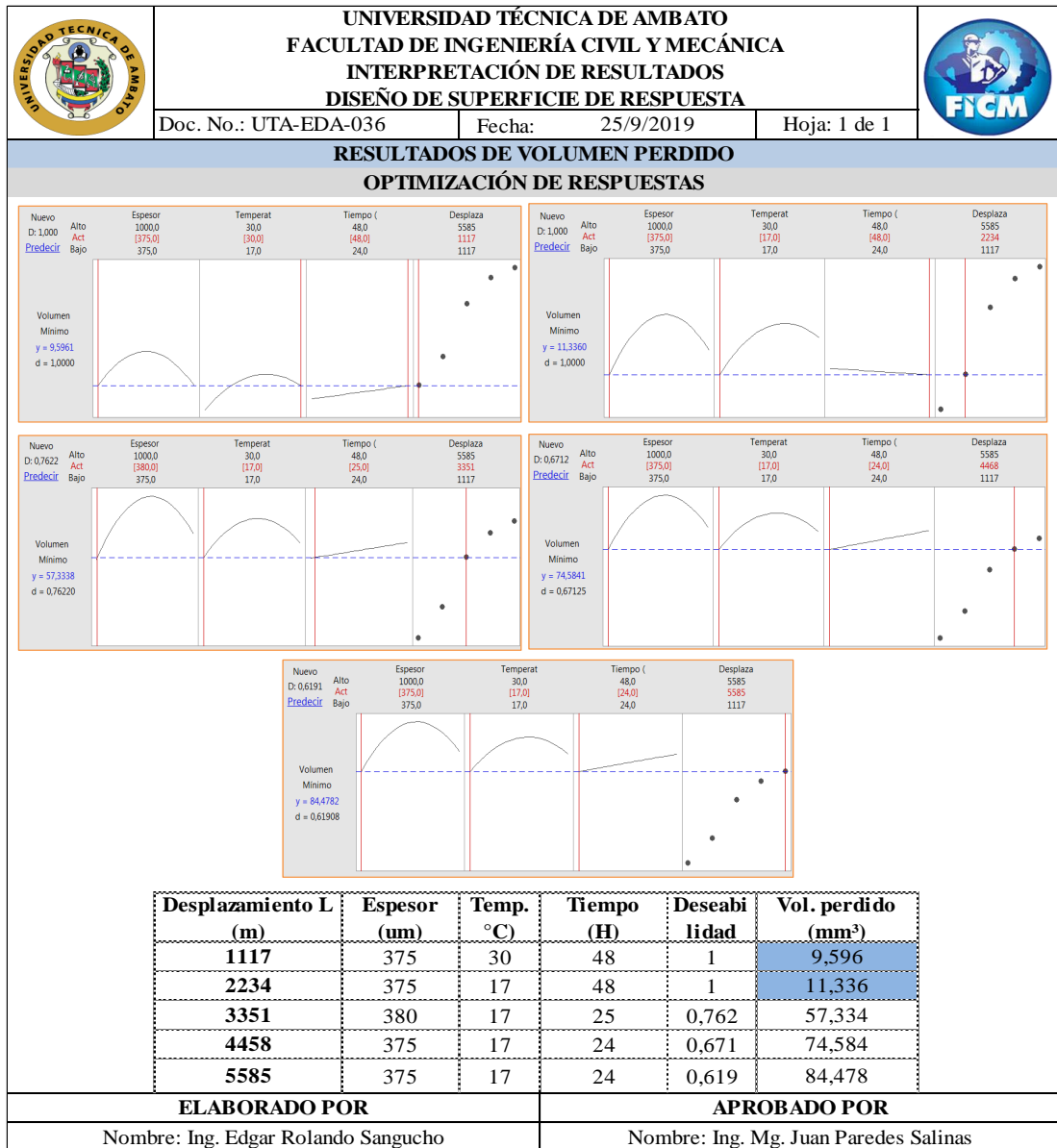
La investigación arrojó modelo de superficie de segundo orden que forma un hiperelipsoide o hiperboloide, sin embargo, para tres factores es posible graficar la superficie elaborando tres modelos con dos factores cada vez, con el tercero constante en este caso el factor que se mantiene invariable es el volumen y se combinó los factores espesor, temperatura y tiempo obteniendo diferentes curvas en función de las interacciones de los datos de cada factor.

En las tablas que están bajo cada grupo de gráficas se muestra la máxima y la mínima pérdida de volumen del recubrimiento Belzona para cada desplazamiento, es así que se tiene una mínima pérdida de recubrimiento de 8 a 8,453 mm<sup>3</sup> para un desplazamiento de 1117 m combinando la temperatura de 30°C con un espesor de 980um, con esta combinación se tiene en todos los casos de desplazamientos una menor pérdida de volumen, mientras que con las interacciones entre tiempo\*temperatura, tiempo\*espesor las pérdidas del recubrimiento son más altas, por tal razón se puede decir que la combinación correcta es entre temperatura\*espesor.

Para una investigación de seleccionar la combinación correcta la mencionada anteriormente es la adecuada, pero la presente investigación establece determinar el punto óptimo interactuando los tres factores, para ello se elaboró la Tabla 4.45 donde se obtiene datos al combinar los factores espesor, tiempo y temperatura.

Los datos que se obtuvieron para cada estado del desplazamiento se lo realizó con la ayuda del software, para las gráficas de contorno el software es preciso debido a que da valores mínimos y máximo, mientras que para las gráficas de superficie está supeditado a la lectura que se pueda dar como investigador, pero comparando con las dos gráficas se obtuvieron lecturas de pérdida de volumen muy similares.

**Tabla 4.45** Gráficas de optimización de respuesta del volumen perdido.



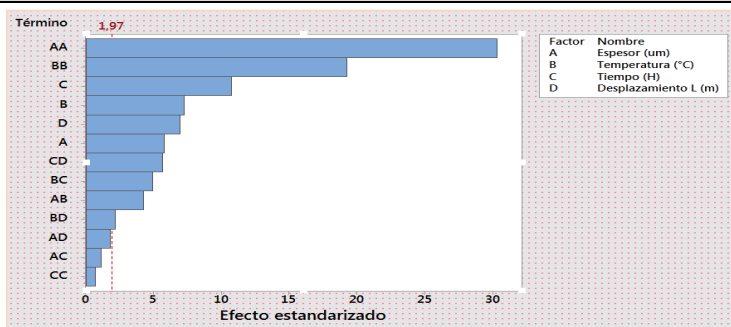


La optimización de respuesta implica encontrar el punto óptimo que es la mejor combinación posible en toda la región de operabilidad, la misma que debe cumplir con el objetivo planteado en la presente investigación que es de obtener el mínimo de pérdida de volumen del recubrimiento, en la Tabla 4.45, se tiene los valores óptimos para cada factor y la mejor combinación para cada avance de los desplazamientos, es así que los valores correctos para el punto óptimo que permite tener una pérdida mínima del volumen del recubrimiento de 9,596m<sup>3</sup>, corresponden a Esesor 375um, Temperatura 30°C y Tiempo 48H, estos valores son los adecuados debido a que la deseabilidad es 1, la teoría recomienda tomar valores de uno o los más cercanos a uno para la selección del punto óptimo, de la Tabla 4.45 también revela que en los primeros

dos ciclos de desplazamientos no existe mayor pérdida del recubrimiento, pero mientras avanza con el ciclo el desgaste es cada vez mayor, además el factor que más influye es el espesor ya que al variar los factores de temperatura y tiempo el sistema no va a sufrir cambios significativos, pero si hay variaciones en el espesor la pérdida del recubrimiento es muy significativo, lo antes mencionado se puede corroborar en el Anexo I, en el cual se puede ver como la deseabilidad va disminuyendo al variar el factor espesor.

#### 4.2.2 Resultados del diseño de experimentos de la tasa de desgaste

Tabla 4.46 Resultados de varianza y diagrama de Pareto de la tasa de desgaste.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA					
		Doc. No.: UTA-EDA-037	Fecha: 28/9/2019	Hoja: 1 de 1			
RESULTADOS DE LA TASA DE DESGASTE							
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor-p
Modelo	25	47,7412	94,59%	47,741	1,90965	244,28	0,000
Lineal	7	37,4171	74,14%	37,417	5,3453	683,76	0,000
Espesor (um)	1	0,2603	0,52%	0,2603	0,26027	33,29	0,000
Temperatura (°C)	1	0,4094	0,81%	0,4094	0,40939	52,37	0,000
Tiempo (H)	1	0,9005	1,78%	0,9005	0,90053	115,19	0,000
Desplazamiento L (m)	4	35,8469	71,03%	35,847	8,96172	1146,36	0,000
Cuadrado	3	9,4962	18,82%	9,4962	3,16539	404,91	0,000
Espesor (um)*Espesor (um)	1	6,5974	13,07%	7,1832	7,1832	918,86	0,000
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	2,8953	5,74%	2,8937	2,89371	370,16	0,000
Tiempo (H)*Tiempo (H)	1	0,0036	0,01%	0,0036	0,00355	0,45	<b>0,501</b>
Interacción de 2 factores	15	0,8279	1,64%	0,8279	0,0552	7,06	0,000
Espesor (um)*Temperatura (°C)	1	0,1399	0,28%	0,1399	0,13994	17,9	0,000
Espesor (um)*Tiempo (H)	1	0,0099	0,02%	0,0099	0,00986	1,26	<b>0,262</b>
Espesor (um)*Desplazamiento L (m)	4	0,0674	0,13%	0,0674	0,01686	2,16	<b>0,074</b>
Temperatura (°C)*Tiempo (H)	1	0,1912	0,38%	0,1912	0,19124	24,46	0,000
Temperatura (°C)*Desplazamiento L (m)	4	0,0851	0,17%	0,0851	0,02128	2,72	0,029
Tiempo (H)*Desplazamiento L (m)	4	0,3344	0,66%	0,3344	0,08359	10,69	0,000
Error	349	2,7283	5,41%	2,7283	0,00782		
Falta de ajuste	39	2,7258	5,40%	2,7258	0,06989	8556,69	0,000
Error puro	310	0,0025	0,01%	0,0025	0,00001		
<b>Total</b>	<b>374</b>	<b>50,4695</b>	<b>100,00%</b>				
RESUMEN DEL MODELO		DIAGRAMA DE PARETO					
<b>R<sup>2</sup></b>	94,59%						
<b>Raj<sup>2</sup></b>	94,21%						
<b>Error falta de ajuste</b>	5,40%						
<b>Error puro</b>	0,01%						
<b>Número de factores:</b>	3						
<b>Factores categórico:</b>	1						
<b>Replicas:</b>	5						
<b>Totales de corridas:</b>	375						
<b>Puntos central:</b>	75						
<b>ELABORADO POR</b>		<b>APROBADO POR</b>					
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho		Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas					

Al igual que el diseño de superficies de respuesta para determinar el punto óptimo de la mínima pérdida de volumen se procede a interpretar los resultados obtenidos de la tasa de desgaste.

En la Tabla 4.46, se muestra la calidad de ajuste del modelo es el adecuado debido a que se tiene el coeficiente de determinación de 94,21% siendo mayor al 70% sugerido como mínimo para fines de optimización, es decir el diseño de Box-Behnken es el indicado para este tipo de análisis, en el caso de que se obtenga el coeficiente de determinación ajustado  $R_{af}^2$  menor al 70% se debe cambiar la técnica de diseño de experimento.

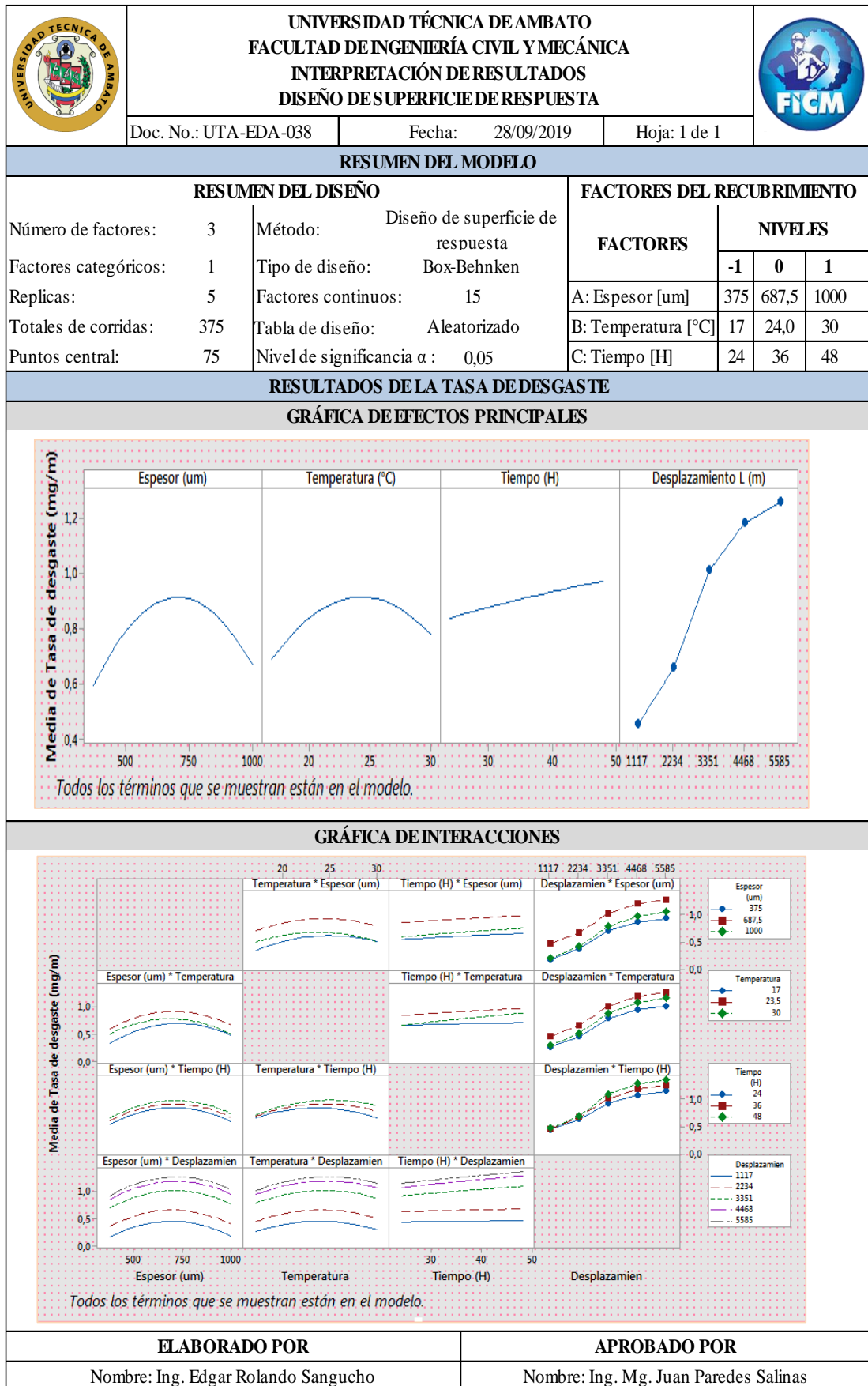
El análisis de varianza se puede apreciar que solo existe tres términos que son mayores al nivel de significancia 0,05, siendo estos el efecto cuadrático de tiempo\*tiempo con valores 0,501 y los efectos de interacción, espesor\*tiempo, espesor\*desplazamiento con valores 0,262 y 0,074 respectivamente, es decir no afectan significativamente al modelo, esto también se puede evidenciar en el diagrama de Pareto ya que están al lado izquierdo de la línea de 1,97 que es el valor crítico de T de Student que el software genera automáticamente.

Además se observa que todos los factores principales así como las cuadráticas espesor\*espesor, temperatura\* temperatura y las interacciones espesor\*temperatura, temperatura\*tiempo, temperatura\*desplazamiento, tiempo\*desplazamiento son significativos con un nivel de confianza del 95%, debido a que son menores al nivel de significancia (Valor-p) 0,05.

También se evidencia que los factores cuadráticos espesor\*espesor y temperatura\*temperatura son los más significativos. Por lo tanto los tres factores estudiados y sus interacciones cuadráticas tienen efecto sobre la tasa de desgaste del recubrimiento duro Belzona.

Los valores obtenidos tanto para la pérdida de volumen y la tasa de desgaste son cantidades similares debido a que son variables de salida que están íntimamente relacionados en función del desgaste del recubrimiento Belzona, es así que a mayor volumen perdido mayor es la tasa de desgaste.

**Tabla 4.47** Gráficas de efectos principales y de interacciones de la tasa de desgaste.



En la Tabla 4.47, se muestra las gráficas tanto de efectos principales como de interacciones de factores, las mismas que se interpretan como sigue a continuación:

En la gráfica de efectos principales muestran cuál de los factores son las que afectan directamente en la tasa de desgaste del recubrimiento y cual o cuales no tienen relevancia para efectos del presente estudio, es así que el factor espesor al cambiar de nivel de bajo a alto afecta en gran medida la tasa de desgaste, debido a que al llegar a un espesor de nivel medio 750um es el punto donde se tiene mayor tasa de desgaste, mientras que en los extremos en los niveles 375um y 1000um la tasa de desgaste es mínimo, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia, el efecto de variar el factor temperatura de nivel 17°C a 30°C genera variación en la tasa de desgaste del recubrimiento, igual con el espesor al llegar al nivel medio 25°C la tasa de desgaste del recubrimiento es considerable, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia, finalmente el factor tiempo al pasar de nivel bajo al alto 24 a 48 horas no afecta en gran medida el estadístico de la tasa de desgaste, por lo que se considera una dependencia casi nula.

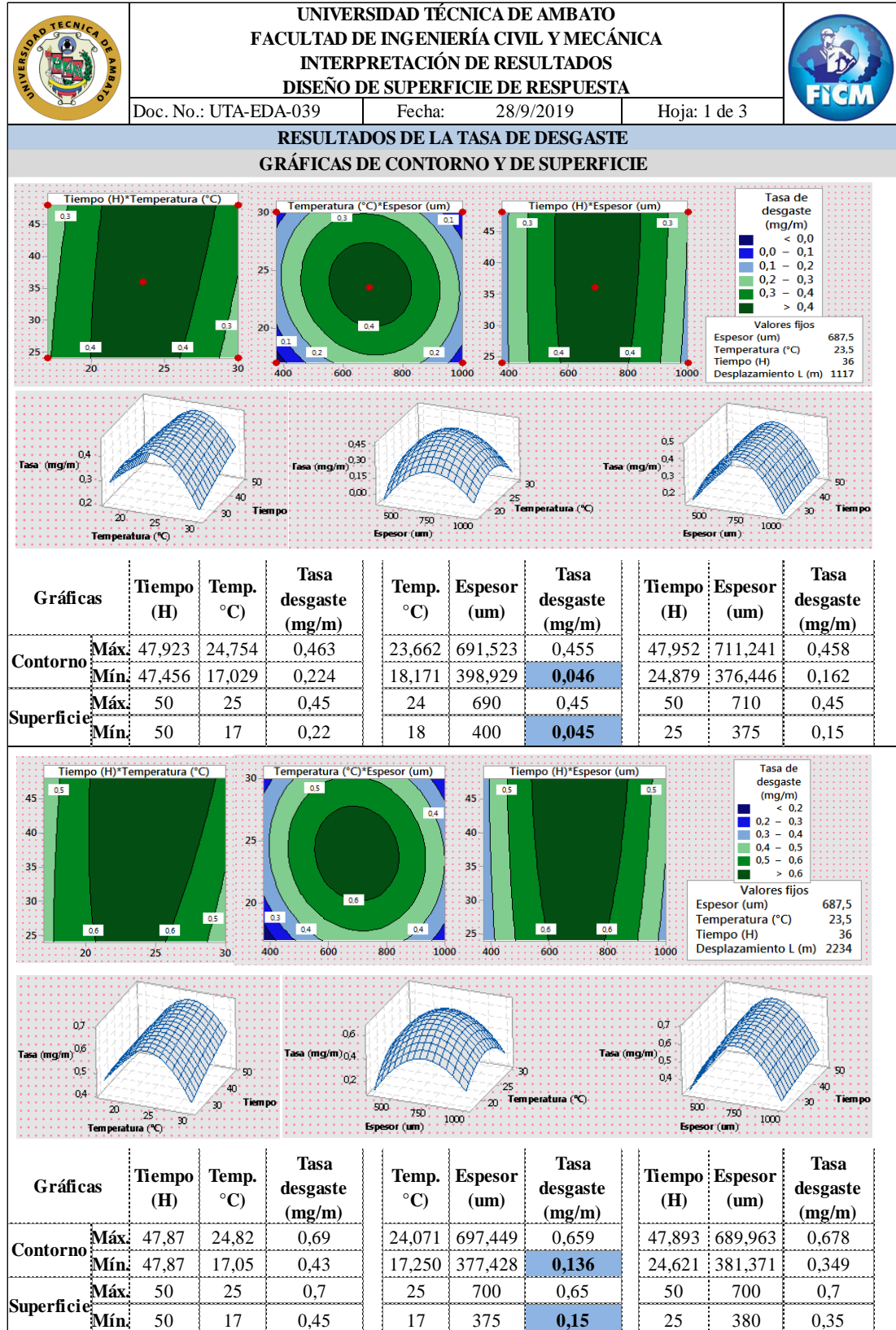
En esta gráfica se ha tomado el factor desplazamiento debido a que el modelo analiza el global de los datos para determinar cómo es la tasa de desgaste del recubrimiento al avanzar el desplazamiento lineal en el transcurso del ensayo de desgaste abrasivo propuesto por la Norma ASTM G105, a pesar que este factor es categórico influye mucho ya que en la gráfica se puede observar que mientras avanza el desplazamiento en función del tiempo la tasa de desgaste va aumentando y al llegar al desplazamiento máximo de 5585 la curva tiende a estabilizar, en este caso el desgaste abrasivo consumido la totalidad del recubrimiento Belzona y ha llegado al material base, para obtener esta curva depende de los tres factores principales.

Las gráficas de interacción de factores ayudan a interpretar que factores combinados son más significativos en la tasa de desgaste del recubrimiento, es así que las interacciones significativas están presentes entre el espesor\*temperatura, así también entre temperatura\*espesor, temperatura\*tiempo, desplazamiento\*tiempo, tiempo\*temperatura y en baja medida la interacción tiempo\*espesor. Las demás interacciones tales como; espesor\*temperatura, espesor\*desplazamiento, temperatura\*desplazamiento, tiempo\*desplazamiento, desplazamiento\*espesor y desplazamiento\*temperatura tienen un comportamiento paralelo o casi paralelo a lo



largo de las curvas que se ha formado, razón por la cual las interacciones no son significativas.

**Tabla 4.48** Gráficas de contorno y de superficie de la tasa de desgaste.





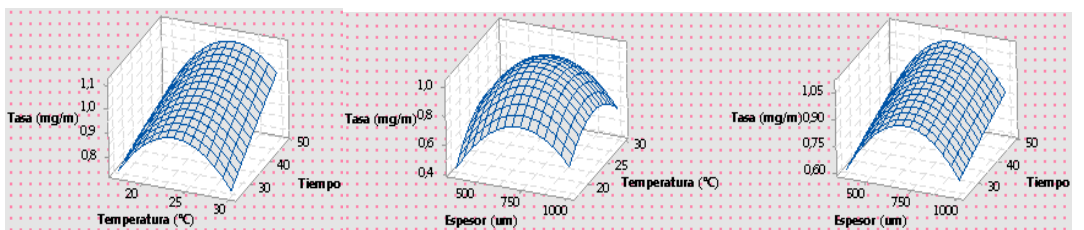
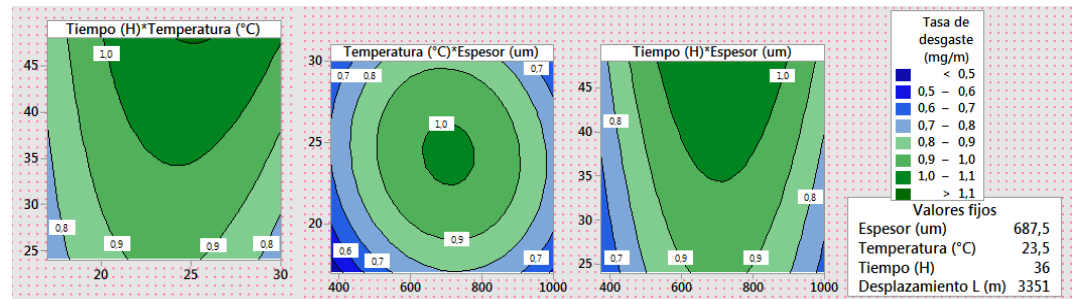
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**  
**DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA**



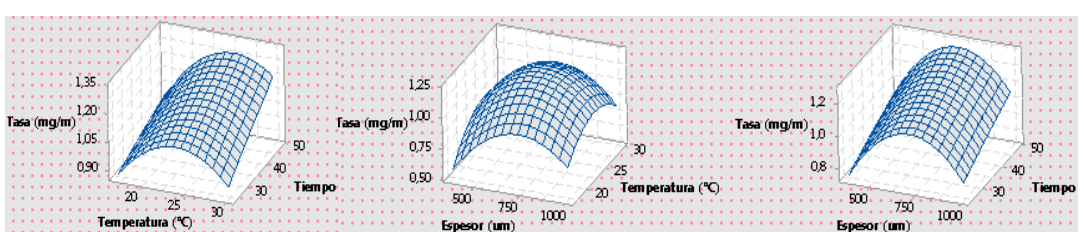
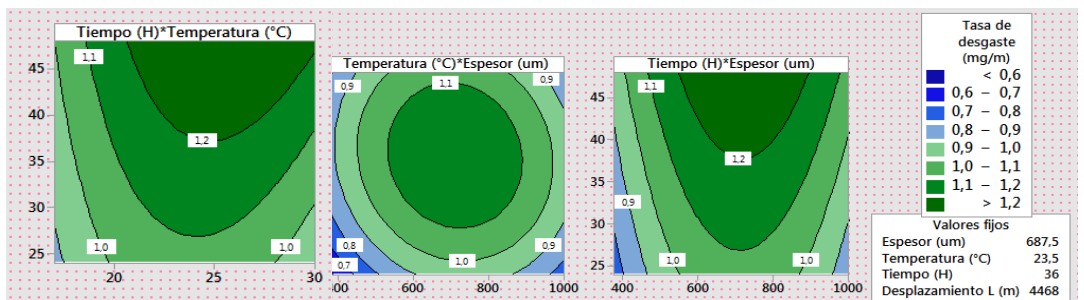
Doc. No.: UTA-EDA-035

Fecha: 25/09/2019

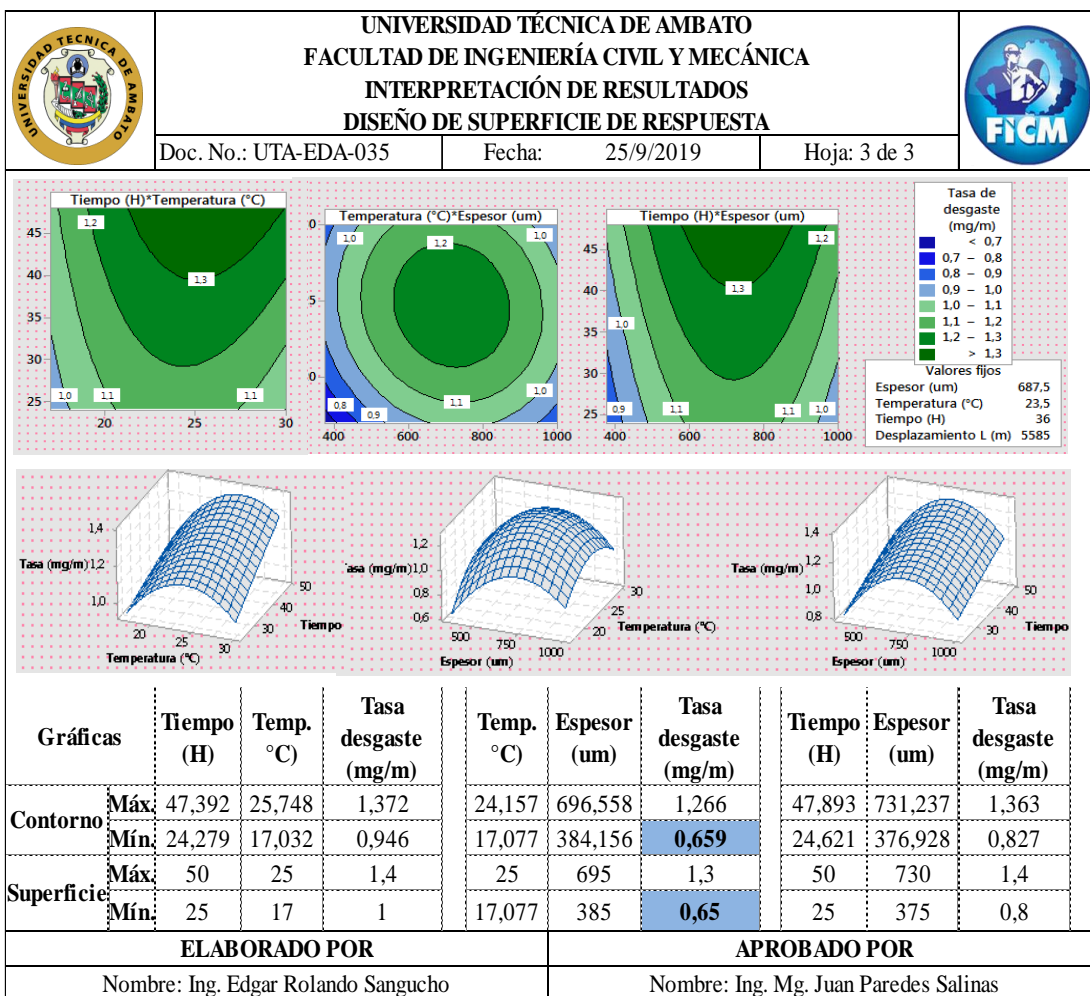
Hoja: 2 de 3



Gráficas		Tiempo (H)	Temp. (°C)	Tasa desgaste (mg/m)	Temp. (°C)	Espesor (um)	Tasa desgaste (mg/m)	Tiempo (H)	Espesor (um)	Tasa desgaste (mg/m)
	Máx.	47,711	24,816	1,1013	24,157	686,02	1,013	47,893	724,251	1,0937
	Mín.	24,12	17,05	0,7416	17,25	385,047	<b>0,4701</b>	24,302	377,562	0,6162
	Máx.	50	25	1,1	25	690	1	50	725	1
	Mín.	25	17	0,75	17	385	<b>0,5</b>	25	375	0,65



Gráficas		Tiempo (H)	Temp. (°C)	Tasa desgaste (mg/m)	Temp. (°C)	Espesor (um)	Tasa desgaste (mg/m)	Tiempo (H)	Espesor (um)	Tasa desgaste (mg/m)
	Máx.	47,711	25,114	1,2956	24,33	707,987	1,19	47,7342	712,188	1,283
	Mín.	24,279	17,032	0,8768	17,163	380,347	<b>0,5968</b>	24,142	380,738	0,7641
	Máx.	50	25	1,3	25	700	1,2	50	715	1,3
	Mín.	25	17	0,9	17	380	<b>0,6</b>	24	380	0,75



En la Tabla 4.48, se muestra las gráficas de contorno y de superficie para cada desplazamiento, de esta manera permite interpretar los resultados en función de avance del desplazamiento a lo largo del tiempo y ver en que par de combinaciones se tiene un mínimo de desgaste del recubrimiento Belzona, se tiene 5 gráficas de contorno y de superficie en las cuales se mantiene constante la variable salida que es la tasa de desgaste y se va variando las interacciones.

Las gráficas de contorno se han formado tres tipos, para una interacción tiempo\*temperatura tenemos el gráfico del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente o montaña, la gráfica de temperatura\*espesor es del tipo máximo, finalmente las gráficas tiempo\*espesor tenemos del tipo cordillera estacionaria, mientras avanza el desplazamiento va cambiando al tipo de cresta ascendente, además las áreas están pintadas por colores para una fácil visualización de los niveles máximos y mínimos, así también indica una tabla de colores con su respectivo rango de tasa de desgaste.

En cambio en las gráficas de superficie se puede ver de forma tridimensional la forma de la curva generada de un par de interacciones para la tasa de desgaste del recubrimiento y se puede seleccionar los niveles máximos y mínimos del desgaste del recubrimiento, estas gráficas están íntimamente relacionadas con los gráficos de contorno, para más de dos factores las superficies de respuesta no se pueden graficar completas de una sola vez debido a que se encuentran en cuatro dimensiones o más, pero se mantiene la misma idea la de dos factores.

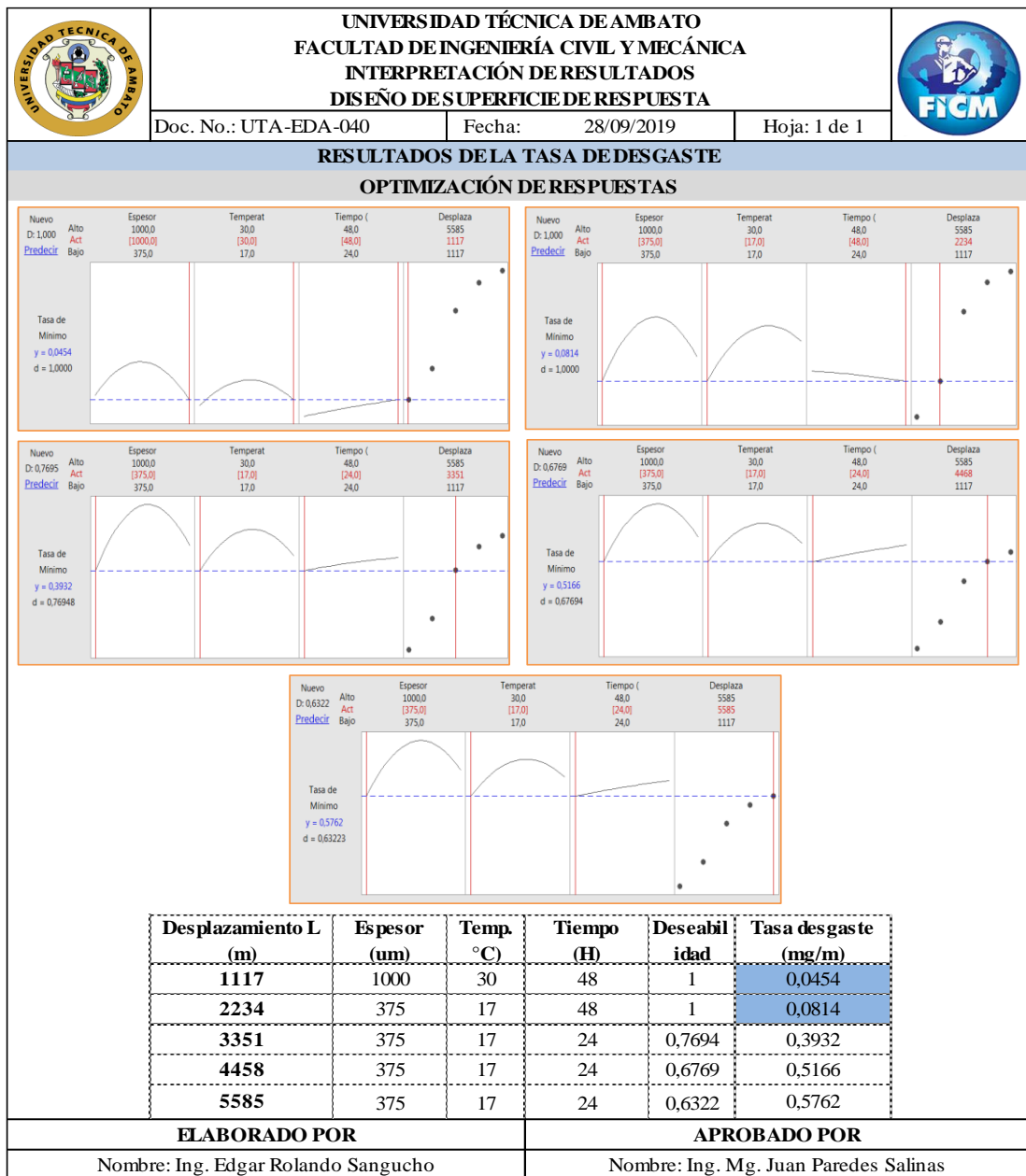
La investigación arrojó modelo de superficie de segundo orden que forma un hiperelipsoide o hiperboloide, sin embargo, para tres factores es posible graficar la superficie elaborando tres modelos con dos factores combinando con el tercero constante.

En las tablas que están bajo cada grupo de gráficas se muestra la máxima y la mínima tasa de desgaste del recubrimiento Belzona para cada desplazamiento, es así que se tiene un mínimo desgaste de recubrimiento de 0,045 mg/m para un desplazamiento de 1117 m combinando la temperatura de 18°C con un espesor de 400um, con esta combinación se tiene en todos los casos de desplazamientos un mínimo valor de tasa de desgaste.

Mientras que con las interacciones entre tiempo\*temperatura, tiempo\*espesor la tasa de desgaste del recubrimiento son más altas, por tal razón se puede decir que la combinación correcta es entre temperatura\*espesor, para una investigación de seleccionar la combinación correcta la mencionada anteriormente es la adecuada, pero la presente investigación establece determinar el punto óptimo interactuando los tres factores para ello se elaboró la Tabla 4.49, donde se obtiene datos al combinar los factores espesor, tiempo y temperatura.

Los datos que se obtuvieron para cada estado del desplazamiento se lo realizó con la ayuda del software, para las gráficas de contorno el software es preciso debido a que da valores mínimos y máximo, mientras que para las gráficas de superficie está supeditado a la lectura que se pueda dar como investigador, pero comparando con las dos gráficas se obtuvieron lecturas de tasa de desgaste muy similares.

**Tabla 4.49** Gráficas de optimización de respuesta de la tasa de desgaste.



La optimización de respuesta implica encontrar el punto óptimo que es la mejor combinación posible en toda la región de operabilidad, la misma que debe cumplir con el objetivo planteado en la presente investigación que es de obtener el mínimo de tasa de desgaste del recubrimiento, en la Tabla 4.49, se tiene los valores óptimos para cada factor y la mejor combinación para cada avance de los desplazamientos, es así que los valores correctos para el punto óptimo que permite tener una tasa de desgaste mínima del recubrimiento de 0,045 mg/m, corresponden a Espesor 100um, Temperatura 30°C y Tiempo 48H, estos valores son los adecuados debido a que la deseabilidad es 1, la teoría recomienda tomar valores de uno o los más cercanos a uno para la selección del

punto óptimo, de la Tabla 4.47 también revela que en los primeros dos ciclos de desplazamientos no existe mayor variación de la tasa de desgaste del recubrimiento, pero mientras avanza con el ciclo el desgaste es cada vez mayor, además el factor que más influye es el espesor ya que al variar los factores de temperatura y tiempo el sistema no va a sufrir cambios significativos, pero si hay variaciones en el espesor el desgaste del recubrimiento es muy significativo, lo antes mencionado se puede corroborar en el Anexo I, en el cual se observa como la deseabilidad va disminuyendo al variar el factor espesor.

### **4.3 Verificación de hipótesis**

El análisis estadístico del recubrimiento duro Belzona permitirá la optimización de los parámetros de aplicación reduciendo el desgaste abrasivo, para verificar esta hipótesis se proyecta ejecutar el análisis de varianza de los valores de deseabilidad global, ya que esta abarca todas las propiedades que se está estudiando en el presente trabajo de investigación, en el Anexo I se muestra la deseabilidad individual y la deseabilidad global de cada combinación, deseabilidad global tiene la capacidad de expresar de manera conjunta lo que se pretende conseguir en este caso determinar la mínima tasa de desgaste y la menor pérdida de volumen del recubrimiento.

#### **4.3.1 Análisis de la deseabilidad global DG**

Mediante este método se definirá una función en el espacio de factores que estima la deseabilidad global DG del producto en cada punto, es decir relacionar las variables de salida volumen perdido y tasa de desgaste, de esta forma convierte el problema de optimización multivariado en un problema de optimización univariado, porque hasta el momento se tiene la optimización de los factores para cada variable de salida obtenida en función de la deseabilidad individual, cabe indicar que ese valor de forma individual no indica si existe una clara diferencia estadística entre cada combinación de factores, por lo que aseverar de manera preferencial la existencia de una combinación que resalte del resto no quedaría estadísticamente comprobada.

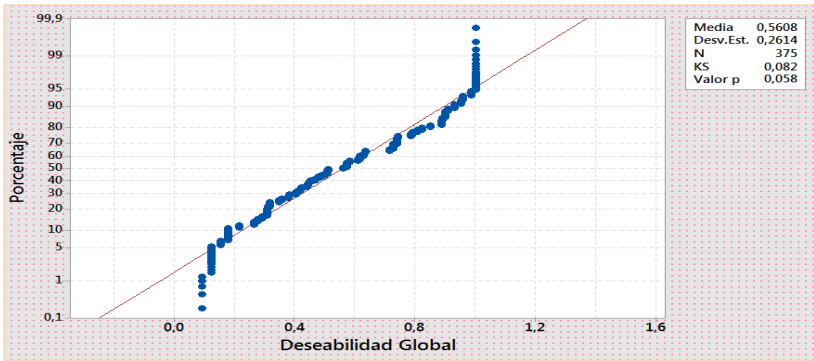
##### **4.3.1.1 Verificar supuestos**

Al igual que en la corrida de diseño de experimentos es importante realizar la verificación de los supuestos paramétricos, para el análisis de los datos de la deseabilidad global y de esta forma realizar el análisis de la varianza.

## Verificación de supuesto de normalidad

Para comprobar si cumple el supuesto de normalidad se empleó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, para verificar los datos de la deseabilidad global. En la Tabla 4.50 se puede observar que el estadístico de prueba y la significancia calculada para los datos originales cumplen con el supuesto de normalidad, ya que el valor- $p$  es de 0,058 que es mayor a 0,05, en tal virtud se acepta la hipótesis nula  $H_0$ .

**Tabla 4.50** Verificación de supuesto de normalidad de deseabilidad global.



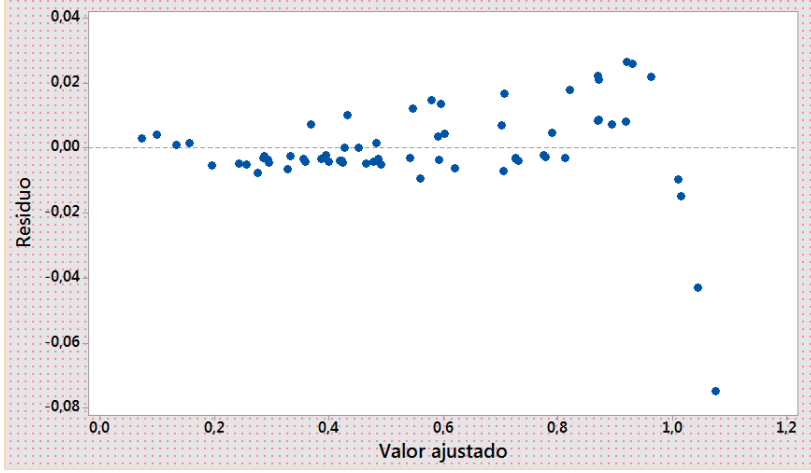
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL		Doc. No.: UTA-EDA-041		Fecha: 30/9/2019		Hoja: 1 de 1	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			<b>VARIABLE DE SALIDA</b>		<b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS</b>		
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho		<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad	
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho		<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante	
Lugar de ejecución:	Hidroagoyán				<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia	
<b>PROTOCOLO DE PRUEBA</b>							
<b>RESUMEN DEL DISEÑO</b>		<b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>			<b>DESPLAZAMIENTO (L) [m]</b>		
Número de factores:	3	<b>H<sub>0</sub>:</b>	La deseabilidad global		<input checked="" type="checkbox"/>	1117	
Factores categóricos:	1		tiene distribución normal.		<input checked="" type="checkbox"/>	2234	
Replicas:	5	<b>H<sub>1</sub>:</b>	La deseabilidad global no		<input checked="" type="checkbox"/>	3351	
Totales de corridas:	375		tiene distribución normal.		<input checked="" type="checkbox"/>	4468	
Puntos central:	75				<input checked="" type="checkbox"/>	5585	
<b>RESULTADOS</b>							
							
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Kolmogorov – Smirnov = 0,082					
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha = 0,05$		<b>Valor-p =</b> 0,058			
<b>DECISIÓN:</b>		Debido a que el valor-p es mayor que el nivel de significancia, no se rechaza la hipótesis nula.					
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Para un nivel de significancia del 5%, se llega a la conclusión que los datos de la deseabilidad global tienen distribución normal.					
<b>ELABORADO POR</b>				<b>APROBADO POR</b>			
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho				Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas			

## Verificación de supuesto de igualdad de varianza

Para comprobar si cumple el supuesto de igualdad de varianza se empleó la gráfica de los predichos contra los residuos, como se puede ver en la Tabla 4.51 los puntos en

esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal sin ningún patrón claro y contundente, por lo tanto cumple con el supuesto de igualdad de varianza.

**Tabla 4.51** Gráfica de Residuos vs Ajustes de la deseabilidad global.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b> <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL</b>			
Doc. No.: UTA-EDA-042		Fecha: 30/9/2019		Hoja: 1 de 1	
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán			<input type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	La deseabilidad global	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1		tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	2234
Replicas:	5	<b>H1:</b>	La deseabilidad global no	<input checked="" type="checkbox"/>	3351
Totales de corridas:	375		tiene igual varianza.	<input checked="" type="checkbox"/>	4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b>		Gráfico Residuo vs Valor ajustado			
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b>		$\alpha =$ N/A	<b>Valor-p=</b> N/A		
<b>DECISIÓN:</b>		N/A			
<b>CONCLUSIÓN:</b>		Se llega a la conclusión que los datos de la deseabilidad global tienen igual varianza.			
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		



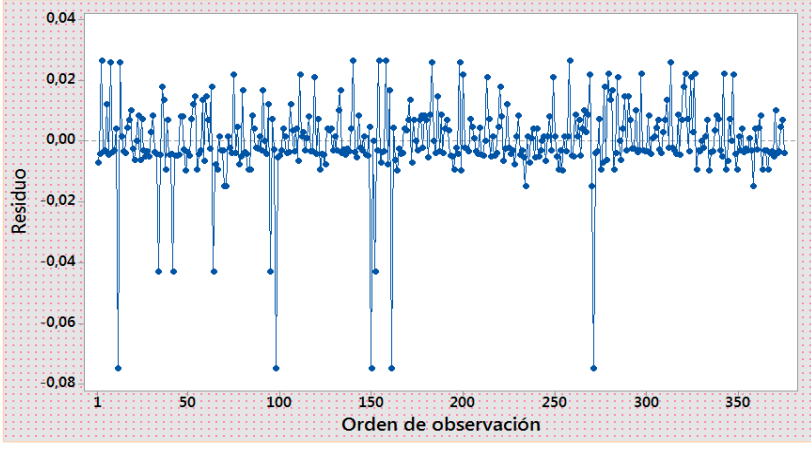
### Verificación de supuesto de independencia

Para comprobar si cumple el supuesto de independencia de los datos de la deseabilidad global, se realizó la gráfica de Residuos vs Orden de observación que se puede ver en



la Tabla 4.52, en la cual se puede observar que no existe ninguna tendencia o patrón definido que toma los datos, es decir que se puede evidencia un comportamiento aleatorio de los puntos dentro de la banda horizontal, por lo tanto se puede concluir que existe independencia de los residuos.



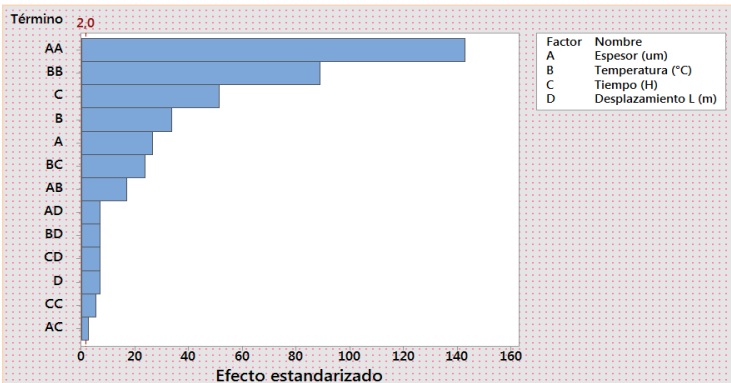
**Tabla 4.52** Gráfica de Residuos vs Orden de observación de la deseabilidad global.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL			
		Doc. No.: UTA-EDA-043	Fecha: 30/9/2019	Hoja: 1 de 1	
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		VARIABLE DE SALIDA		VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS	
Solicitado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Volumen perdido mm <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/>	Supuesto de normalidad
Realizado por:	Ing. Edgar Sangucho	<input checked="" type="checkbox"/>	Tasa de desgaste (mg/m)	<input type="checkbox"/>	Supuesto de varianza constante
Lugar de ejecución:	Hydroagoyán			<input checked="" type="checkbox"/>	Supuesto de independencia
PROTOCOLO DE PRUEBA					
RESUMEN DEL DISEÑO		VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS		DESPLAZAMIENTO (L) [m]	
Número de factores:	3	<b>H0:</b>	La deseabilidad global tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>	1117
Factores categóricos:	1		<b>H1:</b>	La deseabilidad global no tiene independencia de residuos	<input checked="" type="checkbox"/>
Replicas:	5	<input checked="" type="checkbox"/>			3351
Totales de corridas:	375	<input checked="" type="checkbox"/>			4468
Puntos central:	75			<input checked="" type="checkbox"/>	5585
RESULTADOS					
					
<b>ESTADÍSTICO DE PRUEBA:</b> Gráfico Residuo vs Orden de observación					
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA:</b> $\alpha = N/A$		<b>Valor-p =</b> N/A			
<b>DECISIÓN:</b> N/A					
<b>CONCLUSIÓN:</b> Se llega a la conclusión que los datos de la deseabilidad global tienen independencia de datos					
<b>ELABORADO POR</b>			<b>APROBADO POR</b>		
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho			Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas		

### Análisis de varianza de la deseabilidad global DG

El análisis de varianza se realiza de manera similar al diseño de Box-Behnken considerando la linealidad, el cuadrado y la interacción de los factores.

**Tabla 4.53** Análisis de varianza de la densidad global

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b> <b>ANÁLISIS DE VARIANZA DESEABILIDAD GLOBAL</b>					
		Doc. No.: UTA-EDA-044	Fecha: 30/9/2019	Hoja: 1 de 1			
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE VARIANZA</b>							
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor-p
Modelo	25	26,7139	99,75%	26,714	1,06856	5566,56	0,000
Lineal	7	21,189	79,12%	21,189	3,027	15768,95	0,000
Espesor (um)	1	0,1351	0,50%	0,1351	0,13511	703,86	0,000
Temperatura (°C)	1	0,2169	0,81%	0,2169	0,21693	1130,07	0,000
Tiempo (H)	1	0,5052	1,89%	0,5052	0,50518	2631,69	0,000
Desplazamiento L (m)	4	20,3318	75,92%	20,332	5,08295	26479,26	0,000
Cuadrado	3	5,1077	19,07%	5,1077	1,70258	8869,47	0,000
Espesor (um)*Espesor (um)	1	3,5917	13,41%	3,9125	3,91249	20381,82	0,000
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	1,5105	5,64%	1,5157	1,51568	7895,82	0,000
Tiempo (H)*Tiempo (H)	1	0,0056	0,02%	0,0056	0,00558	29,08	0,000
Interacción de 2 factores	15	0,4171	1,56%	0,4171	0,02781	144,86	0,000
Espesor (um)*Temperatura (°C)	1	0,0546	0,20%	0,0546	0,05463	284,58	0,000
Espesor (um)*Tiempo (H)	1	0,0013	0,00%	0,0013	0,00125	6,51	0,011
Espesor (um)*Desplazamiento L (m)	4	0,018	0,07%	0,018	0,00451	23,49	0,000
Temperatura (°C)*Tiempo (H)	1	0,1071	0,40%	0,1071	0,10705	557,69	0,000
Temperatura (°C)*Desplazamiento L (m)	4	0,0568	0,21%	0,0568	0,0142	73,98	0,000
Tiempo (H)*Desplazamiento L (m)	4	0,1793	0,67%	0,1793	0,04483	233,54	0,000
Error	349	0,067	0,25%	0,067	0,00019		
Falta de ajuste	39	0,067	0,25%	0,067	0,00172		
Error puro	310	0	0,00%	0	0		
<b>Total</b>	<b>374</b>	<b>26,7809</b>	<b>100,00%</b>				
<b>RESUMEN DEL MODELO</b>		<b>DIAGRAMA DE PARETO</b>					
<b>R<sup>2</sup></b>	99,75%						
<b>Raf<sup>2</sup></b>	99,73%						
<b>Error falta de ajuste</b>	0,25%						
<b>Error puro</b>	0,00%						
<b>Número de factores:</b>	3						
<b>Factores categórico:</b>	1						
<b>Replicas:</b>	5						
<b>Totales de corridas:</b>	375						
<b>Puntos central:</b>	75						
<b>ELABORADO POR</b>		<b>APROBADO POR</b>					
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho		Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas					

La hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y la alternativa (H<sub>a</sub>) a probar son:

H<sub>0</sub>: El análisis estadístico del recubrimiento duro Belzona permitirá la optimización de los parámetros de aplicación reduciendo el desgaste abrasivo.

Ha: El análisis estadístico del recubrimiento duro Belzona no permitirá la optimización de los parámetros de aplicación reduciendo el desgaste abrasivo

Con el análisis de la varianza a más de probar la hipótesis, es descubrir cuál de estos factores afecta significativamente y en qué porcentaje a la pérdida de volumen y la tasa de desgaste.

De la Tabla 4.53, se inició analizando la calidad de ajuste del modelo que es el adecuado debido a que se tiene el coeficiente de determinación ajustado de 99,73% siendo mayor al 70% sugerido como mínimo para fines de optimización, es decir que el método utilizado es el adecuado.



Además el valor-p es menor a 0,05 tanto en los casos de linealidad, cuadrado e interacciones de los factores, es decir que todos los factores son significativos para la obtención de un mínimo de pérdida de volumen y tasa de desgaste, lo anterior expuesto no deja claro si aceptar o rechazar la hipótesis nula para ello de la misma tabla se analiza el porcentaje de contribución de estos factores del modelo.

El factor que tiene una contribución casi nula del efecto cuadrático es el tiempo, la interacción entre el espesor\*tiempo y espesor\*desplazamiento, llegando a establecer que si es posible optimizar los factores especialmente con el tiempo, además de la gráfica de Pareto se puede decir que los efectos que más contribuye al modelo son los efectos cuadráticos espesor, temperatura, los efectos lineales tiempo, temperatura, espesor, también los efectos de interacción entre los factores temperatura\*tiempo, espesor\*temperatura, los demás efectos aportan en porcentajes mínimas, en tal virtud se acepta la hipótesis nula.

Adicional con el método de la deseabilidad global se obtuvo un grupo de combinaciones de factores que ofrecen al mismo tiempo una mínima pérdida de volumen y tasa de desgaste, como se puede ver en la Tabla 4.54 y en el Anexo H.

La Tabla 4.54, muestra el grupo de resultados que alcanzaron la mayor deseabilidad global, por lo tanto el punto óptimo para tener una mínima pérdida de volumen y un mínimo tasa de desgaste corresponden al combinar los factores de espesor del recubrimiento 375um, a una temperatura de secado de 17°C con un tiempo de curado de 36 horas.

**Tabla 4.54** Probetas de factores optimizados.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL								
		Doc. No.:	UTA-EDA-045	Fecha:	30/9/2019	Hoja:				
RESULTADOS										
Código	Desplazamiento L (m)	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad			
							Vol. Perdido	Tasa desgaste	Global DG	
P1-11736	1117	375	17	36	12,9045	0,0907	1	1	1	
P2-11736	1117	375	17	36	12,2293	0,0859	1	1	1	
P3-11736	1117	375	17	36	12,3057	0,0865	1	1	1	
P4-11736	1117	375	17	36	12,7389	0,0895	1	1	1	
P5-11736	1117	375	17	36	12,5096	0,0879	1	1	1	
P16-33036	1117	1000	30	36	24,6879	0,1735	1	1	1	
P17-33036	1117	1000	30	36	24,0000	0,1687	1	1	1	
P18-33036	1117	1000	30	36	24,2675	0,1705	1	1	1	
P19-33036	1117	1000	30	36	24,6242	0,1731	1	1	1	
P20-33036	1117	1000	30	36	23,4013	0,1645	1	1	1	
P31-12448	1117	375	23,5	48	27,4650	0,1930	0,9550	0,9451	0,9466	
P32-12448	1117	375	23,5	48	27,3121	0,1919	0,9550	0,9451	0,9466	
P33-12448	1117	375	23,5	48	27,3210	0,1920	0,9550	0,9451	0,9466	
P34-12448	1117	375	23,5	48	27,5287	0,1935	0,9550	0,9451	0,9466	
P35-12448	1117	375	23,5	48	27,1210	0,1906	0,9550	0,9451	0,9466	
<b>ELABORADO POR</b>						<b>APROBADO POR</b>				
Nombre: Ing. Edgar Rolando Sangucho						Nombre: Ing. Mg. Juan Paredes Salinas				

## CAPÍTULO V

### 5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo de investigación se empleó una metodología estadística basada en el diseño de experimentos de superficie de respuestas RSM mediante la técnica de Box-Behnken y la función deseabilidad para la selección del punto óptimo y la optimización de los factores de aplicación del recubrimiento duro Belzona siendo espesor, temperatura y tiempo, con dos variables de salida pérdida de volumen y tasa de desgaste, a partir de los resultados obtenidos de esta investigación se han llegado a las conclusiones siguientes:

1. Se determinó los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona en función del diseño de experimentos de Box-Behnken, ya que para aplicar este método se requiere mínimo de tres factores principales, en el diagrama de la caja negra a priori, se recolectó todos los factores que afecta al proceso de aplicación de la Belzona como son: tipo de recubrimiento, espesor del recubrimiento, preparación del recubrimiento, rugosidad superficial del acero, tiempo de curado, temperatura de secado, forma de aplicación, calidad del recubrimiento, calidad del material de la probeta, humedad de ambiente del ensayo, a estos factores se evaluó para seleccionar los de mayor incidencia dentro del desarrollo del diseño de experimentos, en función de este análisis los factores espesor, temperatura y tiempo son los principales a tomar en cuenta en el proceso del presente estudio para determinar su incidencia en la resistencia al desgaste abrasivo.
2. Se elaboró el diseño de experimentos de superficie de respuestas mediante la técnica de Box-Behnken, la misma que establece 15 casos con 5 réplicas, los datos de los ensayos se transformó mediante la técnica de Box-Cox para el cumplimiento de los supuestos de normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos, cumplido estos supuestos se realizó la corrida del diseño de experimentos en el software en la cual se obtuvo los factores de mayor influencia el espesor y la temperatura para una mínima pérdida de volumen del recubrimiento con un

coeficiente de determinación ajustado de 94,21%, con esto se concluye que el factor tiempo no tiene mayor influencia y bastaría con un tiempo de 36 horas de secado e ir combinando con los diferentes espesores y temperaturas. De igual forma para la variable de salida tasa de desgaste los factores que tienen mayor significancia son iguales a los obtenidos a la pérdida de volumen con un coeficiente de determinación ajustado de 94,21%.

3. Se realizó el ensayo de desgaste abrasivo en un medio acuoso mediante la norma ASTM G105, con estos datos se calculó la tasa de desgaste y la pérdida de volumen del recubrimiento duro Belzona para las 75 probetas y para cada avance del desplazamiento lineal como se puede ver en la Tabla 4.14 y el Anexo H.
4. Se determinó el punto óptimo mediante la optimización de respuesta que implica encontrar la mejor combinación posible en toda la región de operabilidad, la misma que debe cumplir con el objetivo planteado en la presente investigación, los valores correctos para el punto óptimo que permite tener una pérdida mínima del volumen del recubrimiento es de  $9,596\text{m}^3$ , corresponden a Espesor 375um, Temperatura  $30^{\circ}\text{C}$  y Tiempo 48H, estos valores son los adecuados debido a que la deseabilidad es 1, la teoría recomienda tomar valores de uno o los más cercanos a uno 1, para la selección del punto óptimo, también revela que en los primeros dos ciclos de desplazamientos no existe mayor pérdida del recubrimiento, pero mientras avanza con el ciclo el desgaste es cada vez mayor, además el factor que más influye es el espesor ya que al variar los factores de temperatura y tiempo el sistema no va a sufrir cambios significativos, pero si hay variaciones en el espesor la pérdida del recubrimiento es muy significativo debido a que la deseabilidad va disminuyendo al variar el factor espesor.
5. Al igual que el ítem anterior para obtener el mínimo de tasa de desgaste del recubrimiento, se tiene los valores óptimos para cada factor y la mejor combinación para cada avance de los desplazamientos, es así que los valores correctos para el punto óptimo que permite tener una tasa de desgaste mínima del recubrimiento es de  $0,045\text{mg/m}$ , que corresponde a Espesor 100um, Temperatura  $30^{\circ}\text{C}$  y Tiempo 48H, estos valores son los adecuados debido a que la deseabilidad es 1, también revela que en los primeros dos ciclos de desplazamientos no existe mayor variación de la tasa de desgaste del recubrimiento, pero mientras avanza con

el ciclo el desgaste es cada vez mayor, además el factor que más influye es el espesor ya que al variar los factores de temperatura y tiempo el sistema no va a sufrir cambios significativos, pero si hay variaciones en el espesor el desgaste del recubrimiento es muy significativo.

6. Las gráficas tanto de efectos principales como de interacciones de los factores, indica cuál de los elementos son las que afectan directamente en la pérdida de volumen del recubrimiento y cual o cuales no tienen relevancia para efectos del presente estudio, el factor espesor al cambiar de nivel bajo a alto afecta en gran medida la pérdida de volumen al llegar a un espesor de nivel medio 750um es el punto donde se tiene mayor pérdida de volumen, mientras que en los extremos en los niveles 375um y 1000um la pérdida de volumen es mínimo, por lo que se considera que es un factor de alta dependencia, el efecto de variar el factor temperatura de nivel 17°C a 30°C genera variación de pérdida de volumen del recubrimiento al llegar al nivel medio 25°C la pérdida de volumen del recubrimiento es considerable, por lo que es un factor de alta dependencia, finalmente el factor tiempo al pasar de nivel bajo al alto 24 a 48 horas no afecta en gran medida el estadístico de la pérdida de volumen, por lo que se considera una dependencia casi nula.
7. De forma similar al ítem anterior las gráficas tanto de efectos principales como de interacciones de factores, determinó cuál de los elementos son las que afectan directamente en la tasa de desgaste del recubrimiento y cual o cuales no tienen relevancia para efectos del presente estudio, es así que el factor espesor al cambiar de nivel bajo a alto afecta en gran medida al llegar a un espesor de nivel medio 750um es el punto donde se tiene mayor tasa de desgaste, mientras que en los extremos en los niveles 375um y 1000um la tasa de desgaste es mínimo, por lo que se consideró que es un factor de alta dependencia, el efecto de variar el factor temperatura de nivel 17°C a 30°C genera variación en la tasa de desgaste del recubrimiento en el nivel medio 25°C la tasa de desgaste es considerable, por lo que es un factor de alta dependencia, finalmente el factor tiempo al pasar de nivel bajo al alto 24 a 48 horas no afecta en gran medida el estadístico de la tasa de desgaste, por lo que se considera una dependencia casi nula.

## 5.2 Recomendaciones

1. Para aplicar la metodología del diseño de experimentos (RSM), es importante que el investigador conozca el contexto de los datos a obtener ya que es muy necesario que los datos tengan el mínimo error debido a que al aplicar la técnica del (RSM) los datos deben cumplir estrictamente los tres supuestos como son de normalidad, igualdad de varianza e independencia de datos, caso contrario se deberá ejecutar un tratamiento de los datos o en caso que no sea posible se deberá repetir los ensayos.
2. El diseño de Box-Behnken es el apropiado para optimizar los factores a estudiar, pero es muy importante tener un adecuado número de réplicas para poder entender de mejor manera la variabilidad de los datos, siempre y cuando teniendo en cuenta que mientras más datos se maneje el cumplimiento de los supuestos es más complicado.
3. Es importante realizar el ensayo de desgaste abrasivo utilizando el medio acuoso con las características similares al entorno en el cual se encuentran operando las piezas que son efecto de estudio.
4. Al realizar la transformación de los datos para que cumplan los tres supuestos se recomienda utilizar el factor lambda  $\lambda$  que el software arroja por defecto, pero queda a criterio del investigador el valor que desee utilizar siempre y cuando esté dentro de los rangos permitidos y no se desvíe de los objetivos planteados a alcanzar.



## **CAPÍTULO VI**

### **PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS DE LA CENTRAL AGOYÁN MEDIANTE EL RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y LA EVALUACIÓN DEL DESGASTE ABRASIVO MEDIANTE LA NORMA ASTM G105**

#### **6.1 Datos informativos**

La turbina Francis está compuesto por rodete que es el elemento importante dentro de la generación hidráulica, debido a que es la parte móvil que transforma la energía cinética y potencial del agua en trabajo, además consta de una serie de álabes directrices que se encargan de regular el paso del agua en función de la potencia eléctrica que solicite el sistema.

Los álabes directrices son elementos hidromecánicos altamente exigidos, debido a que regulan el paso del caudal de agua razón por la cual están expuestos a problemas de desgaste abrasivo, agrietamiento en regiones de altos esfuerzos, esto ha llevado al desarrollo tecnológico para la búsqueda de materiales adecuados para su fabricación siempre pensando en obtener una alta resistencia a todo tipo de desgaste, el presente trabajo a evaluado un recubrimiento rudo llamado Belzona como una alternativa de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil de los álabes antes de que esta vayan a los talleres para la reparación total o parcial.

En el estudio de la optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona por diseño de experimentos por el método de superficie de respuesta RSM bajo la técnica de Box-Behnken, se obtuvo como resultado que la mejor combinación para tener una alta resistencia al desgaste abrasivo resultó al combinar 375um de espesor, a 17°C de temperatura y 36 horas de tiempo de curado, razón por la cual se ha tomado la decisión de aplicar en los álabes esta combinación como una alternativa de mantenimiento preventivo y así alargar la vida de estos elementos.

El presente estudio del recubrimiento duro Belzona para reducir el desgaste abrasivo constituye un aporte importante dentro del área de mantenimiento mecánico de la Unidad de Negocios Hidroagoyán, debido a que se ha determinado parámetros necesarios de preparación de la Belzona sobre el desgaste abrasivo, determinando la influencia de la pérdida de volumen de dicho recubrimiento, constituyendo además una base fundamental para que Hidroagoyán tenga un estudio específico de aplicación del recubrimiento duro para los álabes directrices.

## **6.2 Antecedentes de la propuesta**

El fenómeno de desgaste abrasivo de los álabes de turbinas Francis representa costos muy elevados todos los años. Actualmente la unidad de generación ha sufrido desgastes prematuros por la calidad del agua para lo cual se requiere acciones de mantenimiento preventivo de los álabes urgentes lo que implica adquirir piezas nuevas para reemplazar con paradas de tiempos entre 2 a 3 meses, para posterior recuperar los álabes desgastados en los talleres, afortunadamente mediante el presente estudio las piezas desgastadas pueden ser recuperadas y protegidas contra los fenómenos de desgaste futuros mediante una tecnología de reconstrucción anti desgaste con recubrimiento duro Belzona, obteniendo mejores resultados con la combinación de factores de aplicación de 375um de espesor, a 17°C de temperatura y 36 horas de tiempo de curado.

El mantenimiento y la reparación por soldadura constituyen una actividad altamente técnica y especializada que debe ser llevada a cabo por expertos que empleen los procesos de alta tecnología. Mientras que al utilizar la metodología de mantenimiento preventivo mediante la aplicación de recubrimientos duros constituye una actividad relativamente fácil sin necesidad de tener equipos y herramientas sofisticados.

De acuerdo a la literatura revisada se determina que existen pocas investigaciones que se enfocan al desgaste abrasivo en un medio acuoso del recubrimiento duro Belzona, razón por la cual es un tema de gran interés para la industria.

## **6.3 Justificación**

En la operación de una turbina Francis los álabes directrices están en contacto directo con el agua las mismas que se encuentran expuestas directamente al desgaste abrasivo

que al pasar el tiempo puede producir agrietamiento, por tal razón son necesarios reemplazar con el objetivo de mantener a la unidad de generación en condiciones normales de operación, pero el reemplazo de los álabes implica un alto costo para la empresa debido a que se debe desmontar toda la turbina para llevar a los talleres y recuperar por soldadura, este método solo permite ejecutar por tres ocasiones según estudios realizados.

Según lo expuesto anteriormente la propuesta es de gran interés debido a que se incorporará al mantenimiento preventivo la recuperación en sitio de los álabes con la aplicación del recubrimiento en lugares que sufre mayor desgaste abrasivo, por tal razón es importante estudiar el comportamiento de la Belzona cuando se encuentran sometidos a desgaste abrasivo.

## **6.4 Objetivos**

### **6.4.1 Objetivo general**

Realizar un procedimiento para el mantenimiento preventivo de álabes de turbinas Francis de la central Agoyán mediante el recubrimiento duro Belzona y la evaluación del desgaste abrasivo mediante la norma ASTM G105.

### **6.4.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la velocidad de desgaste del recubrimiento duro Belzona según los parámetros de optimización bajo la Norma ASTM G105.
2. Identificar y describir las etapas que intervienen en el proceso del mantenimiento preventivo de álabes directrices de turbinas Francis que incluyan la optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona.
3. Planificar el mantenimiento preventivo mediante la aplicación del recubrimiento duro Belzona de los álabes directrices de turbinas Francis en zonas de mayor desgaste.
4. Incorporar los resultados de la optimización de los parámetros de aplicación del recubrimiento duro Belzona al procedimiento de recuperación de álabes directrices de turbinas Francis de la central Agoyán.

## **6.5 Análisis de factibilidad**

El presente trabajo de investigación es totalmente factible en vista que se sustenta en la investigación de campo realizada y en los resultados obtenidos mediante el estudio del experimental de superficie de respuestas, el cual se desarrolló con una perspectiva apegada al proceso del mantenimiento preventivo de recuperación de los álabes directrices utilizando las herramientas y equipos para las condiciones del lugar en el cual se va a ejecutar la reparación.

También para la aplicación del recubrimiento, los materiales, equipos y herramientas que se va a utilizar para el desarrollo de la propuesta se pueden conseguir con facilidad en el mercado, además los instrumentos necesarios para la medición se encuentran en las instalaciones de la central Agoyán.

### **6.5.1 Análisis económico**

Con la finalidad de conceder información completa sobre la evaluación del desgaste abrasivo del recubrimiento duro Belzona, es importante efectuar el análisis económico del estudio, para de esa forma analizar todos los costos que se relacionan de forma directa con el desarrollo del presente trabajo de investigación, pero en términos generales existe la viabilidad económica, debido a que se cuenta con el financiamiento por parte del autor de este proyecto.

### **6.5.2 Análisis tecnológico**

Para la ejecución del procedimiento de recuperación de los álabes directrices mediante el recubrimiento duro Belzona y la evaluación del desgaste abrasivo bajo Norma ASTM G105, es factible técnicamente en vista que se dispone de la información bibliográfica de normativas aplicables, así también como del equipamiento necesario para los ensayos en los laboratorios de la FCIM de la Universidad Técnica de Ambato, personal y conocimiento para llevar a cabo el procedimiento propuesto.



## **6.6 Fundamentación**

La recuperación por recubrimiento duro de los álabes directrices se fundamenta en las especificaciones técnicas de la Belzona 1321, los procedimientos se realizó en base a la revisión bibliográfica del marco teórico, los resultados obtenidos del análisis e interpretación de los resultados estadísticos de superficie de respuesta como son el

tamaño de la muestra, la probabilidad, la desviación estándar, la deseabilidad individual y global de la tasa de desgaste y la pérdida de volumen, para los ensayos de desgaste abrasivo de la norma ASTM G105, en función de esto se comprobaron los factores que tienen mayor dependencia y afectan significativamente al modelo.

De acuerdo a estos parámetros de aplicación y con el análisis estadístico de la selección del punto óptimo mediante la deseabilidad global se establece un procedimiento de recuperación de los álabes directrices en lugares que presenten mayor desgaste abrasivo. A continuación, se presentan el procedimiento realizado para el mantenimiento preventivo de álabes de turbinas Francis de la central Agoyán mediante el recubrimiento duro Belzona y la evaluación del desgaste abrasivo mediante la norma ASTM G105.

## 6.7 Metodología

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE</b>	
<b>Doc. No.:</b> UTA-PRO-001	<b>Doc. Tipo:</b> Procedimiento	<b>Fecha:</b> 03/10/2019
<b>Elaborado por:</b> Ing. Edgar Rolando Sangucho		<b>Aprobado por:</b> Ing. Mg. Juan Paredes Salinas
<b>PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS DE LA CENTRAL AGOYÁN MEDIANTE EL RECUBRIMIENTO DURO BELZONA Y LA EVALUACIÓN DEL DESGASTE ABRASIVO MEDIANTE LA NORMA ASTM G105</b>		
<p><b>1. Objetivo</b></p> <p>Establecer la metodología y describir las actividades y requerimientos para el mantenimiento preventivo de recuperación en sitio de álabes directrices de turbinas Francis mediante recubrimiento duro Belzona, de conformidad con los estándares aplicables de manera de reducir el desgaste abrasivo y garantizar la vida útil evitando el deterioro estructural de estos elementos.</p> <p><b>2. Alcance</b></p> <p>El siguiente procedimiento es de aplicación general y obligatoria, en forma global o parcial para todo el personal y trabajos que se ejecuten en la recuperación por</p>		

recubrimiento duro de álabes de turbinas hidráulicas Francis en la central Agoyán. También el método de ensayo permite colaborar con el proceso de recuperación de otras partes de la turbina que se encuentren expuestos a desgaste abrasivo.

### **3. Estándares y normas**

El presente procedimiento debe cumplir con los estándares y normativas siguientes:

- a) ASTM A743/A743M. - Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application.
- b) ASTM D4060.- Norma de propiedades de resistencia a la abrasión por roce y mojado de la Belzona.
- c) FN10026.- Especificaciones técnicas Bezona 1321.
- d) ASTM G105.- Ensayo para medir la abrasión por medio de arena húmeda con rueda de caucho

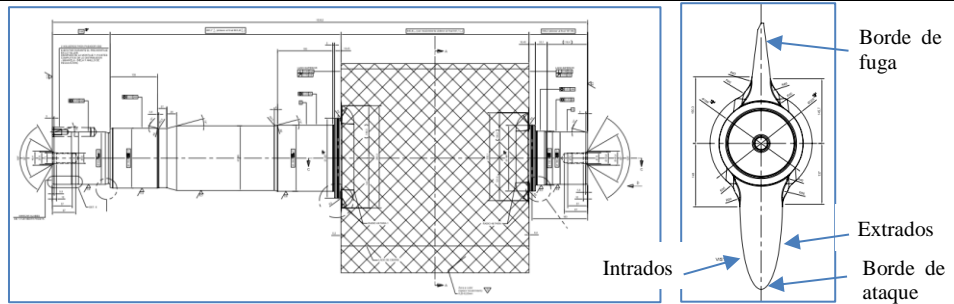
### **4. Generalidades**

Los fenómenos determinantes para el deterioro de los álabes directrices y mecanismos de falla principales son el desgaste abrasivo al no ejecutar un mantenimiento preventivo con el paso del tiempo pueden ocasionar erosión, desgaste por cavitación, fatiga y corrosión-fatiga.

La recuperación de los álabes directrices de turbinas hidráulicas Francis consiste en la aplicación de un material duro o conocido generarme como un recubrimiento en este caso Belzona con el fin de reponer el material perdido en las zonas que sufren desgaste, restaurar las dimensiones de diseño, superficies para evitar cavitaciones y la integridad estructural, recuperando así la vida útil de estos elementos.

### **5. Definición y nomenclatura**

La nomenclatura y descripción de las zonas que conforman un álabe directriz se detallan en la Figura 6.1y las características se muestra en la Tabla 6.1, además las partes constitucionales se especifican en el Anexo J.



**Figura 6.1** Partes del álabe directriz.

**Tabla 6.1** Características del álabe directriz.

Nombre	Descripción
Manca	Andritz
Lugar de fabricación	Brasil
Material	Acero ASTM A743 grado CA6NM
Peso total	351 Kg
Altura	1538,5 mm
Ancho	600 mm
Altura de la paleta	540,6 mm

## 6. Requerimientos técnicos

- Planos de diseño.
- Planos de montaje.
- Reporte histórico de reparaciones anteriores.
- Hojas técnicas y de seguridad del recubrimiento.

## 7. Procedimiento

El mantenimiento preventivo de un álabe directriz de la turbina Francis inicia con una inspección de campo o través de planos y hojas de registro de averías, la evaluación inicial y análisis de factibilidad se ejecuta como se describe a continuación:

- Inspección visual para cuantificar el desgaste, identificar fisuras y defectos.

- b) Levantamiento dimensional del álabe.
- c) Evaluar el estado del álabe.
- d) Determinar el área del desgaste.
- e) Verificar la factibilidad de recuperación del desgaste.
- f) Evaluar la cantidad de material Belzona que se requiere.

Las etapas para ejecutar el mantenimiento preventivo del álabe directriz mediante el recubrimiento se detalla a continuación:

### **7.1 Inspección de campo**

Se procede con una inspección y control minucioso de campo para evaluar el estado inicial del álabe a reparar mediante la aplicación de técnicas de metrología y ensayos no destructivos, de esta forma evaluar y caracterizar el desgaste.

#### **7.1.1 Actividades**

- a) Limpieza de toda la superficie de los álabes.
- b) Aplicar los bloqueos necesarios de la unidad de generación antes de ingresar al caracol para la inspección, la posición de los álabes debe estar en posición abierta.
- c) Marcar las zonas donde presentes defectos.
- d) Medir la profundidad y el área del desgaste abrasivo.
- e) Evaluar e identificar defectos no superficiales según la norma CCH 70-4, mediante inspección por ensayos no destructivos de tintas penetrantes, ultrasonido.

#### **7.1.2 Materiales**

- a) Lámparas.
- b) Calibrador vernier.
- c) Regla de precisión.
- d) Equipo de ultrasonido.



- e) Kit de líquidos penetrantes.
- f) Cámara fotográfica y tabla de apuntes.
- g) Desengrasante.
- h) Tela liencillo.

### 7.1.3 Personal

- a) Ingeniero de control de calidad.
- b) Supervisor mecánico.
- c) Técnico mecánico.



**Figura 6.2** Inspección de campo de los álabes directrices.

## 7.3 Pulido o lijado

Mediante éste proceso se eliminan las partes más ásperas y los filos productos del desgaste, cavitación o erosión de la pieza con el fin de tener una superficie regular, a la vez que se deja la superficie rugosa para la aplicación del recubrimiento.

### 7.1.1 Actividades

- a) En área que se tenga espacio pulir con la amoladora, caso contrario utilizar lija o lima.

- b) Medir la rugosidad que debe ser como minio 75um.
- c) Limpiar restos de material abrasivo.

### **7.1.2 Materiales**

- a) Amoladora angular.
- b) Disco abrasivo.
- c) Lija 80.
- d) Lima cuadrada.
- e) Tela liencillo.
- f) Desengrasante.
- g) Equipo de protección personal.

### **7.1.3 Personal**

- a) Técnico mecánico.
- b) Pulidor.
- c) Supervisor mecánico.



**Figura 6.3** Pulido y lijado para la aplicación de la Belzona.

### **7.4 Preparación y aplicación del recubrimiento**

Para prepara el recubrimiento es importante seguir los parámetros y lineamentos de la hoja técnica y de seguridad del Anexo A, para evitar que se desperdicie el material es muy importante evaluar el área que se necesita cubrir.

### **7.1.1 Actividades**

- a) Para preparar el recubrimiento para pequeñas cantidades se debe mezclar una cantidad pequeña de Belzona 1321, utilizando 4 partes de base y una parte de endurecedor en volumen, 11 partes de base y una parte de endurecedor en peso.
- b) Prepara el ítem anterior en un recipiente de caucho o de plástico.
- c) Limpiar la superficie del álabe con la Belzona 9111 o cualquier otro solvente.
- d) Aplicar la Belzona 1321 directamente sobre la superficie preparada con un pincel cerda dura o con el aplicador plástico provisto hasta alcanzar el rango de cobertura recomendado para la primera capa.
- e) La segunda y la tercera capa se debe aplicar en cuanto sea posible, lo recomendable no se debe dejar más de 6 horas antes de aplicar la segunda capa independientemente de la temperatura, si esto ocurrió se debe aplicar un pulido para volver la superficie áspera antes de comenzar la aplicación.
- f) Colocar las lámparas para alcanzar la temperatura deseada.
- g) Medir el espesor del recubrimiento, si esta en exceso se debe retirar caso contrario aplicar como se explicó en ítems anteriores.

### **7.1.2 Materiales**

- a) Kit de Belzona 1321.
- b) Limpiador Belzona 9111.
- c) Tela liencillo.
- d) Desengrasante.
- e) Equipo de protección personal.
- f) Pincel de cerda dura.
- g) Aplicador plástico.
- h) Rugosímetro.
- i) Equipo de medición de espesores.

j) Lámparas.

### 7.1.3 Personal

- a) Técnico mecánico.
- b) Pulidor.
- c) Supervisor mecánico.



**Figura 6.4** Aplicación del recubrimiento en el álabe directriz.

## 7.8 Inspección y control de calidad

Con el fin de detectar alguna irregularidad en el proceso de recuperación del álabe y la validación del producto es importante la inspección y control final para evaluar la calidad del área reconstruida, mediante la aplicación de técnicas de metrología.

### 7.1.1 Actividades

- a) Inspeccionar visualmente y verificar la calidad de la recuperación según criterios de la normas CCH 70-4.
- b) Control de espesores y dimensional completo.
- c) Revisión física final de la calidad de la adherencia, para esto tome un objeto metálico y golpee la superficie de Belzona 1321, cualquier punto parcialmente

solidificado o blando dará un sonido apagado en relación con el tono metálico que produce la Belzona solidificado.

- d) Toma fotográfica.

### **7.1.2 Materiales**

- a) Calibrador vernier.
- b) Regla de precisión.
- c) Cámara fotográfica y tabla de apuntes.

### **7.1.3 Personal**

- a) Ingeniero de control de calidad.
- b) Supervisor mecánico.
- c) Técnico mecánico.



**Figura 6.5** Inspección final.

## **8. Documentos de referencia**

- a) Memoria de cálculo del Álabes Directriz, CELEC EP Hidroagoyán, 2014. Cálculo del álabes directriz análisis FEM.
- b) Hydroturbines – Design and Construction – N. Kovalev, 1965.
- c) Hydraulic Machine – A. J. Macintyre, 1983.

## **6.8 Administración**

A continuación se presenta un análisis económico del presente trabajo de investigación, en la cual se desglosa detalladamente todos los recursos utilizados.

**Tabla 6.2** Análisis de costos del proyecto de investigación.

No.	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
<b>MATERIALES</b>					
1	Acero ASTM A743 grado CA6-NM. Para probetas	30	kg	20	600
2	Belzona 1321	1	U	400	400
3	Belzona 9111	1	U	100	100
4	Inserto para fresa tipo AMPT de 11, AMPT11T3PC5300	2	U	20	40
5	Disco de zirconio, 4 1/2" x 5/8", grano 80	4	U	4	16
6	Disco de desbaste 4 1/2"x1/4"x7/8", grano 30	2	U	4	8
7	Lija No. 250/80	10	U	1	10
8	Lima para acero cuadrado 8 ingco	2	U	3	6
9	Calibrador vernier	1	U	25	25
10	Regla de precisión	1	U	20	20
11	Flexómetro	1	U	5	5
12	Equipo de protección personal	1	Juego	20	20
13	Tela liencillo	5	m2	10	50
14	Solvente	2	lts	8	16
15	Pincel de cerda dura	2	U	3	6
16	Aplicador plástico	1	U	12	12
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>					<b>\$ 1.334,00</b>
<b>SERVICIO</b>					
17	Medición de rugosidad	75	U	2,5	187,5
18	Medición de espesores	75	U	2,5	187,5
19	Ensayo de desgaste abrasivo ASTM G105	75	U	10	750
<b>SUBTOTAL SERVICIO</b>					<b>\$ 1.125,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
20	Mecánico tornero/fresador	40	h	5	200
21	Técnico mecánico	30	h	4	120
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					<b>\$ 320,00</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
22	Material de oficina	1	-	250	250
23	Transporte	1	-	70	70
24	Internet	4	-	20	80
25	Empastado	3	U	20	60
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>					<b>\$ 460,00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 3.239,00</b>

## 6.9 Previsión de la evaluación

Finalizado el presente trabajo de investigación se pudo determinar la mejor combinación de los factores de aplicación del recubrimiento, optimizar los resultados para lo cual se utilizó el diseño de experimentos (RSM) mediante la aplicación de la técnica Box-Behnken que ayudó a la selección del punto óptimo para tener valores mínimos de la pérdida de volumen y la tasa de desgaste del recubrimiento duro Belzona.

Los ensayos y todo el proceso se realizó en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y en los talleres mecánicos de Hidroagoyán de CELEC EP, los resultados obtenidos se incorporan a los estudios de los recubrimientos duros como una alternativa de solución para la recuperación de partes desgastadas a causa de la abrasión productos del contacto del agua, lo que servirá de experiencia en el área de mantenimiento preventivo y punto de partida para la reconstrucción de partes de la turbina del mismo material disponibles en las centrales de generación eléctricas del país.

## Referencias bibliográficas

- [1] J. Baena, “Interdependencia entre las condiciones de operación y el desgaste en rodetes tipo pelton fabricados en acero ASTM A743 GRADO CA6NM,” Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [2] J. Enrique and G. Barrada, “Cavitation Erosion of Welded Martensitic Stainless Steel Coatings,” pp. 299–309, 2010.
- [3] A. Gualco, “Efecto de los parámetros de soldadura sobre la microestructura y la resistencia al desgaste de recargues Martensíticos depositados con alambres tubulares Metal-Cored,” Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 2011.
- [4] P. Gutiérrez, “Análisis De Los Problemas De Corrosión En La Soldadura De Los Aceros Inoxidables Aisi 304L Y 316L,” Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [5] J. C. Gutierrez, L. M. Leon Sevilla, D. H. Mesa Grajales, and A. Toro, “Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera,” *Sci. Tech.*, vol. 10, no. 25, pp. 149–154, 2004.
- [6] A. Varela, R. Artiaga, J. L. Mier, and F. Barbadillo, “Comportamiento tribológico de un acero austenítico al manganeso usado en revestimientos de molinos de carbón,” pp. 375–383, 2002.
- [7] J. Q. C. Cañizares, “Tecnologías para la recuperación por soldadura de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 A-6NM,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.
- [8] M. Tanco, “Metodología para la aplicación del Diseño de Experimentos ( DoE ) en la industria,” Universidad de Navarra, 2008.
- [9] H. G. Pulido, *Análisis y diseño de experimentos www.FreeLibro*, Segunda. México, 2008.
- [10] Montgomery, *Diseño y análisis de experimentos*, Segunda. 2004.
- [11] A. Peñaranda and C. Vizhco, “Aplicación del diseño experimental para el análisis de la estanqueidad del conjunto cilindro-pistón de un motor Hyundai Accent 1.5L mediante el análisis de la señal del sensor MAP,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2016.
- [12] L. Izquierdo, M. Tanco, E. Viles, and M. Álvarez, “El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos . Aplicación de la metodología al caso de una catapulta,” *Re-creaciones*, p. 12, 2017.
- [13] A. C. Jaramillo, A. María, and A. Hormaza, “Diseño Box-Behnken para la optimización de la adsorción del colorante azul ácido sobre residuos de flores,” vol. 9, no. 18, pp. 75–91, 2013.
- [14] C. Sundararajan, “A New Model for Ho-Body Abrasive Wear Based on the Localization of Plastic Deformation,” *Wear*, vol. 117, pp. 1–35, 1987.



- [15] B. Brushan, *Introduction to tribology*, Second. The Ohio USA, 2013.
- [16] “Belzona 1321 Catalogo general,” USA.
- [17] “Belzona 1321 Especificaciones Técnicas.,” USA, 2000.
- [18] “Belzona 1321 Instrucciones de uso,” USA.
- [19] Indura, *Manual Acero Inoxidables*, vol. 2. 2010, p. 72.
- [20] Chilexpo, “Acero Inoxidable Aleación 410,” Chile.
- [21] E. Hoyos, “Efecto de la técnica de revenido en las propiedades mecánicas del acero ASTM A743: GRADO CA6NM.,” Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [22] Sumindu, *Calidad Aisi 410 Acero Inoxidable*. p. 1.
- [23] ASM Metals Handbook, *Metallography and Microstructures*, vol. 9. USA, 1985.
- [24] M. Gómez, “Caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros,” Universidad de Barcelona, 2005.
- [25] C. Costa, F. Velasco, and J. Torralba, “Materiales compuestos de matriz metálica . I parte . Tipos , propiedades , aplicaciones,” *Rev. Metal.*, vol. 36, pp. 179–192, 2000.
- [26] J. R. Davis, *Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance*. USA, 2001.
- [27] E. Totten, *Handbook of lubrication and tribology*, Second., vol. I. New York: 2006, 2006.
- [28] K. G. Budinski, “Introduction to Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance,” pp. 1–10, 2001.
- [29] ASM Metals Handbook, *Fricction, Lubrication and Wear Technology*, vol. 18. USA, 1997.
- [30] A. Vencl, A. Rac, and B. Ivković, “Investigation of abrasive wear resistance of ferrous-based coatings with scratch tester,” *Tribol. Ind.*, vol. 29, no. 3–4, pp. 13–16, 2007.
- [31] I. M. Hutchings, “13.1 The Importance of Testing in Tribology,” no. 1987, pp. 757–765, 2001.
- [32] A. J. Sedriks and T. O. Mulhearn, “The effect of work-hardening on the mechanics of cutting in simulated abrasive processes,” *Wear*, vol. 7, no. 5, pp. 451–459, 1964.
- [33] G. K. Nathan and W. J. D. Jones, “Influence of the hardness of abrasives on the abrasive wear of metals,” *Arch. Proc. Inst. Mech. Eng. Conf. Proc. 1964-1970 (vols 178-184), Var. titles Label. Vol. A to S*, no. 315, pp. 215–221, 1966.

- [34] W. Hincapie, “Resistencia al desgaste abrasivo de recubrimientos comerciales Metaceram 25050 y Proxon 21071 producidos con el sistema de proyección térmica por llama.,” Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [35] E. Guerrero, “Estudio de los tratamientos térmicos en el acero AISI 1045 en un sistema acuoso evaluados con la norma ASTM G105-89 que permitirá determinar la velocidad de desgaste del material,” Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [36] Norma ASTM G105, “Standard Test Method for Conducting Wet Sand / Rubber Wheel Abrasion Tests,” *System*, vol. 89, no. Reapproved, p. 9, 1997.

# **ANEXOS**

## Anexo A. Ficha técnica del recubrimiento Belzona 1321.



**BELZONA**® Líderes mundiales en la conservación de recursos hechos por el hombre y el medio ambiente

## ESPECIFICACIONES TECNICAS

### BELZONA® 1321

#### 1. NOMBRE DEL PRODUCTO

**Belzona® 1321  
(Ceramic S-Metal)**

Sistema de reparación diseñado para el revestimiento de metales dañados por erosión o corrosión.

#### 2. FABRICANTE

**Belzona Polymeric Ltd.,**  
Claro Road, Harrogate,  
HG1 4AY, England.

**Belzona Inc.,**  
2000 N.W. 88 Court,  
Miami, Florida 33172, U.S.A.

#### 3. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Producto en pasta de dos componentes basado en la mezcla de una aleación de acero de silicio con polímeros y oligómeros reactivos de peso molecular alto. No maquinable. El sistema está diseñado para reconstruir metales y ofrece protección contra los efectos de la corrosión y erosión en equipos de manejo de fluidos. Disponible en dos colores: azul y gris.

##### Aplicaciones

Bombas  
Intercambiadores de calor  
Cajas de agua  
Barras divisoras  
Espejos y placas de intercambiadores de calor  
Válvulas  
Hélice  
Toberas Kort  
Codos de tuberías  
Conexiones en T

#### 4. DATOS TÉCNICOS

##### Base

Apariencia	Pasta
Color	Gris
Densidad	2.6-2.8 g/cm <sup>3</sup>

##### Solidificador

Apariencia	Pasta
Color	Azul / Violeta
Densidad	1.0-1.08 g/cm <sup>3</sup>

##### Propiedades de producto mezclado

Proporción de mezcla por peso: 11 : 1  
Proporción de mezcla por volumen: 4 : 1  
Aspecto de componentes mezclados: Líquido  
Temperatura exotérmica máxima: 70-85°C  
Resistencia al derrame: nil at 1.27 cm  
Densidad del producto mezclado: 2.35-2.45 g/cm<sup>3</sup>

##### • Vida de Anaquel

Solidificador y base tienen una vida de anaquel de por lo menos 5 años cuando se almacenan por separado entre 0°C y 30°C.

##### • Vida Util

Varía dependiendo de la temperatura ambiente. La vida útil del material mezclado a temperaturas de 25°C es de 30 minutos.

##### • Rendimiento

Cada unidad de 1Kg. aplicada al espesor recomendado de 250-375 micras cubrirá aproximadamente 1 m<sup>2</sup>.

##### • Capacidad Volumétrica

La capacidad volumétrica del **Belzona® 1321** mezclado es 425cm<sup>3</sup> / 1Kg.

##### • Tiempo de Fraguado

Se ve reducido en espesores gruesos y extendido en espesores más finos. A un espesor de aproximadamente 6 mm, asegúrese de cumplir con los tiempos de fraguado establecidos en el recuadro inferior antes de someter el producto a las condiciones indicadas.

#### 5. PROPIEDADES FÍSICO-MECANICAS

Determinadas después de 7 días de fraguado a 25°C. Post-fraguado utilizando calor resulta en un polímero altamente entrecruzado. Para mejorar el desempeño del material, este deberá ser post-fraguado utilizando calor a 100°C por un periodo de hasta 24 horas.

##### • Resistencia a la Abrasión

Resistencia a la abrasión por roce, utilizando la prueba abrasiva de Taber con ruedas H10/CS17 y una carga de 1 Kg es aproximadamente:

Mojado	172 mm <sup>3</sup>
Seco	55 mm <sup>3</sup>
Pérdida por cada 1000 ciclos	

##### • Adhesión

###### Tensión por esfuerzo cortante

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D1002, utilizando tiras desengrasadas y granalladas a un perfil de 75 micras los valores típicos que se obtienen son:

Acero dúctil	204 kg/cm <sup>2</sup>
Latón	155 kg/cm <sup>2</sup>
Cobre	168 kg/cm <sup>2</sup>
Acero inoxidable	211 kg/cm <sup>2</sup>
Aluminio	140 kg/cm <sup>2</sup>

##### • Resistencia Química

Una vez fraguado en su totalidad, el material demuestra excelente resistencia a los siguientes químicos:

Acido carbónico  
10% Acido hidrocloreídrico  
10% Acido nítrico  
20% Acido nítrico  
5% Acido fosfórico  
10% Acido sulfúrico  
20% Solución de amoníaco  
Agua de cal  
20% Hidróxido de potasio  
20% Hidróxido de sodio  
Propanol  
Butanol  
Etilenglicol  
Dietanolamina  
Metilamina  
Hidrocarburos  
Aceite mineral  
Sales inorgánicas

Para una descripción más detallada referente a las propiedades de resistencia química, refiérase a la Tabla de Resistencia Química M501.

##### • Esfuerzo Máximo de Compresión

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D695, los valores típicos que se obtienen son:

914 kg/cm<sup>2</sup>

#### TIEMPOS DE FRAGUADO

TEMPERATURA	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
Movimiento o uso sin carga o inmersión	12 horas	8 horas	5½ horas	4 horas	3½ hora	2 horas
Mecanizado y/o carga liviana	18 horas	12 horas	9 horas	6 horas	4½ horas	3 horas
Carga mecánica o termal	7 días	3 días	2 días	1½ día	24 horas	18 horas
Inmersión en químicos	10 días	5 días	3 días	2 días	1½ días	1 día

• **Resistencia a la Corrosión**

No muestra señales visibles de corrosión después de 5000 horas de estar expuesto en la prueba de cámara de rociado de sal ASTM B117.

• **Propiedades Eléctricas**

Rigidez Dieléctrica

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D149, los valores típicos que se obtienen son:

1320 volts/mm

Constante Dieléctrica

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D150, los valores típicos que se obtienen son:

12 at 1000Hz  
8 at 1MHz

Factor de Disipación

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D150, los valores típicos que se obtienen son:

<0.0005 at 1 MHz  
<0.0005 at 1000Hz

Resistividad Volumétrica

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D257, los valores típicos que se obtienen son:

3.3 x 10<sup>13</sup> ohm cm

Resistividad Superficial

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D257, los valores típicos que se obtienen son:

6.7 x 10<sup>13</sup> ohm cm

• **Resistencia a la Flexión**

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D790, los valores típicos que se obtienen son:

703 kg/cm<sup>2</sup>

• **Temperatura de Distorsión**

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D648 (esfuerzo en la fibra de 264 psi), los valores típicos que se obtienen son: 47°C

• **Dureza**

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D2240, los valores típicos que se obtienen son:

80 Shore D

• **Resistencia al Calor**

Para muchas aplicaciones típicas, el producto se mantiene térmicamente estable en un rango de temperaturas secas de 200°C a 60°C.

• **Resistencia al Impacto**

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM D256, los valores típicos que se obtienen son:

50 J/m

• **Contracción**

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM DOD-C-24176A, los valores típicos que se obtienen son:

Min. 0.0%  
Max. 0.005%

• **Expansión Térmica**

Cuando se realizan pruebas de acuerdo a ASTM E228, los valores típicos que se obtienen son:

36.4 ppm/°C

**6. PROCEDIMIENTOS DE PREPARACION DE SUPERFICIE Y APLICACION**

Para el método correcto de aplicación, consulte las Instrucciones de Uso incluidas con cada uno de los productos.

Superficies excesivamente erosionadas pueden ser reparadas inicialmente con **Belzona®1311** antes de la aplicación del **Belzona® 1321**.

**7. DISPONIBILIDAD Y COSTO**

Para entrega rápida, **Belzona® 1321** puede ser procurado por medio de la red global de Distribuidores Belzona.

Para mayor información, consulte al Distribuidor de Belzona en su área.

**8. GARANTIA**

Belzona garantiza que este producto cumple con las características de funcionamiento especificadas cuando el material es almacenado y utilizado de acuerdo a las Instrucciones de Uso del producto. Además, Belzona garantiza que todos sus productos están cuidadosamente fabricados para asegurar los niveles de calidad más altos y son estrictamente ensayados conforme pruebas universales (ASTM, ANSI, BS, DIN, etc.). Belzona no provee garantías concernientes a la aplicación de sus productos, debido a que no tiene control en el uso del producto aquí mencionado.

**9. SERVICIOS TECNICOS**

Asistencia técnica disponible por medio de consultores técnicos capacitados por la fábrica y personal de Belzona responsable de servicios técnicos, investigación/desarrollo, y de los laboratorios de control de calidad.

**10. SALUD Y SEGURIDAD LABORAL**

Antes de utilizar este producto, consulte los Datos de Seguridad del Material incluidos con cada uno de los productos.

**11. APROBACIONES/ACEPTACIONES**

El producto cuenta con aceptaciones de organizaciones alrededor del mundo, incluyendo:

- U.S.D.A.
- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
- BUREAU VERITAS
- U.K. WRC
- NATO
- GENERAL MOTORS
- TOYOTA
- FORD
- YORK INTERNATIONAL
- RUSSIAN REGISTER OF SHIPPING

**Belzona Polymerics Ltd.,**  
Claro Road,  
Harrogate, HG1 4AY,  
England.  
Tel: +44 (0) 1423 567641  
Fax: +44 (0) 1423 505967  
E-Mail: Belzona@belzona.co.uk

**Belzona Inc.,**  
2000 N.W. 88 Court,  
Miami, Florida 33172,  
U.S.A.  
Tel: +1 (305) 594 4994  
Fax: +1 (305) 599 1140  
E-Mail: Belzona@belzona.com



BS EN ISO 9002 : 1994  
Certificate No. Q/09335



www.belzona.com

Copyright © 2001 por Belzona International Limited. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de este texto protegido por el copyright citado podrá ser reproducido o utilizado en forma alguna o por ningún medio - gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabación, mecanografiado o sistemas de almacenamiento y búsqueda de la información - sin la autorización del editor.

Belzona® is a registered trademark

Printed in England 4/01 E

Privado y Confidencial - Solamente para Uso Interno



**Belzona®1321 - Especificaciones Técnicas (2)**

## Anexo B. Ficha técnica del acero ASTM A743 GRADO CA6-NM.

### Microstructure and Mechanical Properties of ASTM A743 CA6NM Steel Welded by FCAW Process

Rafael de Paula Silva<sup>a\*</sup>, Maria Ismenia Sodero Toledo Faria<sup>a</sup>, Luiz Fernando Cursino Briet de Almeida<sup>a</sup>,  
Carlos Angelo Nunes<sup>a</sup>, Décio Vieira<sup>a</sup>, Wanderlei Borges Júnior<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brazil

Received: May 05, 2017; Accepted: August 09, 2017

CA6NM steel is widely used in the manufacture of hydraulic turbines metallic parts, due to its resistance to corrosion and cavitation damage, combined with good weldability and fatigue properties. However, welding of this type of steel is complex and to ensure a minimum residual stress after welding it is necessary perform a post welding heat treatment (PWHT) of the part. This study aims to analyze the effect of a PWHT on the microstructure and mechanical properties of CA6NM steel weld joint produced by the FCAW process and compare it with the characteristics of an as-welded joint. A martensitic microstructure has been present in both materials. However, the PWHT material has shown finely dispersed retained austenite, in an amount near 10 vol.%. Vickers microhardness values of all regions of PWHT welded joint present lower hardness values compared to those of the as-welded joint. Despite nearly identical toughness values of the weld metal from AW and PWHT samples, results of fracture analysis have shown distinct features in appearance of the fractures.

**Keywords:** *martensitic stainless steel, ASTM A743 CA6NM, FCAW process.*

## 1. Introduction

CA6NM steel (ASTM A743A743M (1998)<sup>1</sup>) is as soft martensitic stainless steel used in several cast parts of hydraulic turbines. It is the most common metallic alloy used in the manufacture of this type of equipment, replacing -Mn steels by offering better resistance against corrosion and cavitation damage<sup>2</sup>.

The low-carbon Martensitic steels CA6NM is offset with the addition of nickel, whose purpose is to expand the austenitic field, Therefore, keep the potential and enable complete austenitization and also to temper with the formation of martensite. The mechanical properties and impact strength features of the material are improved<sup>1,2</sup>.

Welding is extensively used in the assembling and repair of components made of CA6NM steel. Typically, the resulting microstructure at room temperature consists of tempered martensite and it can contain small amounts of  $\delta$  ferrite and retained austenite<sup>3</sup>. According to the literature<sup>2,4</sup>, retained austenite improves mechanical properties such as impact toughness while the presence of delta ferrite may deteriorate the impact properties and raises the ductile to brittle transition temperature<sup>5,6</sup>.

The reduction of the toughness, as well as the high residual stresses, can shorten the life of the pieces as well as accelerate the cavitation process. However, the completion of heat treatment is limited by manufacturing condition and the size of the structures, the treatment is typically made in large

ovens heated by the combustion of fossil fuels, which carries on air pollution and drastic effects on the environment<sup>6,7</sup>.

Post weld heat-treatment (PWHT) of this material is applied to ensure a minimum residual stress of the component and increase the toughness. Low toughness reduces the life of the piece and accelerates the process of cavitation as well<sup>7</sup>.

The objective of this work was to evaluate the possible gains obtained by the application of a stress relieve heat-treatment through evaluation of the microstructure and mechanical properties, specially Charpy V-Notch (CVN) toughness, of CA6NM steel welded joints produced by the Flux Cored Arc Weld (FCAW) process. The work was divided into three main parts: welding (process of preparation of the samples, the consumable and realization of welding), microstructural analysis (optical microscopy, SEM with EDS, macrography and XRD); and analysis of mechanical properties (impact testing, hardness testing).

## 2. Experimental Procedure

The steel plate used in this work was manufactured by Electro Steel Altona S.A. According to the manufacturer, the material was produced in an electric arc furnace, refined using an AOD furnace (Argon Oxygen Decarburization) and cast in sand molds as blocks of 300x400x45 mm dimensions. The blocks were then submitted to a heat treatment involving quenching and tempering to achieve the required mechanical

\*e-mail: radeasil@gmail.com

properties. Table 1 presents the CA6NM chemical composition provided by the manufacturer which is in agreement with the ASTM standard<sup>1</sup>.

**Table 1.** CA6NM steel chemical composition (wt.%) according to ASTM vs. Chemical analysis provided by the manufacturer<sup>10</sup>.

Element	Manufacturer (ALTONA)	ASTM A 743/A 743M (1998)
Carbon	0.02	0.06 max.
Manganese	0.77	1.00 max.
Silicon	0.47	1.00 max.
Chrome	12.08	11.5 – 14
Nickel	3.80	3.5 – 4.5
Molybdenum	0.46	0.4 – 1.0
Phosphor	0.04	0.04 max.
Sulfur	0.01	0.03 max.
Aluminum	0.01	-----

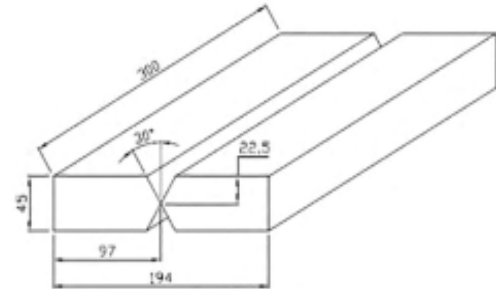
The welding consumable was flux cored AWS E410NiMoT1-4-1 of 1.6 mm diameter which meets the ASME and AWS standard and specification 9 SFA 5.22. Table 2 presents the chemical composition of the weld metal.

**Table 2.** Specified chemical composition of the welding consumable from AWS E410NiMoT1-4-1 electrode.

Element	Deposited weld metal	Specified
Carbon	0.025	0.06
Manganese	0.36	1.0
Silicon	0.36	1.0
Chrome	11.99	11.0 – 12.5
Nickel	4.42	4.0 – 5.0
Molybdenum	0.50	0.40 – 0.70
Phosphor	0.009	0.04
Copper	0.03	0.75
Sulfur	0.010	0.03

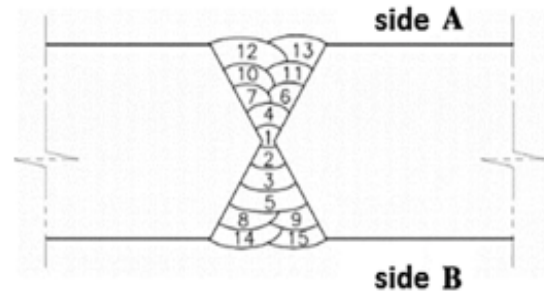
The plate was cut into four strips of 97x300x45 (mm) which were then machined to make chamfers for X shaped welds, as shown in Figure 1. The welding process was the FCAW, using a multi-threaded electronic welding machine LINCOLN model POWERTEC 305 c PRO and torch to pre and post-heat. The shielding gas used was SG-AC-25, 75% Argon- 25%CO<sub>2</sub>.

The chamfered strips were pre heated to 100°C before welding to decrease the cooling rate of the welding joint, seeking to avoid the formation of harmful microstructures in the weld, which may cause cold cracks as well as to mitigate the generation of residual stresses. A ceramic backing was added on the opposite side of the joint to provide a high



**Figure 1.** Illustration of the size of the specimens prepared for welding.

quality root. The joint was produced using the position 3G upward, interpasses temperature, around 200° C, to not compromise the microstructure of weld region and, consequently, the mechanical properties. The temperature control interpasses were also made with the aid of a pyrometer and contact thermometer, interspersed between sides A and B, as shown in Figure 2. The table 3 shows technical parameters used during the weld of the steel.



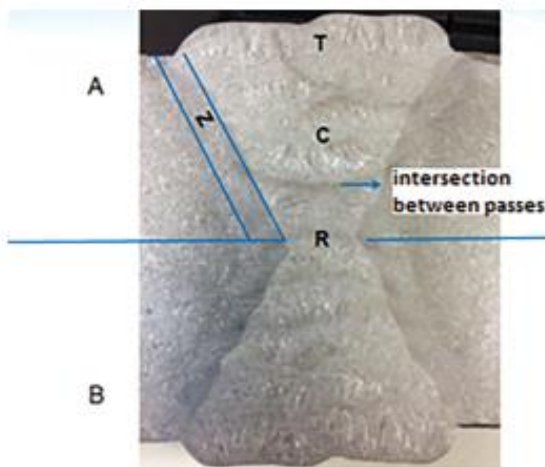
**Figure 2.** Illustration of the sequence of weld passes, side A, side B, and root.

Two X shaped plate tests were prepared following the procedures of ASME IX (2013)<sup>8</sup> one to be characterized in the "as-welded condition" (AW) and the other in the post weld heat-treated condition (PWHT). The two joints were X-ray tested and have not presented any detectable defects. The stress relief heat treatment was carried out according to ASME VIII Div. I (2004)<sup>9</sup>, temperature of 580° C for 8 hours. The PWHT hold time was chosen in order to be similar to a real large component stress relief treatment.

For analysis by optical microscopy, the samples were submitted to usual metallographic preparation procedures involving cutting; grinding, polishing and etching with Vilella reagent that consists in 5 g of picric acid, 2.5 ml of HCl and 90 ml of ethylic alcohol. The images were obtained in a Zeiss Axiovert 40MAT optical microscope. The analysis were focused on four regions of each joint as indicated in Figure 3, R (root), C (center), T (top) and Z (heat affected zone).

**Table 3.** Specified weld parameters during the procedure.

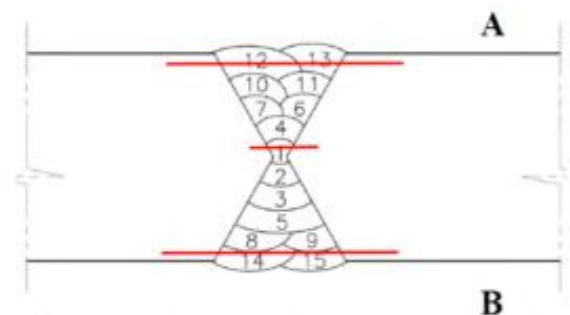
N° of passes	Diameter (mm)	Tension (V)	Current (A)	Speed (cm/min)	Energy (J/cm)	Temp (°C)	Minutes (min)	Seconds (s)	Length (mm)
Side A									
1	1.6	25.2	220	9.7	34355	100	3	9	305
4	1.6	25.3	225	12.1	28215	200	2	51	345
5	1.6	26	230	15.7	22895	160	2	14	350
6	1.6	25.6	225	15.3	22546	190	2	17	350
10	1.6	24.5	225	14.7	22544	160	2	17	335
11	1.6	24.5	225	12.5	26493	183	2	41	335
14	1.6	23.5	208	14.0	20927	174	2	17	320
Side B									
2	1.6	24	225	15.6	20715	180	1	57	305
3	1.6	25	235	12.2	28949	180	2	50	345
7	1.6	25	228	11.1	30943	180	3	10	350
8	1.6	25	220	15.3	21515	166	2	13	340
9	1.6	25.2	225	12.3	27588	191	2	43	335
12	1.6	25.2	225	16.0	21326	158	2	6	335
13	1.6	25.2	225	17.2	19759	180	1	55	330
15	1.6	23.5	215	14.9	20368	149	2	9	320

**Figure 3.** Macrograph showing the cross-section of a weld joint and the regions from which optical microscopic analysis was carried out.

X-ray diffraction was used to check the phases present, mainly retained austenite. A PANalytical X'pert PRO MPD diffractometer was used, with Cu-K $\alpha$  radiation; Ni filter 40 kV voltage; tube current of 30 mA; scan range of  $10 \leq 2\theta \leq 120$ ; step of  $0.02^\circ$  and counting time of 20s. The samples were used in the form of flat specimens.

Mechanical tests were performed following ASME IX (2013)<sup>10</sup> and ASTM -A370 (1997)<sup>10</sup> standards. Microhardness Vickers measurements were carried out in a Buehler MicroMet model 6020 using an applied load of 500 gf for 30 seconds.

Figure 4 illustrates the location of the microhardness measurements, including the base metal, weld metal and heat-affected zone.

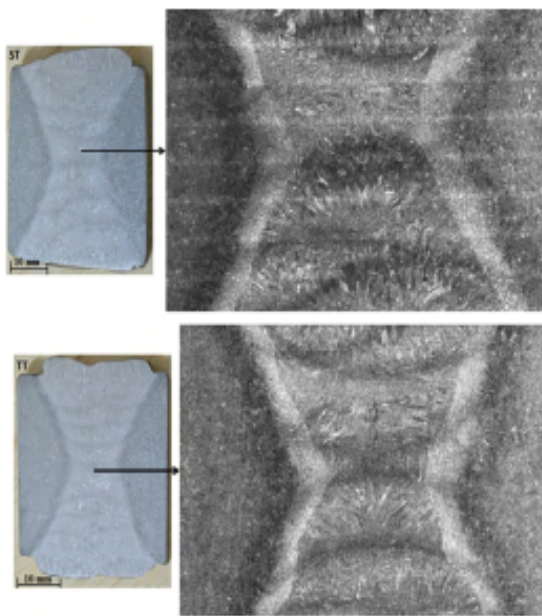
**Figure 4.** Location of the microhardness measurements points.

The Charpy-V impact tests were conducted at  $-20^\circ\text{C}$ . ASME IX (2013)<sup>10</sup> requires a minimum of three samples for each region: HAZ (heat affected zone) and weld metal (WM) at surface and center. In the present work, more Charpy coupons were tested as follow: HAZ1 (between 1/2 and 1/4 of the thickness of the welded joint on left side of the HAZ), HAZ2 (between 1/2 and 1/4 of the thickness of the welded joint on the right side of HAZ), S (3/4 the thickness of the weld), and SS (1.5 mm from the surface of the material). Fracture surface analysis were carried out using a Zeiss Discovery V12 stereoscope and HITACHI TM3000 SEM.



### 3. Results and Discussions

Figure 5 illustrates mosaics of the weld joints obtained by using a motorized optical microscope (OM). There are 120 pictures of 50x magnification creating a mosaic, for better visualization of the weld joints and their integrity. The mosaics shows a weld joint free of defects such as cracks, porosity, slag entrapment, lack of fusion and incomplete penetration. In addition, as mentioned before, no detectable defect has been found through X-ray analysis.



**Figure 5.** Macrography (left) and mosaic images obtained by OM of the weld joint (right). (a) AW; (b) PWHT. Attack Vilella.

Figures 6 and 7 show optical micrographs of samples from regions R, C, T and Z (see Figure 3) for both as-welded and PWHT samples. Regions R and C present a more refined microstructure compared to the upper region (T), likely associated to a larger number of heat cycles suffered by these regions as consequence of the greater number of weld passes over these regions. Some particles in form of islands or peninsulas in size from 30 to 300  $\mu\text{m}$  were present in both weld joints as observed in Figs 6 and 7. It is assumed that these coarse particles are iron-alloys from the flux cored welding consumable that were not completely melted.

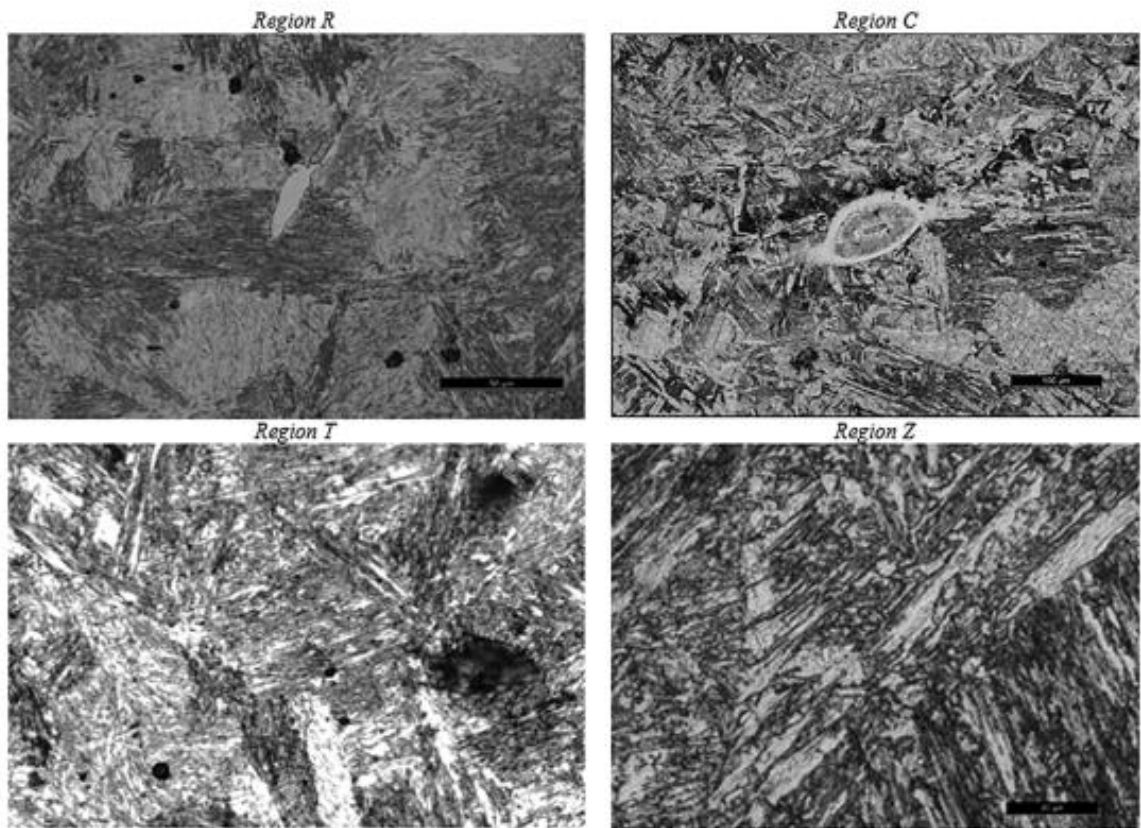
The OM and SEM analysis of both weld joints (as-welded and after PWHT) has indicated essentially a martensitic microstructure in both cases. However, from XRD analysis (Figures 8 and 9) that covered different regions from the weld metal and HAZ, the PWHT material has shown the

presence of retained austenite, in an amount near 10 vol.% from Rietveld analysis, in agreement with Thibault et al.<sup>3</sup>. This is associated with austenite formed at temperatures above 550  $^{\circ}\text{C}$  that does not transform back to martensite during cooling. It should be pointed out that this retained austenite is hardly observed by conventional metallographic techniques<sup>6</sup>.

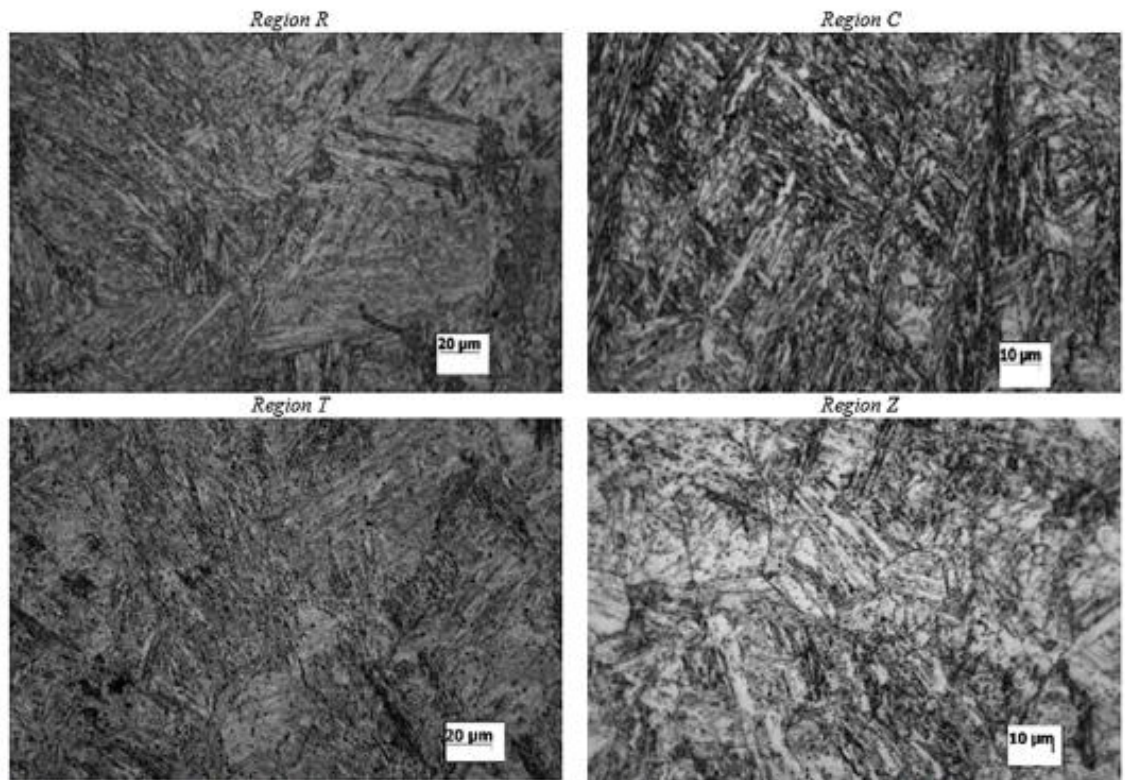
Vickers microhardness values presented at the graphics of Figure 10 have shown that all regions of PWHT welded joint present lower hardness values compared to those of the as-welded joint, likely associated to stress-relief and tempering of martensite during PWHT. In addition, a smoother hardness values distribution is observed among the different regions of the PWHT sample, making the hardness values of the weld metal close to those of base metal. In the case of the AW material, hardness values of the weld metal are considerably higher than those of base metal.

Figure 11 shows Charpy V-Notch results from different regions (see item 2) of the AW and PWHT weld joints. It is interesting to observe that results from the weld metal for both conditions are essentially the same, near 27 J, indicating that PWHT does affect significantly this property in spite of lower hardness values presented by the material in this condition. This result is surprising considering the stress relieved microstructure and presence of retained austenite in the weld metal of the PWHT material. According to Bilmes et al.<sup>3</sup>, the retained austenite is thermally but not mechanically stable. Their study has suggested that particles of retained austenite suffer martensitic transformation during crack propagation in the Charpy test, acting as energy absorbers. This transformation, mechanically induced in the plastic zone should absorb additional energy, thus effectively increasing the toughness. The volume expansion associated with this transformation is likely to close cracks and relieve tension at the tip, absorbing strain energy during fracture. It should be pointed out that toughness is the most important property in the qualification process of a welded joint of CA6NM steel and has a minimum value of 27J. Thus, both joints would be approved in accordance to this criterion. The Charpy V-Notch results of HAZ zone of both materials are higher than those of the weld metal, reaching values as high as 123 J, likely associated to the presence of some tough base metal in the crack propagation path.

Despite nearly identical toughness values of the weld metal from AW and PWHT samples, results of fracture analysis have shown distinct features in appearance of the fractures as depicted in Figure 12 and Figure 13. PWHT samples have shown the presence of dimples and microvoid, in contrast to the AW samples that showed typical appearance of cleavage.



**Figure 6.** Micrographs showing the microstructure of samples from regions R, C, T and Z of PWHT sample.



**Figure 7.** Micrographs showing the microstructure of samples from regions R, C, T and Z of as-welded sample.

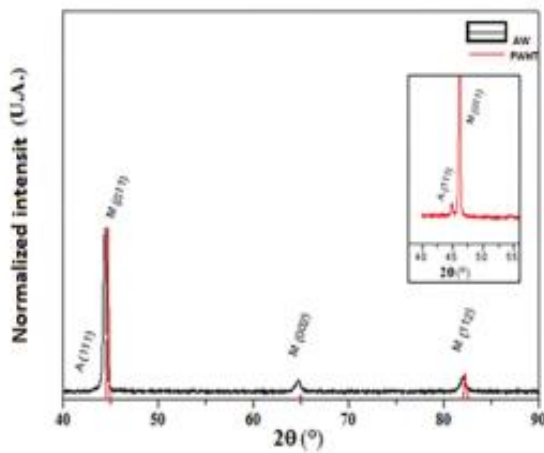


Figure 8. XRD pattern of AW condition.

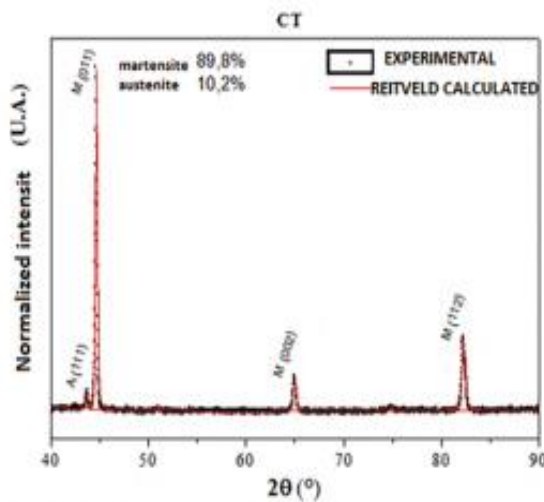


Figure 9. XRD pattern of PWHT condition.

### 4. Summary

Weld joints of CA6NM steel were produced by the FCAW process. The microstructure and mechanical properties of the as-welded joint was compared to a joint which suffered a post welding heat treatment (PWHT). The weld joints were free of defects such as cracks, porosity, slag entrapment, lack of fusion and incomplete penetration. Both joints presented a martensitic microstructure, however, the heat treatment for residual stress relief precipitated a fine dispersion of austenite. Vickers microhardness values of all regions of PWHT welded joint present lower hardness values compared to those of the as-welded joint. Despite nearly identical toughness values of the weld metal from AW and PWHT samples, results of fracture analysis have shown distinct features in appearance of the fractures.

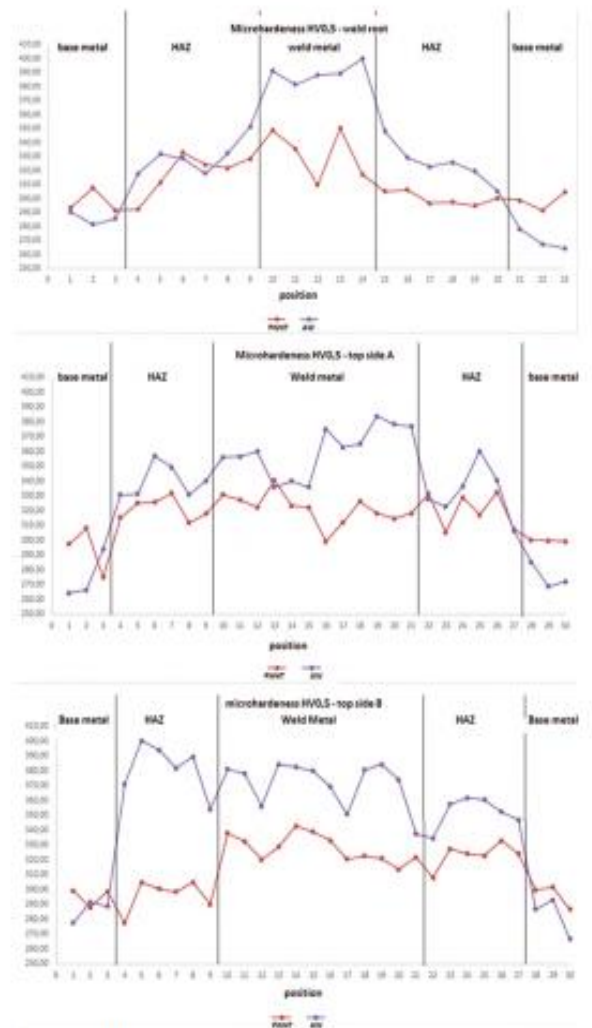


Figure 10. Hardness profile of the welded joints (see Fig. 4 for details)

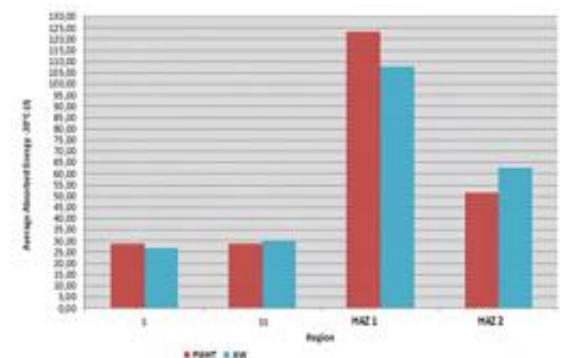
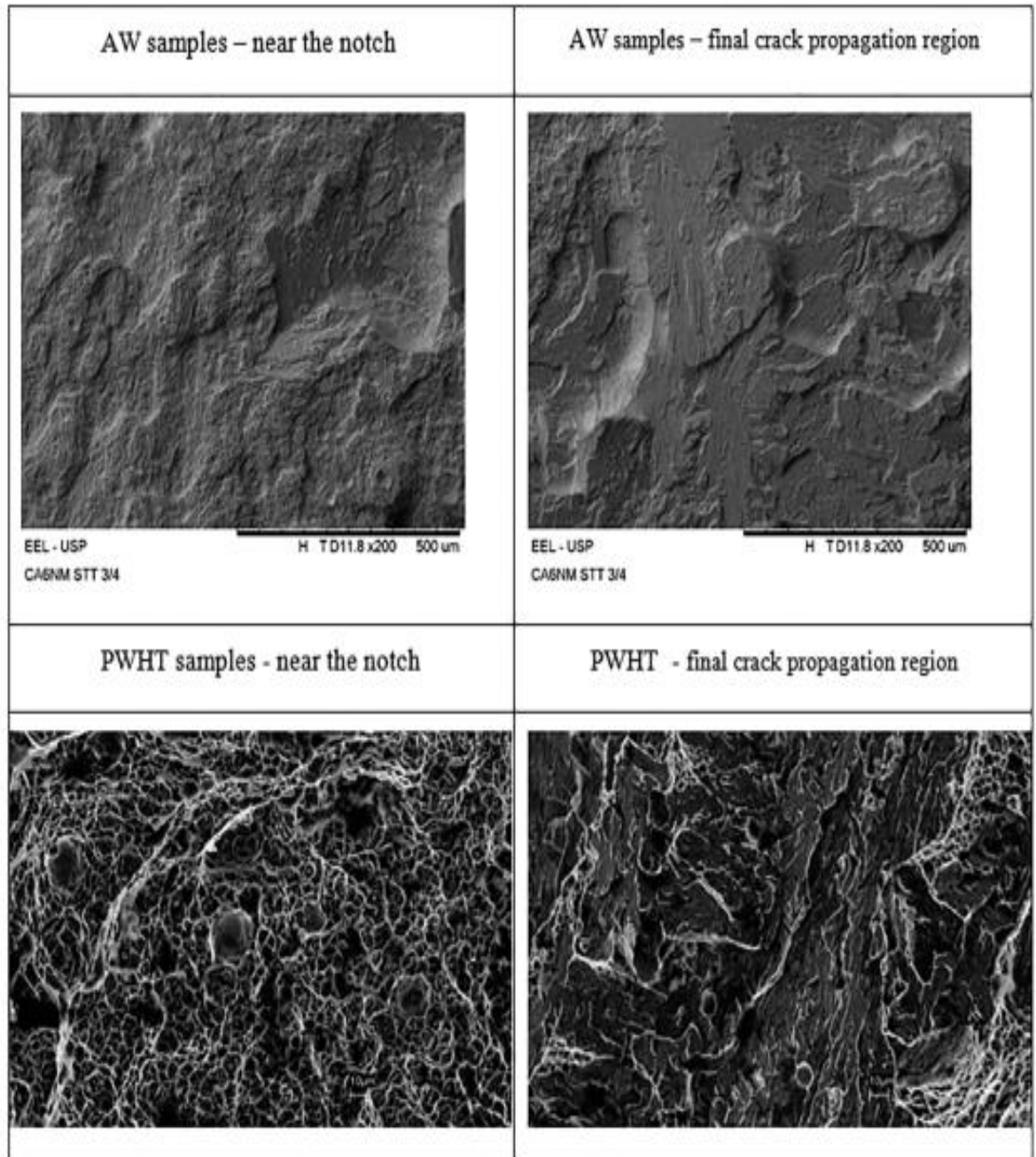


Figure 11. Comparison chart of the average values of absorbed energy of samples AW and PWHT.

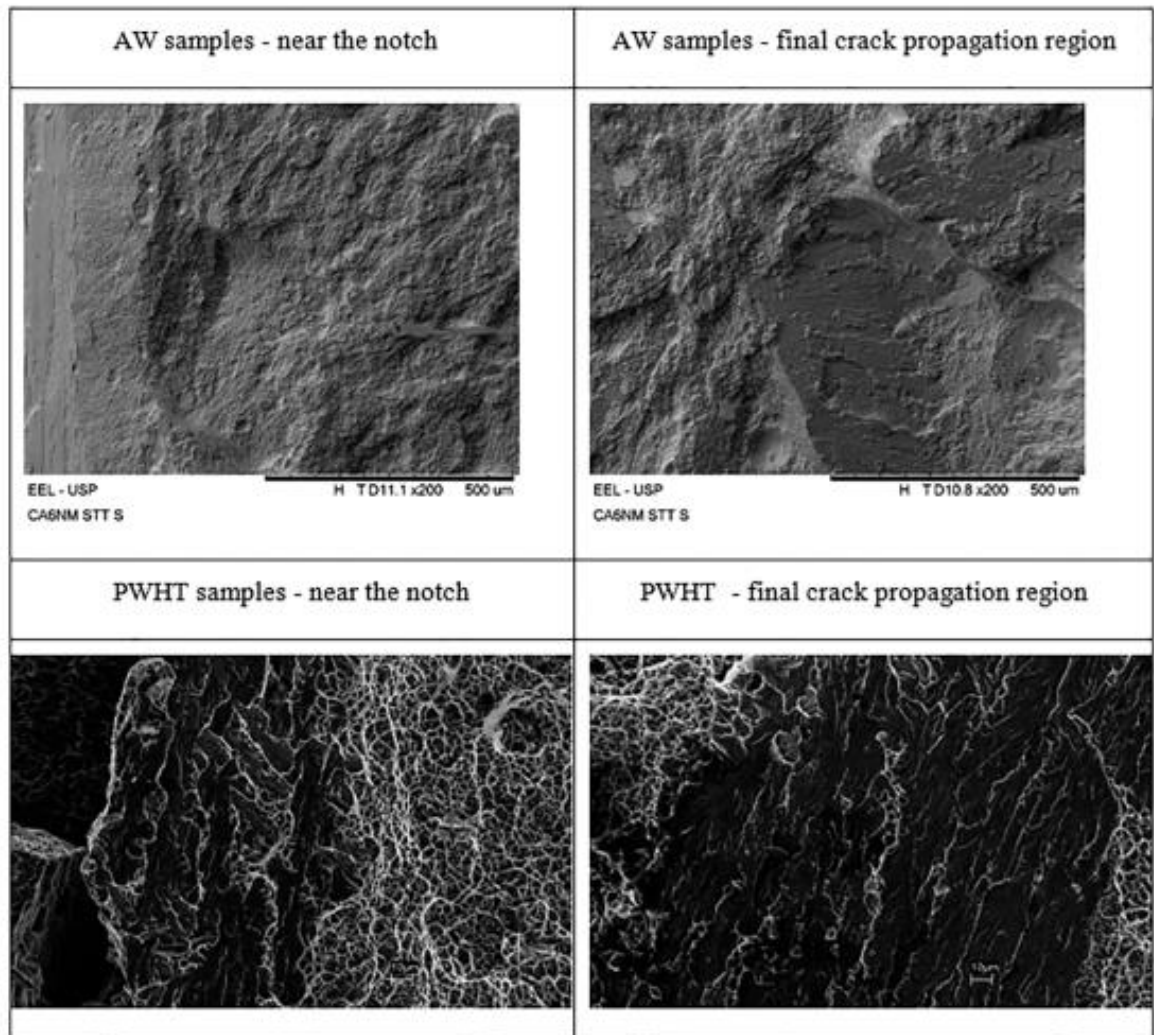


**Figure 12.** SEM images from fracture surfaces of Charpy V-notch samples from AW and PWHT samples- S region (3/4 the thickness of the weld).

## 5. Acknowledgments

This work was supported by ALSTOM Brasil Energia e Transporte LTDA. The financial supports from the FAPESP

(2014/19712-3) and CNPq are greatly acknowledged. The authors would like to express their gratitude to Dr. Olivério Moreira de Macedo Silva (DCTA/IAE/AMR) for the technical help with the microstructure analysis.



**Figure 13.** SEM images from fracture surfaces of Charpy V-notch samples from AW and PWHT samples - SS region (1.5 mm from the surface of the material)

## 6. References

1. ASTM International. *ASTM A 743 / A743M - 98A - Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application*. West Conshohocken: ASTM International; 1998.
2. Thibault D, Bocher P, Thomas M. Reformed austenite transformation during fatigue crack propagation of 13Cr-4%Ni stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*. 2011;528(21):6519-6526.
3. Bilmes PD, Solari M, Llorente CL. Characteristics and effects of austenite resulting from tempering of 13Cr-NiMo martensitic steel weld metals. *Materials Characterization*. 2001;46(4):285-296.
4. Wang P, Lu SP, Xiao NM, Li DZ, Li YY. Effect of delta ferrite on impact properties of low carbon 13Cr-4Ni martensitic stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*. 2010;527(13-14):3210-3216.
5. Carrouge D, Bhadeshia HKDH, Woollin P. Effect of  $\delta$ -ferrite on impact properties of supermartensitic stainless steel heat affected zones. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2004;9(5):377-389.
6. Trudel A, Lévesque M, Brochu M. Microstructural effects on the fatigue crack growth resistance of a stainless steel CA6NM weld. *Engineering Fracture Mechanics*. 2014;115:60-72.
7. Folkhard E. *Welding Metallurgy of Stainless Steels*. New York: Springer; 1988.
8. American Society of Mechanical Engineers (ASME). *ASME Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. New York: American Society of Mechanical Engineers; 2013.
9. American Society of Mechanical Engineers (ASME). *ASME Boiler & Pressure Vessel Code*. New York: American Society of Mechanical Engineers; 2004.
10. ASTM International. *ASTM A370-97a - Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. West Conshohocken: ASTM International; 1997.

Anexo C. Informe técnico del ensayo de desgaste abrasivo.



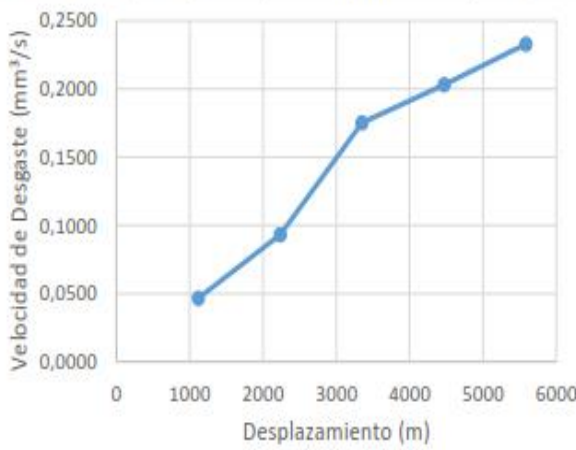



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA

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

**INFORME DE DESGASTE ABRASIVO**  
**SEGÚN NORMA ASTM G105-89**

JUNIO DE 2019  
AMBATO – ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
 						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: I	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	65,0348g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	64,9335	0,1013	12,9045	0,0907	0,0005	0,0269
2234	64,8322	0,2026	25,8089	0,1814	0,0009	0,0538
3351	64,7056	0,3292	41,9363	0,2947	0,0015	0,0874
4468	64,5967	0,4381	55,8089	0,3922	0,0020	0,1163
5585	64,5283	0,5065	64,5223	0,4534	0,0023	0,1344
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

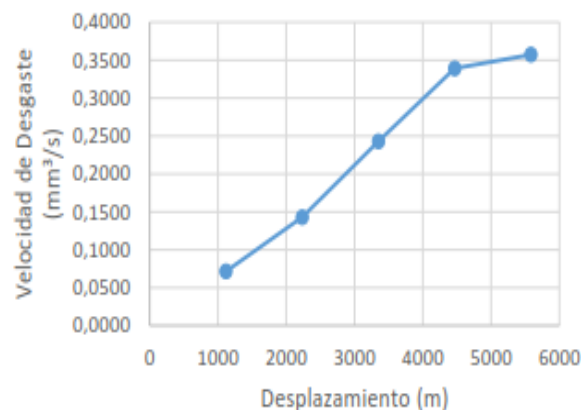
Probeta: 2	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	67,5385 g	Cantidad de agua	0.940 kg



**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	67,4425	0,0960	12,2293	0,0859	0,0004	0,0255
2234	67,3366	0,2019	25,7197	0,1808	0,0009	0,0536
3351	67,2121	0,3264	41,5796	0,2922	0,0015	0,0866
4468	67,1052	0,4333	55,1975	0,3879	0,0019	0,1150
5585	67,0297	0,5088	64,8153	0,4555	0,0023	0,1350



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p>	
---	--	---

**DATOS INFORMATIVOS:**

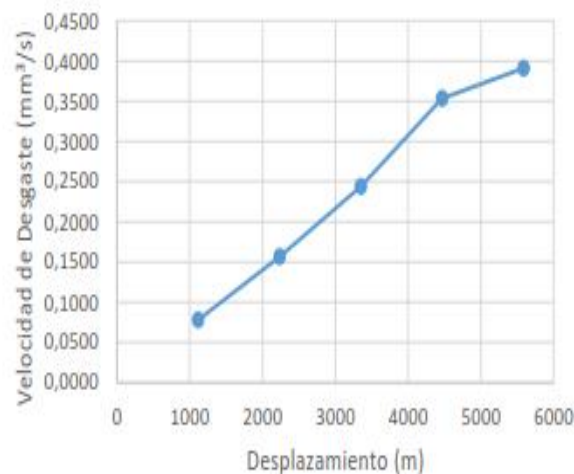
Probeta: 3	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



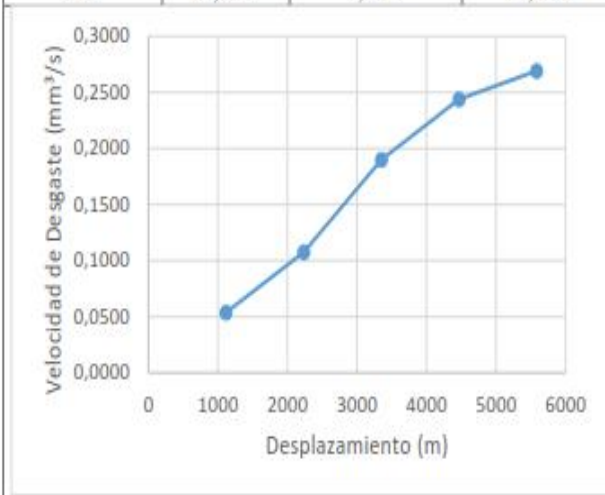

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 μm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	62,6558 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,5592	0,0966	12,3057	0,0865	0,0004	0,0256
2234	62,4586	0,1972	25,1210	0,1765	0,0009	0,0523
3351	62,3312	0,3246	41,3503	0,2906	0,0015	0,0861
4468	62,2165	0,4393	55,9618	0,3933	0,0020	0,1166
5585	62,1478	0,5080	64,7134	0,4548	0,0023	0,1348



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 4	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	70,2989 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	70,1989	0,1000	12,7389	0,0895	0,0004	0,0265
2234	70,0989	0,2000	25,4777	0,1791	0,0009	0,0531
3351	69,9699	0,3290	41,9108	0,2945	0,0015	0,0873
4468	69,8619	0,4370	55,6688	0,3912	0,0020	0,1160
5585	69,7889	0,5100	64,9682	0,4566	0,0023	0,1354
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

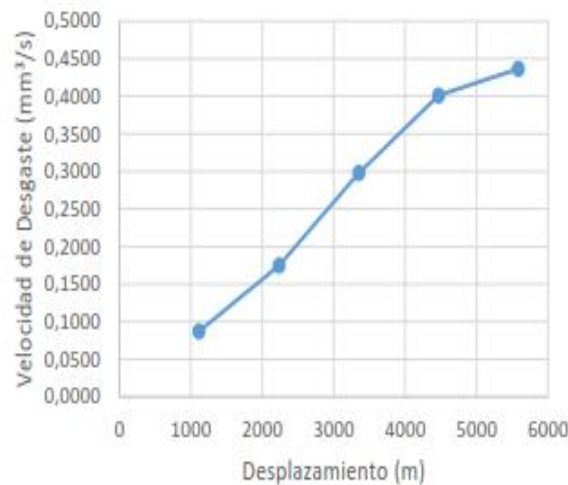
Probeta: 5	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	65,3319 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,2337	0,0982	12,5096	0,0879	0,0004	0,0261
2234	65,1289	0,2030	25,8599	0,1817	0,0009	0,0539
3351	65,0092	0,3227	41,1083	0,2889	0,0015	0,0856
4468	64,8993	0,4326	55,1083	0,3873	0,0019	0,1148
5585	64,8245	0,5074	64,6369	0,4543	0,0023	0,1347



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
---	---	---

**DATOS INFORMATIVOS:**

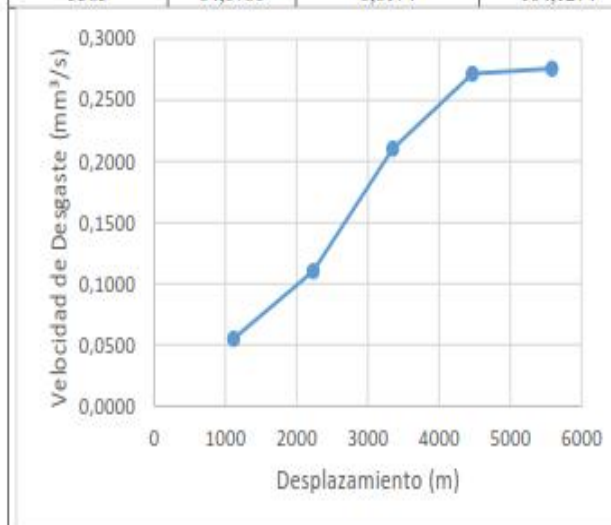
Probeta: 6	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	64,8954 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	64,7417	0,1537	19,5796	0,1376	0,0007	0,0408
2234	64,5980	0,2974	37,8854	0,2662	0,0013	0,0789
3351	64,2480	0,6474	82,4713	0,5796	0,0029	0,1718
4468	64,1280	0,7674	97,7580	0,6870	0,0035	0,2037
5585	64,0780	0,8174	104,1274	0,7318	0,0037	0,2169



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

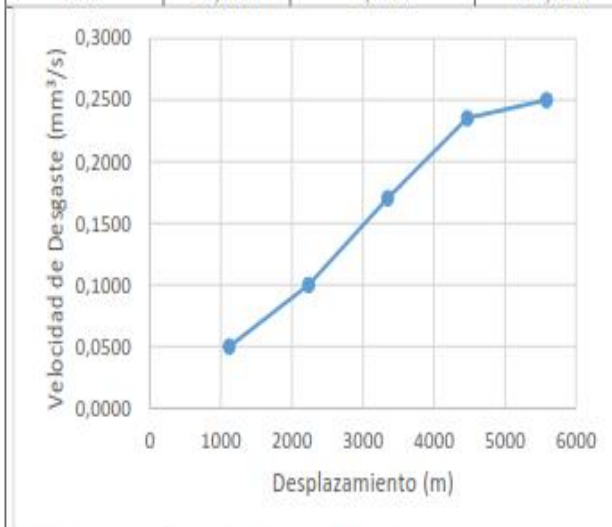
Probeta: 7	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



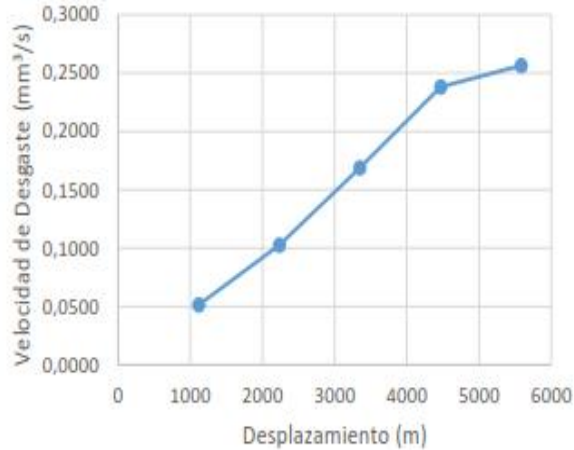

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	64,0175 g	Cantidad de agua	0.940 kg



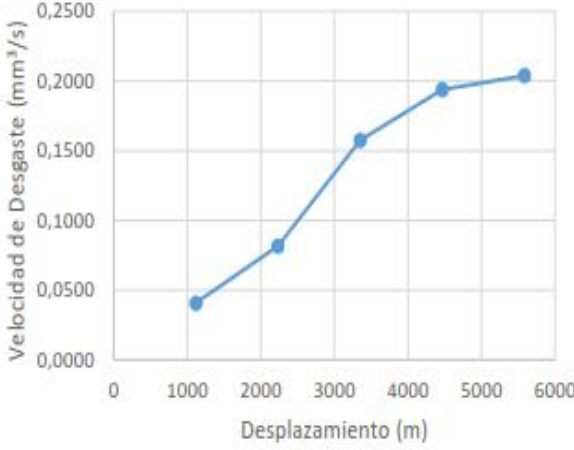

**RESULTADOS**



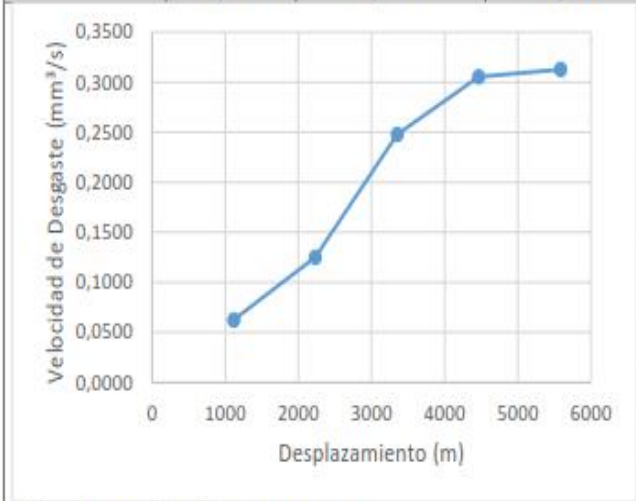

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,8638	0,1537	19,5796	0,1376	0,0007	0,0408
2234	63,7201	0,2974	37,8854	0,2662	0,0013	0,0789
3351	63,3701	0,6474	82,4713	0,5796	0,0029	0,1718
4468	63,2501	0,7674	97,7580	0,6870	0,0035	0,2037
5585	63,2001	0,8174	104,1274	0,7318	0,0037	0,2169





Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 8	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	65,7387 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,5850	0,1537	19,5796	0,1376	0,0007	0,0408
2234	65,4413	0,2974	37,8854	0,2662	0,0013	0,0789
3351	65,0913	0,6474	82,4713	0,5796	0,0029	0,1718
4468	64,9713	0,7674	97,7580	0,6870	0,0035	0,2037
5585	64,8999	0,8388	106,8535	0,7509	0,0038	0,2226
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 9	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	71,7085 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	71,5548	0,1537	19,5796	0,1376	0,0007	0,0408
2234	71,4011	0,3074	39,1592	0,2752	0,0014	0,0816
3351	71,0511	0,6574	83,7452	0,5885	0,0030	0,1745
4468	70,9411	0,7674	97,7580	0,6870	0,0035	0,2037
5585	70,8911	0,8174	104,1274	0,7318	0,0037	0,2169
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 10	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	71,2829 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	71,1292	0,1537	19,5796	0,1376	0,0007	0,0408
2234	70,9756	0,3073	39,1465	0,2751	0,0014	0,0816
3351	70,6362	0,6467	82,3822	0,5790	0,0029	0,1716
4468	70,5211	0,7618	97,0446	0,6820	0,0034	0,2022
5585	70,4646	0,8183	104,2420	0,7326	0,0037	0,2172
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
---	---	---

**DATOS INFORMATIVOS:**

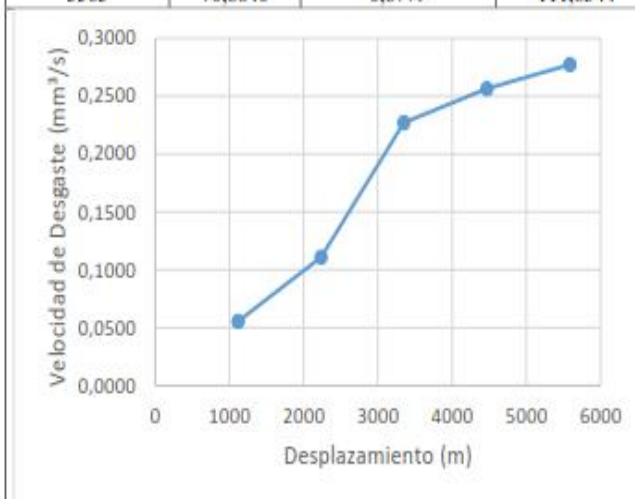
Probeta: 11	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



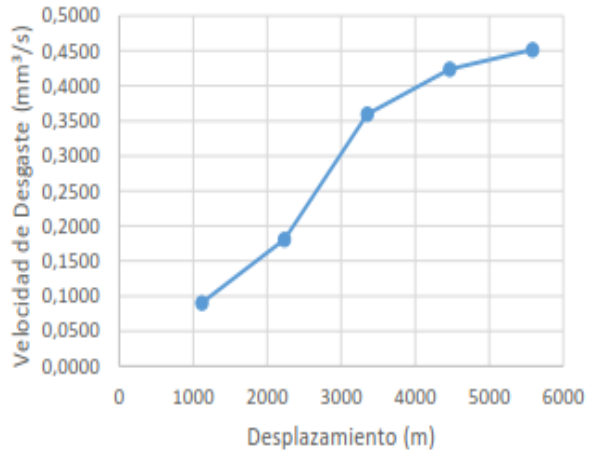

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	71,7619 g	Cantidad de agua	0.940 kg



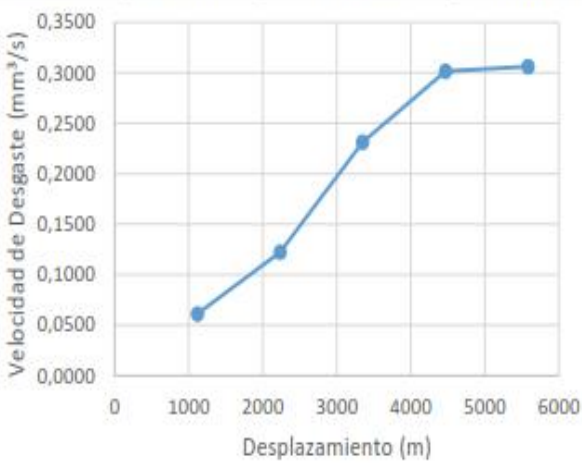

**RESULTADOS**



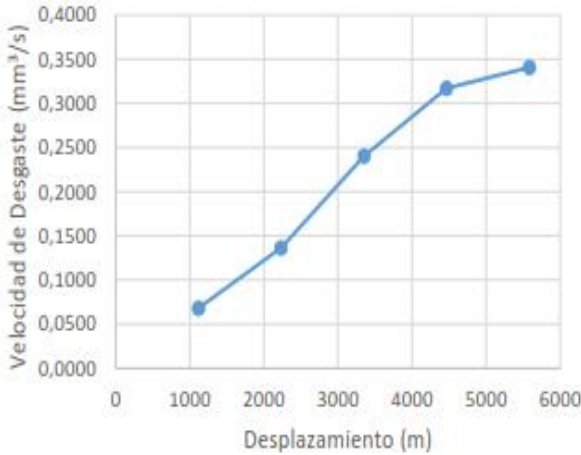

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	71,5863	0,1756	22,3694	0,1572	0,0008	0,0466
2234	71,4107	0,3512	44,7389	0,3144	0,0016	0,0932
3351	71,1015	0,6604	84,1274	0,5912	0,0030	0,1753
4468	70,9966	0,7653	97,4904	0,6851	0,0034	0,2031
5585	70,8840	0,8779	111,8344	0,7859	0,0039	0,2330



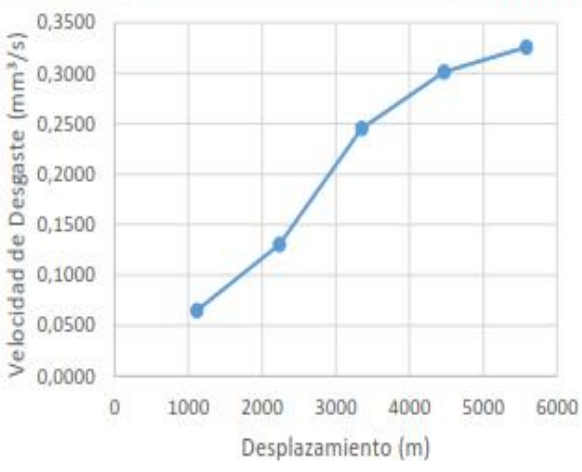





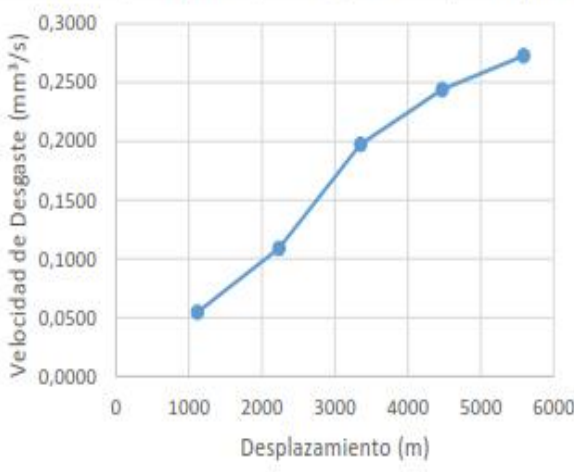

Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



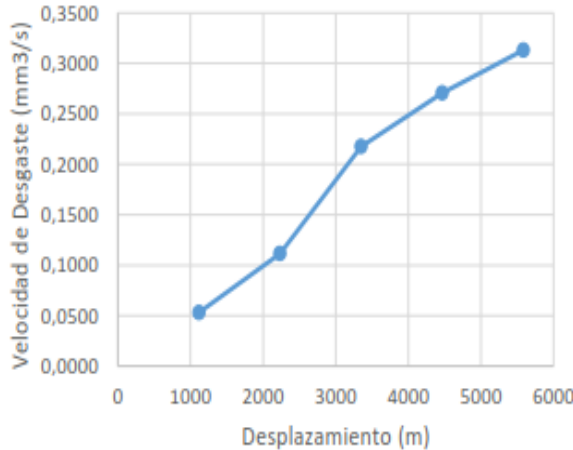

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 12	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
Característica de la probeta		Características de la máquina				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	65,9386 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,7732	0,1654	21,0701	0,1481	0,0007	0,0439
2234	65,5878	0,3508	44,6879	0,3141	0,0016	0,0931
3351	65,2782	0,6604	84,1274	0,5912	0,0030	0,1753
4468	65,1723	0,7663	97,6178	0,6860	0,0034	0,2034
5585	65,0605	0,8781	111,8599	0,7861	0,0040	0,2330
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



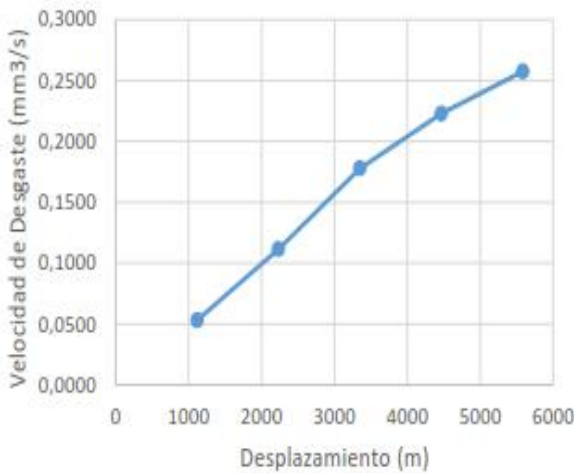

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 13	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	64,1726 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,9969	0,1757	22,3822	0,1573	0,0008	0,0466
2234	63,8212	0,3514	44,7643	0,3146	0,0016	0,0933
3351	63,5151	0,6575	83,7580	0,5886	0,0030	0,1745
4468	63,4076	0,7650	97,4522	0,6849	0,0034	0,2030
5585	63,2940	0,8786	111,9236	0,7866	0,0040	0,2332
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 14	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
Característica de la probeta		Características de la máquina				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	66,2879 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	66,1094	0,1785	22,7389	0,1598	0,0008	0,0474
2234	65,9348	0,3531	44,9809	0,3161	0,0016	0,0937
3351	65,6255	0,6624	84,3822	0,5930	0,0030	0,1758
4468	65,5234	0,7645	97,3885	0,6844	0,0034	0,2029
5585	65,4102	0,8777	111,8089	0,7858	0,0039	0,2329
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 15	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	65,1712 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	64,9924	0,1788	22,7771	0,1601	0,0008	0,0475
2234	64,8135	0,3577	45,5669	0,3202	0,0016	0,0949
3351	64,5094	0,6618	84,3057	0,5925	0,0030	0,1756
4468	64,3999	0,7713	98,2548	0,6905	0,0035	0,2047
5585	64,2995	0,8717	111,0446	0,7804	0,0039	0,2313
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 16	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	65,213 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,0192	0,1938	24,6879	0,1735	0,0009	0,0514
2234	64,8254	0,3876	49,3758	0,3470	0,0017	0,1029
3351	64,4931	0,7199	91,7070	0,6445	0,0032	0,1911
4468	64,3578	0,8552	108,9427	0,7656	0,0038	0,2270
5585	64,2439	0,9691	123,4522	0,8676	0,0044	0,2572
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 17	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	70,377 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	70,1886	0,1884	24,0000	0,1687	0,0008	0,0500
2234	70,0001	0,3769	48,0127	0,3374	0,0017	0,1000
3351	69,6595	0,7175	91,4013	0,6423	0,0032	0,1904
4468	69,5291	0,8479	108,0127	0,7591	0,0038	0,2250
5585	69,4048	0,9722	123,8471	0,8704	0,0044	0,2580
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 18	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	64,0926 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	1117	63,9021	0,1905	24,2675	0,1705	0,0009
2234	2234	63,7016	0,3910	49,8089	0,3500	0,0018
3351	3351	63,3750	0,7176	91,4140	0,6424	0,0032
4468	4468	63,2357	0,8569	109,1592	0,7671	0,0039
5585	5585	63,1224	0,9702	123,5924	0,8686	0,0044
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						





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



**DATOS INFORMATIVOS:**

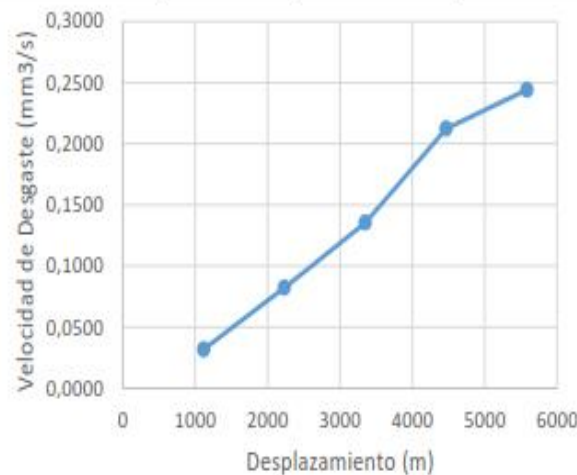
Probeta: 19	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	75,3079 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	75,1146	0,1933	24,6242	0,1731	0,0009	0,0513
2234	74,9212	0,3867	49,2611	0,3462	0,0017	0,1026
3351	74,5912	0,7167	91,2994	0,6416	0,0032	0,1902
4468	74,4561	0,8518	108,5096	0,7626	0,0038	0,2261
5585	74,3412	0,9667	123,1465	0,8654	0,0043	0,2566



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

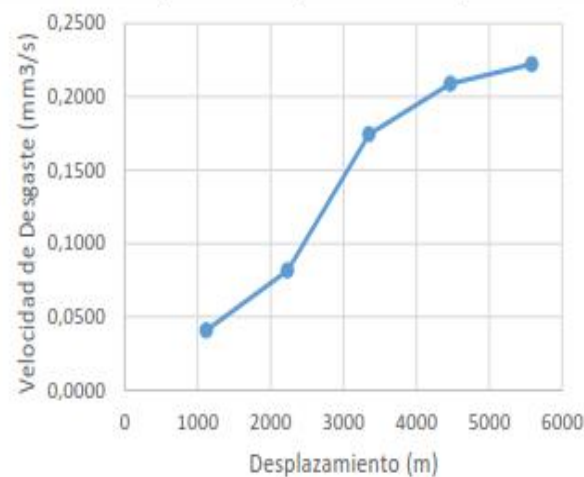
Probeta: 20	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



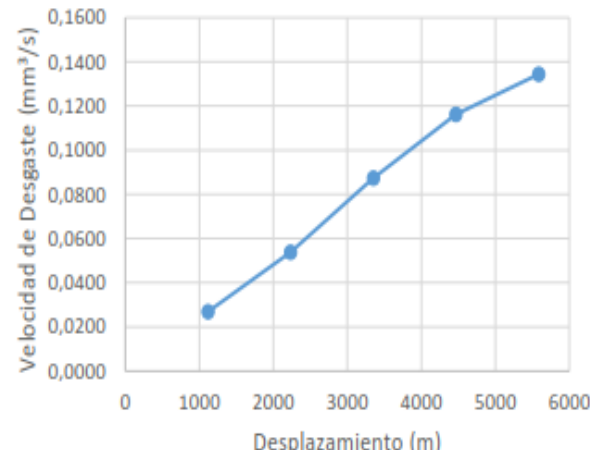

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 μm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	68,8972 g	Cantidad de agua	0.940 kg



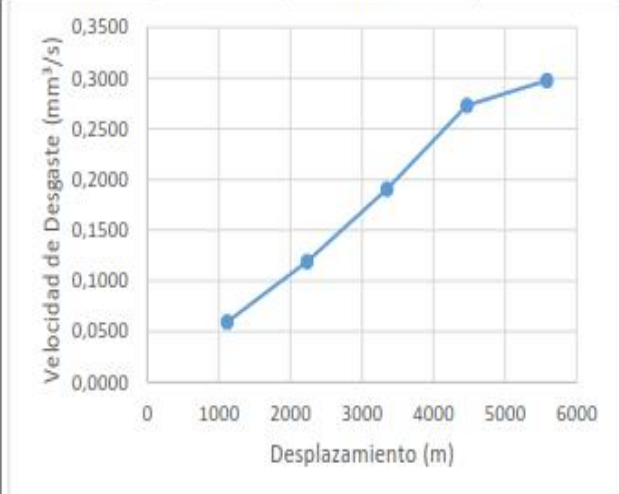

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	68,7135	0,1837	23,4013	0,1645	0,0008	0,0488
2234	68,5098	0,3874	49,3503	0,3468	0,0017	0,1028
3351	68,1758	0,7214	91,8981	0,6458	0,0032	0,1915
4468	68,0398	0,8574	109,2229	0,7676	0,0039	0,2275
5585	67,9258	0,9714	123,7452	0,8697	0,0044	0,2578



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 21	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	63,1685 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,9690	0,1995	25,4140	0,1786	0,0009	0,0529
2234	62,7695	0,3990	50,8280	0,3572	0,0018	0,1059
3351	62,4631	0,7054	89,8599	0,6315	0,0032	0,1872
4468	62,2012	0,9673	123,2229	0,8660	0,0044	0,2567
5585	62,1711	0,9974	127,0573	0,8929	0,0045	0,2647
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastian Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastian Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 22	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	77,7753 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	77,5718	0,2035	25,9236	0,1822	0,0009	0,0540
2234	77,3753	0,4000	50,9554	0,3581	0,0018	0,1062
3351	77,0713	0,7040	89,6815	0,6303	0,0032	0,1868
4468	76,8063	0,9690	123,4395	0,8675	0,0044	0,2572
5585	76,7777	0,9976	127,0828	0,8931	0,0045	0,2648
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

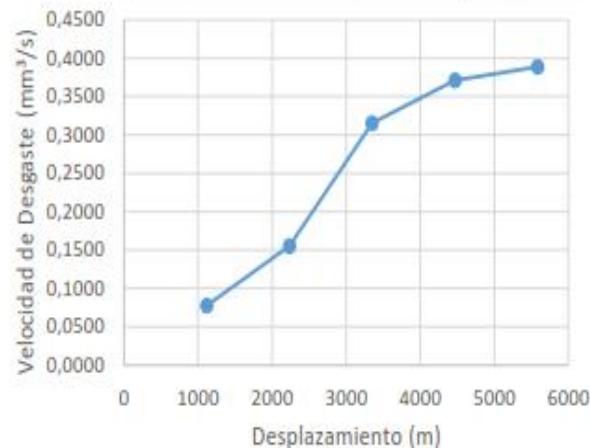
Probeta: 23	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	74,4378 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	74,2378	0,2000	25,4777	0,1791	0,0009	0,0531
2234	74,0408	0,3970	50,5732	0,3554	0,0018	0,1054
3351	73,7378	0,7000	89,1720	0,6267	0,0031	0,1858
4468	73,4678	0,9700	123,5669	0,8684	0,0044	0,2574
5585	73,4378	1,0000	127,3885	0,8953	0,0045	0,2654



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

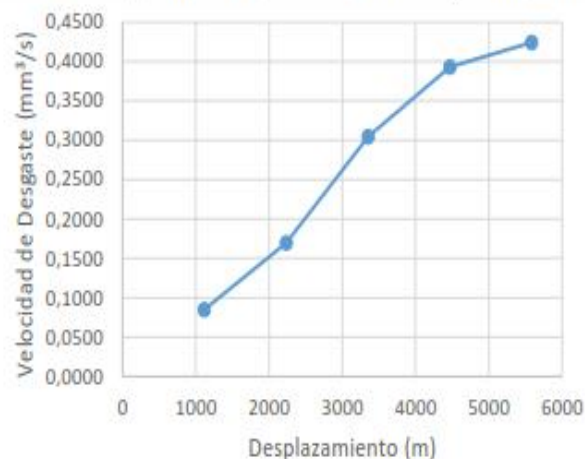
Probeta: 24	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	71,6714 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	71,4714	0,2000	25,4777	0,1791	0,0009	0,0531
2234	71,2714	0,4000	50,9554	0,3581	0,0018	0,1062
3351	70,9714	0,7000	89,1720	0,6267	0,0031	0,1858
4468	70,6994	0,9720	123,8217	0,8702	0,0044	0,2580
5585	70,6714	1,0000	127,3885	0,8953	0,0045	0,2654



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

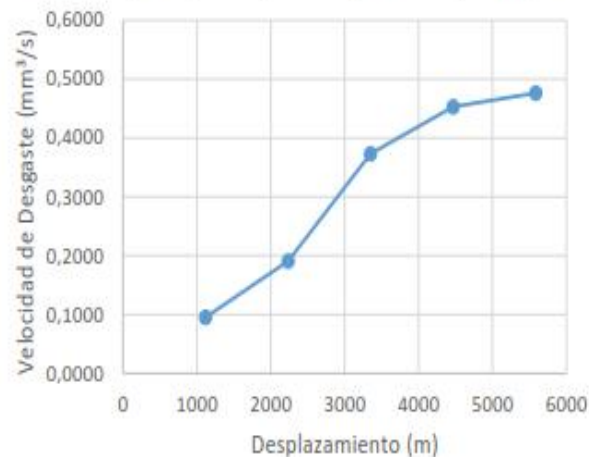
Probeta: 25	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



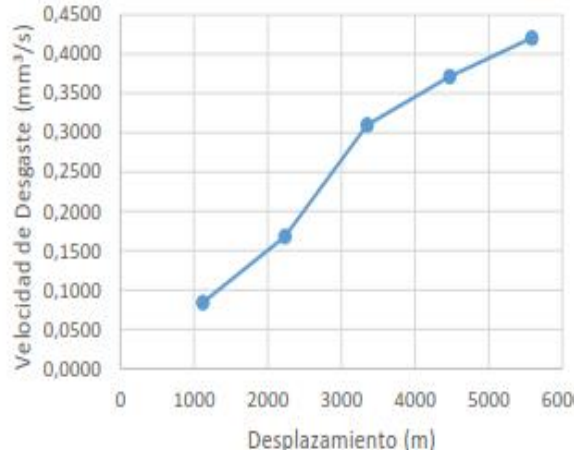

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	65,4832 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	$\Delta P$ (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,2793	0,2039	25,9745	0,1825	0,0009	0,0541
2234	65,0935	0,3897	49,6433	0,3489	0,0018	0,1034
3351	64,7791	0,7041	89,6943	0,6303	0,0032	0,1869
4468	64,5112	0,9720	123,8217	0,8702	0,0044	0,2580
5585	64,4789	1,0043	127,9363	0,8991	0,0045	0,2665



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 26	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	72,0185 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	71,8157	0,2028	25,8344	0,1816	0,0009	0,0538
2234	71,6128	0,4057	51,6815	0,3632	0,0018	0,1077
3351	71,3021	0,7164	91,2611	0,6414	0,0032	0,1901
4468	71,0992	0,9193	117,1083	0,8230	0,0041	0,2440
5585	71,0043	1,0142	129,1975	0,9080	0,0046	0,2692
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						





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


**DATOS INFORMATIVOS:**

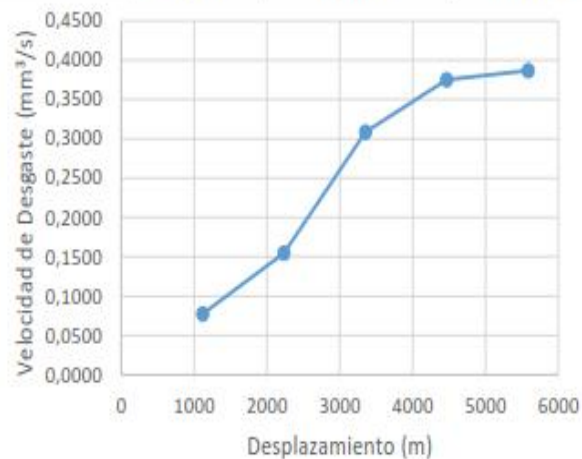
Probeta: 27	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



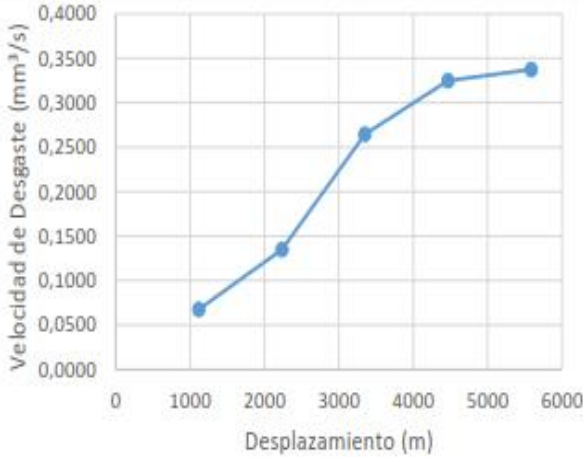

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	62,6745 g	Cantidad de agua	0.940 kg



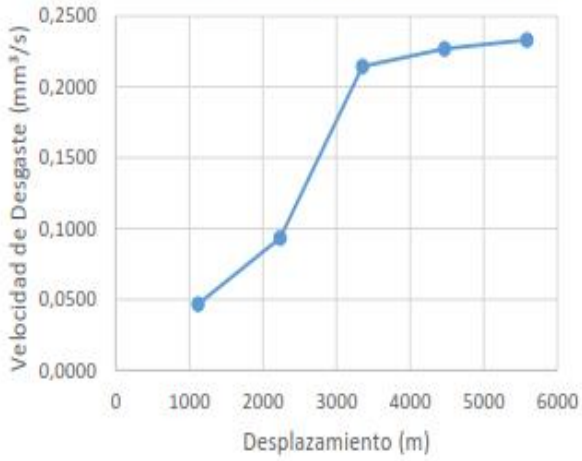

**RESULTADOS**



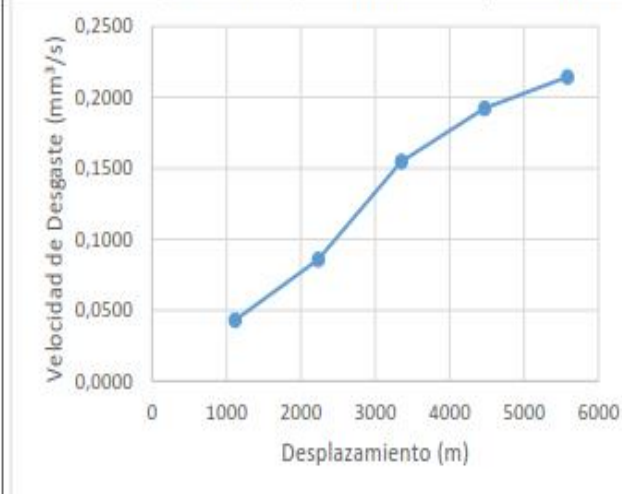

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,4754	0,1991	25,3631	0,1782	0,0009	0,0528
2234	62,2713	0,4032	51,3631	0,3610	0,0018	0,1070
3351	61,9592	0,7153	91,1210	0,6404	0,0032	0,1898
4468	61,7521	0,9224	117,5032	0,8258	0,0041	0,2448
5585	61,6541	1,0204	129,9873	0,9135	0,0046	0,2708



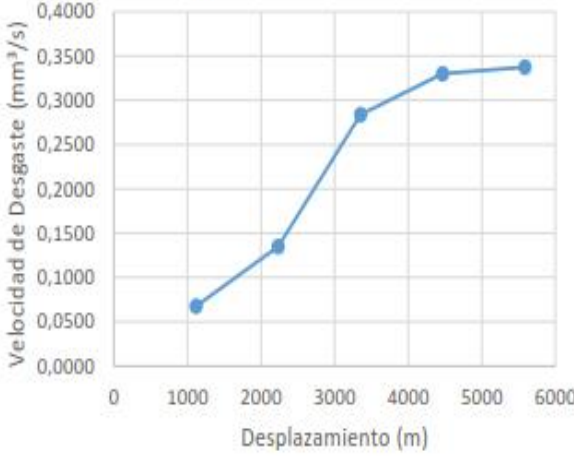



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 28	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	76,1747 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	75,9768	0,1979	25,2102	0,1772	0,0009	0,0525
2234	75,7689	0,4058	51,6943	0,3633	0,0018	0,1077
3351	75,4591	0,7156	91,1592	0,6406	0,0032	0,1899
4468	75,2512	0,9235	117,6433	0,8268	0,0042	0,2451
5585	75,1552	1,0195	129,8726	0,9127	0,0046	0,2706
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 29	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	73,7322 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	73,5333	0,1989	25,3376	0,1781	0,0009	0,0528
2234	73,3244	0,4078	51,9490	0,3651	0,0018	0,1082
3351	73,0159	0,7163	91,2484	0,6413	0,0032	0,1901
4468	72,8124	0,9198	117,1720	0,8235	0,0041	0,2441
5585	72,7097	1,0225	130,2548	0,9154	0,0046	0,2714
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 30	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	64,0549 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,8572	0,1977	25,1847	0,1770	0,0009	0,0525
2234	63,6515	0,4034	51,3885	0,3611	0,0018	0,1071
3351	63,3344	0,7205	91,7834	0,6450	0,0032	0,1912
4468	63,1292	0,9257	117,9236	0,8287	0,0042	0,2457
5585	63,0414	1,0135	129,1083	0,9073	0,0046	0,2690
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 31	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
Característica de la probeta		Características de la máquina				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	62,4491 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,2335	0,2156	27,4650	0,1930	0,0010	0,0572
2234	62,0178	0,4313	54,9427	0,3861	0,0019	0,1145
3351	61,5743	0,8748	111,4395	0,7832	0,0039	0,2322
4468	61,4013	1,0478	133,4777	0,9380	0,0047	0,2781
5585	61,3709	1,0782	137,3503	0,9653	0,0049	0,2861
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

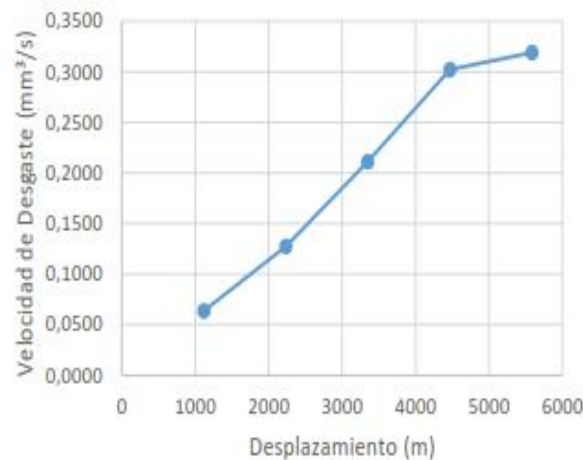
Probeta: 32	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



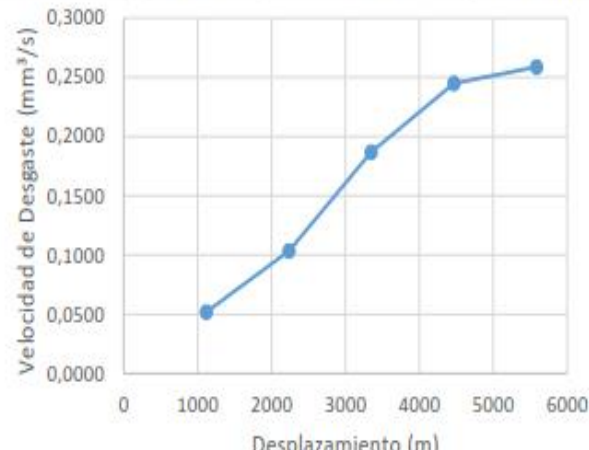

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	66,8124 g	Cantidad de agua	0.940 kg



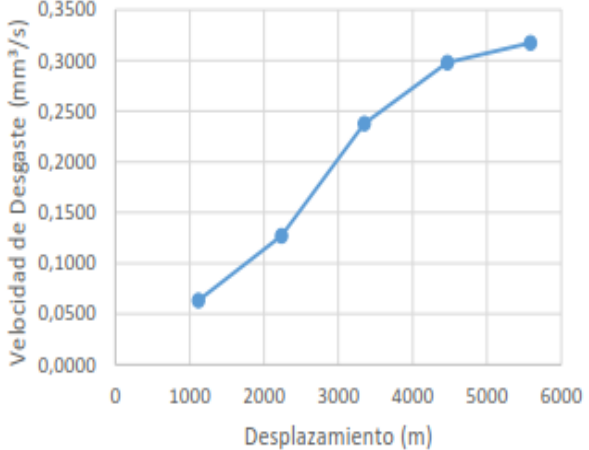

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	66,5980	0,2144	27,3121	0,1919	0,0010	0,0569
2234	66,3836	0,4288	54,6242	0,3839	0,0019	0,1138
3351	65,9348	0,8776	111,7962	0,7857	0,0039	0,2329
4468	65,7643	1,0481	133,5159	0,9383	0,0047	0,2782
5585	65,7305	1,0819	137,8217	0,9686	0,0049	0,2871



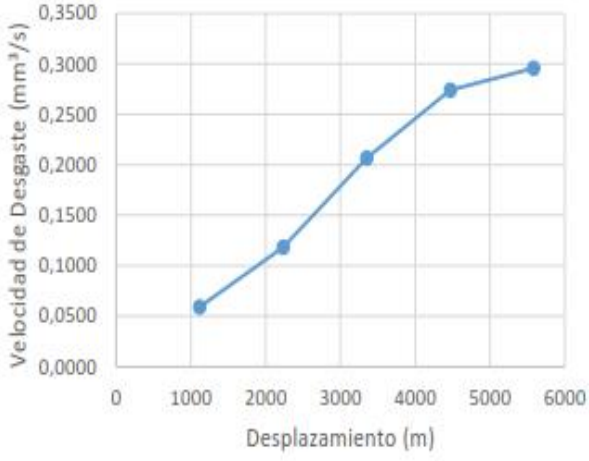



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 33	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	70,446 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	70,2315	0,2145	27,3210	0,1920	0,0010	0,0569
2234	70,0199	0,4261	54,2803	0,3815	0,0019	0,1131
3351	69,5719	0,8741	111,3503	0,7825	0,0039	0,2320
4468	69,3998	1,0462	133,2739	0,9366	0,0047	0,2777
5585	69,3697	1,0763	137,1083	0,9636	0,0048	0,2856
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 34	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	63,7257 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,5096	0,2161	27,5287	0,1935	0,0010	0,0574
2234	63,2995	0,4262	54,2930	0,3816	0,0019	0,1131
3351	62,8512	0,8745	111,4013	0,7829	0,0039	0,2321
4468	62,6808	1,0449	133,1083	0,9355	0,0047	0,2773
5585	62,6501	1,0756	137,0191	0,9629	0,0048	0,2855
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
 						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 35	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	65.7459 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,5330	0,2129	27,1210	0,1906	0,0010	0,0565
2234	65,3202	0,4257	54,2293	0,3811	0,0019	0,1130
3351	64,8674	0,8785	111,9108	0,7865	0,0040	0,2331
4468	64,7009	1,0450	133,1210	0,9355	0,0047	0,2773
5585	64,6706	1,0753	136,9809	0,9627	0,0048	0,2854
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

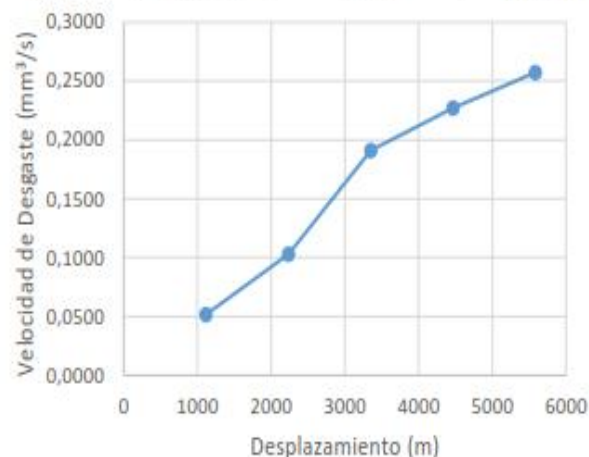
Probeta: 36	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



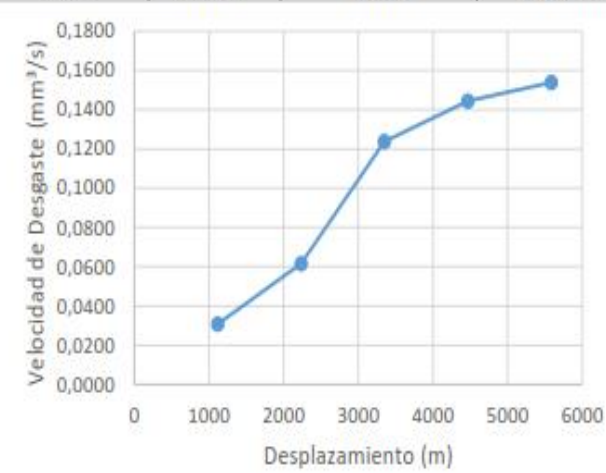

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	63,8156 g	Cantidad de agua	0.940 kg



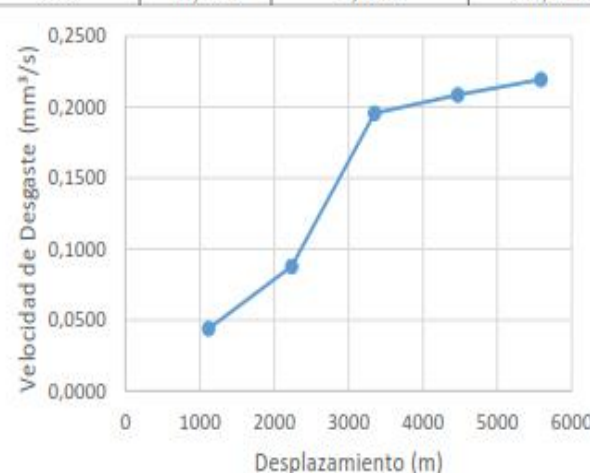

**RESULTADOS**



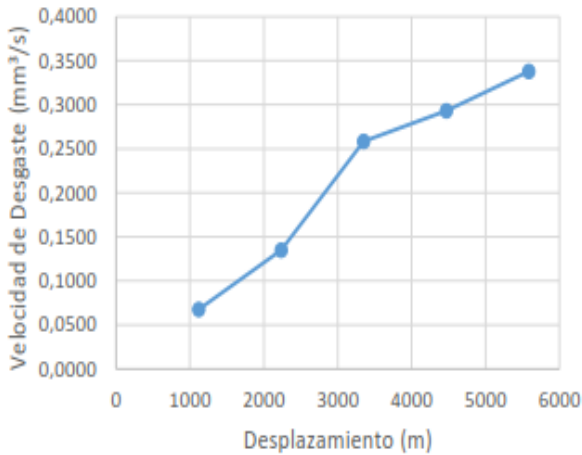

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,5775	0,2381	30,3312	0,2132	0,0011	0,0632
2234	63,3394	0,4762	60,6624	0,4263	0,0021	0,1264
3351	62,9891	0,8265	105,2866	0,7399	0,0037	0,2193
4468	62,6912	1,1244	143,2357	1,0066	0,0051	0,2984
5585	62,6252	1,1904	151,6433	1,0657	0,0054	0,3159



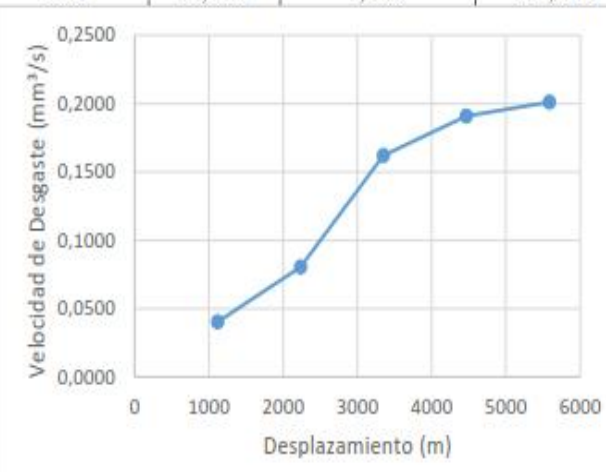





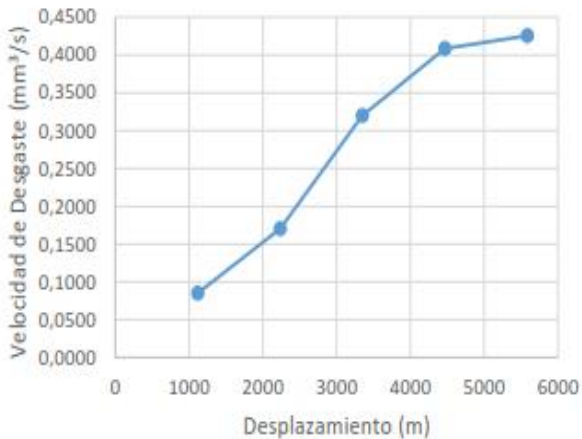

Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



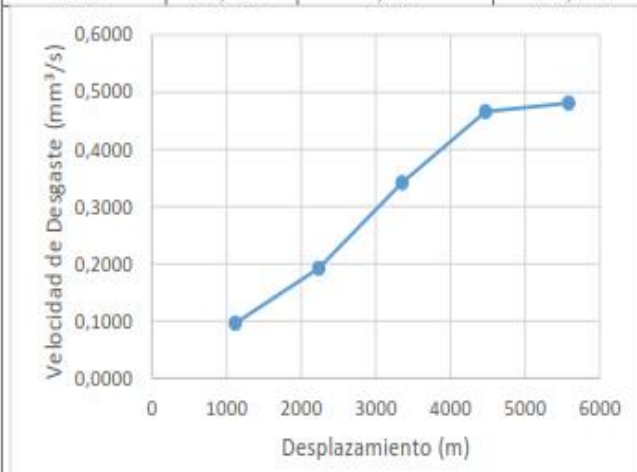

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 37	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	66,5523 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	66,3119	0,2404	30,6242	0,2152	0,0011	0,0638
2234	66,0716	0,4807	61,2357	0,4303	0,0022	0,1276
3351	65,7267	0,8256	105,1720	0,7391	0,0037	0,2191
4468	65,4235	1,1288	143,7962	1,0106	0,0051	0,2996
5585	65,3605	1,1918	151,8217	1,0670	0,0054	0,3163
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 38	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	63,1575 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,9248	0,2327	29,6433	0,2083	0,0010	0,0618
2234	62,6921	0,4654	59,2866	0,4167	0,0021	0,1235
3351	62,3323	0,8252	105,1210	0,7388	0,0037	0,2190
4468	62,0276	1,1299	143,9363	1,0115	0,0051	0,2999
5585	61,9719	1,1856	151,0318	1,0614	0,0053	0,3146
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



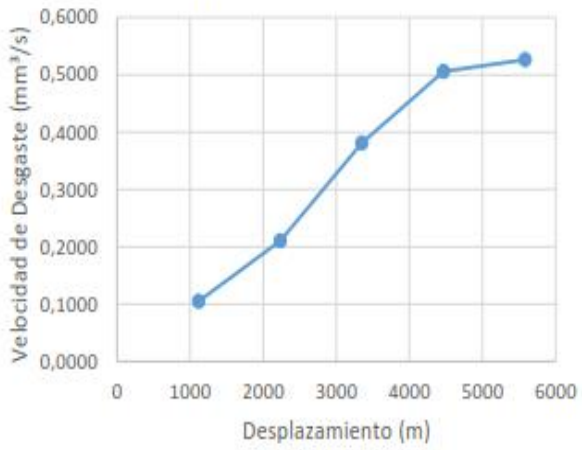

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 39	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	67,2505 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	67,0113	0,2392	30,4713	0,2141	0,0011	0,0635
2234	66,7721	0,4784	60,9427	0,4283	0,0022	0,1270
3351	66,4242	0,8263	105,2611	0,7397	0,0037	0,2193
4468	66,1283	1,1222	142,9554	1,0047	0,0050	0,2978
5585	66,0545	1,1960	152,3567	1,0707	0,0054	0,3174
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						



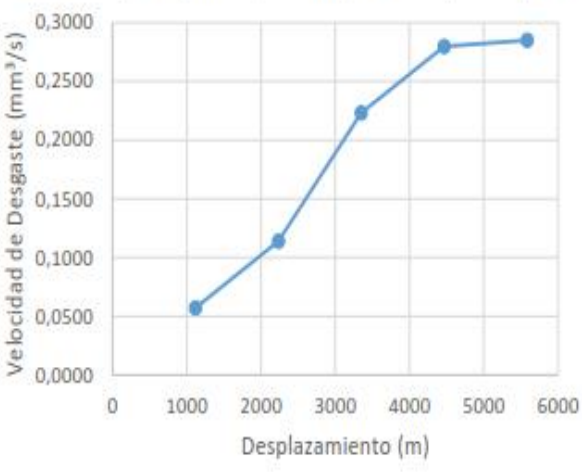

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 40	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	76,6139 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	76,3783	0,2356	30,0127	0,2109	0,0011	0,0625
2234	76,1427	0,4712	60,0255	0,4218	0,0021	0,1251
3351	75,7852	0,8287	105,5669	0,7419	0,0037	0,2199
4468	75,4902	1,1237	143,1465	1,0060	0,0051	0,2982
5585	75,4259	1,1880	151,3376	1,0636	0,0053	0,3153
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 41	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	68,9517 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	68,6980	0,2537	32,3185	0,2271	0,0011	0,0673
2234	68,4343	0,5174	65,9108	0,4632	0,0023	0,1373
3351	68,0343	0,9174	116,8662	0,8213	0,0041	0,2435
4468	67,9543	0,9974	127,0573	0,8929	0,0045	0,2647
5585	67,9043	1,0474	133,4268	0,9377	0,0047	0,2780
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 42	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	59,8084 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	59,5556	0,2528	32,2038	0,2263	0,0011	0,0671
2234	59,3000	0,5084	64,7643	0,4551	0,0023	0,1349
3351	58,8912	0,9172	116,8408	0,8211	0,0041	0,2434
4468	58,7999	1,0085	128,4713	0,9029	0,0045	0,2676
5585	58,7595	1,0489	133,6178	0,9390	0,0047	0,2784
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 43	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	64,1934 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1117	63,9397	0,2537	32,3185	0,2271	0,0011	0,0673
2234	63,6757	0,5177	65,9490	0,4635	0,0023	0,1374
3351	63,2797	0,9137	116,3949	0,8180	0,0041	0,2425
4468	63,1947	0,9987	127,2229	0,8941	0,0045	0,2650
5585	63,1447	1,0487	133,5924	0,9389	0,0047	0,2783
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 44	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	64,0197 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1117	63,7659	0,2538	32,3312	0,2272	0,0011	0,0674
2234	63,5222	0,4975	63,3758	0,4454	0,0022	0,1320
3351	63,1035	0,9162	116,7134	0,8202	0,0041	0,2432
4468	63,0191	1,0006	127,4650	0,8958	0,0045	0,2656
5585	62,9709	1,0488	133,6051	0,9389	0,0047	0,2783
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

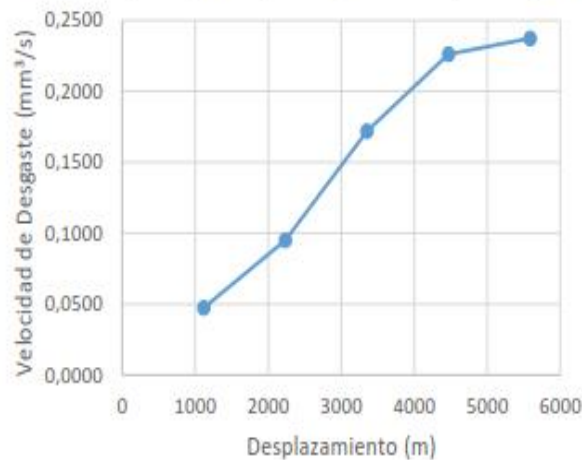
Probeta: 45	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



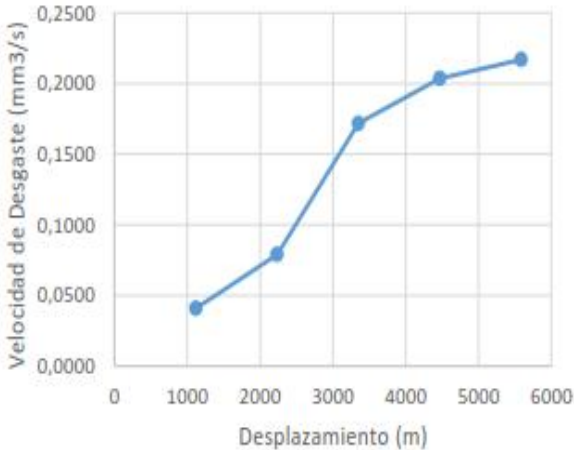

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	74,5365 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	74,2811	0,2554	32,5350	0,2286	0,0011	0,0678
2234	74,0256	0,5109	65,0828	0,4574	0,0023	0,1356
3351	73,6227	0,9138	116,4076	0,8181	0,0041	0,2425
4468	73,5402	0,9963	126,9172	0,8919	0,0045	0,2644
5585	73,4893	1,0472	133,4013	0,9375	0,0047	0,2779



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 46	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	64,5896 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L. (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	64,3359	0,2537	32,3185	0,2271	0,0011	0,0673
2234	64,1409	0,4487	57,1592	0,4017	0,0020	0,1191
3351	63,8409	0,7487	95,3758	0,6703	0,0034	0,1987
4468	63,6209	0,9687	123,4013	0,8672	0,0044	0,2571
5585	63,6009	0,9887	125,9490	0,8851	0,0044	0,2624
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						



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



**DATOS INFORMATIVOS:**

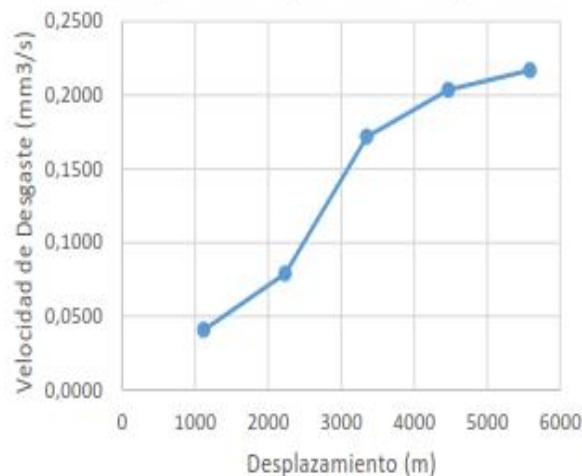
Probeta: 47	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	64,7856 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1117	64,5313	0,2543	32,3949	0,2277	0,0011	0,0675
2234	64,3363	0,4493	57,2357	0,4022	0,0020	0,1192
3351	64,0363	0,7493	95,4522	0,6708	0,0034	0,1989
4468	63,8163	0,9693	123,4777	0,8678	0,0044	0,2572
5585	63,7983	0,9873	125,7707	0,8839	0,0044	0,2620



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

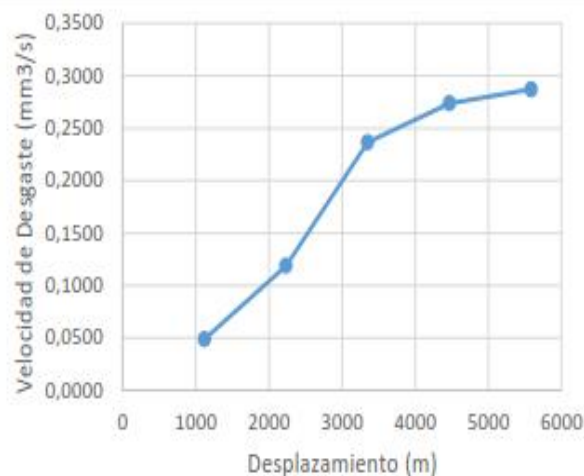
Probeta: 48	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	62,015 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	61,7621	0,2529	32,2166	0,2264	0,0011	0,0671
2234	61,5656	0,4494	57,2484	0,4023	0,0020	0,1193
3351	61,2653	0,7497	95,5032	0,6712	0,0034	0,1990
4468	61,0453	0,9697	123,5287	0,8681	0,0044	0,2574
5585	61,0333	0,9817	125,0573	0,8789	0,0044	0,2605



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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



**DATOS INFORMATIVOS:**

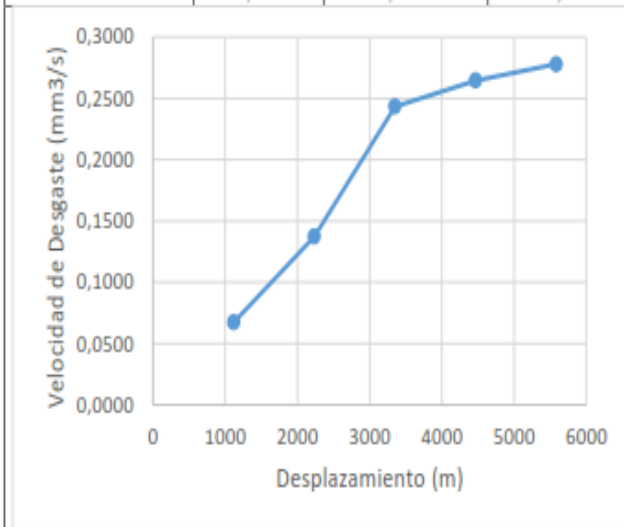
Probeta: 49	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	69,4136 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	69,1591	0,2545	32,4204	0,2278	0,0011	0,0675
2234	68,9647	0,4489	57,1847	0,4019	0,0020	0,1191
3351	68,6635	0,7501	95,5541	0,6715	0,0034	0,1991
4468	68,4458	0,9678	123,2866	0,8664	0,0044	0,2568
5585	68,4313	0,9823	125,1338	0,8794	0,0044	0,2607



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

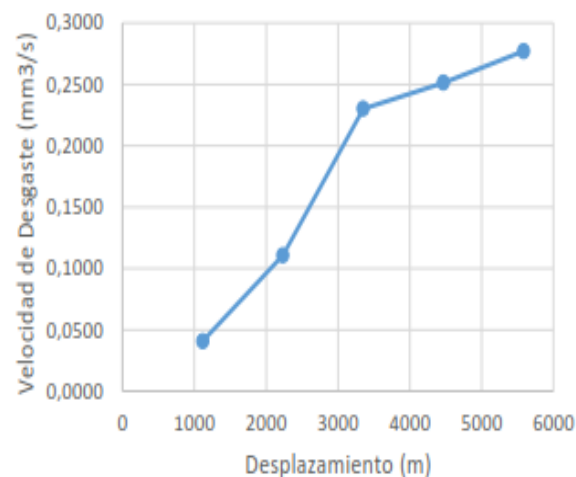
Probeta: 50	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	61,6315 g	Cantidad de agua	0.940 kg



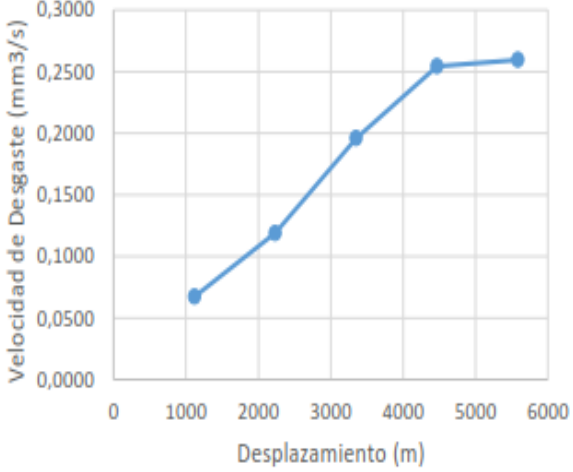

**RESULTADOS**



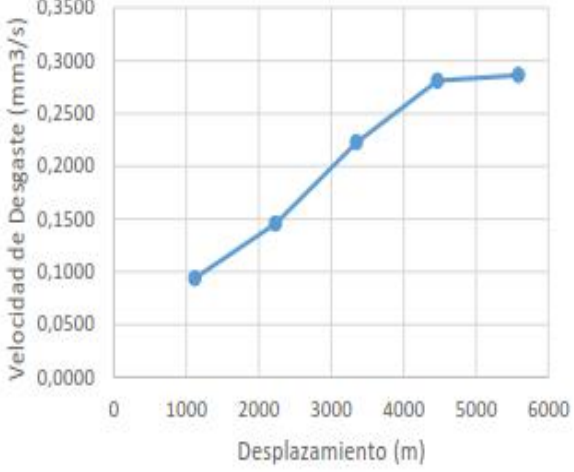

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	61,3798	0,2517	32,0637	0,2253	0,0011	0,0668
2234	61,1801	0,4514	57,5032	0,4041	0,0020	0,1198
3351	60,8801	0,7514	95,7197	0,6727	0,0034	0,1994
4468	60,6591	0,9724	123,8726	0,8705	0,0044	0,2581
5585	60,6481	0,9834	125,2739	0,8804	0,0044	0,2610



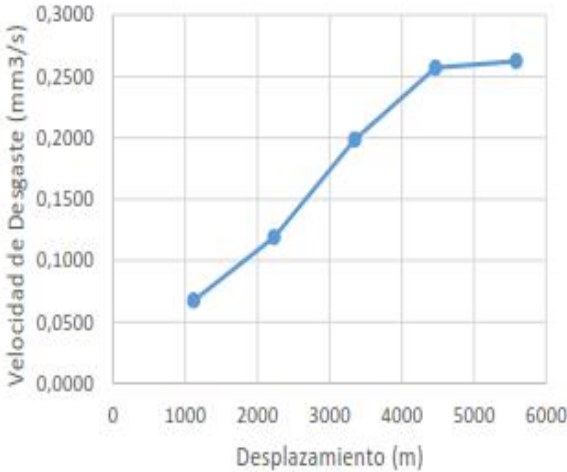





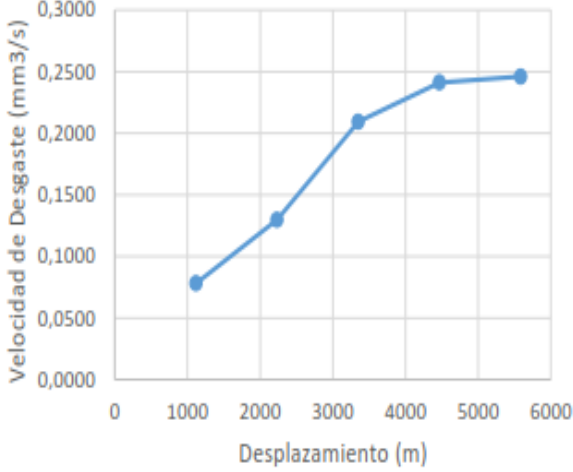

Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 51	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	69,4136 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	69,1591	0,2545	32,4204	0,2278	0,0011	0,0675
2234	68,9047	0,5089	64,8280	0,4556	0,0023	0,1351
3351	68,4163	0,9973	127,0446	0,8928	0,0045	0,2647
4468	68,1899	1,2237	155,8854	1,0955	0,0055	0,3248
5585	68,1413	1,2723	162,0764	1,1390	0,0057	0,3377
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 52	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	75,3839 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	75,1271	0,2568	32,7134	0,2299	0,0012	0,0682
2234	74,8803	0,5036	64,1529	0,4509	0,0023	0,1337
3351	74,3801	1,0038	127,8726	0,8987	0,0045	0,2664
4468	74,1652	1,2187	155,2484	1,0910	0,0055	0,3234
5585	74,1100	1,2739	162,2803	1,1405	0,0057	0,3381
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 53	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	68,9771 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	68,7226	0,2545	32,4204	0,2278	0,0011	0,0675
2234	68,4681	0,5090	64,8408	0,4557	0,0023	0,1351
3351	67,9799	0,9972	127,0318	0,8927	0,0045	0,2646
4468	67,7531	1,2240	155,9236	1,0958	0,0055	0,3248
5585	67,7046	1,2725	162,1019	1,1392	0,0057	0,3377
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Revisado por:	Ing. Santiago Medina			Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas	
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 54	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
Característica de la probeta		Características de la máquina				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 μm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	63,2006 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,9481	0,2525	32,1656	0,2261	0,0011	0,0670
2234	62,6957	0,5049	64,3185	0,4520	0,0023	0,1340
3351	62,1997	1,0009	127,5032	0,8961	0,0045	0,2656
4468	61,9822	1,2184	155,2102	1,0908	0,0055	0,3234
5585	61,9253	1,2753	162,4586	1,1417	0,0057	0,3385
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

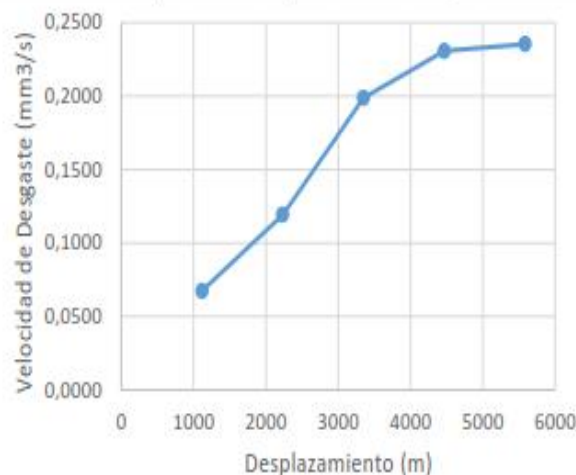
Probeta: 55	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



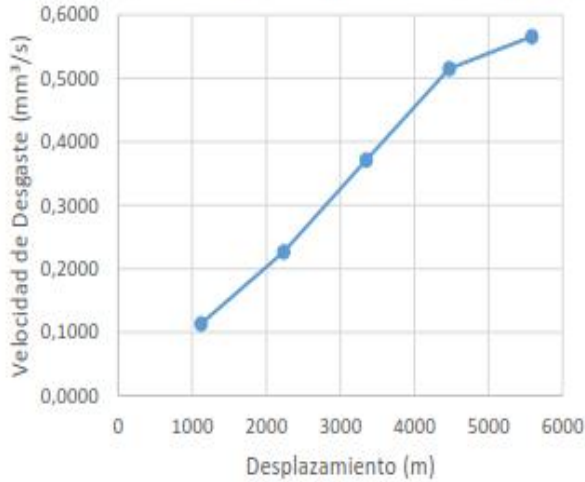

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	72,4823 g	Cantidad de agua	0.940 kg



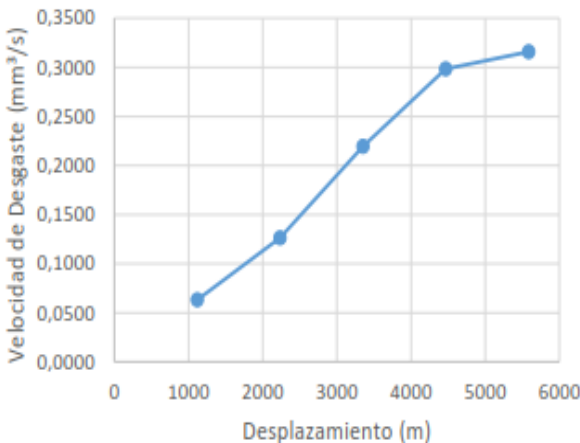

**RESULTADOS**



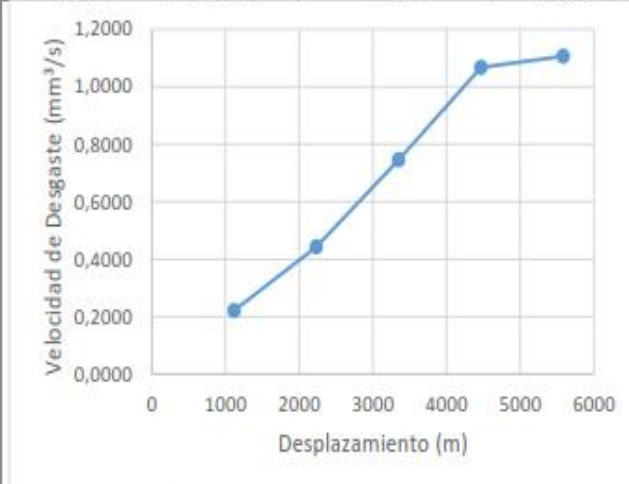

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	72,2302	0,2521	32,1146	0,2257	0,0011	0,0669
2234	71,9740	0,5083	64,7516	0,4551	0,0023	0,1349
3351	71,4799	1,0024	127,6943	0,8974	0,0045	0,2660
4468	71,2644	1,2179	155,1465	1,0903	0,0055	0,3232
5585	71,1999	1,2824	163,3631	1,1481	0,0058	0,3403





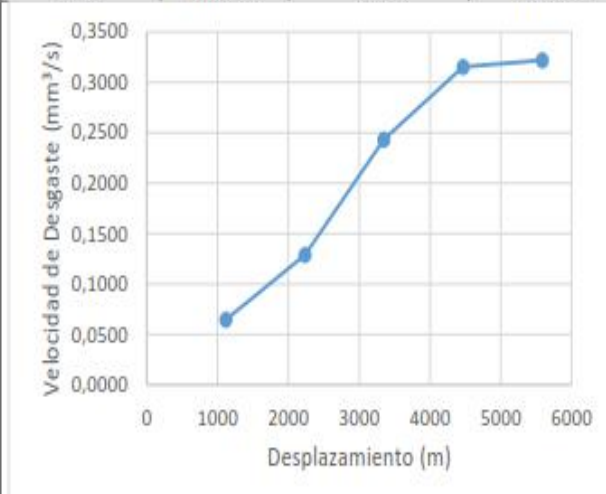

Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



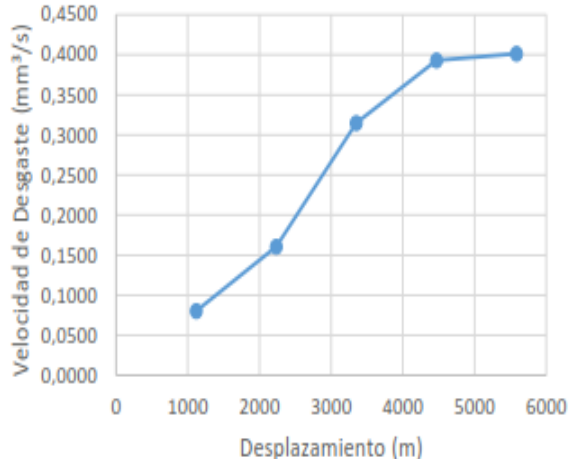

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 56	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	68,1972 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	67,9057	0,2915	37,1338	0,2610	0,0013	0,0774
2234	67,6143	0,5829	74,2548	0,5218	0,0026	0,1547
3351	67,0344	1,1628	148,1274	1,0410	0,0052	0,3086
4468	66,7843	1,4129	179,9873	1,2649	0,0064	0,3750
5585	66,7399	1,4573	185,6433	1,3047	0,0066	0,3868
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 57	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	74,603 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	74,3083	0,2947	37,5414	0,2638	0,0013	0,0782
2234	74,0137	0,5893	75,0701	0,5276	0,0027	0,1564
3351	73,4338	1,1692	148,9427	1,0467	0,0053	0,3103
4468	73,1918	1,4112	179,7707	1,2634	0,0063	0,3745
5585	73,1437	1,4593	185,8981	1,3064	0,0066	0,3873
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 58	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	68,5015 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	68,2087	0,2928	37,2994	0,2621	0,0013	0,0777
2234	67,9159	0,5856	74,5987	0,5243	0,0026	0,1554
3351	67,3333	1,1682	148,8153	1,0458	0,0053	0,3100
4468	67,0899	1,4116	179,8217	1,2637	0,0064	0,3746
5585	67,0475	1,4540	185,2229	1,3017	0,0065	0,3859
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 59	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	62,7451 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,4527	0,2924	37,2484	0,2618	0,0013	0,0776
2234	62,1602	0,5849	74,5096	0,5236	0,0026	0,1552
3351	61,5789	1,1662	148,5605	1,0440	0,0052	0,3095
4468	61,3334	1,4117	179,8344	1,2638	0,0064	0,3747
5585	61,2909	1,4542	185,2484	1,3019	0,0065	0,3859
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 60	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	64,8457 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	64,5515	0,2942	37,4777	0,2634	0,0013	0,0781
2234	64,2645	0,5812	74,0382	0,5203	0,0026	0,1542
3351	63,6765	1,1692	148,9427	1,0467	0,0053	0,3103
4468	63,4365	1,4092	179,5159	1,2616	0,0063	0,3740
5585	63,3885	1,4572	185,6306	1,3046	0,0066	0,3867
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

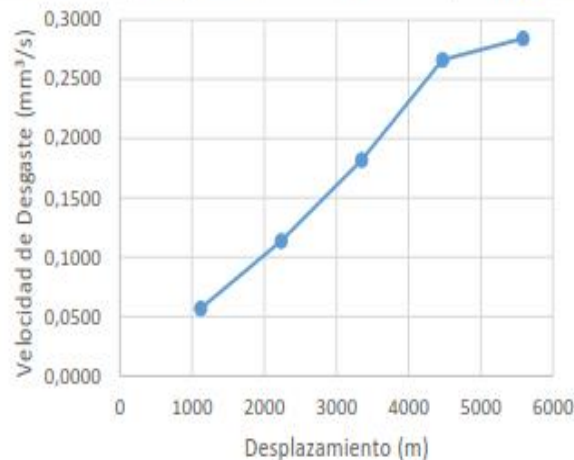
Probeta: 61	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



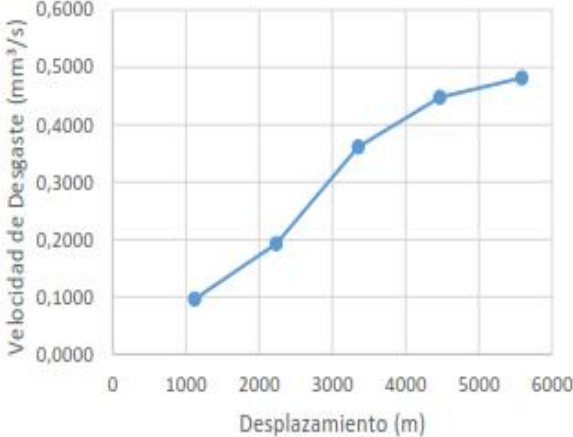

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicea.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	69,5018 g	Cantidad de agua	0.940 kg

**RESULTADOS**

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	$\Delta P$ (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	69,1849	0,3169	40,3694	0,2837	0,0014	0,0841
2234	68,868	0,6338	80,7389	0,5674	0,0029	0,1682
3351	68,3345	1,1673	148,7006	1,045	0,0053	0,3098
4468	68,1023	1,3995	178,2803	1,2529	0,0063	0,3714
5585	67,9172	1,5846	201,8599	1,4186	0,0071	0,4205



Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 62	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	65,8377 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	65,5168	0,3209	40,879	0,2873	0,0014	0,0852
2234	65,196	0,6417	81,7452	0,5745	0,0029	0,1703
3351	64,6713	1,1664	148,586	1,0442	0,0052	0,3096
4468	64,4383	1,3994	178,2675	1,2528	0,0063	0,3714
5585	64,2534	1,5843	201,8217	1,4184	0,0071	0,4205
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



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


**DATOS INFORMATIVOS:**

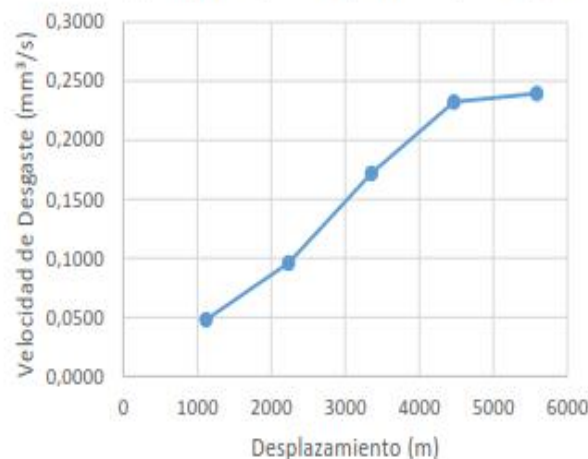
Probeta: 63	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas	
Normas aplicadas	G 105-89			

**DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO**



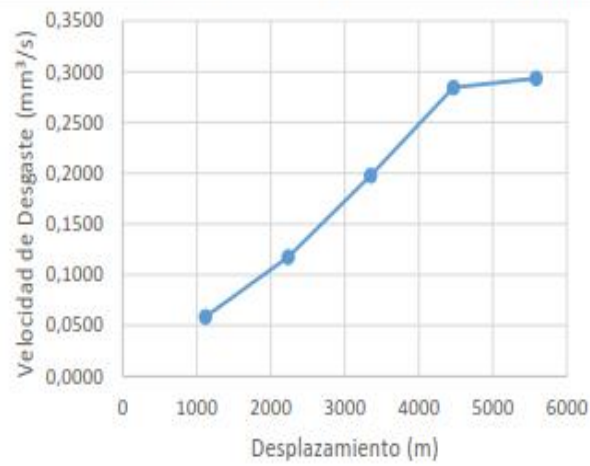

Característica de la probeta		Características de la máquina	
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg
Peso Inicial.	71,7215 g	Cantidad de agua	0.940 kg



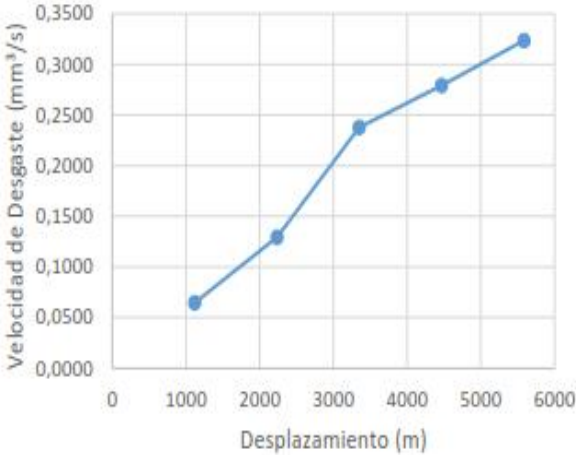

**RESULTADOS**



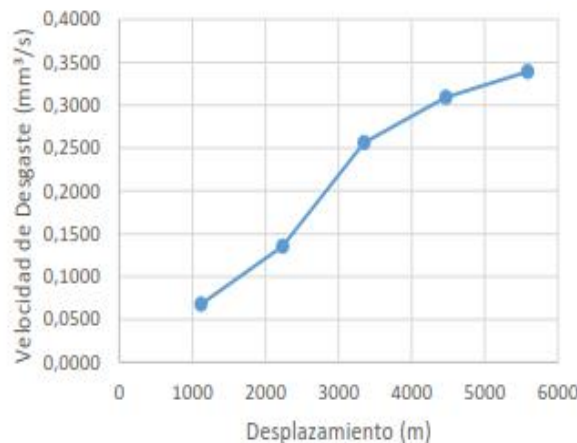

Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	$\Delta P$ (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	71,4011	0,3204	40,8153	0,2868	0,0014	0,085
2234	71,0908	0,6307	80,3439	0,5646	0,0028	0,1674
3351	70,5577	1,1638	148,2548	1,0419	0,0052	0,3089
4468	70,325	1,3965	177,8981	1,2502	0,0063	0,3706
5585	70,1397	1,5818	201,5032	1,4161	0,0071	0,4198





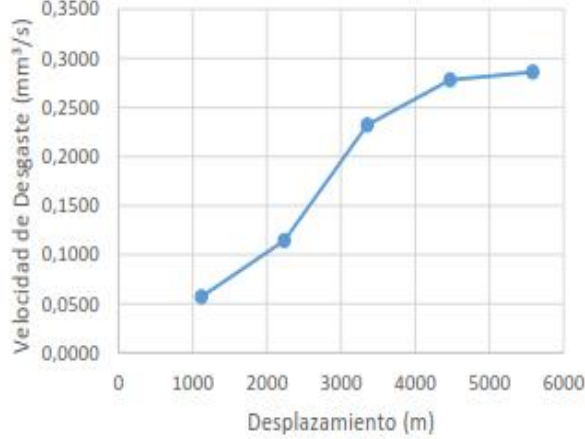

Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Revisado por:	Ing. Santiago Medina	Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas
Observaciones:			



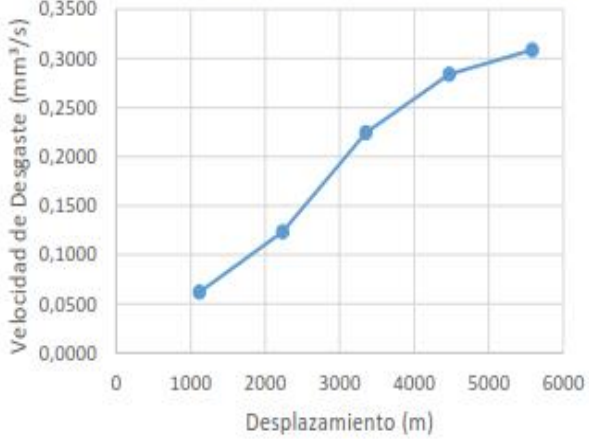

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 64	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	66,7258 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	66,4062	0,3196	40,7134	0,2861	0,0014	0,0848
2234	66,0866	0,6392	81,4268	0,5722	0,0029	0,1696
3351	65,5589	1,1669	148,6497	1,0447	0,0052	0,3097
4468	65,3257	1,4001	178,3567	1,2534	0,0063	0,3716
5585	65,1477	1,5781	201,0318	1,4128	0,0071	0,4188
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



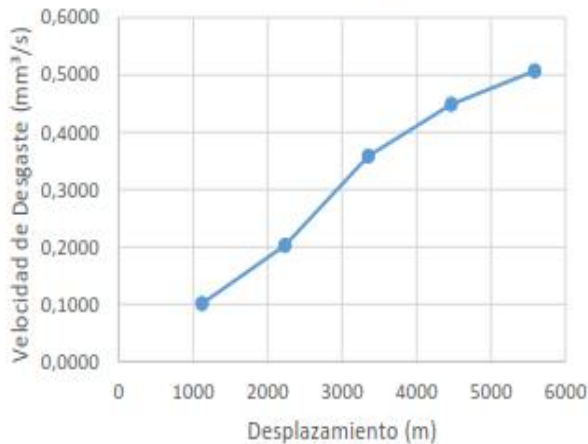

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 65	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	75,5786 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	75,2597	0,3189	40,6242	0,2855	0,0014	0,0846
2234	74,9499	0,6287	80,0892	0,5628	0,0028	0,1669
3351	74,4066	1,172	149,2994	1,0492	0,0053	0,311
4468	74,1778	1,4008	178,4459	1,2541	0,0063	0,3718
5585	73,9943	1,5843	201,8217	1,4184	0,0071	0,4205
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



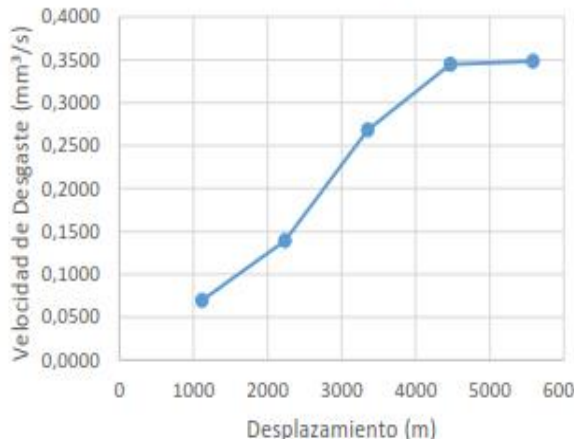

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 66	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	69,7519 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	69,4305	0,3214	40,9427	0,2877	0,0014	0,0853
2234	69,1171	0,6348	80,8662	0,5683	0,0029	0,1685
3351	68,5832	1,1687	148,879	1,0463	0,0053	0,3102
4468	68,3495	1,4024	178,6497	1,2555	0,0063	0,3722
5585	68,1698	1,5821	201,5414	1,4164	0,0071	0,4199
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



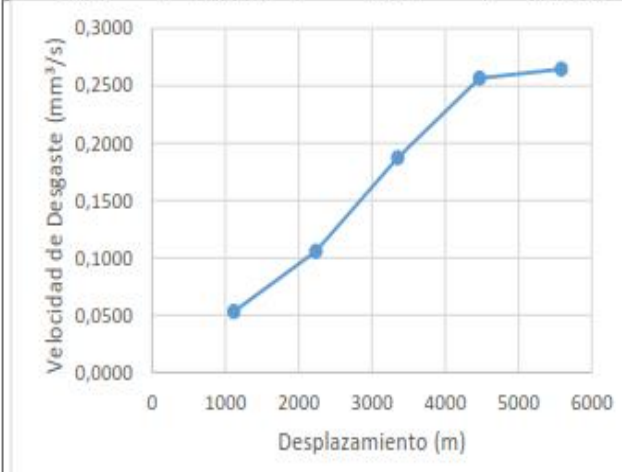





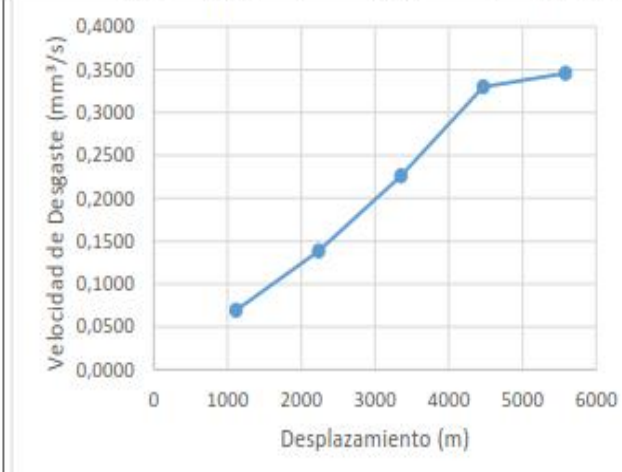

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 67	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	63,8186 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,4999	0,3187	40,5987	0,2853	0,0014	0,0846
2234	63,1832	0,6354	80,9427	0,5688	0,0029	0,1686
3351	62,6567	1,1619	148,0127	1,0402	0,0052	0,3084
4468	62,4194	1,3992	178,242	1,2526	0,0063	0,3713
5585	62,2399	1,5787	201,1083	1,4133	0,0071	0,419
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



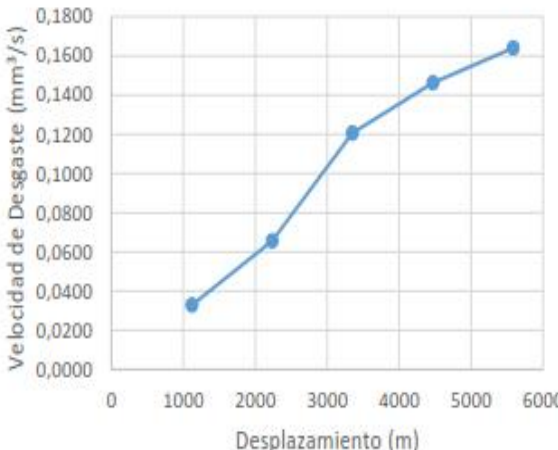

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 68	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	60,3723 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	60,0523	0,32	40,7643	0,2865	0,0014	0,0849
2234	59,7382	0,6341	80,7771	0,5677	0,0029	0,1683
3351	59,2092	1,1631	148,1656	1,0413	0,0052	0,3087
4468	58,9691	1,4032	178,7516	1,2562	0,0063	0,3724
5585	58,7921	1,5802	201,2994	1,4147	0,0071	0,4194
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



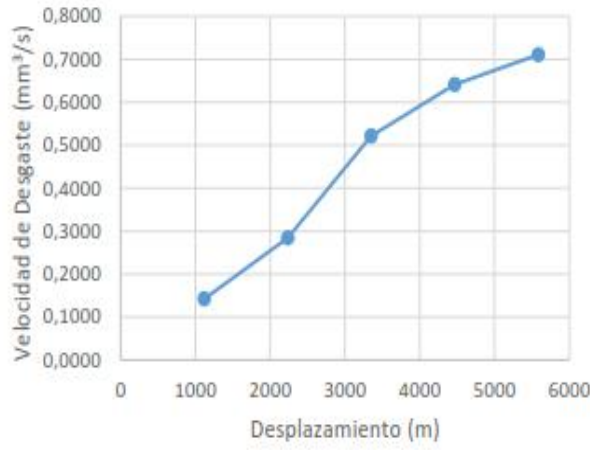

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 69	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Egdo Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM	Fecha:	14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	64,9345 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	64,6198	0,3147	40,0892	0,2817	0,0014	0,0835
2234	64,2999	0,6346	80,8408	0,5681	0,0029	0,1684
3351	63,7708	1,1637	148,242	1,0418	0,0052	0,3088
4468	63,5308	1,4037	178,8153	1,2567	0,0063	0,3725
5585	63,3496	1,5849	201,9006	1,4189	0,0071	0,4206
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 70	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	66,5787 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	66,2606	0,3181	40,5223	0,2848	0,0014	0,0844
2234	65,9504	0,6283	80,0382	0,5625	0,0028	0,1667
3351	65,4108	1,1679	148,7771	1,0456	0,0053	0,31
4468	65,1797	1,399	178,2166	1,2525	0,0063	0,3713
5585	64,9999	1,5788	201,121	1,4134	0,0071	0,419
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



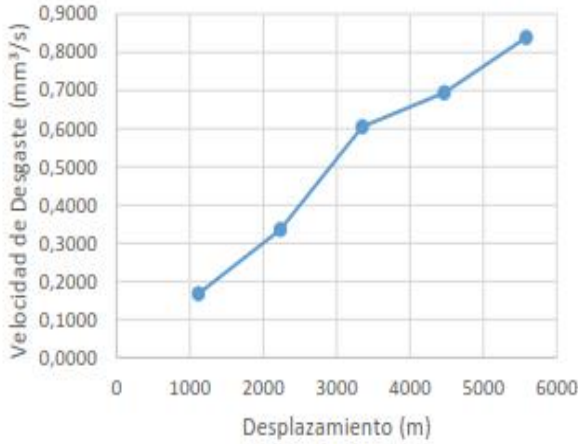

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 71	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 °C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	61,734 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	61,4177	0,3163	40,293	0,2832	0,0014	0,0839
2234	61,0993	0,6347	80,8535	0,5682	0,0029	0,1684
3351	60,57	1,164	148,2803	1,0421	0,0052	0,3089
4468	60,3332	1,4008	178,4459	1,2541	0,0063	0,3718
5585	60,1523	1,5817	201,4904	1,416	0,0071	0,4198
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 72	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silícea.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	68,559 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	68,2432	0,3158	40,2242	0,2827	0,0014	0,0838
2234	67,9308	0,6282	80,0255	0,5624	0,0028	0,1667
3351	67,3907	1,1683	148,828	1,0459	0,0053	0,3101
4468	67,1601	1,3989	178,2038	1,2524	0,0063	0,3713
5585	66,976	1,583	201,6561	1,4172	0,0071	0,4201
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 73	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por: Ego Gustavo P.			
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha: 14/06/2019			
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por	Ing Sebastián Villegas			
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>		<b>Características de la máquina</b>				
Acero		Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm			
Temperatura Ambiente	19.7 ° C	Dureza del disco	A70 ±20			
Ancho	25.4 ±0.8 mm	Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N			
Largo	57.2 ±0.8 mm	Tamaño de grano de arena silícica.	230/270 µm			
Espesor:	8 mm	Cantidad de arena	1.5 kg			
Peso Inicial.	63,8055 g	Cantidad de agua	0.940 kg			
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	63,4896	0,3159	40,242	0,2828	0,0014	0,0838
2234	63,1707	0,6348	80,8662	0,5683	0,0029	0,1685
3351	62,6385	1,167	148,6624	1,0448	0,0053	0,3097
4468	62,4051	1,4004	178,3949	1,2537	0,0063	0,3717
5585	62,2261	1,5794	201,1975	1,414	0,0071	0,4192
						
Elaborado por:	Ego. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probeta: 74	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO						
Característica de la probeta			Características de la máquina			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 °C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	63,1967 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
RESULTADOS						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	62,881	0,3157	40,2166	0,2826	0,0014	0,0838
2234	62,5652	0,6315	80,4459	0,5654	0,0028	0,1676
3351	62,0332	1,1635	148,2166	1,0416	0,0052	0,3088
4468	61,8	1,3967	177,9236	1,2504	0,0063	0,3707
5585	61,6118	1,5849	201,8981	1,4189	0,0071	0,4206
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>						
Probeta: 75	Autorizado por:	Ing. Cristian Pérez	Realizado por:	Egdo Gustavo P.		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales- FICM		Fecha:	14/06/2019		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing Sebastián Villegas		
Normas aplicadas	G 105-89					
<b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>						
<b>Característica de la probeta</b>			<b>Características de la máquina</b>			
Acero			Velocidad del Disco.	240 a 250 rpm		
Temperatura Ambiente	19.7 ° C		Dureza del disco	A70 ±20		
Ancho	25.4 ±0.8 mm		Fuerza aplicada en la probeta y disco.	222 N		
Largo	57.2 ±0.8 mm		Tamaño de grano de arena silicica.	230/270 µm		
Espesor:	8 mm		Cantidad de arena	1.5 kg		
Peso Inicial.	57,7095 g		Cantidad de agua	0.940 kg		
<b>RESULTADOS</b>						
Desplazamiento L (m)	Pérdida de Peso g	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s)
1117	57,3892	0,3203	40,8025	0,2868	0,0014	0,085
2234	57,075	0,6345	80,828	0,568	0,0029	0,1684
3351	56,5412	1,1683	148,828	1,0459	0,0053	0,3101
4468	56,3093	1,4002	178,3682	1,2535	0,0063	0,3716
5585	56,1303	1,5792	201,1707	1,4138	0,0071	0,4191
						
Elaborado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Revisado por:	Ing. Santiago Medina		Verificado por:	Ing. Sebastián Villegas		
Observaciones:						

## Anexo D. Norma ASTM G 105-89. Desgaste abrasivo



Designation: G 105 – 89 (Reapproved 1997)<sup>ε1</sup>

### Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G 105; 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 ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>ε1</sup> NOTE—Section 12 was added editorially in November 1997.

#### 1. Scope

1.1 This test method covers laboratory procedures for determining the resistance of metallic materials to scratching abrasion by means of the wet sand/rubber wheel test. It is the intent of this procedure to provide 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 millimeters. Materials of higher abrasion resistance will have a lower volume loss.

1.3 Values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

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

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

D 2000 Classification System for Rubber Products in Automotive Applications<sup>2</sup>

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness<sup>3</sup>

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes<sup>4</sup>

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>4</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>4</sup>

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion<sup>5</sup>

##### 2.2 Other Standard:

SAE J200

#### 3. Terminology

3.1 *abrasive wear*—wear due to hard particles or hard

protuberances forced against and moving along a solid surface (Terminology G 40).

3.1.1 *Discussion*—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 2**).<sup>6,7</sup>

#### 4. Summary of Test Method

4.1 The wet sand/rubber wheel abrasion test (Fig. 1) involves the abrading of a standard test specimen with a slurry containing grit of controlled size and composition. The abrasive is introduced between the test specimen and a rotating wheel with a neoprene rubber tire or rim of a specified hardness. The test specimen is pressed against the rotating wheel at a specified force by means of a lever arm while the grit abrades the test surface. The rotation of the wheel is such that stirring paddles on both sides agitate the abrasive slurry through which it passes to provide grit particles to be carried across the contact face in the direction of wheel rotation.

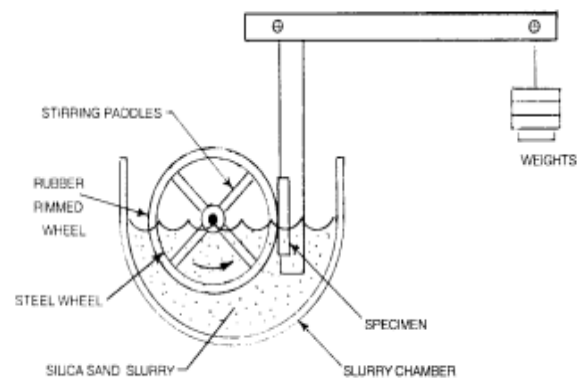


FIG. 1 Schematic Diagram of the Wear Test Apparatus

4.2 Three wheels are required with nominal Shore A Durometer hardnesses of 50, 60, and 70, with a hardness tolerance of  $\pm 2.0$ . A run-in is conducted with the 50 Durometer

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G-2 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.30 on Abrasive Wear.

Current edition approved Aug. 25, 1989. Published October 1989.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vols 09.02.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

<sup>6</sup> Available from Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096.

<sup>7</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

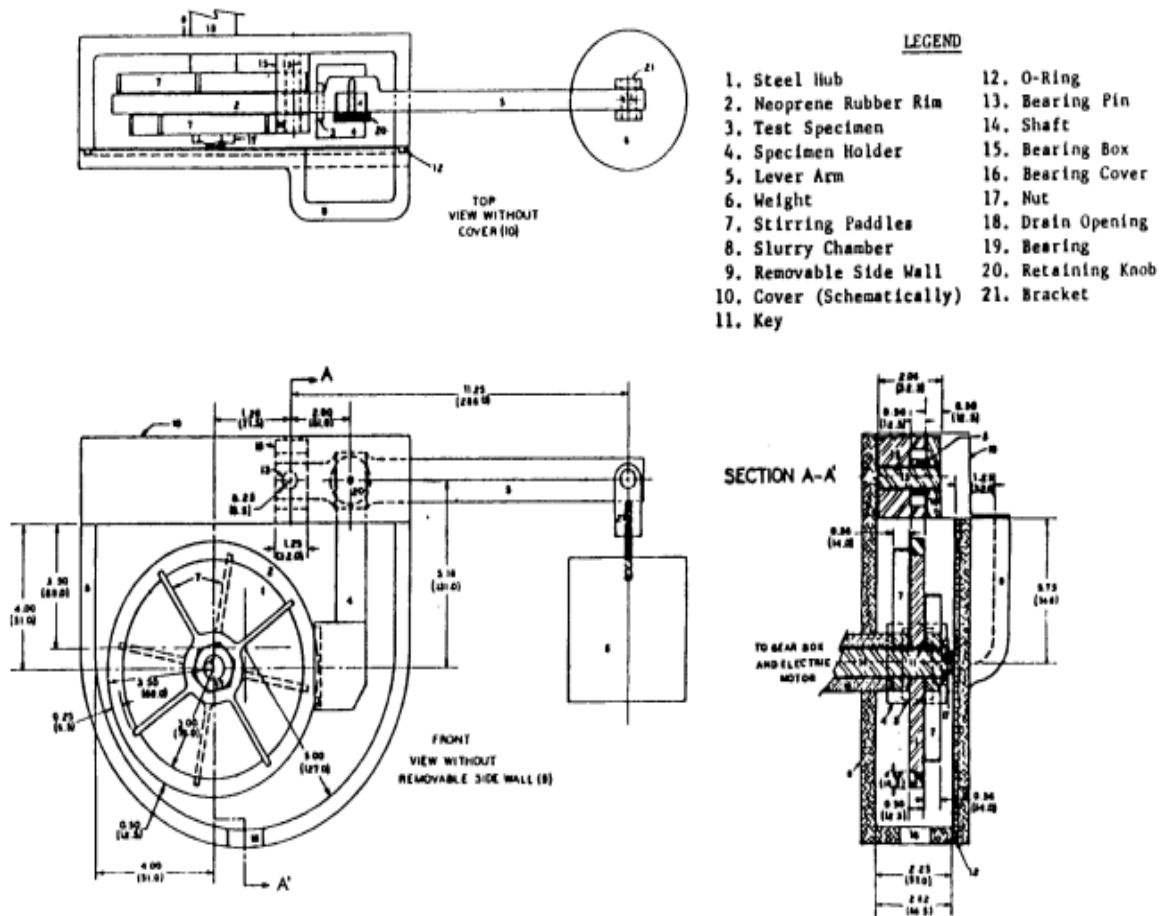


FIG. 2 Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Test Apparatus

wheel, followed by the test with 50, 60, and 70 Durometer wheels in order of increasing hardness. Specimens are weighed before and after each run and the loss in mass recorded. The logarithms of mass loss are plotted as a function of measured rubber wheel hardness and a test value is determined from a least square line as the mass loss at 60.0 Durometer. It is necessary to convert the mass loss to volume loss, due to wide differences in density of materials, in order to obtain a ranking of materials. Abrasion is then reported as volume loss in cubic millimetres.

**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 test method these conditions are standardized to develop a uniform condition of wear which has been referred to as scratching abrasion (1 and 2). Since the test method 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. The value of the test method 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 <sup>8</sup>**

6.1 Fig. 2 shows a typical design and Figs. 3 and 4 are photographs of a test apparatus. (See Ref (4).) 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 its shape, uniformity of the test apparatus, a suitable lever arm system to apply the required force,<sup>9</sup> and test material uniformity.

<sup>8</sup> Present users of this practice may have constructed their own equipment. Rubber wheel abrasion testing equipment is commercially available. Rubber wheels or remolded rims on wheel hubs can be obtained through the manufacturer(s).

<sup>9</sup> An apparatus design that is commercially available is depicted both schematically and in photographs in Figs. 1-4. Although it has been used by several laboratories (including those running interlaboratory tests) to obtain wear data, it incorporates what may be considered a design flaw. The location of the pivot point between the lever arm and the specimen holder is not directly in line with the test specimen surface. Unless the tangent to the wheel at the center point of the area or line of contact between the wheel and specimen also passes through the pivot axis of the loading arm, a variable, undefined, and uncompensated torque about the pivot will be caused by the frictional drag of the wheel against the specimen. Therefore, the true loading of specimen against the wheel cannot be known.

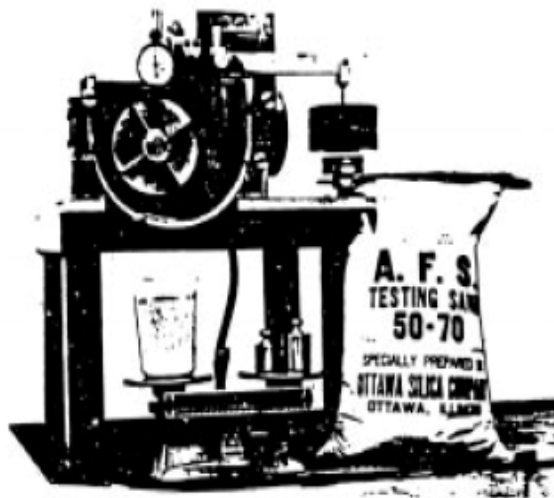


FIG. 3 Test Apparatus with Slurry Chamber Cover Removed

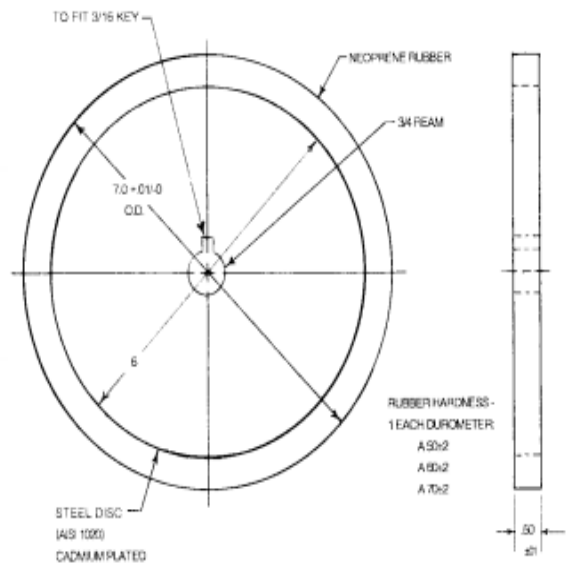


FIG. 5 Rubber Wheel

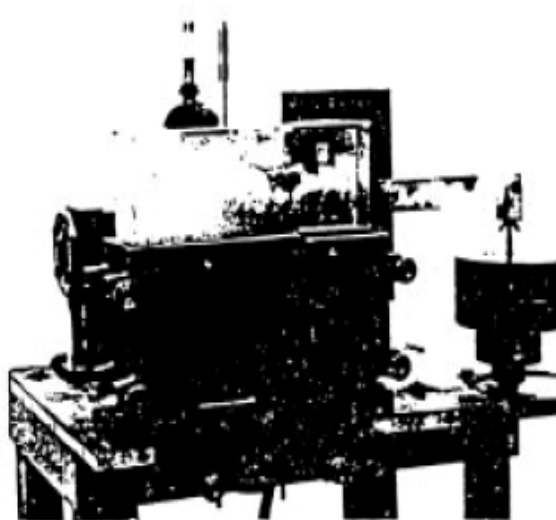


FIG. 4 Test Apparatus in Operation

6.2 *Rubber Wheel*—Each wheel shall consist of a steel disk with an outer layer of neoprene rubber molded to its periphery. The rubber is bonded to the rim and cured in a suitable steel mold. Wheels are nominally 178 mm (7 in.) diameter by 13 mm (½ in.) wide (see Fig. 2 and Fig. 5). The rubber will conform to Classification D 2000 (SAE J200).

6.2.1 The 50 Durometer wheel will be in accordance with 2BC515K11Z1Z2Z3Z4

where:

- Z1—Elastomer—Neoprene GW,
- Z2—Type A Durometer hardness  $50 \pm 2$ ,
- Z3—Not less than 50 % rubber hydrocarbon content, and
- Z4—Medium thermal black reinforcement.

6.2.2 The 60 Durometer wheel will be in accordance with 2BC615K11Z1Z2Z3Z4

where:

- Z1, Z3, and Z4 are the same as for 6.2.1, and
- Z2—Type A Durometer hardness  $60 \pm 2$ .

6.2.3 The 70 Durometer wheel will be in accordance with BC715K11Z1Z2Z3Z4

where:

- 1, Z3, and Z4 are the same as for 6.2.1, and
- 2—Type A Durometer hardness  $70 \pm 2$ .

6.2.4 The compounds suggested for the 50, 60, and 70 Durometer rubber wheels are as follows:

Ingredient	Content (pph)		
	50	60	70
Neoprene GW	100	100	100
Magnesia <sup>A</sup>	2	2	2
Zinc Oxide <sup>B</sup>	10	10	10
Octamine	2	2	2
Stearic Acid	0.5	0.5	0.5
SRF Carbon Black <sup>C</sup>	20	37	63
ASTM #3 Oil	14	10	10

<sup>A</sup> Maglite D (Merck)

<sup>B</sup> Kadox 15 (New Jersey Zinc)

<sup>C</sup> ASTM Grade N762

6.2.5 Wheels are molded under pressure. Cure times of 40 to 60 min at 153°C (307°F) are used to minimize “heat-to-heat” variations.

6.3 *Motor Drive*—The wheel is driven by a 0.75-kw (1-hp) electric motor and suitable gear box to ensure that full torque is delivered during the test. The rate of revolution ( $245 \pm 5$  rpm) must remain constant under load. Other drives producing 245 rpm under load are suitable.

6.4 *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. It is recommended that the incremental counter have the ability to shut off the machine after a preselected number of wheel revolutions or increments up to 5000 revolutions is attained.

6.5 *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 weight must be used to apply a force of 222 N (50 lbf) between the test specimen positioned in the specimen holder and the wheel. The weight has a mass of

approximately 9.5 kg (21 lb) and must be adjusted so that the force exerted by the rubber wheel on the specimen with the rubber wheel at rest has a value of  $222.4 \pm 3.6$  N ( $50.0 \pm 0.8$  lbf). This force may be determined by calculation of the moments acting around the pivot point for the lever arm or by direct measurement, for example, by noting the load required to pull the specimen holder away from the wheel, or with a proving ring.

6.6 *Analytical Balance*—The balance used to measure the loss in mass of the test specimen shall have a sensitivity of 0.0001 g. A 150 g capacity balance is recommended to accommodate thicker or high density specimens.

7. Reagents and Materials

7.1 *Abrasive Slurry*—The abrasive slurry used in the test shall consist of a mixture of 0.940 kg of deionized water and 1.500 kg of a rounded grain quartz sand as typified by AFS 50/70 Test Sand (-50/+70 mesh, or -230/+270 μm) furnished by the qualified source.<sup>10</sup>

7.2 AFS 50/70 test sand is controlled by the qualified source to the following size range using U.S. Sieves (Specification E 11).

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

7.2.1 Multiple use of the sand may affect the test comparisons.

8. Sampling, Test Specimen, and Test Units

8.1 *Test Unit*—Use any metallic material form for abrasion testing by this method. This includes wrought metals, castings, forgings, weld overlays, thermal spray deposits, powder metals, electroplates, cermets, etc.

8.2 *Test Specimen*—The test specimens are rectangular in shape,  $25.4 \pm 0.8$  mm ( $1.00 \pm 0.03$  in.) wide by  $57.2 \pm 0.8$  mm ( $2.25 \pm 0.03$  in.) long by 6.4 to 15.9 mm (0.25 to 0.625 in.) thick. The test surface should be flat within 0.125 mm (0.005 in.) maximum.

8.2.1 For specimens less than 9.5 mm thick (0.375 in.), use a shim in the specimen holder to bring the specimen to a height of 9.5 mm.

8.3 *Wrought and Cast Metal*—Specimens may be machined to size directly from raw material.

8.4 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. Note that welder technique, heat input of welds, and the flame adjustment of gas welds will have an effect on the abrasion resistance of the weld deposit. Weld deposits should be made on a thick enough substrate, 12.7 mm (0.5 in.) minimum suggested, to prevent distortion. If distortion occurs, the specimen may be mechanically straightened or ground or both.

8.4.1 In order to develop a suitable wear scar, the surface to be abraded must be ground flat to produce a smooth, level

surface. A test surface without square (90°) edges, having a level surface at least 50.8 mm (2.00 in.) long and 19.1 mm (0.75 in.) wide, is acceptable if it can be positioned to show the full length and width of the wear scar developed by the test.

8.5 *Coatings*—This test may be unsuitable for some coatings, depending on their thickness, wear resistance, bond to the substrate, and other factors. The criterion for acceptability is the ability of the coating to resist penetration to its substrate during conduct of the test. Modified procedures for coatings may be developed based on this procedure.

8.6 *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. Excepting coatings, the last 0.3 mm (0.01 in.) of stock on the test surface (or surfaces in cases where both major surfaces are to be tested) should be carefully wet ground to a surface finish of about 0.5 to 0.75 μm (20 to 30 μin.) arithmetic average as measured across the direction of grinding. The direction of the grinding should be parallel to the longest axis of the specimen. The finished surface should be free of artifacts of specimen heat treatment or preparation such as unintentional carburization or decarburization, heat checks, porosity, slag inclusions, gas voids, etc.

8.6.1 Thin coatings may be tested in the as-coated condition since surface grinding, especially of those less than about 0.3 mm (0.01 in.) thick, can penetrate the coating or cause it to be so thin that it will not survive that test without penetration. The finish of the substrate test surface prior to coating should be such to minimize irregularities in the coated surface. Grinding of this surface as directed in 8.6 is suggested for coatings less than 0.15 mm (0.005 in.) thick.

8.6.2 The type of surface or surface preparation shall be stated in the data sheet.

9. Procedure

9.1 Thoroughly rinse the slurry chamber before the test to eliminate any remnants of slurry from a previous test.

9.2 Install the rubber wheel of nominal 50 Durometer and measure and record its hardness.

9.2.1 Take at least four (preferably eight) hardness readings at equally spaced locations around the periphery of the rubber wheel using a Shore A Durometer tester in accordance with Test Method D 2240. Take gage readings after a dwell time of 5 s. Report average hardness in the form: A/48.6/5, where A is the type of Durometer, 48.6 the average of the readings, and 5 the time in seconds that the pressure foot of the tester is in firm contact with the rubber rim surface. The 5-s dwell time for the pressure foot in contact with the rubber rim should be rigorously adhered to.

9.3 Prior to testing, demagnetize each steel specimen. Then clean each specimen of all dirt and foreign matter, and degrease in acetone immediately prior to weighing. Materials with surface porosity (some powder metals or ceramics) must be dried to remove all traces of the cleaning agents that may have been entrapped in the material.

9.4 Weigh the specimen to the nearest 0.0001 g.

9.5 Set the revolution counter to shut off automatically after 1000 wheel revolutions.

<sup>10</sup> Available from Ottawa Silica Co., P.O. Box 577, Ottawa, IL 61350.

9.6 Install the specimen in the specimen holder, using an appropriate shim if the specimen surface is less than 9.5 mm above the holder seat surface; then install the holder in position for testing. Fill the slurry chamber with 1.500 kg of the quartz sand and 0.940 kg of deionized water at room temperature, and place a cover over the top of the slurry chamber to prevent the slurry from splashing out.

9.7 Start wheel rotation. The rubber wheels are rotated at 245 rpm, or 2.28 m/s (449 ft/min) peripheral surface speed.

9.8 Lower the specimen holder carefully against the wheel to prevent bouncing and to apply a force of 222 N (50 lb) against the test specimen. A wear scar is run-in for 1000 wheel revolutions. Each 1000 revolutions produces 558.6 m (1832.6 ft) of lineal abrasion assuming a 177.8 m diameter wheel. The run-in removes the surface layer and exposes fresh material that is not affected by the surface preparation.

9.9 Following the run-in, remove the specimen from the slurry chamber. Clean, dry, and reweigh the specimen to the nearest 0.0001 g. Drain the slurry from the chamber and discard it.

9.10 The actual abrasion test is conducted on the same wear scar starting with either the same 50 Durometer rubber wheel used for the run-in, or with another 50 Durometer rubber wheel. It is essential to install the specimen in the specimen holder with the same orientation and position each time.

9.11 Follow the same procedure as used for the run-in, repeating steps 9.1-9.9 with the normally 50, 60, and 70 Durometer rubber wheels, in order of increasing hardness.

9.12 *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. 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 (Fig. 6).

9.12.1 It is recommended that rubber wheels be dressed again after accumulating approximately 6000 revolutions dur-

ing testing. Experience has shown that more than 6000 revolutions may have an adverse effect on the reproducibility of results.

9.12.2 Dress rubber wheels whenever they develop grooves or striations, or when they wear unevenly so as to develop trapezoidal or uneven wear scars on the test specimen.

9.12.3 The rubber wheel may be used until the diameter is reduced to 165 mm (6.50 in.). The shelf life of the rubber rim may not exceed two years. Store wheels so that there is no force on the rubber surface. New rubber rims may be mounted on steel disks by the qualified source.<sup>10</sup>

9.13 *Wheel Dressing Procedure*—A recommended dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount the wheel on an expandable arbor in a lathe and grind it square with a freshly dressed grinding wheel such as a Norton 38A60J5VBE, having dimensions of approximately 130 × 13 × 13 mm (5 × ½ × ½ in.), rotating at a speed of 3500 rpm, while the rubber wheel rotates at 86 rpm. The rubber wheel should be cross-fed at 0.43 mm (0.017 in.) per revolution. After dressing, measure each rubber wheel carefully to determine the diameter and width of the rubber rim.

## 10. Calculation of Results

10.1 Test results obtained are three mass loss values in grams corresponding to the three average Durometer hardness values obtained for the nominally 50, 60, and 70 Durometer rubber wheels. Normalize mass loss values to correspond to the travel of a wheel having a diameter of 177.8 mm (7.000 in.) and a width of 12.7 mm (0.500 in.) using the following formula:

Normalized Mass Loss in Grams

$$= \frac{177.8 \times 12.7 \times \text{Actual Mass Loss (g)}}{\text{Actual Diameter (mm.)} \times \text{Actual Width (mm.)}}$$

or

$$= \frac{7.000 \times 0.500 \times \text{Actual Mass Loss (g)}}{\text{Actual Diameter (in.)} \times \text{Actual Width (in.)}}$$

10.2 Plot normalized mass loss values (that is, three values for each sample material) on a logarithmic scale against the corresponding rubber wheel hardness plotted on a linear scale. The final test result is obtained by fitting a least square line to the three data points and solving the equation of the line for the mass loss corresponding to a rubber hardness of exactly 60 Durometer. An example of the procedure is presented in Appendix XI.

10.3 *Volume Loss*—While 60 Durometer normalized mass loss results should be reported and may be used internally in test laboratories to compare materials of equivalent or near equivalent densities, it is essential that all users of the test procedure report their results uniformly as volume loss in reports or publications so that there is no confusion caused by variations in density. Convert mass loss to volume loss as follows:

$$\text{Volume Loss, mm}^3 = \frac{\text{Mass Loss (g)} \times 1000}{\text{Density (g/cm}^3\text{)}}$$

## 11. Precision and Bias

11.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test procedure will depend upon strict adherence to



FIG. 6 Typical Uniform Wear Scar

the stated test parameters.

11.1.1 The coefficient of correlation ( $r$ ) for the three mass loss values determined in a test shall be calculated in accordance with Annex A1. The quantity  $r$  varies between  $-1$  and  $+1$ . Either value means that the correlation is perfect;  $r = 0$  means that there is no correlation. Data giving  $r$  values between  $0.95$  and  $-0.95$  should be scrutinized for causes of scatter.

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 material, rubber wheel characteristics, and procedure will tend to reduce the accuracy of the practice as compared to the accuracy of such material property tests as hardness or density. Properly conducted tests will, however, maintain a 7 % or less coefficient of variation of volume loss values that will characterize the abrasion resistance of materials (see Annex A1).

11.4 *Initial Machine Operation and Qualification*—The number of tests required to establish the precision of the machine for initial machine operation shall be at least five. The test samples shall be taken from the same homogeneous material.

11.4.1 The standard deviation from the mean average shall be calculated from the accumulated test results and reduced to the coefficient of variation in accordance with Annex A1. The coefficient of variation shall not exceed 7 % in materials of the

2 to 60 mm<sup>3</sup> volume loss range. If this value is exceeded, the machine operation shall be considered out of control and steps taken to eliminate erratic results.

11.4.2 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, or obvious test specimen anomaly.

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 Practice E 122, Practice E 177, and *ASTM STP 15D*.<sup>11</sup>

11.6 Reference materials should be used for periodic monitoring of the test apparatus and procedures in individual laboratories. (A satisfactory reference material for this test has not yet been established through laboratory testing.)

## 12. Keywords

12.1 abrasive wear test; metallic materials; rubber wheel; scratching abrasion; wet sand

<sup>11</sup> Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, *ASTM STP 150*, ASTM, 1976.

## ANNEX

### (Mandatory Information)

#### A1. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

A1.1 *Background*—The wet sand/rubber wheel abrasion test as developed and described by Haworth, Borik, and others (see Refs (1-4), p. 18) has been in various stages of evolution and use over the last two or more decades. 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 hardfacing 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, in 1962 The Society of Automotive Engineers established a division (No. 18) of the Iron and Steel Technical Committee (ISTC) to achieve this end. This was not accomplished and in 1983, subcommittee G02.30 formed a task group with the objective of producing an ASTM Standard Practice. In previous round-robins conducted by the SAE group, it has been evident that the variability of experimental error inherent in each laboratory is a factor that must be considered. Not only must the test method, apparatus, and individual operator generate correct results (bias) but the test results must be consistently reproducible (precision) within an acceptable

narrow range. Another important consideration in developing accurate and precise test results is the selection of 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 the 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, *STP 150*, and in the references.

A1.2 *Statistical Formulas*—Several formulas for the calculation of optimum sample size, standard deviation, and coefficient of variation are used in the statistical analysis of data. To ensure uniformity among laboratories using the wet sand/rubber wheel test, the standard deviation and coefficient of variation of results produced from a series of tests shall be calculated by the following formulas:

$$s = \text{standard deviation (small sample size, 2 to 10)} = R/d_2 \quad (1)$$

$$s = \text{standard deviation (any sample size)} \quad (2)$$

$$V = \frac{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 / (n - 1)}}{(\bar{x})} \times 100 \quad (3)$$

$$n = \frac{1.96}{e} \sqrt{V} \quad (4)$$

where:

- s = standard deviation from the mean,
- V = variability of the test procedure, %,
- x = value of each test result (volume loss in mm<sup>3</sup>),
- $\bar{x}$  = mean of arithmetic average for n tests,
- $\sum x$  = sum total of all test values,
- n = number of tests or observations,
- e = allowable sampling error, %,
- R = difference between the highest and lowest test value, and
- d<sub>2</sub> = deviation factor, which varies with sample size (Table A1.1)

**A1.3 Use of Statistical Methods**—In evaluating the precision and accuracy of any test procedure, new users must deal with the concepts of mean averages, standard deviation from the mean, variability of test results, range of results, allowable sampling error, and particularly the effect of sample size. While it is obvious that a large number of tests on the same material is desirable and will yield a high confidence level in evaluating test results, many abrasion test evaluations are made on a small number of samples. This is due to the fact that in much abrasion work, large numbers of test specimens are just not available. In addition to this a new user is concerned with evaluating the accuracy of his first few (2 or 3) test results during the initial test campaign which certainly should not inspire much confidence because of the small number of tests. However, even with this admittedly small sample size, the user may calculate the variability of results, which may give a general indication of precision of the apparatus and test method. As more data are accumulated from the same homogeneous material and new data are accumulated from different materials, the accumulated variability values may be averaged to provide a better estimate of the precision of the apparatus and procedure.

**A1.4 Small Sample Size (2 to 10):**

A1.4.1 In statistical analysis the estimated standard deviations of large sample sizes (over 10) are derived from the square root of the mean square of deviations from the average.

**TABLE A1.1 Minimum Acceptable Sample Size (n) for 95 % Confidence Level**

n	Allowable Sampling Error (%)									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%	
1	4	1	...	...	...	...	...	...	...	
2	16	4	2	1	...	...	...	...	...	
3	35	9	4	3	2	1	...	...	...	
4	62	16	7	4	3	2	2	...	...	
5	96	24	11	6	4	3	2	2	1	
6	...	35	16	9	6	4	3	2	2	
7	...	47	21	12	8	6	4	3	2	
8	...	62	28	16	10	7	5	4	3	
9	...	78	35	20	13	9	7	5	4	
10	...	96	43	24	16	11	8	6	4	

A typical user of this test procedure will more likely start out with less than 10 test results. In these cases the standard deviation(s) is more efficiently derived from the range (R) of the sample observation than from the root mean square. For such samples the standard deviation is obtained by multiplying the range of available observations (the difference between the highest and lowest numerical value) by a deviation factor (Formula 1) that varies with the sample size. Once the standard deviation is obtained, the percent coefficient of variation is attained by dividing the standard deviation by the average test value  $\bar{x}$  and multiplying by 100. The deviation factor is obtained from Table A1.2.

**A1.4.2 Example 1**—This example shows typical analysis for standard deviation and coefficient of variation of actual data from three abrasion tests made upon a Co-Cr-C hardfacing alloy deposit.

Number of tests (n)	= 3,
Volume loss data (x)	= 13.7 mm <sup>3</sup> , 15.5 mm <sup>3</sup> , 17.9 mm <sup>3</sup> ,
Average of volume loss ( $\bar{x}$ )	= 15.7 mm <sup>3</sup> ,
Range of test	= 4.2 mm <sup>3</sup> ,
Standard deviation (s)	= 4.2
	$\frac{4.2}{\sqrt{3}} = 2.36,$
Coefficient of variation (v)	= $\frac{2.36}{15.7} \times 100 = 15.0\%$ .

A1.4.2.1 Note that the 15.0 % variation is well above the acceptable 7 % maximum as indicated in 11.4.1 of the standard. It is obvious that either this particular test apparatus or procedure was out of control, or the variability of the hardfacing deposit was such to cause this large variation in test results.

**A1.5 Large Sample Size (10 or Over):**

**A1.5.1 Example 2**—This example shows the analysis for the coefficient of variation of ten abrasion tests made upon normalized 1090 steel. The standard deviation was calculated from Formula 2 and the test data are set down in the following format:

Test Number	x	x - $\bar{x}$	(x - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup>
1	6.02	-0.43	0.1849
2	6.34	-0.31	0.0961
3	6.75	0.10	0.0100
4	5.64	1.01	1.0201
5	6.52	-0.13	0.0169
6	7.08	.43	0.1849
7	6.26	-0.39	0.1521
8	6.96	0.31	0.0961
9	6.85	0.20	0.0400
10	6.07	-0.58	0.3364
$\bar{x} = 6.45$			2.1375 = $\sum(x - \bar{x})^2$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{(n - 1)}} = \sqrt{\frac{2.1375}{9}} = \sqrt{0.2375} = 0.4873$$

$$V = \frac{s}{(\bar{x})} \times 100 = \frac{0.4873}{6.45} \times 100 = 7.56\%$$

A1.5.1.1 In this particular test series the 7.56 % coefficient

**TABLE A1.2 Factors for Estimating Standard Deviation from the Range on the Basis of Sampling Size**

Sample Size (n)	d <sub>2</sub>	1/d <sub>2</sub>
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249



of variation indicated the test procedure was slightly outside of satisfactory control.

A1.6 *Estimated Sample Size and Allowable Sampling Error:*

A1.6.1 As indicated previously the availability of multiple test specimens in abrasion testing is sometimes limited. When this occurs the user must have some criterion upon which to judge the minimum acceptable sample size for meaningful results. Practice E 122 describes the choice of sample size to estimate the average quality of a lot or process. The following formula takes into account the allowable sampling error and the inherent variability of experimental error of the test method (coefficient of variation),

$$n = (1.96 v/e)^2$$

A1.6.2 Table A1.1 is based upon this formula. It indicates a 5 % probability that the difference between the sample estimate of the mean value  $x$ , and that obtainable from averaging all values from a very high number of tests, will exceed the allowable sampling error ( $e$ ). This corresponds to a 95 % confidence level which is an appropriate criterion for abrasion tests. For example, if the coefficient of variation of the test apparatus as determined by multiple testing is 7 %, the minimum sample size ( $n$ ) would be 8 in order to obtain a 5 % allowable sampling error. Note, however, that if the test results for the 8 samples does not generate a coefficient of variation of 7 % or less, the test is not valid and corrective action must be taken.

A1.7 *Typical Volume Loss Values*—The wet sand/rubber wheel test will produce volume losses in metallic materials ranging from about 0.25 to 100 mm<sup>3</sup>. The more abrasion-resistant materials will develop the least volume loss. Table A1.3 shows typical volume loss ranges that may be expected in the metals listed. These test data were obtained in the last SAE round-robin and represent a population between different laboratories. Within the same laboratory, reproducibility of test results will be better than the values shown. 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 are less than 1 mm<sup>3</sup>, greater accuracy in material ranking may require a modified procedure, for example, use of 5000 revolutions per rubber wheel.

TABLE A1.3 Typical Volume Loss Range

Material	Volume Loss, mm <sup>3</sup>	Specific Gravity
1. 304 Stainless Steel bar HRB 78	55 ± 14	8.0
2. T-1 Low Alloy Steel bar HRC 24	20 ± 7	7.86
3. AISI 1090 Steel plate normalized 900°C HRC 30	6.7 ± 2.0	7.84
4. AISI D2 Tool Steel hardened and tempered HRC 60	1.2 ± 0.2	7.6

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. SAMPLE COMPUTATION OF MASS LOSS AT 60 DUROMETER HARDNESS BY MEANS OF A LEAST SQUARE LINE

X1.1 Given the following:

X (Durometer Hardness)	X <sub>1</sub> = 50.1	X <sub>2</sub> = 59.0	X <sub>3</sub> = 66.0
W (Weight Loss, g)	W <sub>1</sub> = 0.201	W <sub>2</sub> = 0.523	W <sub>3</sub> = 1.006
Y (Logarithm of Weight Loss)	Y <sub>1</sub> = -0.69680	Y <sub>2</sub> = -0.28150	Y <sub>3</sub> = 0.00260

X1.1.1 *Least Square Line Equation:*

$$Y = \bar{Y} + \frac{\frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}}{(X - \bar{X})} \quad (X1.1)$$

where:

- Y = logarithm of weight loss = Log W,
- X = durometer hardness,
- $\bar{Y}$  = average of Y,
- $\bar{X}$  = average of X,
- N = 3 (number of points), and
- Σ = Sum

X1.1.1.1 *Determination of Individual Terms in (Eq X1.1):*

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= \frac{-0.69680 - 0.28150 + 0.00260}{3} = -0.32523, \\ \sum XY &= (50.1)(-0.69680) + (59.0)(-0.28150) + (66.0)(0.00260) = 51.34679, \\ \sum X \sum Y &= (50.1 + 59.0 + 66.0)(-0.69680 - 0.28150 + 0.00260) = 170.84577, \\ \sum X^2 &= (50.1)^2 + (59.0)^2 + (66.0)^2 = 10347.01, \\ (\sum X)^2 &= (50.1 + 59.0 + 66.0)^2 = 30660.01, \text{ and} \\ \bar{X} &= \frac{50.1 + 59.0 + 66.0}{3} = 58.36667. \end{aligned}$$

X1.1.1.2 *By Substitution Into (Eq X1.1):*

$$Y = -0.32523 + \frac{-51.34679 - \frac{-170.84577}{3}}{10347.01 - \frac{30660.01}{3}} (X - 58.36667) \quad (X1.2)$$

or

$$Y = -0.32523 + 0.04411(X - 58.36667)$$

At  $X = 60$ , the logarithm of the normalized weight loss can be computed from (Eq X1.2):

$$Y = -0.32523 + 0.04411(60 - 58.36667) \quad (X1.3)$$

$$Y = -0.25319 = \text{Log } W$$

$$W = 0.558 \text{ grams}$$

**X1.1.2 Coefficient of Correlation:**

X1.1.2.1 The coefficient of correlation,  $r$ , a measure of scatter around the least equal line is computed according to the following expression:

$$r = \pm \sqrt{\frac{\sum(Y_{\text{est}} - Y)^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (X1.4)$$

where:

$$\sum(Y_{\text{est}} - \bar{Y})^2 = (Y_{1\text{est}} - \bar{Y})^2 + (Y_{2\text{est}} - \bar{Y})^2 + (Y_{3\text{est}} - \bar{Y})^2,$$

$$\text{and}$$

$$\sum(Y - \bar{Y})^2 = (Y_1 - \bar{Y})^2 + (Y_2 - \bar{Y})^2 + (Y_3 - \bar{Y})^2$$

X1.1.2.2 Using Equation of the Least Square Line (Eq X1.2) and substituting values of  $X_1$ ,  $X_2$  and  $X_3$ , as given, the  $Y_{1\text{est}}$ ,  $Y_{2\text{est}}$  and  $Y_{3\text{est}}$  are calculated as follows:

$$Y_{1\text{est}} = -0.32523 + 0.04411(X_1 - 58.36667)$$

For  $X_1 = 50.1$ ,  $Y_{1\text{est}} = -0.68987$

$$Y_{2\text{est}} = -0.32523 + 0.04411(X_2 - 58.36667)$$

For  $X_2 = 59.0$ ,  $Y_{2\text{est}} = -0.29729$

$$Y_{3\text{est}} = -0.32523 + 0.04411(X_3 - 58.36667)$$

For  $X_3 = 66.0$ ,  $Y_{3\text{est}} = 0.01148$

**REFERENCES**

- (1) Avery, H. S., "The Nature of Abrasive Wear," *SAE Preprint 750822*, Society of Automotive Engineers, 1975.
- (2) Avery, H. S., "Classification and Precision of Abrasion Tests," *Source Book on Wear Control Technology*, ASM, 1978.
- (3) Haworth, R. W., Jr., "The Abrasion Resistance of Metals," *Transactions ASM*, Vol 41, 1949, pp. 819-854.
- (4) Borik, Frank, "Rubber Wheel Abrasion Test," *SAE Paper 700687*, Society of Automotive Engineers, 1970.
- (5) Stolk, D. A., "Field and Laboratory Tests on Plowshares," *SAE Paper 700690*, Society of Automotive Engineers, 1970.
- (6) Saltzman, G. A., "Wet Sand Rubber-Wheel Abrasion Test for Thin Coatings," *Selection and Use of Wear Test for Coatings, ASTM STP 769*, R. G. Bayer, Ed., ASTM, 1982, pp. 71-91.
- (7) Saltzman, G. A., Merediz, T. O., Subramanyam, D. K., and Avery, H. S., "Experience with the Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Test," *Slurry Erosion: Uses, Applications, and Test Methods, ASTM STP 946*, J. E. Miller and F. E. Schmidt, Jr, Eds., ASTM 1987, pp. 211-242.

*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 E. Norma FN10026. Parámetros de aplicación del recubrimiento.

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

## BELZONA 1321

FN10026



### INFORMACIÓN GENERAL

#### Descripción del producto:

Sistema de recubrimiento de dos componentes diseñado para operar en condiciones de inmersión continua a temperaturas operativas de hasta 60°C. Presenta una excelente resistencia a la erosión y la corrosión. Es resistente a una amplia variedad de soluciones acuosas, hidrocarburos y sustancias químicas de proceso. También se usa como adhesivo estructural de alta resistencia para soldadura o para nivelación y alineación de soportes de cargas irregulares con buenas características de aislamiento eléctrico. Para uso en equipos originales o en situaciones de reparación.

#### Áreas de aplicación:

Cuando se mezcla y se aplica tal como se detalla en las instrucciones de uso de Belzona, el sistema es ideal para aplicación en los siguientes casos:

- Bombas centrífugas y de turbina
- Hélices
- Codos de tubos
- Intercambiadores de calor, tapa de cajas de agua, barras divisoras y placas de tubos
- Válvulas mariposa y de compuerta
- Hélices con tobera
- Piezas en T

### INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

#### Vida útil de la mezcla

Variará según la temperatura. A 25°C, la vida útil del material mezclado es de 30 minutos.

#### Tiempo de curado

Deje que solidifique durante los tiempos que se muestran en las instrucciones de uso de Belzona antes de someterlo a las condiciones indicadas:

#### Volumen

422 cm<sup>3</sup>/kg

#### Rango de cobertura

**Belzona 1321** debe aplicarse como un sistema de dos capas con un espesor recomendado promedio de 375 µm por capa.

Al espesor mínimo recomendado para el sistema de dos capas de 600 µm, el rango de cobertura teórico será de 0,71 m<sup>2</sup>/kg.

#### Componente base

Aspecto	Pasta
Color	Gris
Densidad	2,60-2,80 g/cm <sup>3</sup>

#### Componente endurecedor

Aspecto	Líquido
Color	Azul o violeta
Densidad	1,03-1,09 g/cm <sup>3</sup>

#### Propiedades una vez mezclado

Proporción de mezcla en peso (base: endurecedor)	11 : 1
Proporción de mezcla en volumen (base: endurecedor)	4 : 1
Forma mezclada	Líquida
Temperatura exotérmica máxima	70-85°C
Tiempo hasta la reacción exotérmica máxima	53-63 minutos
Resistencia al descuelgue	ninguna a 625 micrones
Densidad una vez mezclado	2,32-2,42 g/cm <sup>3</sup>
Contenido de VOC (ASTM D2369/EPA ref. 24)	0,74 %/17,6 g/L

*La información de aplicación anterior se brinda únicamente como guía introductoria. Para obtener los detalles completos de aplicación que incluyan el procedimiento y la técnica de aplicación recomendados, consulte las instrucciones de uso de Belzona que se adjuntan en cada envase del producto.*

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BELZONA 1321

FN10026



## ABRASIÓN

### Taber

La resistencia a la abrasión Taber, determinada de acuerdo con la norma ASTM D4060 con 1 kg de carga, es generalmente:

Ruedas H10 (húmedo)	178 mm <sup>3</sup> de pérdida cada 1000 ciclos
Ruedas CS17 (seco)	14 mm <sup>3</sup> de pérdida cada 1000 ciclos

## ADHERENCIA

### Esfuerzo de cizalladura

Cuando se prueba según la norma ASTM D1002, con tiras desengrasadas, limpiadas con granalla a un perfil de 75-100 micrones, los valores típicos serán los siguientes:

Acero al carbono	18,68 MPa
Cobre	21,03 MPa
Acero inoxidable	21,92 MPa
Aluminio	14,41 MPa

### Fatiga por tracción

La resistencia a la fatiga por tracción de acuerdo con ASTM D3166 a temperatura ambiente y con un esfuerzo de tracción estático aplicado de 4,1 MPa (595 psi), es >1 000 000 ciclos.

### Adherencia por tracción

Cuando se prueba según la norma ASTM D 4541/ISO 4624, la resistencia a la tracción del acero limpiado con granalla será generalmente la siguiente:

43,64 MPa	Curado a 20 °C
43,37 MPa	Curado a 100 °C

### Resistencia a la escisión

Cuando se prueba según la norma ASTM D 1062, la resistencia a la escisión del acero limpiado con granalla será generalmente la siguiente:

286 N/mm	Curado a 20 °C
----------	----------------

## RESISTENCIA QUÍMICA

Una vez curado completamente, el material presentará una resistencia excelente a la mayoría de los álcalis y ácidos inorgánicos comunes en concentraciones de hasta el 20 %.

El material también resiste hidrocarburos, aceites minerales, aceites lubricantes y muchas otras sustancias químicas comunes.

\* Para obtener una descripción más detallada de las propiedades de resistencia química, consulte el cuadro correspondiente de Resistencia química.

## PROPIEDADES DE COMPRESIÓN

Cuando se determinan de acuerdo con la norma ASTM D695, los valores típicos son los siguientes:

<b>Resistencia a la compresión</b>	Curado a 20 °C
86,18 MPa	

## PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

### Resistencia a la corrosión

Una vez curado completamente, no muestra signos visibles de corrosión después de 5000 horas de exposición a la cabina de niebla salina según ASTM B117.

## PROPIEDADES DE ELONGACIÓN Y TRACCIÓN

Cuando se determinan de acuerdo con la norma ASTM D638, los valores típicos son los siguientes:

<b>Elongación</b>	Curado a 20 °C
0,5 %	
<b>Resistencia a la tracción</b>	Curado a 20 °C
25,54 MPa	
<b>Módulo de Young:</b>	Curado a 20 °C
5352 MPa	

## PROPIEDADES DE FLEXIÓN

Cuando se determinan de acuerdo con la norma ASTM D790, los valores típicos son los siguientes:

<b>Resistencia a la flexión</b>	Curado a 20 °C
64,81 MPa	
<b>Módulo de flexión</b>	Curado a 20 °C
5309 MPa	

## DUREZA

### Shore D

Cuando se determina de acuerdo con la norma ASTM D2240, los valores típicos son los siguientes:

84	Curado a 20 °C
----	----------------

### Barcol

Cuando se determina de acuerdo con la norma ASTM D2583, los valores típicos son los siguientes:

87	Curado a 20 °C
92	Curado a 100 °C

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BELZONA 1321

FN10026



## RESISTENCIA AL CALOR

### Temperatura de deformación por calor (HDT)

Probada según ASTM D648 (1,82 MPa de esfuerzo de fibra), los valores típicos obtenidos son los siguientes:

48 °C	Curado a 20 °C
87 °C	Curado a 100 °C

### Resistencia al calor seco

La temperatura de degradación en el aire indicada, basada en un estudio de calorimetría diferencial de barrido (DSC) realizado según la norma ISO 11357, es generalmente 220 °C.

Para muchas aplicaciones, el producto es adecuado hasta un mínimo de -40 °C.

### Resistencia al calor húmedo

Diseñado para operar en condiciones de inmersión continua a temperaturas operativas de hasta 60 °C. Adecuado para escape de vapor de hasta 210 °C.

## PROBACIONES/ACEPTACIONES

Los componentes de la base y el endurecedor separados tienen una caducidad de 5 años a partir de la fecha de fabricación, conservados en su envase original sin abrir a temperaturas de entre 0 °C y 30 °C.

## RESISTENCIA AL IMPACTO

### Resistencia al impacto

La resistencia al impacto (muesca invertida) cuando se prueba según ASTM D256, generalmente es la siguiente:

43 J/m o 2,77 kJ/m <sup>2</sup>	Curado a 20 °C
---------------------------------	----------------

## PROBACIONES/ACEPTACIONES

El material ha recibido reconocimiento de organizaciones de todo el mundo, entre ellas las siguientes:

U.S.D.A. (Dep. de Agricultura de los Estados Unidos)

ABS

BUREAU VERITAS

LLOYDS REGISTER

OTAN

YORK INTERNATIONAL

WRAS DEL REINO UNIDO

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BELZONA 1321

FN10026



## GARANTÍA

Este producto cumple las declaraciones de rendimiento establecidas en el presente documento cuando el material se almacene y use tal como se indica en el folleto de información de uso de Belzona. Belzona garantiza que todos sus productos están fabricados cuidadosamente para asegurar la más alta calidad posible y se someten a pruebas estrictas según estándares universalmente reconocidos (ASTM, ANSI, BS, DIN, ISO, etc.). Debido a que Belzona no tiene control alguno sobre el uso del producto aquí descrito, no puede dar garantías sobre ninguna aplicación.

## DISPONIBILIDAD Y COSTO

**Belzona 1321** está disponible a través de una red de distribuidores de Belzona en todo el mundo para la pronta entrega en el lugar de aplicación. Para obtener información, consulte con el distribuidor de Belzona de su zona.

## FABRICANTE

Belzona Polymerics Ltd.  
Claro Road, Harrogate,  
HG1 4DS, Reino Unido

Belzona Inc.  
2000 N.W. 88<sup>th</sup> Court,  
Miami, Florida, EE. UU., 33172

## SALUD Y SEGURIDAD

Antes de usar este material, consulte las Hojas de datos de seguridad del material correspondientes.

## SERVICIO TÉCNICO

Hay asistencia técnica completa disponible e incluye asesores técnicos plenamente capacitados, personal de servicio técnico y laboratorios de investigación, desarrollo y control de calidad con personal propio.

The technical data contained herein is based on the results of long term tests carried out in our laboratories and to the best of our knowledge is true and accurate on the date of publication. It is however subject to change without prior notice and the user should contact Belzona to verify the technical data is correct before specifying or ordering. No guarantee of accuracy is given or implied. We assume no responsibility for rates of coverage, performance or injury resulting from use. Liability, if any, is limited to the replacement of products. No other warranty or guarantee of any kind is made by Belzona, express or implied, whether statutory, by operation of law or otherwise, including merchantability or fitness for a particular purpose.

Nothing in the foregoing statement shall exclude or limit any liability of Belzona to the extent such liability cannot by law be excluded or limited.

Copyright © 2017 Belzona International Limited. Belzona® is a registered trademark.

*Los productos de Belzona  
están fabricados de acuerdo  
con un sistema de gestión de  
calidad registrado según  
ISO 9001.*

## Anexo F. Certificado de calibración del rugosímetro.

DATA  
OUTPUT

### ROUGHNESS TESTER CODE ISR-C100

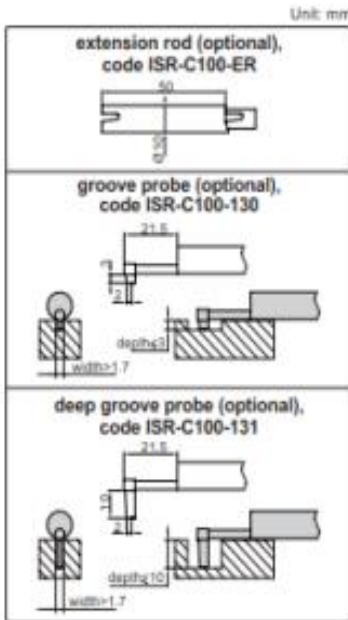
- 16 roughness parameters
- With probe position indicator
- Connected with printer via bluetooth
- Can display roughness values, profile and curve
- Memory of maximum 100 results
- Automatic power off



probe cover (included)



adjustable stand (included)



wireless printer (optional)



test stand (optional)



remote control (included)



measuring software for PC (included)



#### SPECIFICATION

Parameters	Ra, Rq, Rz, Rv, Rp, Rm, Rt, RS, Rsm, R3z, R3y, Rz (JIS), Rku, Rsk, Rmax, Rpc	
Range	160µm	
Accuracy	±10%	
Resolution (Ra)	0.001µm	
Probe	type	inductive
	stylus radius/angle	5µm/90°
	stylus material	diamond
Measuring force	4mN	
Measuring unit	µm/µin	
Cut off	0.25/0.8/2.5mm	
Number of cut-offs	1 to 5	
Traverse speed	0.5mm/s, 1mm/s	
Memory	100 measurement results	
Output	USB and bluetooth	
Power	built-in rechargeable battery	
Dimension (L*W*H)	140*52*48mm	
Weight	440g	

#### STANDARD DELIVERY

Main unit	1pc
Standard probe	1pc
Calibration block and support	1pc of each
Adjustable stand	1pc
Probe cover	1pc
USB cable and software for PC	1pc
Android APP for mobile device	1pc
AC/DC adapter	1pc

#### OPTIONAL ACCESSORY

Extension rod	ISR-C100-ER
Groove probe	ISR-C100-130
Deep groove probe	ISR-C100-131
Test stand	ISR-C100-STAND
Wireless printer	ISR-C100-PRINTER

#### screen display



## Anexo G. Certificado de calibración del medidor de espesores.

### Espesor de película seca - Digital

#### Elcometer 415

##### NORMAS:

AS2331.1.4, AS/NZS 1580.108.1,  
ASTM B 499, ASTM D 1186,  
ASTM D 1400, ASTM D 7091,  
ASTM E 376, BS 3900-C5-6A,  
BS 3900-C5-6B, BS 5411-11,  
BS 5411-3, BS 5599, DIN 50981,  
DIN 50984, ECCA T1, EN 13523-1,  
ISO 2360, ISO 2808-12, ISO 2808-6A,  
ISO 2808-6B, ISO 2808-7C,  
ISO 2808-7D, JIS K 5600-1-7,  
NF T30-124

nuevo

Valores grandes fáciles de leer en mils y micras

La calibración 1 punto y 2 puntos garantiza precisión en sustratos revestidos lisos y finos

Su diseño ergonómico fácil de usar proporciona máxima comodidad para uso continuo

Velocidad de lectura increíblemente rápida (+60 por minuto), reduciendo los tiempos de inspección e incrementando la productividad

Mide revestimientos de polvo y pintura curados de hasta 1000µm (40mils)

2 AÑOS DE GARANTÍA

#### Medidor de espesor de revestimiento de pintura y polvo

Medidor de espesor de pintura y polvos industriales Elcometer 415 proporciona mediciones de espesor de revestimientos sencillas, rápidas y precisas en revestimientos lisos y delgados de pintura y polvos industriales.



Su pantalla grande en color con giro automático proporciona visibilidad clara en cualquier ángulo de medición

Pantalla resistente a arañazos, disolventes y polvo

Transferencia de datos en directo a través de USB o Bluetooth® a ElcoMaster® para generación de informes al instante

Robusto y resistente al polvo con sellado equivalente a IP64

Cambia automáticamente entre sustratos ferrosos y no ferrosos!



Idóneo para medir espesor de la película seca en sustratos de revestimiento fino.



Pantalla con giro automático de 360° para una lectura clara en cualquier ángulo de medición, en la línea de producción o estación de QA.



Transfiera datos en directo a través de Bluetooth® a PC, Android™ o dispositivos móviles iOS.

Made for iPod iPhone iPad

Android™

disponible con Bluetooth®

compatible con ElcoMaster®

Elcometer 415 Modelo T. Creado para iPhone 6 Plus, iPhone 6, iPhone 5s, iPhone 5c, iPhone 5, iPhone 4s, iPhone 4, iPad Air 2, iPad mini 3, iPad Air, iPad mini 2, iPad (3ª y 4ª generaciones), iPad mini, iPad 2, y iPod touch (4ª y 5ª generaciones). "Made for iPod", "Made for iPhone" y "Made for iPad" significan que un accesorio electrónico ha sido diseñado para conectar específicamente con iPod, iPhone o iPad, respectivamente, y cuenta con certificado del creador de que cumple los estándares de rendimiento de Apple. Apple no es responsable del funcionamiento de este dispositivo ni del cumplimiento por parte del mismo de las normas de seguridad y de la normativa. Tenga en cuenta que el uso de este accesorio con iPod, iPhone o iPad puede afectar al rendimiento inalámbrico.



## Medidor de espesor de revestimiento de pintura y polvo

### Elcometer 415

Además del espesor de revestimientos, el Elcometer 415 muestra los valores estadísticos clave necesarios para evaluar el acabado industrial general; número de lecturas (n), promedio ( $\bar{x}$ ) y espesor mínimo (Lo) y máximo (Hi).

Este Elcometer 415 y fácil de usar ofrece la calibración 1 punto y 2 puntos, lo que garantiza mediciones precisas en superficies con revestimientos lisos y finos de pintura y polvo industriales.

El Elcometer 415, robusto, duradero y resistente al polvo, está disponible con 2 años de garantía\* del fabricante, lo que le da la tranquilidad que necesita.

Conforme se toma cada medición, el Elcometer 415 transmite al instante los valores de espesor a través de USB o Bluetooth®<sup>2</sup> a su PC o dispositivo móvil utilizando ElcoMaster® o su propio software de aplicación.



#### Características Técnicas

C

Modelo	Modelo B	Modelo B	Modelo T	Modelo T	Certificado
Referencia	A415CFBI	A415CFNFI	A415CFTI	A415CFNFTI	●
Tipo de sonda integrada	Ferroso	Ferroso/ No Ferroso	Ferroso	Ferroso/ No Ferroso	
Salida de datos en directo	USB	USB	Bluetooth® & USB	Bluetooth® & USB	
Estadísticas en pantalla	Número de lecturas (n), Promedio (media $\bar{x}$ ), Lectura más baja (Lo), Lectura más alta (Hi)				
Velocidad de medición	Más de 60 lecturas por minuto		Rango de medición: 0 - 1000 $\mu$ m (0 - 40mils)		
Precisión <sup>3</sup>	$\pm 1-3\%$ o $\pm 2,5\mu$ m ( $\pm 0,1$ mil)				
Resolución	0,1 $\mu$ m: 0 - 100 $\mu$ m; 1 $\mu$ m: 100 - 1000 $\mu$ m (0,01mil: 0 - 5mils; 0,1mil: 5 - 40mils)				
Espesor mínimo del sustrato	Acero: 300 $\mu$ m (12mils)		Aluminio: 100 $\mu$ m (4mils) - solo medidores FNF		
Temperatura de trabajo	-10 a 50°C (14 a 122°F)		Humedad relativa (HR): 0 a 95%		
Fuente de alimentación	2 pilas AA o a través de USB ( <i>también pueden utilizarse pilas recargables</i> )				
Duración de las pilas <sup>4</sup>	Alcalinas: Aproximadamente 16 horas		Litio: Aproximadamente 24 horas		
Dimensiones del medidor (Al x An x F)	14,1 x 7,30 x 3,70cm (5,55 x 2,87 x 1,46")				
Peso del medidor	156g (5,5oz) ( <i>incluidas las pilas</i> )				
Lista de empaque	Medidor Elcometer 415, 2 pilas AA, piezas de comprobación de acero y aluminio <sup>5</sup> , Juego de láminas, correa para colgar de la muñeca, estuche de transporte resistente a impactos, protector de pantalla <sup>2</sup> , certificado de prueba de calibración, instrucciones de uso, Cable USB <sup>2</sup> , ElcoMaster® CD <sup>2</sup> y tarjeta de ampliación a 2 años de garantía				

#### Accesorios

T99916925	Pieza de comprobación de calibración; acero (ferroso)
T99916901	Pieza de comprobación de calibración; aluminio (no ferroso)
T99022255-1	Juego de láminas; 0 - 1000 $\mu$ m (0 - 40mils)
T99022255-1C	Juego de láminas certificado; 0 - 1000 $\mu$ m (0 - 40mils)
T99921325	Cable USB
T99922341	Protectores de pantalla autoadhesivos (lote de 10)

<sup>1</sup> Elcometer 415 Modelos FNF <sup>2</sup> Elcometer 415 Modelo T

<sup>3</sup> Con una calibración en 2 puntos con el espesor esperado dentro del rango la precisión será  $\pm 1\%$  dentro de ese rango, si no, será  $\pm 3\%$ .



<sup>4</sup> Puede diferir con pilas recargables

<sup>5</sup> Modelos F: pieza de comprobación de acero; Modelos FNF: piezas de comprobación de acero y aluminio

\* Los medidores Elcometer 415 se suministran con una garantía de un año para defectos de fabricación. La garantía puede ampliarse a dos años a través de [www.elcometer.com](http://www.elcometer.com).

● Certificado de prueba de calibración suministrado de serie

Anexo H. Datos transformados y de deseabilidad obtenidos del diseño de experimentos.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL								
Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes			
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad			
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global	
P41-21724	688	17	24	1117	32,3185	0,2271	0,8467	0,8488	0,8477	
P42-21724	688	17	24	1117	32,2038	0,2263	0,8467	0,8488	0,8477	
P43-21724	688	17	24	1117	32,3185	0,2271	0,8467	0,8488	0,8477	
P44-21724	688	17	24	1117	32,3312	0,2272	0,8467	0,8488	0,8477	
P45-21724	688	17	24	1117	32,5350	0,2286	0,8467	0,8488	0,8477	
P21-12424	375	24	24	1117	25,4140	0,1786	0,9703	0,9455	0,9579	
P22-12424	375	24	24	1117	25,9236	0,1822	0,9703	0,9455	0,9579	
P23-12424	375	24	24	1117	25,4777	0,1791	0,9703	0,9455	0,9579	
P24-12424	375	24	24	1117	25,4777	0,1791	0,9703	0,9455	0,9579	
P25-12424	375	24	24	1117	25,9745	0,1825	0,9703	0,9455	0,9579	
P26-32424	1000	24	24	1117	25,8344	0,1816	0,9162	0,9452	0,9307	
P27-32424	1000	24	24	1117	25,3631	0,1782	0,9162	0,9452	0,9307	
P28-32424	1000	24	24	1117	25,2102	0,1772	0,9162	0,9452	0,9307	
P29-32424	1000	24	24	1117	25,3376	0,1781	0,9162	0,9452	0,9307	
P30-32424	1000	24	24	1117	25,1847	0,1770	0,9162	0,9452	0,9307	
P46-23024	688	30	24	1117	32,3185	0,2271	0,8869	0,8890	0,8880	
P47-23024	688	30	24	1117	32,3949	0,2277	0,8869	0,8890	0,8880	
P48-23024	688	30	24	1117	32,2166	0,2264	0,8869	0,8890	0,8880	
P49-23024	688	30	24	1117	32,4204	0,2278	0,8869	0,8890	0,8880	
P50-23024	688	30	24	1117	32,0637	0,2253	0,8869	0,8890	0,8880	
P1-11736	375	17	36	1117	12,9045	0,0907	1,0000	1,0000	1,0000	
P2-11736	375	17	36	1117	12,2293	0,0859	1,0000	1,0000	1,0000	
P3-11736	375	17	36	1117	12,3057	0,0865	1,0000	1,0000	1,0000	
P4-11736	375	17	36	1117	12,7389	0,0895	1,0000	1,0000	1,0000	
P5-11736	375	17	36	1117	12,5096	0,0879	1,0000	1,0000	1,0000	
P6-31736	1000	17	36	1117	19,5796	0,1376	1,0000	1,0000	1,0000	
P7-31736	1000	17	36	1117	19,5796	0,1376	1,0000	1,0000	1,0000	
P8-31736	1000	17	36	1117	19,5796	0,1376	1,0000	1,0000	1,0000	
P9-31736	1000	17	36	1117	19,5796	0,1376	1,0000	1,0000	1,0000	
P10-31736	1000	17	36	1117	19,5796	0,1376	1,0000	1,0000	1,0000	
P61-22436	688	24	36	1117	40,3694	0,2837	0,7266	0,7238	0,7252	
P66-22436	688	24	36	1117	40,9427	0,2877	0,7266	0,7238	0,7252	
P71-22436	688	24	36	1117	40,2930	0,2832	0,7266	0,7238	0,7252	
P62-22436	688	24	36	1117	40,8790	0,2873	0,7266	0,7238	0,7252	
P67-22436	688	24	36	1117	40,5987	0,2853	0,7266	0,7238	0,7252	
P72-22436	688	24	36	1117	40,2242	0,2827	0,7266	0,7238	0,7252	
P63-22436	688	24	36	1117	40,8153	0,2868	0,7266	0,7238	0,7252	
P68-22436	688	24	36	1117	40,7643	0,2865	0,7266	0,7238	0,7252	
P73-22436	688	24	36	1117	40,2420	0,2828	0,7266	0,7238	0,7252	
P64-22436	688	24	36	1117	40,7134	0,2861	0,7266	0,7238	0,7252	
P69-22436	688	24	36	1117	40,0892	0,2817	0,7266	0,7238	0,7252	
P74-22436	688	24	36	1117	40,2166	0,2826	0,7266	0,7238	0,7252	
P65-22436	688	24	36	1117	40,6242	0,2855	0,7266	0,7238	0,7252	
P70-22436	688	24	36	1117	40,5223	0,2848	0,7266	0,7238	0,7252	
P75-22436	688	24	36	1117	40,8025	0,2868	0,7266	0,7238	0,7252	
P11-13036	375	30	36	1117	22,3694	0,1572	1,0000	1,0000	1,0000	
P12-13036	375	30	36	1117	21,0701	0,1481	1,0000	1,0000	1,0000	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**  
**VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL**





Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad		
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global
P13-13036	375	30	36	1117	22,3822	0,1573	1,0000	1,0000	1,0000
P14-13036	375	30	36	1117	22,7389	0,1598	1,0000	1,0000	1,0000
P15-13036	375	30	36	1117	22,7771	0,1601	1,0000	1,0000	1,0000
P16-33036	1000	30	36	1117	24,6879	0,1735	1,0000	1,0000	1,0000
P17-33036	1000	30	36	1117	24,0000	0,1687	1,0000	1,0000	1,0000
P18-33036	1000	30	36	1117	24,2675	0,1705	1,0000	1,0000	1,0000
P19-33036	1000	30	36	1117	24,6242	0,1731	1,0000	1,0000	1,0000
P20-33036	1000	30	36	1117	23,4013	0,1645	1,0000	1,0000	1,0000
P51-21748	688	17	48	1117	32,4204	0,2278	0,8970	0,8991	0,8980
P52-21748	688	17	48	1117	32,7134	0,2299	0,8970	0,8991	0,8980
P53-21748	688	17	48	1117	32,4204	0,2278	0,8970	0,8991	0,8980
P54-21748	688	17	48	1117	32,1656	0,2261	0,8970	0,8991	0,8980
P55-21748	688	17	48	1117	32,1146	0,2257	0,8970	0,8991	0,8980
P31-12448	375	24	48	1117	27,4650	0,1930	0,9550	0,9451	0,9501
P32-12448	375	24	48	1117	27,3121	0,1919	0,9550	0,9451	0,9501
P33-12448	375	24	48	1117	27,3210	0,1920	0,9550	0,9451	0,9501
P34-12448	375	24	48	1117	27,5287	0,1935	0,9550	0,9451	0,9501
P35-12448	375	24	48	1117	27,1210	0,1906	0,9550	0,9451	0,9501
P36-32448	1000	24	48	1117	30,3312	0,2132	0,9009	0,9150	0,9079
P37-32448	1000	24	48	1117	30,6242	0,2152	0,9009	0,9150	0,9079
P38-32448	1000	24	48	1117	29,6433	0,2083	0,9009	0,9150	0,9079
P39-32448	1000	24	48	1117	30,4713	0,2141	0,9009	0,9150	0,9079
P40-32448	1000	24	48	1117	30,0127	0,2109	0,9009	0,9150	0,9079
P56-23048	688	30	48	1117	37,1338	0,2610	0,8060	0,8081	0,8070
P57-23048	688	30	48	1117	37,5414	0,2638	0,8060	0,8081	0,8070
P58-23048	688	30	48	1117	37,2994	0,2621	0,8060	0,8081	0,8070
P59-23048	688	30	48	1117	37,2484	0,2618	0,8060	0,8081	0,8070
P60-23048	688	30	48	1117	37,4777	0,2634	0,8060	0,8081	0,8070
P41-21724	688	17	24	2234	65,9108	0,4632	0,7139	0,7161	0,7150
P42-21724	688	17	24	2234	64,7643	0,4551	0,7139	0,7161	0,7150
P43-21724	688	17	24	2234	65,9490	0,4635	0,7139	0,7161	0,7150
P44-21724	688	17	24	2234	63,3758	0,4454	0,7139	0,7161	0,7150
P45-21724	688	17	24	2234	65,0828	0,4574	0,7139	0,7161	0,7150
P21-12424	375	24	24	2234	50,8280	0,3572	0,8290	0,8124	0,8207
P22-12424	375	24	24	2234	50,9554	0,3581	0,8290	0,8124	0,8207
P23-12424	375	24	24	2234	50,5732	0,3554	0,8290	0,8124	0,8207
P24-12424	375	24	24	2234	50,9554	0,3581	0,8290	0,8124	0,8207
P25-12424	375	24	24	2234	49,6433	0,3489	0,8290	0,8124	0,8207
P26-32424	1000	24	24	2234	51,6815	0,3632	0,7748	0,7957	0,7853
P27-32424	1000	24	24	2234	51,3631	0,3610	0,7748	0,7957	0,7853
P28-32424	1000	24	24	2234	51,6943	0,3633	0,7748	0,7957	0,7853
P29-32424	1000	24	24	2234	51,9490	0,3651	0,7748	0,7957	0,7853
P30-32424	1000	24	24	2234	51,3885	0,3611	0,7748	0,7957	0,7853
P46-23024	688	30	24	2234	57,1592	0,4017	0,7370	0,7391	0,7380
P47-23024	688	30	24	2234	57,2357	0,4022	0,7370	0,7391	0,7380
P48-23024	688	30	24	2234	57,2484	0,4023	0,7370	0,7391	0,7380
P49-23024	688	30	24	2234	57,1847	0,4019	0,7370	0,7391	0,7380
P50-23024	688	30	24	2234	57,5032	0,4041	0,7370	0,7391	0,7380





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**  
**VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL**



Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad		
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global
P1-11736	375	17	36	2234	25,8089	0,1814	0,9913	0,9779	0,9846
P2-11736	375	17	36	2234	25,7197	0,1808	0,9913	0,9779	0,9846
P3-11736	375	17	36	2234	25,1210	0,1765	0,9913	0,9779	0,9846
P4-11736	375	17	36	2234	25,4777	0,1791	0,9913	0,9779	0,9846
P5-11736	375	17	36	2234	25,8599	0,1817	0,9913	0,9779	0,9846
P6-31736	1000	17	36	2234	37,8854	0,2662	0,8811	0,8902	0,8856
P7-31736	1000	17	36	2234	37,8854	0,2662	0,8811	0,8902	0,8856
P8-31736	1000	17	36	2234	37,8854	0,2662	0,8811	0,8902	0,8856
P9-31736	1000	17	36	2234	39,1592	0,2752	0,8811	0,8902	0,8856
P10-31736	1000	17	36	2234	39,1465	0,2751	0,8811	0,8902	0,8856
P61-22436	688	24	36	2234	80,7389	0,5674	0,5735	0,5707	0,5721
P66-22436	688	24	36	2234	80,8662	0,5683	0,5735	0,5707	0,5721
P71-22436	688	24	36	2234	80,8535	0,5682	0,5735	0,5707	0,5721
P62-22436	688	24	36	2234	81,7452	0,5745	0,5735	0,5707	0,5721
P67-22436	688	24	36	2234	80,9427	0,5688	0,5735	0,5707	0,5721
P72-22436	688	24	36	2234	80,0255	0,5624	0,5735	0,5707	0,5721
P63-22436	688	24	36	2234	80,3439	0,5646	0,5735	0,5707	0,5721
P68-22436	688	24	36	2234	80,7771	0,5677	0,5735	0,5707	0,5721
P73-22436	688	24	36	2234	80,8662	0,5683	0,5735	0,5707	0,5721
P64-22436	688	24	36	2234	81,4268	0,5722	0,5735	0,5707	0,5721
P69-22436	688	24	36	2234	80,8408	0,5681	0,5735	0,5707	0,5721
P74-22436	688	24	36	2234	80,4459	0,5654	0,5735	0,5707	0,5721
P65-22436	688	24	36	2234	80,0892	0,5628	0,5735	0,5707	0,5721
P70-22436	688	24	36	2234	80,0382	0,5625	0,5735	0,5707	0,5721
P75-22436	688	24	36	2234	80,8280	0,5680	0,5735	0,5707	0,5721
P11-13036	375	30	36	2234	44,7389	0,3144	0,8927	0,8793	0,8860
P12-13036	375	30	36	2234	44,6879	0,3141	0,8927	0,8793	0,8860
P13-13036	375	30	36	2234	44,7643	0,3146	0,8927	0,8793	0,8860
P14-13036	375	30	36	2234	44,9809	0,3161	0,8927	0,8793	0,8860
P15-13036	375	30	36	2234	45,5669	0,3202	0,8927	0,8793	0,8860
P16-33036	1000	30	36	2234	49,3758	0,3470	0,8947	0,9038	0,8992
P17-33036	1000	30	36	2234	48,0127	0,3374	0,8947	0,9038	0,8992
P18-33036	1000	30	36	2234	49,8089	0,3500	0,8947	0,9038	0,8992
P19-33036	1000	30	36	2234	49,2611	0,3462	0,8947	0,9038	0,8992
P20-33036	1000	30	36	2234	49,3503	0,3468	0,8947	0,9038	0,8992
P51-21748	688	17	48	2234	64,8280	0,4556	0,7407	0,7428	0,7417
P52-21748	688	17	48	2234	64,1529	0,4509	0,7407	0,7428	0,7417
P53-21748	688	17	48	2234	64,8408	0,4557	0,7407	0,7428	0,7417
P54-21748	688	17	48	2234	64,3185	0,4520	0,7407	0,7428	0,7417
P55-21748	688	17	48	2234	64,7516	0,4551	0,7407	0,7428	0,7417
P31-12448	375	24	48	2234	54,9427	0,3861	0,7901	0,7884	0,7893
P32-12448	375	24	48	2234	54,6242	0,3839	0,7901	0,7884	0,7893
P33-12448	375	24	48	2234	54,2803	0,3815	0,7901	0,7884	0,7893
P34-12448	375	24	48	2234	54,2930	0,3816	0,7901	0,7884	0,7893
P35-12448	375	24	48	2234	54,2293	0,3811	0,7901	0,7884	0,7893
P36-32448	1000	24	48	2234	60,6624	0,4263	0,7360	0,7419	0,7389
P37-32448	1000	24	48	2234	61,2357	0,4303	0,7360	0,7419	0,7389
P38-32448	1000	24	48	2234	59,2866	0,4167	0,7360	0,7419	0,7389

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS</b>  <b>VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL</b> </div> 									
Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad		
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global
P39-32448	1000	24	48	2234	60,9427	0,4283	0,7360	0,7419	0,7389
P40-32448	1000	24	48	2234	60,0255	0,4218	0,7360	0,7419	0,7389
P56-23048	688	30	48	2234	74,2548	0,5218	0,6325	0,6346	0,6336
P57-23048	688	30	48	2234	75,0701	0,5276	0,6325	0,6346	0,6336
P58-23048	688	30	48	2234	74,5987	0,5243	0,6325	0,6346	0,6336
P59-23048	688	30	48	2234	74,5096	0,5236	0,6325	0,6346	0,6336
P60-23048	688	30	48	2234	74,0382	0,5203	0,6325	0,6346	0,6336
P41-21724	688	17	24	3351	116,8662	0,8213	0,5084	0,5106	0,5095
P42-21724	688	17	24	3351	116,8408	0,8211	0,5084	0,5106	0,5095
P43-21724	688	17	24	3351	116,3949	0,8180	0,5084	0,5106	0,5095
P44-21724	688	17	24	3351	116,7134	0,8202	0,5084	0,5106	0,5095
P45-21724	688	17	24	3351	116,4076	0,8181	0,5084	0,5106	0,5095
P21-12424	375	24	24	3351	89,8599	0,6315	0,6108	0,6074	0,6091
P22-12424	375	24	24	3351	89,6815	0,6303	0,6108	0,6074	0,6091
P23-12424	375	24	24	3351	89,1720	0,6267	0,6108	0,6074	0,6091
P24-12424	375	24	24	3351	89,1720	0,6267	0,6108	0,6074	0,6091
P25-12424	375	24	24	3351	89,6943	0,6303	0,6108	0,6074	0,6091
P26-32424	1000	24	24	3351	91,2611	0,6414	0,5567	0,5643	0,5605
P27-32424	1000	24	24	3351	91,1210	0,6404	0,5567	0,5643	0,5605
P28-32424	1000	24	24	3351	91,1592	0,6406	0,5567	0,5643	0,5605
P29-32424	1000	24	24	3351	91,2484	0,6413	0,5567	0,5643	0,5605
P30-32424	1000	24	24	3351	91,7834	0,6450	0,5567	0,5643	0,5605
P46-23024	688	30	24	3351	95,3758	0,6703	0,5061	0,5083	0,5072
P47-23024	688	30	24	3351	95,4522	0,6708	0,5061	0,5083	0,5072
P48-23024	688	30	24	3351	95,5032	0,6712	0,5061	0,5083	0,5072
P49-23024	688	30	24	3351	95,5541	0,6715	0,5061	0,5083	0,5072
P50-23024	688	30	24	3351	95,7197	0,6727	0,5061	0,5083	0,5072
P1-11736	375	17	36	3351	41,9363	0,2947	0,7394	0,7392	0,7393
P2-11736	375	17	36	3351	41,5796	0,2922	0,7394	0,7392	0,7393
P3-11736	375	17	36	3351	41,3503	0,2906	0,7394	0,7392	0,7393
P4-11736	375	17	36	3351	41,9108	0,2945	0,7394	0,7392	0,7393
P5-11736	375	17	36	3351	41,1083	0,2889	0,7394	0,7392	0,7393
P6-31736	1000	17	36	3351	82,4713	0,5796	0,6291	0,6250	0,6271
P7-31736	1000	17	36	3351	82,4713	0,5796	0,6291	0,6250	0,6271
P8-31736	1000	17	36	3351	82,4713	0,5796	0,6291	0,6250	0,6271
P9-31736	1000	17	36	3351	83,7452	0,5885	0,6291	0,6250	0,6271
P10-31736	1000	17	36	3351	82,3822	0,5790	0,6291	0,6250	0,6271
P61-22436	688	24	36	3351	148,7006	1,0450	0,3089	0,3060	0,3075
P66-22436	688	24	36	3351	148,8790	1,0463	0,3089	0,3060	0,3075
P71-22436	688	24	36	3351	148,2803	1,0421	0,3089	0,3060	0,3075
P62-22436	688	24	36	3351	148,5860	1,0442	0,3089	0,3060	0,3075
P67-22436	688	24	36	3351	148,0127	1,0402	0,3089	0,3060	0,3075
P72-22436	688	24	36	3351	148,8280	1,0459	0,3089	0,3060	0,3075
P63-22436	688	24	36	3351	148,2548	1,0419	0,3089	0,3060	0,3075
P68-22436	688	24	36	3351	148,1656	1,0413	0,3089	0,3060	0,3075
P73-22436	688	24	36	3351	148,6624	1,0448	0,3089	0,3060	0,3075
P64-22436	688	24	36	3351	148,6497	1,0447	0,3089	0,3060	0,3075
P69-22436	688	24	36	3351	148,2420	1,0418	0,3089	0,3060	0,3075

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL								
Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes			
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad			
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global	
P74-22436	688	24	36	3351	148,2166	1,0416	0,3089	0,3060	0,3075	
P65-22436	688	24	36	3351	149,2994	1,0492	0,3089	0,3060	0,3075	
P70-22436	688	24	36	3351	148,7771	1,0456	0,3089	0,3060	0,3075	
P75-22436	688	24	36	3351	148,8280	1,0459	0,3089	0,3060	0,3075	
P11-13036	375	30	36	3351	84,1274	0,5912	0,6153	0,6152	0,6153	
P12-13036	375	30	36	3351	84,1274	0,5912	0,6153	0,6152	0,6153	
P13-13036	375	30	36	3351	83,7580	0,5886	0,6153	0,6152	0,6153	
P14-13036	375	30	36	3351	84,3822	0,5930	0,6153	0,6152	0,6153	
P15-13036	375	30	36	3351	84,3057	0,5925	0,6153	0,6152	0,6153	
P16-33036	1000	30	36	3351	91,7070	0,6445	0,6174	0,6132	0,6153	
P17-33036	1000	30	36	3351	91,4013	0,6423	0,6174	0,6132	0,6153	
P18-33036	1000	30	36	3351	91,4140	0,6424	0,6174	0,6132	0,6153	
P19-33036	1000	30	36	3351	91,2994	0,6416	0,6174	0,6132	0,6153	
P20-33036	1000	30	36	3351	91,8981	0,6458	0,6174	0,6132	0,6153	
P51-21748	688	17	48	3351	127,0446	0,8928	0,4423	0,4444	0,4433	
P52-21748	688	17	48	3351	127,8726	0,8987	0,4423	0,4444	0,4433	
P53-21748	688	17	48	3351	127,0318	0,8927	0,4423	0,4444	0,4433	
P54-21748	688	17	48	3351	127,5032	0,8961	0,4423	0,4444	0,4433	
P55-21748	688	17	48	3351	127,6943	0,8974	0,4423	0,4444	0,4433	
P31-12448	375	24	48	3351	111,4395	0,7832	0,4790	0,4906	0,4848	
P32-12448	375	24	48	3351	111,7962	0,7857	0,4790	0,4906	0,4848	
P33-12448	375	24	48	3351	111,3503	0,7825	0,4790	0,4906	0,4848	
P34-12448	375	24	48	3351	111,4013	0,7829	0,4790	0,4906	0,4848	
P35-12448	375	24	48	3351	111,9108	0,7865	0,4790	0,4906	0,4848	
P36-32448	1000	24	48	3351	105,2866	0,7399	0,4249	0,4176	0,4213	
P37-32448	1000	24	48	3351	105,1720	0,7391	0,4249	0,4176	0,4213	
P38-32448	1000	24	48	3351	105,1210	0,7388	0,4249	0,4176	0,4213	
P39-32448	1000	24	48	3351	105,2611	0,7397	0,4249	0,4176	0,4213	
P40-32448	1000	24	48	3351	105,5669	0,7419	0,4249	0,4176	0,4213	
P56-23048	688	30	48	3351	148,1274	1,0410	0,3087	0,3109	0,3098	
P57-23048	688	30	48	3351	148,9427	1,0467	0,3087	0,3109	0,3098	
P58-23048	688	30	48	3351	148,8153	1,0458	0,3087	0,3109	0,3098	
P59-23048	688	30	48	3351	148,5605	1,0440	0,3087	0,3109	0,3098	
P60-23048	688	30	48	3351	148,9427	1,0467	0,3087	0,3109	0,3098	
P41-21724	688	17	24	4468	127,0573	0,8929	0,4072	0,4093	0,4083	
P42-21724	688	17	24	4468	128,4713	0,9029	0,4072	0,4093	0,4083	
P43-21724	688	17	24	4468	127,2229	0,8941	0,4072	0,4093	0,4083	
P44-21724	688	17	24	4468	127,4650	0,8958	0,4072	0,4093	0,4083	
P45-21724	688	17	24	4468	126,9172	0,8919	0,4072	0,4093	0,4083	
P21-12424	375	24	24	4468	123,2229	0,8660	0,4950	0,5003	0,4977	
P22-12424	375	24	24	4468	123,4395	0,8675	0,4950	0,5003	0,4977	
P23-12424	375	24	24	4468	123,5669	0,8684	0,4950	0,5003	0,4977	
P24-12424	375	24	24	4468	123,8217	0,8702	0,4950	0,5003	0,4977	
P25-12424	375	24	24	4468	123,8217	0,8702	0,4950	0,5003	0,4977	
P26-32424	1000	24	24	4468	117,1083	0,8230	0,4409	0,4398	0,4403	
P27-32424	1000	24	24	4468	117,5032	0,8258	0,4409	0,4398	0,4403	
P28-32424	1000	24	24	4468	117,6433	0,8268	0,4409	0,4398	0,4403	
P29-32424	1000	24	24	4468	117,1720	0,8235	0,4409	0,4398	0,4403	



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**  
**VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL**



Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad		
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global
P30-32424	1000	24	24	4468	117,9236	0,8287	0,4409	0,4398	0,4403
P46-23024	688	30	24	4468	123,4013	0,8672	0,3758	0,3779	0,3768
P47-23024	688	30	24	4468	123,4777	0,8678	0,3758	0,3779	0,3768
P48-23024	688	30	24	4468	123,5287	0,8681	0,3758	0,3779	0,3768
P49-23024	688	30	24	4468	123,2866	0,8664	0,3758	0,3779	0,3768
P50-23024	688	30	24	4468	123,8726	0,8705	0,3758	0,3779	0,3768
P1-11736	375	17	36	4468	55,8089	0,3922	0,6250	0,6335	0,6292
P2-11736	375	17	36	4468	55,1975	0,3879	0,6250	0,6335	0,6292
P3-11736	375	17	36	4468	55,9618	0,3933	0,6250	0,6335	0,6292
P4-11736	375	17	36	4468	55,6688	0,3912	0,6250	0,6335	0,6292
P5-11736	375	17	36	4468	55,1083	0,3873	0,6250	0,6335	0,6292
P6-31736	1000	17	36	4468	97,7580	0,6870	0,5147	0,5019	0,5083
P7-31736	1000	17	36	4468	97,7580	0,6870	0,5147	0,5019	0,5083
P8-31736	1000	17	36	4468	97,7580	0,6870	0,5147	0,5019	0,5083
P9-31736	1000	17	36	4468	97,7580	0,6870	0,5147	0,5019	0,5083
P10-31736	1000	17	36	4468	97,0446	0,6820	0,5147	0,5019	0,5083
P61-22436	688	24	36	4468	178,2803	1,2529	0,1799	0,1771	0,1785
P66-22436	688	24	36	4468	178,6497	1,2555	0,1799	0,1771	0,1785
P71-22436	688	24	36	4468	178,4459	1,2541	0,1799	0,1771	0,1785
P62-22436	688	24	36	4468	178,2675	1,2528	0,1799	0,1771	0,1785
P67-22436	688	24	36	4468	178,2420	1,2526	0,1799	0,1771	0,1785
P72-22436	688	24	36	4468	178,2038	1,2524	0,1799	0,1771	0,1785
P63-22436	688	24	36	4468	177,8981	1,2502	0,1799	0,1771	0,1785
P68-22436	688	24	36	4468	178,7516	1,2562	0,1799	0,1771	0,1785
P73-22436	688	24	36	4468	178,3949	1,2537	0,1799	0,1771	0,1785
P64-22436	688	24	36	4468	178,3567	1,2534	0,1799	0,1771	0,1785
P69-22436	688	24	36	4468	178,8153	1,2567	0,1799	0,1771	0,1785
P74-22436	688	24	36	4468	177,9236	1,2504	0,1799	0,1771	0,1785
P65-22436	688	24	36	4468	178,4459	1,2541	0,1799	0,1771	0,1785
P70-22436	688	24	36	4468	178,2166	1,2525	0,1799	0,1771	0,1785
P75-22436	688	24	36	4468	178,3682	1,2535	0,1799	0,1771	0,1785
P11-13036	375	30	36	4468	97,4904	0,6851	0,4718	0,4803	0,4760
P12-13036	375	30	36	4468	97,6178	0,6860	0,4718	0,4803	0,4760
P13-13036	375	30	36	4468	97,4522	0,6849	0,4718	0,4803	0,4760
P14-13036	375	30	36	4468	97,3885	0,6844	0,4718	0,4803	0,4760
P15-13036	375	30	36	4468	98,2548	0,6905	0,4718	0,4803	0,4760
P16-33036	1000	30	36	4468	108,9427	0,7656	0,4738	0,4610	0,4674
P17-33036	1000	30	36	4468	108,0127	0,7591	0,4738	0,4610	0,4674
P18-33036	1000	30	36	4468	109,1592	0,7671	0,4738	0,4610	0,4674
P19-33036	1000	30	36	4468	108,5096	0,7626	0,4738	0,4610	0,4674
P20-33036	1000	30	36	4468	109,2229	0,7676	0,4738	0,4610	0,4674
P51-21748	688	17	48	4468	155,8854	1,0955	0,3146	0,3168	0,3157
P52-21748	688	17	48	4468	155,2484	1,0910	0,3146	0,3168	0,3157
P53-21748	688	17	48	4468	155,9236	1,0958	0,3146	0,3168	0,3157
P54-21748	688	17	48	4468	155,2102	1,0908	0,3146	0,3168	0,3157
P55-21748	688	17	48	4468	155,1465	1,0903	0,3146	0,3168	0,3157
P31-12448	375	24	48	4468	133,4777	0,9380	0,3368	0,3571	0,3469
P32-12448	375	24	48	4468	133,5159	0,9383	0,3368	0,3571	0,3469



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**  
**VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL**



Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L. (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad		
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global
P33-12448	375	24	48	4468	133,2739	0,9366	0,3368	0,3571	0,3469
P34-12448	375	24	48	4468	133,1083	0,9355	0,3368	0,3571	0,3469
P35-12448	375	24	48	4468	133,1210	0,9355	0,3368	0,3571	0,3469
P36-32448	1000	24	48	4468	143,2357	1,0066	0,2827	0,2668	0,2747
P37-32448	1000	24	48	4468	143,7962	1,0106	0,2827	0,2668	0,2747
P38-32448	1000	24	48	4468	143,9363	1,0115	0,2827	0,2668	0,2747
P39-32448	1000	24	48	4468	142,9554	1,0047	0,2827	0,2668	0,2747
P40-32448	1000	24	48	4468	143,1465	1,0060	0,2827	0,2668	0,2747
P56-23048	688	30	48	4468	179,9873	1,2649	0,1520	0,1541	0,1531
P57-23048	688	30	48	4468	179,7707	1,2634	0,1520	0,1541	0,1531
P58-23048	688	30	48	4468	179,8217	1,2637	0,1520	0,1541	0,1531
P59-23048	688	30	48	4468	179,8344	1,2638	0,1520	0,1541	0,1531
P60-23048	688	30	48	4468	179,5159	1,2616	0,1520	0,1541	0,1531
P41-21724	688	17	24	5585	133,4268	0,9377	0,3550	0,3572	0,3561
P42-21724	688	17	24	5585	133,6178	0,9390	0,3550	0,3572	0,3561
P43-21724	688	17	24	5585	133,5924	0,9389	0,3550	0,3572	0,3561
P44-21724	688	17	24	5585	133,6051	0,9389	0,3550	0,3572	0,3561
P45-21724	688	17	24	5585	133,4013	0,9375	0,3550	0,3572	0,3561
P21-12424	375	24	24	5585	127,0573	0,8929	0,4381	0,4509	0,4445
P22-12424	375	24	24	5585	127,0828	0,8931	0,4381	0,4509	0,4445
P23-12424	375	24	24	5585	127,3885	0,8953	0,4381	0,4509	0,4445
P24-12424	375	24	24	5585	127,3885	0,8953	0,4381	0,4509	0,4445
P25-12424	375	24	24	5585	127,9363	0,8991	0,4381	0,4509	0,4445
P26-32424	1000	24	24	5585	129,1975	0,9080	0,3840	0,3755	0,3797
P27-32424	1000	24	24	5585	129,9873	0,9135	0,3840	0,3755	0,3797
P28-32424	1000	24	24	5585	129,8726	0,9127	0,3840	0,3755	0,3797
P29-32424	1000	24	24	5585	130,2548	0,9154	0,3840	0,3755	0,3797
P30-32424	1000	24	24	5585	129,1083	0,9073	0,3840	0,3755	0,3797
P46-23024	688	30	24	5585	125,9490	0,8851	0,3141	0,3163	0,3152
P47-23024	688	30	24	5585	125,7707	0,8839	0,3141	0,3163	0,3152
P48-23024	688	30	24	5585	125,0573	0,8789	0,3141	0,3163	0,3152
P49-23024	688	30	24	5585	125,1338	0,8794	0,3141	0,3163	0,3152
P50-23024	688	30	24	5585	125,2739	0,8804	0,3141	0,3163	0,3152
P1-11736	375	17	36	5585	64,5223	0,4534	0,5722	0,5882	0,5802
P2-11736	375	17	36	5585	64,8153	0,4555	0,5722	0,5882	0,5802
P3-11736	375	17	36	5585	64,7134	0,4548	0,5722	0,5882	0,5802
P4-11736	375	17	36	5585	64,9682	0,4566	0,5722	0,5882	0,5802
P5-11736	375	17	36	5585	64,6369	0,4543	0,5722	0,5882	0,5802
P6-31736	1000	17	36	5585	104,1274	0,7318	0,4620	0,4417	0,4519
P7-31736	1000	17	36	5585	104,1274	0,7318	0,4620	0,4417	0,4519
P8-31736	1000	17	36	5585	106,8535	0,7509	0,4620	0,4417	0,4519
P9-31736	1000	17	36	5585	104,1274	0,7318	0,4620	0,4417	0,4519
P10-31736	1000	17	36	5585	104,2420	0,7326	0,4620	0,4417	0,4519
P61-22436	688	24	36	5585	201,8599	1,4186	0,1225	0,1196	0,1210
P66-22436	688	24	36	5585	201,5414	1,4164	0,1225	0,1196	0,1210
P71-22436	688	24	36	5585	201,4904	1,4160	0,1225	0,1196	0,1210
P62-22436	688	24	36	5585	201,8217	1,4184	0,1225	0,1196	0,1210
P67-22436	688	24	36	5585	201,1083	1,4133	0,1225	0,1196	0,1210





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**  
**VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DESEABILIDAD GLOBAL**



Doc. No.: UTA-EDA-044		Fecha: 30/9/2019		Elaborado por: Ing. Edgar Sangucho			Aprobado por: Ing. Mg. Juan Paredes		
Código	Espesor (um)	Temp. (°C)	Tiempo (H)	Despla. L (m)	Vol. perdido (mm <sup>3</sup> )	Tasa de desgaste (mg/m)	Deseabilidad		
							Volumen perdido	Tasa desgaste	Global
P72-22436	688	24	36	5585	201,6561	1,4172	0,1225	0,1196	0,1210
P63-22436	688	24	36	5585	201,5032	1,4161	0,1225	0,1196	0,1210
P68-22436	688	24	36	5585	201,2994	1,4147	0,1225	0,1196	0,1210
P73-22436	688	24	36	5585	201,1975	1,4140	0,1225	0,1196	0,1210
P64-22436	688	24	36	5585	201,0318	1,4128	0,1225	0,1196	0,1210
P69-22436	688	24	36	5585	201,9006	1,4189	0,1225	0,1196	0,1210
P74-22436	688	24	36	5585	201,8981	1,4189	0,1225	0,1196	0,1210
P65-22436	688	24	36	5585	201,8217	1,4184	0,1225	0,1196	0,1210
P70-22436	688	24	36	5585	201,1210	1,4134	0,1225	0,1196	0,1210
P75-22436	688	24	36	5585	201,1707	1,4138	0,1225	0,1196	0,1210
P11-13036	375	30	36	5585	111,8344	0,7859	0,4096	0,4255	0,4176
P12-13036	375	30	36	5585	111,8599	0,7861	0,4096	0,4255	0,4176
P13-13036	375	30	36	5585	111,9236	0,7866	0,4096	0,4255	0,4176
P14-13036	375	30	36	5585	111,8089	0,7858	0,4096	0,4255	0,4176
P15-13036	375	30	36	5585	111,0446	0,7804	0,4096	0,4255	0,4176
P16-33036	1000	30	36	5585	123,4522	0,8676	0,4116	0,3914	0,4015
P17-33036	1000	30	36	5585	123,8471	0,8704	0,4116	0,3914	0,4015
P18-33036	1000	30	36	5585	123,5924	0,8686	0,4116	0,3914	0,4015
P19-33036	1000	30	36	5585	123,1465	0,8654	0,4116	0,3914	0,4015
P20-33036	1000	30	36	5585	123,7452	0,8697	0,4116	0,3914	0,4015
P51-21748	688	17	48	5585	162,0764	1,1390	0,2613	0,2635	0,2624
P52-21748	688	17	48	5585	162,2803	1,1405	0,2613	0,2635	0,2624
P53-21748	688	17	48	5585	162,1019	1,1392	0,2613	0,2635	0,2624
P54-21748	688	17	48	5585	162,4586	1,1417	0,2613	0,2635	0,2624
P55-21748	688	17	48	5585	163,3631	1,1481	0,2613	0,2635	0,2624
P31-12448	375	24	48	5585	137,3503	0,9653	0,2788	0,3065	0,2926
P32-12448	375	24	48	5585	137,8217	0,9686	0,2788	0,3065	0,2926
P33-12448	375	24	48	5585	137,1083	0,9636	0,2788	0,3065	0,2926
P34-12448	375	24	48	5585	137,0191	0,9629	0,2788	0,3065	0,2926
P35-12448	375	24	48	5585	136,9809	0,9627	0,2788	0,3065	0,2926
P36-32448	1000	24	48	5585	151,6433	1,0657	0,2247	0,2013	0,2130
P37-32448	1000	24	48	5585	151,8217	1,0670	0,2247	0,2013	0,2130
P38-32448	1000	24	48	5585	151,0318	1,0614	0,2247	0,2013	0,2130
P39-32448	1000	24	48	5585	152,3567	1,0707	0,2247	0,2013	0,2130
P40-32448	1000	24	48	5585	151,3376	1,0636	0,2247	0,2013	0,2130
P56-23048	688	30	48	5585	185,6433	1,3047	0,0892	0,0914	0,0903
P57-23048	688	30	48	5585	185,8981	1,3064	0,0892	0,0914	0,0903
P58-23048	688	30	48	5585	185,2229	1,3017	0,0892	0,0914	0,0903
P59-23048	688	30	48	5585	185,2484	1,3019	0,0892	0,0914	0,0903
P60-23048	688	30	48	5585	185,6306	1,3046	0,0892	0,0914	0,0903

# Anexo I. Norma ASTM A743/A743M. Especificación Estándar para Fundiciones de Hierro-Cromo, Hierro-Cromo-Níquel, Resistentes a Corrosión para Aplicación General y en la especificación.



## Designation: A743/A743M – 13a<sup>ε1</sup> Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A743/A743M; 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 ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

<sup>ε1</sup> NOTE—Table 2 and Table S12.1 were editorially corrected in January 2014.

### 1. Scope\*

1.1 This specification covers iron-chromium and iron-chromium-nickel alloy castings for general corrosion-resistant application. The grades covered by this specification represent types of alloy castings suitable for broad ranges of application which are intended for a wide variety of corrosion environments.

NOTE 1—For alloy castings for severe corrosion-resistant service, reference should be made to Specification A744/A744M. For general heat-resistant alloy castings, reference should be made to Specification A297/A297M. For nickel alloy castings for corrosion-resistant service, reference should be made to Specification A494/A494M.

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification. Inch-pound units are applicable for material ordered to Specification A743 and SI units for material ordered to Specification A743M.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- A262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels
- A297/A297M Specification for Steel Castings, Iron-Chromium and Iron-Chromium-Nickel, Heat Resistant, for General Application

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.18 on Castings.

Current edition approved May 15, 2013. Published June 2013. Originally approved in 1977. Last previous edition approved in 2013 as A743/A743M – 13. DOI: 10.1520/A0743\_A0743M-13AEO1.

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

A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

A494/A494M Specification for Castings, Nickel and Nickel Alloy

A744/A744M Specification for Castings, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for Severe Service

A781/A781M Specification for Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use

A890/A890M Specification for Castings, Iron-Chromium-Nickel-Molybdenum Corrosion-Resistant, Duplex (Austenitic/Ferritic) for General Application

A957 Specification for Investment Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use

### 3. General Conditions for Delivery

3.1 Except for investment castings, castings furnished to this specification shall conform to the requirements of Specification A781/A781M, including any supplementary requirements that are indicated on the purchase order. Failure to comply with the general requirements of Specification A781/A781M constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification A781/A781M, this specification shall prevail.

3.2 Steel investment castings furnished to this specification shall conform to the requirements of Specification A957, including any supplementary requirements that are indicated in the purchase order. Failure to comply with the general requirements of Specification A957 constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification A957, Specification A957 shall prevail.

### 4. Ordering Information

4.1 Orders for material to this specification should include the following, as required, to describe the material adequately:

4.1.1 Description of the casting by pattern number or drawing,

4.1.2 Grade,

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

- 4.1.3 Heat treatment,
- 4.1.4 Options in the specification,
- 4.1.5 Whether castings are to be produced using the investment casting process, and
- 4.1.6 Supplementary requirements desired, including the standards of acceptance.

**5. Process**

5.1 The steel shall be made by the electric furnace process with or without separate refining such as argon-oxygen decarburization (AOD).

**6. Heat Treatment**

6.1 Castings shall be heat treated in accordance with the requirements in [Table 1](#).

NOTE 2—Proper heat treatment of these alloys is usually necessary to enhance corrosion resistance and in some cases to meet mechanical properties. Minimum heat treat temperatures are specified; however, it is sometimes necessary to heat treat at higher temperatures, hold for some minimum time at temperature and then rapidly cool the castings in order to enhance the corrosion resistance and meet mechanical properties.

**7. Chemical Requirements**

7.1 The chemical requirements are shown in [Table 2](#).

**TABLE 1 Heat Treatment Requirements**

Grade	Heat Treatment
CA6N	Heat to 1900°F [1040°C], air cool, reheat to 1500°F [815°C], air cool, and age at 800°F [425°C], holding at each temperature sufficient time to heat casting uniformly to temperature.
CA6NM	Heat to 1850°F [1010°C] minimum, air cool to 200°F [95°C] or lower prior to any optional intermediate temper and prior to the final temper. The final temper shall be between 1050°F [565°C] and 1150°F [620°C].
CA15, CA15M, CA40, CA40F	(1) Heat to 1750°F [955°C] minimum, air cool and temper at 1100°F [595°C] minimum, or (2) Anneal at 1450°F [790°C] minimum.
CA28MWV	(1) Heat to 1875–1925°F [1025–1050°C], quench in air or oil, and temper at 1150°F [620°C] minimum, or (2) Anneal at 1400°F [760°C] minimum.
CB30, CC50	(1) Heat to 1450°F [790°C] minimum, and air cool, or (2) Heat to 1450°F [790°C] minimum, and furnace cool.
CB6	Heat between 1800°F [980°C] and 1920°F [1050°C], forced air, cool to 120°F [50°C] maximum, and temper between 1100°F and 1160°F [595°C and 625°C].
CE30, CH10, CH20, CK20	Heat to 2000°F [1093°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CF3, CF3M, CF3MN	(1) Heat to 1900°F [1040°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means. (2) As cast if corrosion resistance is acceptable.
CF8, CF8C, CF8M, CF16F, CF16Fa, CF20, CG3M, CG8M, CG12 CF10SMnN	Heat to 1900°F [1040°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means. Heat to 1950°F [1065°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CK3MCuN, CK35MN, CN3M, CN3MN CG6MMN, CN7M	Heat to 2200°F [1200°C] minimum, hold for 4 hours minimum, quench in water or rapid cool by other means. Heat to 2050°F [1120°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CN7MS	Heat to 2100°F [1150°C] minimum, 2150°F [1180°C] maximum, hold for sufficient time (2 h minimum) to heat casting to temperature and quench in water.
HG10MNN	As-cast

**TABLE 2 Chemical Requirements**

Grade (UNS)	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CA6N	11 Chromium, 7 Nickel	0.06	0.50	1.00	0.02	0.02	10.5–12.5	6.0–8.0	...	...	...	...	...	...	...
CA6NM (J91540)	12 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	11.5–14.0	3.5–4.5	0.40–1.0	...	...	...	...	...	...
CA15 (J91150)	12 Chromium	0.15	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5–14.0	1.00 max	...	...	...	...	...	...	...
CA15M (J91151)	12 Chromium	0.15	1.00	0.65	0.040	0.040	11.5–14.0	1.0 max	...	...	...	...	...	...	...
CA28MWV (J91422)	12 Chromium, with Molybdenum, Tungsten and Vanadium	0.20–0.28	0.50–1.00	1.0	0.030	0.030	11.0–12.5	0.50–1.00	0.90–1.25	...	...	...	0.90–1.25	0.20–0.30	...

**A743/A743M – 13a<sup>e1</sup>**
**TABLE 2** *Continued*

Grade (UNS)	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Man- ganese, max	Silicon, max	Phospho- rus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybde- num	Colum- bium	Selen- ium	Copper	Tung- sten, max	Vana- dium, max	Nitrogen
CA40 (J91153)	12 Chromium	0.20– 0.40	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5–14.0	1.0 max	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CA40F (J91154)	12 Chromium, Free Machining	0.20– 0.40	1.00	1.50	0.04	0.20– 0.40	11.5–14.0	1.0 max	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CB6 (J91804)	16 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	15.5–17.5	3.5–5.5	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CB30 (J91803)	20 Chromium	0.30	1.00	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	2.00 max	...	...	...	<sup>a</sup>	...	...	...
CC50 (J92615)	28 Chromium	0.50	1.00	1.50	0.04	0.04	26.0–30.0	4.00 max	...	...	...	...	...	...	...
CE30 (J93423)	29 Chromium, 9 Nickel	0.30	1.50	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	8.0– 11.0	...	...	...	...	...	...	...
CF3 (J92500)	19 Chromium, 9 Nickel	0.03	1.50	2.00	0.04	0.04	17.0–21.0	8.0– 12.0	...	...	...	...	...	...	...
CF3M (J92800)	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	17.0–21.0	9.0– 13.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	...
CF3MN (J92804)	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	0.03	1.50	1.50	0.040	0.040	17.0–22.0	9.0– 13.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	0.10– 0.20
CF8 (J92600)	19 Chromium, 9 Nickel	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	8.0– 11.0	...	...	...	...	...	...	...
CF8C (J92710)	19 Chromium, 10 Nickel, with Columbium	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 12.0	...	<sup>A</sup>	...	...	...	...	...
CF8M (J92900)	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 12.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	...
CF10SMnN (J92972)	17 Chromium, 8.5 Nickel with Nitrogen	0.10	7.00– 9.00	3.50– 4.50	0.060	0.030	16.0–18.0	8.0– 9.0	...	...	...	...	...	...	0.08– 0.18
CF16F (J92701)	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	0.16	1.50	2.00	0.17	0.04	18.0–21.0	9.0– 12.0	1.50 max	...	0.20– 0.35	...	...	...	...
CF16Fa	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	0.16	1.50	2.00	0.04	0.20– 0.40	18.0–21.0	9.0– 12.0	0.40–0.80	...	...	...	...	...	...
CF20 (J92602)	19 Chromium, 9 Nickel	0.20	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	8.0– 11.0	...	...	...	...	...	...	...
CG3M (J92999)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 13.0	3.0–4.0	...	...	...	...	...	...
CG6MMN (J93790)		0.06	4.00– 6.00	1.00	0.04	0.03	20.5–23.5	11.5– 13.5	1.50–3.00	0.10– 0.30	...	...	...	0.10– 0.30	0.20– 0.40
CG8M (J93000)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	0.08	1.50	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 13.0	3.0–4.0	...	...	...	...	...	...
CG12 (J93001)	22 Chromium, 12 Nickel	0.12	1.50	2.00	0.04	0.04	20.0–23.0	10.0– 13.0	...	...	...	...	...	...	...
CH10 (J93401)	25 Chromium, 12 Nickel	0.10	1.50	2.00	0.04	0.04	22.0–26.0	12.0– 15.0	...	...	...	...	...	...	...

**TABLE 2** *Continued*

Grade (UNS)	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CH20 (J93402)	25 Chromium, 12 Nickel	0.20	1.50	2.00	0.04	0.04	22.0–26.0	12.0–15.0	...	...	...	...	...	...	...
CK35MN	23 Chromium, 21 Nickel, with Molybdenum and Nitrogen	0.035	2.00	1.00	0.035	0.020	22.0–24.0	20.0–22.0	6.0–6.8	...	...	0.40	...	...	0.21–0.32
CK3MCuN (J93254)	20 Chromium 18 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.025	1.20	1.00	0.045	0.010	19.5–20.5	17.5–19.5	6.0–7.0	...	...	0.50–1.00	...	...	0.180–0.240
CK20 (J94202)	25 Chromium, 20 Nickel	0.20	2.00	2.00	0.04	0.04	23.0–27.0	19.0–22.0	...	...	...	...	...	...	...
CN3M (J94652)		0.03	2.0	1.0	0.03	0.03	20.0–22.0	23.0–27.0	4.5–5.5	...	...	...	...	...	...
CN3MN (J94651)	21 Chromium, 24 Nickel with Molybdenum and Nitrogen	0.03	2.00	1.00	0.040	0.010	20.0–22.0	23.5–25.5	6.0–7.0	...	...	0.75 max	...	...	0.18–0.26
CN7M (N08007)	20 Chromium, 29 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.07	1.50	1.50	0.04	0.04	19.0–22.0	27.5–30.5	2.0–3.0	...	...	3.0–4.0	...	...	...
CN7MS (J94650)	19 Chromium, 24 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.07	1.00	2.50–3.50	0.04	0.03	18.0–20.0	22.0–25.0	2.5–3.0	...	...	1.5–2.0	...	...	...
HG10MNN J92604	19 Chromium, 12 Nickel, 4 Manganese	0.07–0.11	3.0–5.0	0.70	0.040	0.030	18.5–20.5	11.5–13.5	0.25–0.45	<sup>c</sup>	...	0.50	...	...	0.20–0.30

<sup>a</sup> Grade CF8C shall have a columbium content of not less than eight times the carbon content and not more than 1.0%. If a columbium-plus-tantalum alloy in the approximate Cb:Ta ratio of 3:1 is used for stabilizing this grade, the total columbium-plus-tantalum content shall not be less than nine times the carbon content and shall not exceed 1.1%.  
<sup>b</sup> For Grade CB30 a copper content of 0.90 to 1.20% is optional.  
<sup>c</sup> Grade HG10MNN shall have a columbium content of not less than eight times the carbon, but not over 1.00 %.

**8. Repair by Welding**

8.1 Repair welding of Grade CA28MWV is not permitted unless by agreement between the manufacturer and the purchaser.

8.2 When methods involving high temperature are used in the removal of discontinuities, castings shall be preheated in accordance with Table 3. Weld repairs shall be subject to the same quality standards as are used to inspect the castings.

8.3 Post weld heat treatment, if required, shall be in accordance with Table 1.

8.3.1 The martensitic grades CA6NM, CA15, CA15M, CB6, and CA40 shall be retempered after weld repairing,

except that local tempering will be permitted if, in the opinion of the manufacturer, furnace heat treating will be damaging to the finished surface of a machined casting. Heat treatment, other than tempering, of grades CA6NM, CA15, CA15M, CB6, and CA40 after weld repairing shall be performed only when agreed upon between the manufacturer and the purchaser. Weld repair on Grade CA40F is not recommended because of the risk of local hardening and possible cracking in the heat affected zone.

8.3.2 Post weld heat treatment is not required on the other grades of this specification. When post weld heat treatment is believed necessary for adequate corrosion resistance in the service environment, castings should be ordered in accordance with Specification A744/A744M.

8.3.3 For Grade HG10MNN, the filler metal to be used shall be established by mutual agreement between the manufacturer and the purchaser.

**TABLE 3 Minimum Preheat Temperatures**

Grade	Minimum Preheat Temperatures	
	°F	°C
CA15, CA15M CA28MWV, CA40	400	[205]
Others	50	[10]

**9. Product Marking**

9.1 Castings shall be marked for material identification with the ASTM specification number (A743/A743M) and grade

symbol, that is, CF8, CA15, CB30, etc. In addition, the manufacturer's name or identification mark and the pattern number shall be cast or stamped using the low-stress stamps on all castings. Small-size castings may be such that marking must be limited consistent with the available area. The marking of heat numbers on individual castings shall be agreed upon

between the manufacturer and the purchaser. Marking shall be in such position as not to injure the usefulness of the casting.

## 10. Keywords

10.1 corrosion resistant; iron-chromium; iron-chromium-nickel; steel castings

## SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirements shall not apply unless specified in the purchase order. A list of standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser is included in Specification [A781/A781M](#). Those which are ordinarily considered suitable for use with this specification are given below. Others enumerated in [A781/A781M](#) may be used with this specification upon agreement between the manufacturer and purchaser.

### S1. Magnetic Particle Examination

### S2. Radiographic Examination

### S3. Liquid Penetrant Examination

### S4. Ultrasonic Examination

### S5. Examination of Weld Preparation

### S6. Certification

### S7. Prior Approval of Major Weld Repairs

### S11. Intergranular Corrosion Test

S11.1 An intergranular corrosion test shall be performed in accordance with the appropriate practice for the particular grade involved, as listed in Practices [A262](#), or as agreed upon with the purchaser. Intergranular corrosion tests on stabilized or 0.03 % carbon maximum grades (CF3, CF3M, CF8C, and CG3M) shall be made on sensitized specimens. On all other grades of chromium-nickel steels, intergranular corrosion tests shall be made on specimens representative of the as-shipped condition.

### S12. Tension Test

S12.1 Tensile properties shall be determined from material representing each heat. The bar from which the test specimen is taken shall be heat treated in production furnaces to the same procedure as the castings it represents. The results shall conform to the requirements specified in [Table S12.1](#).

S12.2 Test bars shall be poured in separately cast keel blocks similar to Fig. 1 or Fig. 2 or Fig. 3 of [A781/A781M](#).

S12.3 Tension test specimens may be cut from heat-treated castings, or from as-cast castings if no heat treatment is specified for the castings, instead of from test bars, when agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

S12.4 Test specimens shall be machined to the form and dimensions of the standard round 2-in. [50-mm] gage length specimen shown in Fig. 4 and 5 of Test Methods and Definitions [A370](#), and shall be tested in accordance with Test Methods and Definitions [A370](#).

S12.5 If the results of the mechanical tests for any heat, lot, or casting do not conform to the requirements specified, retests are permitted as outlined in Test Methods and Definitions [A370](#). At the manufacturer's option, castings may be reheat-treated and retested. When castings are reheat-treated, they may not be re-austenitized more than three times without the approval of the purchaser. Testing after reheat treatment shall consist of the full number of specimens taken from locations complying with the specification or order.

S12.6 If any test specimen shows defective machining or develops flaws, it may be discarded and another specimen substituted from the same heat.

### S13. Post Weld-Heat Treatment

S13.1 Weld repairs shall be considered major in the case of a casting which has leaked on hydrostatic test or when the depth of the cavity after preparation for repair exceeds 20 % of the actual wall thickness, or 1 in. [25 mm], whichever is smaller, or when the extent of the cavity exceeds approximately 10 in.<sup>2</sup> [65 cm<sup>2</sup>]. All other weld repairs shall be considered minor.

S13.2 Grades CF8, CG3M, CG8M, CG12, CF20, CF8M, CF8C, CF16F, CF16Fa, CH10, CH20, CE30, CK3MCuN, CK35MN, CK20, CF3, CF3M, CF3MN, CN3M, CN3MN, CN7M, CN7MS, CB30, CC50, CA6N, and CK3MCuN shall be heat treated after major weld repairs, but it is not required after minor repairs except by agreement between the manufacturer and the purchaser.

S13.2.1 The post-weld treatment for grades CK3MCu, CK35MN, CN3M, and CN3MN shall be as specified in [Table 1](#), except that the minimum soak time for castings that have already been heat treated according to [Table 1](#) may be 1 hour.

### S14. Hardness Tests

S14.1 Brinell tests on non-austenitic grades shall be conducted. Grades CA15, CA15M, CB30, and CC50 shall have a Brinell hardness of 241 HB maximum. Grade CA6NM shall have a Brinell hardness of 285 HB maximum, Grade CA40 and CA40F, 269 HB maximum, and Grade CA28MWV, 302–352 HB, except for the annealed condition, when the Brinell hardness of this grade shall not exceed 269 HB.


**A743/A743M – 13a<sup>e1</sup>**
**TABLE S12.1 Tensile Requirements**

Grade	Type	Tensile Strength, min		Yield Strength, min		Elongation in 2 in. [50 mm], min, % <sup>4</sup>	Reduction of Area, min, %
		ksi	[MPa]	ksi	[MPa]		
CA6N	11 Chromium, 7 Nickel	140	[965]	135	[930]	15	50
CA6NM	12 Chromium, 4 Nickel	110	[755]	80	[550]	15	35
CA15 and CA15M	12 Chromium	90	[620]	65	[450]	18	30
CA28MWV <sup>c</sup>	12 Chromium, with Molybdenum, Tungsten, and Vanadium	140	[965]	110	[760]	10	24
CA40	12 Chromium	100	[690]	70	[485]	15	25
CA40F	12 Chromium, Free Machining	100	[690]	70	[485]	12	...
CB6	16 Chromium, 4 Nickel	115	[790]	85	[580]	16	35
CB30	20 Chromium	65	[450]	30	[205]	...	...
CC50	28 Chromium	55	[380]	...	...	...	...
CE30	29 Chromium, 9 Nickel	80	[550]	40	[275]	10	...
CF3	19 Chromium, 9 Nickel	70	[485]	30	[205]	35	...
CF3M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	70	[485]	30	[205]	30	...
CF3MN	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	75	[515]	37	[255]	35	...
CF8	19 Chromium, 9 Nickel	70 <sup>d</sup>	[485] <sup>d</sup>	30 <sup>d</sup>	[205] <sup>d</sup>	35	...
CF8C	19 Chromium, 10 Nickel with Columbium	70	[485]	30	[205]	30	...
CF8M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	70	[485]	30	[205]	30	...
CF10SMnN	17 Chromium, 8.5 Nickel with Nitrogen, 9 Nickel	85	[585]	42	[290]	30	...
CF16F and CF16Fa	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	70	[485]	30	[205]	25	...
CF20	19 Chromium, 9 Nickel	70	[485]	30	[205]	30	...

