



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**  
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO EN LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, EN UN MEDIO ACUOSO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G105-20”**

---

**AUTORA:** Cristina Alejandra Barragán Moreta

**TUTOR:** Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

**AMBATO - ECUADOR**

**Febrero - 2024**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, con el tema: **“ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO EN LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, EN UN MEDIO ACUOSO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G105-20”**, elaborado por la Srta. Cristina Alejandra Barragán Moreta portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 0202273108, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2024



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

TUTOR

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristina Alejandra Barragán Moreta, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 0202273108, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO EN LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, EN UN MEDIO ACUOSO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G105-20”**, así como también los análisis, criterios, tablas, cálculos realizados, resultados, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo experimental a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



.....  
Cristina Alejandra Barragán Moreta

C.I. 0202273108

AUTORA

## DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2024



.....  
**Cristina Alejandra Barragán Moreta**

**C.I. 0202273108**

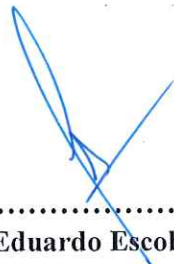
**AUTORA**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Cristina Alejandra Barragán Moreta de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema “ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO EN LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, EN UN MEDIO ACUOSO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G105-20”.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....  
Ing. Luis Eduardo Escobar Luna, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



.....  
Ing. Vanessa Fernanda Morales Rovalino, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicada a la memoria de mi amado abuelo, Benjamín Moreta, quien siempre fue mi inspiración, mi guía y mi inspiración para seguir adelante. Gracias por todo lo que me enseñaste y por ser la luz que ilumina mi camino. Aunque ya no este físicamente conmigo, siempre estará en mi corazón.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia por su inquebrantable apoyo durante este trabajo de titulación y toda mi carrera universitaria. A mis padres, Cristina Moreta y Rolando Barragán, por su amor, paciencia y constante apoyo, lo que me ha permitido alcanzar mis metas. A mis hermanos, Erick, Ariana, por su cariño y comprensión en cada etapa de este camino y por ser el pilar principal de mi vida. A mis abuelas, Marianita Erazo y Lastenia Ortiz por su sabiduría y ejemplo de perseverancia. A mi tío David Barragán, por sus palabras de aliento y apoyo en los momentos más difíciles.

También quiero agradecer aquellos profesores que con su conocimiento, orientación y comprensión han sido fundamentales para lograr esta meta académica, especialmente a Ing. Henry Vaca, por su guía experta, sugerencias y tiempo dedicado a revisar y mejorar este trabajo de investigación.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento para aquellos amigos que me brindaron su apoyo incondicional durante este proceso, por su constante ánimo y por compartir conmigo momentos de alegría que aliviaron la carga de este camino. A la persona que camina de mi mano en esta etapa de mi vida, gracias por tu amor, paciencia y apoyo incondicional los cuales me ayudaron a enfrentar los desafíos que se presentaron a lo largo de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

|  |       |
|--|-------|
| APROBACIÓN DEL TUTOR.....                        | ii    |
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....           | iii   |
| DERECHOS DE AUTOR.....                           | iv    |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....           | v     |
| DEDICATORIA.....                                 | vi    |
| AGRADECIMIENTOS .....                            | vii   |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....                 | viii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                           | xi    |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                           | xii   |
| RESUMEN EJECUTIVO .....                          | xvii  |
| ABSTRACT.....                                    | xviii |
| CAPÍTULO I.-MARCO TEÓRICO.....                   | 1     |
| 1.1.    Tema de investigación.....               | 1     |
| 1.2.    Antecedentes investigativos.....         | 1     |
| 1.3.    Justificación.....                       | 2     |
| 1.4.    Objetivos.....                           | 3     |
| 1.4.1.    Objetivo general.....                  | 3     |
| 1.4.2.    Objetivos específicos.....             | 3     |
| 1.5.    Fundamentación teórica.....              | 3     |
| 1.5.1.    Resistencia de materiales.....         | 3     |
| 1.5.2.    Aceros inoxidables.....                | 4     |
| 1.5.3.    Tribología.....                        | 14    |
| 1.5.4.    Desgaste abrasivo.....                 | 15    |
| 1.5.5.    Desgaste abrasivo en medio acuoso..... | 15    |
| 1.5.6.    Velocidad de desgaste abrasivo.....    | 15    |



|  |   |    |
|--|---|----|
| 1.5.7.   | Ensayo de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105-20. ....  | 16 |
| 1.6.   | Planteamiento de la hipótesis. ....   | 17 |
| CAPÍTULO II. - METODOLOGÍA.....                              |   | 18 |
| 2.1.   | Enfoque.....  | 18 |
| 2.2.   | Materiales, equipos y recursos. ....  | 18 |
| 2.2.1.   | Materiales. ....  | 18 |
| 2.2.2.   | Equipos. ....   | 20 |
| 2.2.3.   | Recursos. ....  | 22 |
| 2.3.   | Modalidad de investigación.....   | 22 |
| 2.4.   | Población y muestra. ....   | 23 |
| 2.5.   | Operacionalización de variables. ....   | 24 |
| 2.6.   | Plan de recolección de información. ....  | 25 |
| 2.7.   | Plan de procesamiento de información.....   | 25 |
| 2.8.   | Plan de análisis e interpretación de resultados. ....   | 25 |
| CAPÍTULO III.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. .... |   | 26 |
| 3.g1.  | Procesos de obtención y análisis de resultados. ....  | 26 |
| 3.2.   | Tabulación y presentación de resultados.....  | 28 |
| 3.2.1.   | Análisis del acero inoxidable AISI 304.....   | 30 |
| 3.2.2.   | Análisis del acero inoxidable AISI 316.....   | 31 |
| 3.2.3.   | Análisis del acero inoxidable AISI 420.....   | 32 |
| 3.2.4.   | Ensayo de rugosidad de las probetas. ....   | 33 |
| 3.2.5.   | Peso inicial de las probetas.....   | 34 |
| 3.2.6.   | Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 304<br>con disco de dureza Shore A50 ± 2,0..... | 35 |
| 3.2.7.   | Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 304<br>con disco de dureza Shore A70±2,0.....   | 45 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 3.2.8.   | Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 316 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0..... | 55  |
| 3.2.9.   | Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 316 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0..... | 65  |
| 3.2.10.  | Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 420 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0..... | 75  |
| 3.2.11.  | Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 420 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0..... | 85  |
| 3.3.   | Interpretación de los resultados.....  | 95  |
| 3.3.1.   | Resultados e interpretación de los ensayos de rugosidad.....   | 95  |
| 3.3.2.   | Resultados e interpretación de los ensayos de abrasión en medio acuoso.....                                  | 95  |
| 3.4.   | Verificación de la Hipótesis. ....   | 104 |
| CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....          |  | 106 |
| 4.1.   | Conclusiones. ....   | 106 |
| 4.2.   | Recomendaciones.....   | 107 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  |  | 109 |
| ANEXOS.....  |  | 111 |
| _ Anexo 1. Ficha técnica de aceros inoxidables. ....       |  | 111 |
| Anexo 2. Norma ASTM G105-20. ....                          |  | 113 |
| Anexo 3. Factura de compra de norma ASTM G105-20.....      |  | 122 |
| Anexo 4. Ensayo de rugosidad.....                          |  | 123 |
| Anexo 5. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso. .... |  | 124 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 1:</b> Aceros inoxidables en función del contenido (a) cromo y níquel, (b) cromo y carbono. [8] ..... | 6   |
| <b>Figura 2:</b> Diagrama de fases Fe-Cr. [8] .....   | 7   |
| <b>Figura 3:</b> Diagrama de fases Fe-Cr-Ni a 70% de peso de Fe. [8] .....                                      | 7   |
| <b>Figura 4:</b> Clasificación de los aceros inoxidables. [10] .....  | 8   |
| <b>Figura 5:</b> Aspectos de la tribología. [12] .....  | 15  |
| <b>Figura 6 :</b> Esquema de la máquina para ensayos Abrasivos en medio acuoso. [17] .....                      | 21  |
| <b>Figura 7:</b> Diagrama de flujo de procesos. ....  | 28  |
| <b>Figura 8:</b> Representación gráfica del desgaste del material con el disco Shore A50 $\pm 2,0$ .....        | 97  |
| <b>Figura 9:</b> Representación gráfica del volumen perdido con el disco Shore A50 $\pm 2,0$ .<br>.....         | 97  |
| <b>Figura 10:</b> Representación gráfica de la velocidad de desgaste con el disco Shore A50 $\pm 2,0$ .....     | 98  |
| <b>Figura 11:</b> Representación gráfica de la tasa de desgaste con el disco Shore A50 $\pm 2,0$ .....          | 99  |
| <b>Figura 12:</b> Representación gráfica del coeficiente de desgaste con el disco Shore A50 $\pm 2,0$ .....     | 99  |
| <b>Figura 13:</b> Representación gráfica del desgaste del material con el disco Shore A70 $\pm 2,0$ .....       | 101 |
| <b>Figura 14:</b> Representación gráfica del volumen perdido con el disco Shore A70 $\pm 2,0$ .....             | 101 |
| <b>Figura 15:</b> Representación gráfica de la velocidad de desgaste con el disco Shore A70 $\pm 2,0$ .....     | 102 |
| <b>Figura 16:</b> Representación gráfica de la tasa de desgaste con el disco Shore A70 $\pm 2,0$ .....          | 103 |
| <b>Figura 17:</b> Representación gráfica del coeficiente de desgaste con el disco Shore A70 $\pm 2,0$ .....     | 103 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> Clasificación de los aceros inoxidable según normativa AISI. [10] .....  | 8  |
| <b>Tabla 2:</b> Aceros inoxidable martensíticos. [10].....   | 9  |
| <b>Tabla 3:</b> Aceros inoxidable ferríticos. [9].....   | 10 |
| <b>Tabla 4:</b> Aceros inoxidable austeníticos. [10] .....   | 12 |
| <b>Tabla 5:</b> Propiedades generales de los aceros inoxidable. [9] .....  | 14 |
| <b>Tabla 6:</b> Composición química del acero inoxidable AISI 304, % peso.[19].....  | 19 |
| <b>Tabla 7:</b> Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304. [19] .....  | 19 |
| <b>Tabla 8:</b> Composición química del acero inoxidable AISI 316, % en peso. [19] .....   | 19 |
| <b>Tabla 9:</b> Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 316. [19] .....  | 19 |
| <b>Tabla 10:</b> Composición química del acero inoxidable AISI 420, % en peso. [19] ..   | 20 |
| <b>Tabla 11:</b> Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 420. [19] .....   | 20 |
| <b>Tabla 12:</b> Operacionalización de variables. ....   | 24 |
| <b>Tabla 13:</b> Probetas totales. ....  | 28 |
| <b>Tabla 14:</b> Probetas para ensayos de rugosidad y abrasión en medio acuoso. ....   | 29 |
| <b>Tabla 15:</b> Análisis del acero inoxidable AISI 304.....   | 30 |
| <b>Tabla 16:</b> Análisis del acero inoxidable AISI 316.....   | 31 |
| <b>Tabla 17:</b> Análisis del acero inoxidable AISI 420.....   | 32 |
| <b>Tabla 18:</b> Ensayo de rugosidad de las probetas. ....   | 33 |
| <b>Tabla 19:</b> Peso inicial de las probetas. ....  | 34 |
| <b>Tabla 20:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-1 con disco de dureza 50±2,0.....   | 35 |
| <b>Tabla 21:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-2 con disco de dureza 50±2,0.....   | 36 |
| <b>Tabla 22:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-3 con disco de dureza 50±2,0.....   | 37 |
| <b>Tabla 23:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-4 con disco de dureza 50±2,0.....   | 38 |
| <b>Tabla 24:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-5 con disco de dureza 50±2,0.....   | 39 |
| <b>Tabla 25:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza 50±2,0..... | 40 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 26:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304<br>-desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza $50\pm 2,0$ .....          | 41 |
| <b>Tabla 27:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304<br>-desplazamiento 1657,6 m, con disco de dureza $50\pm 2,0$ .....          | 42 |
| <b>Tabla 28:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304<br>-desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza $50\pm 2,0$ .....          | 43 |
| <b>Tabla 29:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304<br>-desplazamiento 2793,6 m, con disco de dureza $50\pm 2,0$ .....          | 44 |
| <b>Tabla 30:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-6 con disco de dureza<br>Shore A $70 \pm 2,0$ . ....  | 45 |
| <b>Tabla 31:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-7 con disco de dureza<br>Shore A $70 \pm 2,0$ . ....  | 46 |
| <b>Tabla 32:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-8 con disco de dureza<br>Shore A $70\pm 2,0$ . ....   | 47 |
| <b>Tabla 33:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-9 con disco de dureza<br>Shore A $70\pm 2,0$ . ....   | 48 |
| <b>Tabla 34:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-10 con disco de dureza<br>Shore A $70\pm 2,0$ . ....  | 49 |
| <b>Tabla 35:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304<br>-desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza $70\pm 2,0$ .....           | 50 |
| <b>Tabla 36:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304<br>-desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A $70\pm 2,0$ . .... | 51 |
| <b>Tabla 37:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304-<br>desplazamiento 1657,6 m, con disco de dureza Shore A $70 \pm 2,0$ ..... | 52 |
| <b>Tabla 38:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304-<br>desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A $70 \pm 2,0$ ..... | 53 |
| <b>Tabla 39:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304-<br>desplazamiento 2793,6 m, con disco de dureza Shore A $70 \pm 2,0$ ..... | 54 |
| <b>Tabla 40:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-1 con disco de dureza<br>Shore A $50 \pm 2,0$ . ....  | 55 |
| <b>Tabla 41:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-2 con disco de dureza<br>Shore A $50 \pm 2,0$ . ....  | 56 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 42:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-3 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 57 |
| <b>Tabla 43:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-4 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 58 |
| <b>Tabla 44:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-5 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 59 |
| <b>Tabla 45:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0.....  | 60 |
| <b>Tabla 46:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0..... | 61 |
| <b>Tabla 47:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0..... | 62 |
| <b>Tabla 48:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0..... | 63 |
| <b>Tabla 49:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316 - desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0.....  | 64 |
| <b>Tabla 50:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-6 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 65 |
| <b>Tabla 51:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-7 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 66 |
| <b>Tabla 52:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-8 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 67 |
| <b>Tabla 53:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-9 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 68 |
| <b>Tabla 54:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-10 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....  | 69 |
| <b>Tabla 55:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316 - desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 70 |
| <b>Tabla 56:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 71 |
| <b>Tabla 57:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 72 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 58:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316- desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 73 |
| <b>Tabla 59:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316 - desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0.....  | 74 |
| <b>Tabla 60:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-1 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 75 |
| <b>Tabla 61:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-2 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 76 |
| <b>Tabla 62:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-3 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 77 |
| <b>Tabla 63:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-4 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 78 |
| <b>Tabla 64:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-5 con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0. ....   | 79 |
| <b>Tabla 65:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0.....  | 80 |
| <b>Tabla 66:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0..... | 81 |
| <b>Tabla 67:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0..... | 82 |
| <b>Tabla 68:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0..... | 83 |
| <b>Tabla 69:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0.....   | 84 |
| <b>Tabla 70:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-6 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 85 |
| <b>Tabla 71:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-7 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 86 |
| <b>Tabla 72:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-8 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 87 |
| <b>Tabla 73:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-9 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....   | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 74:</b> Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-10 con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0. ....  | 89  |
| <b>Tabla 75:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0.....  | 90  |
| <b>Tabla 76:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 91  |
| <b>Tabla 77:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 92  |
| <b>Tabla 78:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0..... | 93  |
| <b>Tabla 79:</b> Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420- desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0.....   | 94  |
| <b>Tabla 80:</b> Interpretación de los ensayos de rugosidad. ....  | 95  |
| <b>Tabla 81:</b> Resultados del ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso con disco de dureza Shore A50 $\pm$ 2,0.....                                       | 96  |
| <b>Tabla 82:</b> Resultados del ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso con disco de dureza Shore A70 $\pm$ 2,0.....                                       | 100 |
| <b>Tabla 83:</b> Resultados de la velocidad de desgaste. ....  | 104 |



## RESUMEN EJECUTIVO

Los aceros inoxidable son ampliamente utilizados en la industria por su capacidad de resistencia a la corrosión, más no se tiene en cuenta el desgaste abrasivo en estos materiales, esta falta de consideración puede llevar a una visión incompleta del desempeño de estos materiales en entornos industriales. En esta investigación, se realizaron ensayos en los aceros inoxidable AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, bajo la norma ASTM G105-20, para abordar dicha problemática.

Para esto se realizaron ensayos en 5 probetas de cada material para cada disco de durezas Shore A50 y Shore A70. En estos ensayos se aplicaron parámetros y condiciones normalizadas, como la velocidad de rotación de los discos, que en este caso es de 350 rpm, carga aplicada de 222 N, una mezcla abrasiva de 1,5 kg de arena sílice y 0,94 kg de agua, cada una de las probetas fueron sometidas a desgaste en medio acuoso por cinco intervalos de tiempo de 3 minutos, seguido de un pesaje para determinar la cantidad de material perdido en gramos.

Con los resultados se puede determinar que tanto el desgaste abrasivo, como la velocidad del desgaste abrasivo son menores en el acero Inoxidable AISI 420 y mayores en los aceros inoxidable AISI 304 y AISI 316, esto debido a sus respectivas durezas. Se determinó también, que la velocidad del desgaste abrasivo con cada disco y en cada intervalo de tiempo fue de forma similar, constante, mientras que el desgaste abrasivo fue aumentando de forma gradual.

**Palabras clave:** Velocidad de desgaste abrasivo, Dureza Shore, Aceros inoxidable.

## ABSTRACT

Stainless steels are widely used in industry for their corrosion resistance capacity, but abrasive wear is not taken into account in these materials. This lack of consideration can lead to an incomplete view of the performance of these materials in industrial environments. In this research, tests were carried out on AISI 304, AISI 316 and AISI 420 stainless steels, under the ASTM G105-20 standard, to address this problem.

For this, tests were carried out on 5 specimens of each material for each disk of Shore A50 and Shore A70 hardness. In these tests, standardized parameters and conditions were applied, such as the rotation speed of the discs, which in this case is 350 rpm, applied load of 222 N, an abrasive mixture of 1.5 kg of silica sand and 0.94 kg of water, each of the specimens were subjected to wear in an aqueous medium for five time intervals of 3 minutes, followed by weighing to determine the amount of material lost in grams.

With the results, it can be determined that both abrasive wear and the speed of abrasive wear are lower in AISI 420 stainless steel and higher in AISI 304 and AISI 316 stainless steels, due to their respective hardness. It was also determined that the speed of abrasive wear with each disc and in each time interval was similarly constant, while the abrasive wear increased gradually.

**Keywords:** Abrasive wear rate, Shore Hardness, Stainless steels.

## **CAPÍTULO I-MARCO TEÓRICO.**

### **1.1. Tema de investigación.**

ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO EN LOS ACEROS INOXIDABLES AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, EN UN MEDIO ACUOSO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G105-20.

### **1.2. Antecedentes investigativos.**

Según Raymond G, Bayer en su libro Fundamentos y Ensayos del Desgaste Mecánico [1], describe al desgaste abrasivo como un proceso en el cual existe una pérdida de material en una superficie sólida como consecuencia de la fricción con presencia de protuberancias cuando se trata de dos cuerpos, mientras tanto, la abrasión entre tres cuerpos es ocasionada por la intervención de partículas duras, los dos casos ocurren cuando estos cuerpos se encuentran sometidos a un movimiento mecánico, condicionado a la acción de una fuerza.

En la tesis desarrollada por Mario Rafael Hernández [2], detalla características y requisitos funcionales de un prototipo de máquina para ensayos tribológicos en medio acuoso, para determinar el desgaste abrasivo en piezas metálicas, utilizando un disco de caucho y arena húmeda, diseñada según la Norma ASTM G105, Este trabajo define los parámetros fundamentales para llevar a cabo el ensayo abrasivo en medio acuoso basándose en la normativa, además de integrar y exponer información basada en literatura especializada, e información experimental sobre este tipo de desgaste en un medio húmedo, tema el cual ha sido poco investigado en la industria.

Ivone Marcela Gualtero [3], en su proyecto indica como realizó el desarrollo experimental basándose en normas ASTM seguida de una evaluación y comparación de los diferentes tipos de desgaste utilizando máquinas tribológicas utilizando partículas duras, en los aceros inoxidable AISI 304 y AISI 020.

En la investigación del comportamiento de tres familias de aceros inoxidables ante solicitudes tribológicas de abrasión y erosión, L, Suárez y R, Contreras [4], desarrollan su ensayo comparando las características de aceros inoxidables martensíticos, austeníticos y dúplex, sus resultados permitieron realizar una

comparación basada en relación entre intensidad de desgaste, tiempo de contacto para el desgaste abrasivo, En sus conclusiones se mencionaron que el acero inoxidable austenítico presenta una mejor resistencia al desgaste abrasivo, mientras que el acero inoxidable martensítico presenta una menor resistencia al desgaste abrasivo.

### **1.3. Justificación.**

El propósito de este trabajo experimental es conocer el comportamiento de AISI 304, AISI 316 y AISI 420, frente al desgaste abrasivo en un medio acuoso. Lo anterior mencionado se realizará, mediante ensayos, selección de parámetros, y una evaluación de resultados, descritos en la norma ASTM G105-20, con el fin de obtener valores que ayuden a determinar la velocidad de desgaste de los aceros seleccionados.

Los aceros inoxidables, que, por su principal característica, la resistencia a la corrosión atmosférica y la oxidación, tienen un amplio uso dentro de la industria tales como químico, alimenticia, petroquímico, médico, nuclear, biotecnología, entre otras. Sin embargo, en determinadas condiciones de servicio, ha ocasionado la aparición de fallas, relacionadas con el desgaste abrasivo de los mismos, cuando se encuentran en diferentes ambientes de trabajo. En la actualidad los aceros inoxidables más utilizados son los aceros AISI 304, AISI 316 y AISI 420, siendo estos los materiales seleccionados, para realizar pruebas de desgaste abrasivo en un medio acuoso lo cual contribuirá a la industria para realizar una selección adecuada de los materiales para pares tribológicos, y contrarrestar la incidencia del desgaste abrasivo. [4]

La presencia del fenómeno del desgaste abrasivos en la industria ha generado pérdidas económicas y materiales considerables, afectando a la productividad, ocasionando paros continuos, aumentando costos de producción, es por esto que se ha tomado como tema de estudio el comportamiento de los aceros inoxidables ante un medio abrasivo, para el desarrollo de este trabajo experimental.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

- Analizar el desgaste abrasivo en los aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 y AISI 420, en un medio acuoso evaluado bajo la norma ASTM G105-20.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Definir las condiciones apropiadas para la evaluación del desgaste abrasivo del acero AISI 304, AISI 316 y AISI 420, bajo la norma ASTM G105-20.
- Evaluar las pérdidas volumétricas existentes en cada uno de los aceros inoxidables mediante el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105-20,
- Determinar la velocidad de desgaste abrasivo producido en el acero AISI 304, AISI 316 y AISI 420, bajo la norma ASTM G105-20.
- Establecer comparaciones estadísticas sobre la velocidad de desgaste abrasivo en medio acuoso de los diferentes aceros inoxidables a ensayar.

## **1.5. Fundamentación teórica.**

### **1.5.1. Resistencia de materiales.**

Es una ciencia la cual tiene como objetivo determinar la capacidad mecánica de los materiales frente a cargas y acciones a las que estos están sometidos durante su vida útil.

La resistencia de materiales permite encontrar formas y dimensionamientos óptimos para soportar las cargas exteriores para que sus tensiones internas no sobrepasen las máximas admisibles, a su vez, que las deformaciones no excedan a las establecidas por las normas, y así diseñar elementos seguros y accesibles.  
[5]

#### **1.5.1.1. Propiedades mecánicas de los materiales.**

Las propiedades mecánicas son aquellas que están relacionadas con la capacidad de resistir y transmitir esfuerzos o deformaciones.

- **Elasticidad:** Es la propiedad que poseen algunos materiales al estar sometidos a fuerzas a tensión, sin presentar alguna deformación permanente y recuperar su forma original.

- **Plasticidad:** propiedad de algunos materiales al presentar deformaciones permanentes al estar sometidos a una mínima fuerza de tensión, es decir lo opuesto a la elasticidad. [6]
- **Ductilidad:** Es una propiedad de algunos materiales. que al estar sometidos a fuerzas pueden presentar deformaciones sostenibles sin llegar a la ruptura.
- **Tenacidad o resiliencia:** Es determinada como la capacidad de algunos materiales absorber la energía de las deformaciones, antes de llegar a la ruptura.
- **Fragilidad:** Capacidad de algunos materiales de fracturarse a trozos pequeños sin sufrir deformaciones.
- **Dureza:** Se conoce como la resistencia de un material a ser rayado, es decir que es el resultado de la resistencia a la compresión, limite elástico, ductilidad y resistencia a la abrasión.
- **Fluencia:** Propiedad que indica la fuerza necesaria para que un material se deforme sin restablecer su forma inicial al cesar el esfuerzo.
- **Fatiga:** La fatiga se entiende como el fallo o daño que presenta un material al estar sometido a cargas variables durante un lapso de tiempo, Esto depende de varios factores como el estado y el procedimiento de obtención de material y las condiciones de trabajo del mismo.
- **Maleabilidad:** Propiedad de los materiales que, siendo duros, pueden deformarse bajo compresión, alterando su forma y su longitud.
- **Maquinabilidad:** Esta propiedad que determina la facilidad de los materiales para ser mecanizados por el proceso de arranque de viruta. [6]

### 1.5.2. Aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables son aleaciones ferrosas de bajo contenido de carbono, el cual tiene en su composición un mínimo de 10,5-12 % de cromo en peso, lo que le da la cualidad de ser un material resistente a la corrosión. Esto se debe a que el cromo se une con el oxígeno presente en el aire. y forman una pequeña película de óxido de cromo transparente, llamada capa pasiva sobre la superficie del acero y suprime la oxidación adicional presente en el acero. Si ocurre un daño químico

o mecánico esta capa se vuelve a formar con la presencia del oxígeno. Por el contrario, si ocurre un daño en el cual no sea posible la reconstrucción de la capa pasiva, la corrosión se presentará igual, o aún más que en un acero al carbono. [7]

El cromo es el elemento clave de los aceros inoxidable, los aceros con un contenido de cromo entre el 10,5 y 12%, forman una capa pasiva parcialmente efectiva, que resiste en condiciones ambientales corrosivas bajas, al elevarse el contenido de cromo entre 17-20% y entre los aceros inoxidable modernos, desarrollando una capa pasiva notablemente estable y fuerte, pero esto afecta a otras propiedades mecánicas como la soldabilidad y otras características que dificultan el proceso de diseño y manufactura, A parte del cromo, existen otros elementos que cumplen la función de aleantes, cuyo objetivo de prevenir la corrosión como el Ni (Níquel).

Debido a su resistencia alta a la corrosión y oxidación, estos materiales han incrementado su uso con el pasar de los años, y son seleccionados para diversos requerimientos que van desde herramientas y utensilios de cocina hasta aplicaciones en industrias como la alimenticia, química, farmacéutica, petrolera entre otras. [7]

#### **1.5.2.1. Elementos de aleación.**

Las aleaciones que dan lugar a los aceros inoxidable son complejas y entran en juego varios elementos a parte del cromo, cuyo objetivo de prevenir la corrosión y estos son:

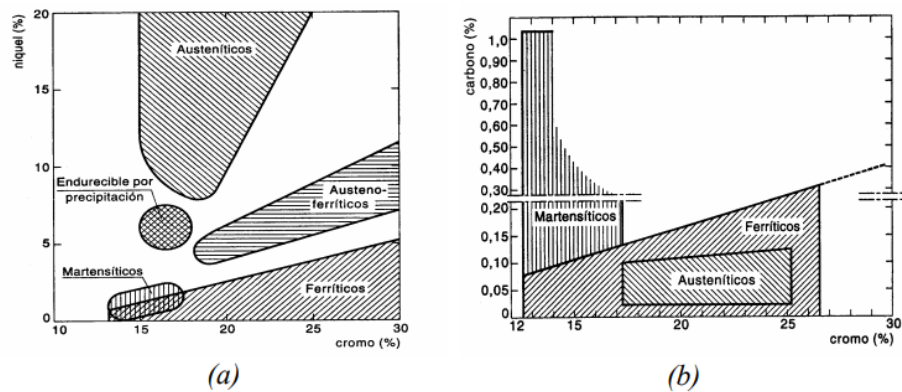
- **Cromo (Cr):** Este elemento es el que permite que el acero sea inoxidable.
- **Níquel (Ni):** Con un contenido de entre 25-30%, se tiene como resultado una mejora a la resistencia a la tracción, su tenacidad, además le da una alta resistencia a la corrosión en ambientales con soluciones de ácidos minerales, además impulsa la reconstrucción de la capa pasiva.
- **Cobre (Cu):** Mejora la resistencia a la corrosión en soluciones acidas y también a la corrosión por picado.
- **Manganeso (Mn):** La presencia de este elemento como aleante en los aceros inoxidable genera propiedades mecánicas asociadas al endurecimiento por deformación y resistencia a la corrosión por picado.

- **Molibdeno (Mo):** La composición de aceros inoxidables con el Mo y Cr, mejora la resistencia a la corrosión, en la mayoría de medios corrosivos, específicamente en medio marinos. [7]

De los elementos mencionados los elementos principales son el Cromo, Molibdeno y Níquel.

### 1.5.2.2. Composición y estructura de los aceros inoxidables.

Para determinar la naturaleza y por ende el tipo de acero inoxidable se debe reconocer la proporción de las fases que están determinadas por el porcentaje de cromo, el cual debe superar el 10,5 %, el aumento de este, y la combinación con el níquel y el carbono. [8]

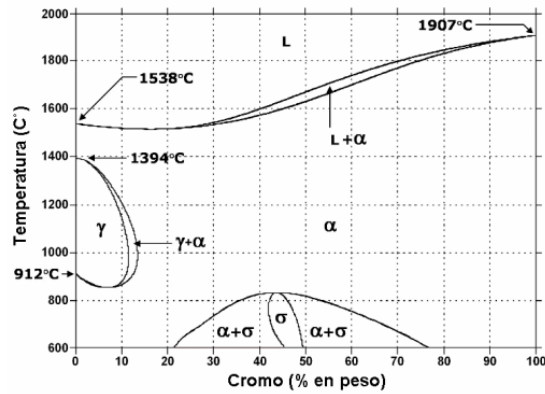


**Figura 1:** Aceros inoxidables en función del contenido (a) cromo y níquel, (b) cromo y carbono. [8]

El cromo y la ferrita poseen la misma estructura cristalina ( $\alpha$ ) son cúbicos centrados en el cuerpo (BCC), siendo el elemento base para la formación de los aceros inoxidables, mientras que en la figura 5, se muestra el diagrama Fe-Cr, el cromo es un elemento que determina un porcentaje de alrededor del 12% en la formación de la fase austenítica ( $\gamma$ ).

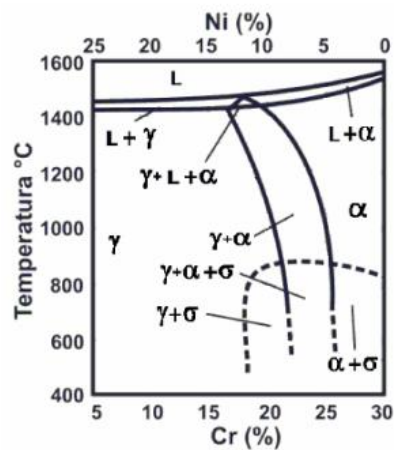
La aparición de otros elementos aleantes como el Molibdeno (Mo), Silicio (Si), Niobio (Ni) y el Aluminio (Al), también generar el mismo efecto o, por el contrario, pueden favorecer a la formación de la fase austenítica ( $\gamma$ ), Otro elemento que promueve la formación de la fase ( $\gamma$ ), tiene una estructura cubica centrada en la cara (FCC), siendo este otro elemento principal en la formación de los aceros inoxidables. [8]





**Figura 2:** Diagrama de fases Fe-Cr. [8]

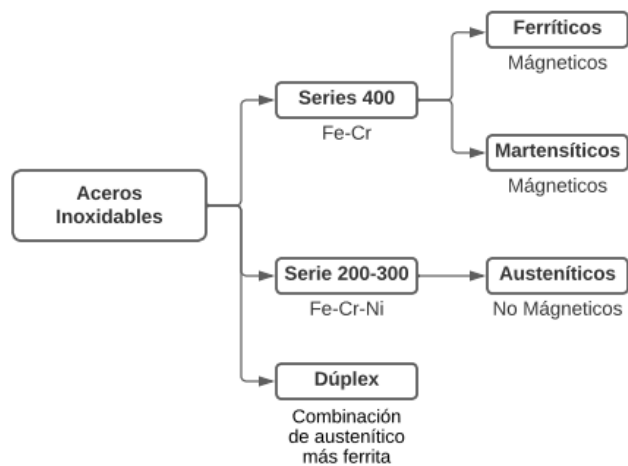
Los elementos principales en un acero inoxidable son el Cromo (Cr) y el Níquel (Ni), y la figura 6, se puede apreciar la formación de diferentes fases al mantener constante el contenido de carbono y a variar las proporciones del Cr y Ni.



**Figura 3:** Diagrama de fases Fe-Cr-Ni a 70% de peso de Fe. [8]

### 1.5.2.3. Clasificación de los aceros inoxidables.

La clasificación de los aceros inoxidables puede ser categorizada en cinco grupos, cuatro de ellos son de acuerdo a su composición o estructura cristalina formadas en la aleación que son: austenítico, ferrita, martensítica y dúplex que se refiere a una combinación de austenítico más ferrita. [9]



**Figura 4:** Clasificación de los aceros inoxidables. [10]

La designación de los aceros inoxidables según normativa AISI (American Iron and Steel Institute) y SAE (Society of Automotive Engineers), constituye en una de las clasificaciones más relevantes y han dividido a dichos aceros en familias.

**Tabla 1:** Clasificación de los aceros inoxidables según normativa AISI. [10]

| Clasificación de los aceros inoxidables según la AISI |  |
|---|--|
| Designación de la serie                               | Grupos   |
| 2XX   | Cr-Ni-Mn; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos |
| 3XX   | Cr-Ni; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos    |
| 4XX   | Cr; no endurecibles, martensíticos, magnéticos         |
| 4XX   | Cr; no endurecibles, ferríticos, magnéticos.           |
| 5XX   | Cr; bajo cromo, resistentes al calor.                  |

#### 1.5.2.3.1. Aceros inoxidables martensíticos.

Son aceros inoxidables fabricados con un porcentaje de cromo de entre el 11% al 18%, combinado con carbono en cantidades controladas, desde el 0,12% hasta el 1,2%. Representan a la serie 400 de los aceros inoxidables y sus características son las siguientes:

- Estos aceros muestran una moderada resistencia a la corrosión frente a medios corrosivos leves como los son: vapor, agua fresca, ácidos débiles, medio ambiente, etc.
- Pueden ser endurecidos mediante tratamientos térmicos de revenido y templado, obteniendo niveles alto de resistencia y dureza.
- Cuando estos se encuentran sometidos al temple alcanzan una resistencia a la corrosión alta, estos son usados a temperaturas altas, Resisten a la corrosión a temperaturas de hasta 650 °C, y poseen buenas características a la resistencia mecánica a temperaturas de hasta 540 °C.
- Estos son Ferro-magnéticos con baja ductilidad.
- Como consecuencia de su alto contenido de carbono es de pobre soldabilidad.

Los aceros inoxidable martensíticos son usados en material quirúrgico, utensilios de uso doméstico, equipos de ingeniería química, elementos y equipos de ingeniería química, impulsores, turbinas, cuerpos de válvulas, El acero martensítico más usado es el grado 420. [9]

**Tabla 2:** Aceros inoxidable martensíticos. [10]

| Numero AISI- SAE de aleación | Composición química en % en peso |         | Características   |
|------------------------------|----------------------------------|---------|---|
| 410                          | 11,5/13,5<br>Cr                  | < 0,15C | Es utilizado debido a sus buenas características mecánicas y bajo coste, es utilizado en la fabricación de tornillos, tuercas, cubiertas bajillas.  |
| 420                          | 12/14 Cr                         | > 0,15C | Con un porcentaje mayor de Carbono ofrece una elevada resistencia mecánica, dureza y resistencia al desgaste, mientras que su resistencia a la corrosión disminuye limitando su uso para ciertos ambientes. |
| 440                          | 16/18 Cr                         | < 0,7 C | Se utiliza cuando se requiere una dureza y resistencia a la abrasión alta, posee una buena resistencia a la corrosión, posee una baja maquinabilidad.   |

### 1.5.2.3.2. Aceros inoxidables ferríticos.

Son aleaciones de cromo-hierro, con un 10,5% a 27 % de cromo la resistencia a la corrosión varía según el contenido de cromo, al poseer entre un 0,12% hasta el 1,20 % de carbono, se le atribuye también buenas propiedades mecánicas y poseen las siguientes características:

- Poseen una resistencia a la corrosión de moderada a buena, esto dependerá del porcentaje de cromo.
- Estos son ferromagnéticos y se endurecen al ser trabajados en frío moderadamente.
- No pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos.
- Pueden ser trabajados en caliente de una manera fácil.
- Su soldabilidad es baja, ya que al ser soldados estos necesitan ser recocidos para reponer la ductilidad.
- Por su baja dureza su utilidad el únicamente limita a procesos de formado en frío.

Los aceros inoxidables ferríticos son utilizados de manera amplia en la industria automotriz, también son de utilidad en electrodomésticos, inclusive se utiliza para la elaboración de monedas, también se encuentran usos de este en plantas de procesamiento de petróleo y gas natural, En los últimos años este tipo de acero inoxidable se ha destacado en la fabricación de tubos para trabajar en ambientes marinos, Representan la serie 400 de los aceros inoxidables y el más usado es el acero ferrítico es el grado 409. [9]

**Tabla 3:** Aceros inoxidables ferríticos. [9]

| <b>Numero AISI-SAE de aleación</b> | <b>Composición química en % en peso</b> |                  | <b>Características</b>   |
|------------------------------------|---|------------------|--|
| <b>409</b>                         | 10,5/11,75<br>Cr                        | $\leq 0,8C$      | Tiene una buena resistencia al calor, con un buen rendimiento en soldadura.  |
| <b>430</b>                         | 16/18 Cr                                | $\leq 0,12$<br>C | Es un acero inoxidable con una buena resistencia a la corrosión y dúctil, se usa para decoración de interiores, molduras y adornos automotrices. |
| <b>446</b>                         | 23/27 Cr                                | $\leq 0,20 C$    | Posee una resistencia alta a la corrosión, Se usa cuando se necesita trabajar en ambientes a altas temperaturas.                                 |

### 1.5.2.3.3. Aceros inoxidables austeníticos.

Son aleaciones con tres elementos, cromo de un 16% al 25 %, níquel 6% a un 22% y un porcentaje de carbono de 0,03% al 0,15%, su composición química brinda una resistencia a la corrosión superior a los dos grupos anteriores, con óptimas propiedades mecánicas.

Este tipo de aceros inoxidables conforman el grupo que presenta mayor número de aleaciones existente, son las series 200 y 300, Poseen las siguientes características:

- Poseen una elevada resistencia a la corrosión en comparación con los dos grupos anteriores, su resistencia mecánica es buena y pueden ser utilizados en altas temperaturas.
- Son endurecidos por trabajos en frío, mas no en caliente con el fin de generar altos niveles de resistencia.
- Excelente soldabilidad, obteniendo soldaduras fuertes y tenaces,
- No son magnéticos.
- Se caracterizan por tener una excelente ductilidad y tenacidad, lo que los hace apropiados para trabajos difíciles de formado en frío.
- Fácil formado y transformación.
- Excelente factor de limpieza e higiene.
- También se añaden elementos como el manganeso, nitrógeno.

Este grupo se divide en dos categorías:

- **Serie 300 AISI:** Son aleaciones de cromo y níquel teniendo un alto contenido de este, También pueden contener molibdeno, aluminio, Titanio, niobio para proporcionar características puntuales, Existen aleaciones con azufre y selenio con el fin de mejorar su maquinabilidad. Los grados más comunes son el 304 y 316.
- **Serie 200 AISI:** Estos contienen un menor de níquel y alto de nitrógeno, por esto poseen una alta resistencia mecánica. [9]

**Tabla 4:** Aceros inoxidable austeníticos. [10]

| Numero AISI-SAE de aleación | Composición química en % en peso |         |           |                | Características   |
|-----------------------------|----------------------------------|---------|-----------|----------------|---|
|                             |                                  |         |           |                |   |
| 301                         | 16/18 Cr                         | ≤0,15 C | 6/8 Ni    |                | Posee una menor resistencia a la corrosión, tiene un formado fácil y buena soldabilidad, usado en adornos arquitectónicos, equipos para procesamiento de alimentos. |
| 303                         | 17/19 Cr                         | ≤0,08 C | 8/10 Ni   |                | Buena resistencia a la oxidación en ambientes de hasta 900°C, se usa para fabricar partes maquinadas y flechas.   |
| 304                         | 18/20 Cr                         | ≤0,08 C | 8/10,5 Ni | ≤2 Mn          | Es el acero inoxidable más utilizado, tiene buena resistencia a la corrosión, buen desempeño a temperaturas elevadas y buenas propiedades mecánicas.                |
| 310                         | 24/26 Cr                         | ≤0,25 C | 19/22 Ni  | ≤2 Mn          | Utilizado en tareas en las que se requiera altas temperaturas, como calentadores de aire y equipos químicos.  |
| 316                         | 16/18 Cr                         | ≤0,08 C | 10/14 Ni  | 2/3 Mo         | Muy resiste ante a la corrosión en ambientes químicos agresivos y marinos.  |
| 321                         | 17/19 Cr                         | ≤0,08 C | 9/12 Ni   | Ti= 5%<br>Cmin | Al contener una adicción de titanio equivalente al contenido de carbono, adecuadas para aplicaciones resistentes al calor.  |

#### 1.5.2.3.4. Aceros inoxidable dúplex.

Es un acero inoxidable en el cual su contenido de cromo se encuentra entre el 18% y 26 %, mientras contiene un porcentaje de entre un 4,5% y 6,5% de níquel, también tienen elementos como silicio, nitrógeno, molibdeno, tungsteno o cobre, lo cual mejora su resistencia a la corrosión.

Se lo denomina dúplex porque tiene iguales proporciones de austenita y ferrita, esta estructura combinada genera las siguientes características:

- Poseen una buena tenacidad y ductilidad, superior a los ferríticos por no superar los niveles de los aceros inoxidables auténticos.
- Buena resistencia a la corrosión bajo tensión.
- Buena conformabilidad y soldabilidad.
- No se puede aumentar su dureza con tratamientos térmicos.

- Resistencia a la tracción y un buen rendimiento en comparación con los austeníticos y ferríticos estándar.

Sus grados y aplicaciones comunes son las siguientes:

- **S31803-(2205):** La resistencia a la corrosión es superior, siendo utilizado en intercambiadores de calor, tanques químicos, ventiladores, aplicaciones de refinería y en medios marinos.
- **S32304-(2304):** Posee un alto límite elástico, y una resistencia alta a la corrosión, utilizado en industrias minera, de alimentos, construcción y energía también utilizado en campos marinos.
- **S32750-(2507):** Su resistencia a la corrosión es considerablemente alta en ambientes marinos, cloruro y ácidos. [9]

#### 1.5.2.4. Propiedades de los aceros inoxidable.

A pesar de que existen diferentes tipos de Aceros Inoxidables, existen propiedades que todos comparten entre ellas están:

- **Alta resistencia:** Como ya hemos mencionado, una de las principales características de este tipo de aceros es la alta resistencia a la oxidación y a la corrosión atmosféricas, además de tener una resistencia a la humedad y a las temperaturas altas.
- **Durabilidad:** El acero inoxidable es un material duradero, debido a su capacidad para tolerar condiciones químicas y físicas, ya que un acero convencional se empieza a deteriorarse entre 10 a 15 años, el acero inoxidable puede durar un poco más de 30 años.
- **Dureza:** Tiene una resistencia alta ante elementos abrasivos, y no se raya,
- **Ductilidad:** Frente a una fuerza apropiada, el acero inoxidable se deforma sencilla sin llegar al punto de ruptura.
- **Tenacidad:** Este tipo de acero es capaz de absorber grandes cantidades de energía en condiciones de impacto, antes de romperse.
- **Sostenibilidad:** Por sus cantidades de cromo y níquel, los aceros inoxidables son altamente reciclables y rentables, en la actualidad estos se producen con un 60% de material reciclado.

- **Higiénico:** La adherencia de polvo y otros agentes externos es mínima y es fácil realizar mantenimiento en las superficies, debido a su baja rugosidad.
  - **Estético:** Los aceros inoxidable poseen un acabado elegante y moderno.
- [10]

A continuaciones se presenta una tabla con las propiedades principales de los aceros inoxidable.

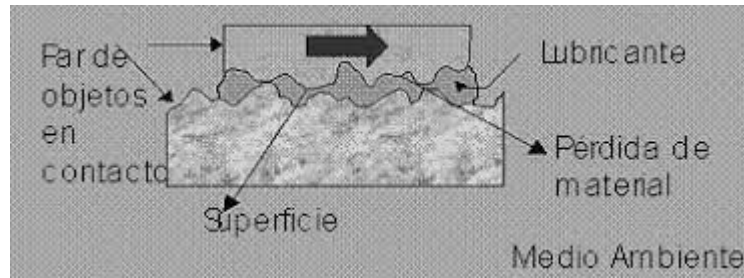
**Tabla 5:** Propiedades generales de los aceros inoxidable. [9]

| <b>Propiedades Generales de los Aceros Inoxidable</b> |                                   |                                  |                   |  |                     |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--|---------------------|
| <b>Tipo</b>   | <b>Resistencia a la corrosión</b> | <b>Dureza</b>                    | <b>Magnéticos</b> | <b>Endurecimiento por tratamiento térmico (Temple)</b> | <b>Soldabilidad</b> |
| <b>Martensíticos</b>                                  | Baja                              | Alta                             | Si                | Si   | Pobre               |
| <b>Ferríticos</b>                                     | Buena                             | Media Baja                       | Si                | No   | Limitada            |
| <b>Austeníticos</b>                                   | Excelente                         | Alta (Al ser trabajados en frío) | No                | No   | Excelente           |
| <b>Dúplex</b>   | Excelente                         | Alta                             | No                | No   | Buena               |

### 1.5.3. Tribología.

La tribología es una ciencia y una tecnología la cual tiene como objetivo principal el estudio de la fricción, desgaste y lubricación, lo cual influye directamente en áreas de ingeniería, ayudando a mejorar la eficiencia en los distintos equipos y sistemas mecánicos.





**Figura 5:** Aspectos de la tribología. [12]

Los aspectos clave de la tribología son los siguientes:

- **Fricción:** La resistencia de un cuerpo o superficie en contacto moviéndose con otro cuerpo o superficie.
- **Desgaste:** La pérdida de material debido a la fricción.
- **Lubricación:** El uso de fluidos para disminuir la fricción y minimizar el desgaste.

#### **1.5.4. Desgaste abrasivo.**

El fenómeno del desgaste abrasivo es muy común en la ingeniería, generando la disminución de la vida útil de los sistemas mecánicos y sus componentes. Este desgaste se lleva a cabo cuando existen partículas abrasivas entre dos superficies en contacto generando fricción y pérdida de material de las mismas superficies debido a la remoción del material por acción de las partículas abrasivas. [13]

#### **1.5.5. Desgaste abrasivo en medio acuoso.**

Este tipo de desgaste que se origina cuando agentes abrasivos se encuentran en un medio líquido, es muy común en diferentes áreas de trabajo con maquinaria industrial y se puede tener un daño considerable en equipos y componentes mecánicos. [14]

#### **1.5.6. Velocidad de desgaste abrasivo.**

Este término se utiliza para describir la rapidez con la que una mezcla de partículas abrasivas, desprenden material de la superficie que se encuentran en contacto con esta mezcla. La velocidad de desgaste abrasivo depende de varios factores como la carga aplicada, condiciones ambientales, tipo de abrasivo e inclusive la naturaleza de los materiales involucrados. [15]

- **Tasa de desgaste:** La tasa de desgaste se refiere a la cantidad de material que se desgasta o pierde en una superficie o un componente en medida a una medida específica como la distancia recorrida, el tiempo transcurrido o el número de ciclos, la fórmula general para calcular la tasa de desgaste es la pérdida de material.

$$Tasa\ de\ desgaste = \frac{Perida\ de\ maerial\ (gr)}{Desplazamiento(m)} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

- **Coefficiente de desgaste:** Es una medida adimensional designada por  $k$ , y representa la capacidad de un material para resistir el desgaste. Se calcula dividiendo la cantidad de material desgastado por la fuerza normal y el desplazamiento recorrido. [16]

$$k = \frac{Perida\ de\ maerial\ (gr)}{Fuerza\ Nominal(N) \times Desplazamiento(m)} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

La velocidad de desgaste puede ser:

- **Velocidad de desgaste volumétrico:** Se mide en términos de la cantidad de material volumétrico perdido por unidad de tiempo.
- **Velocidad de desgaste superficial:** Se mide en términos del grosor o profundidad del material afectado por unidad de tiempo. [16]

$$Velocidad\ de\ desgaste\ abrasivo = \frac{Perdida\ voluntirca\ (mm^3)}{Tiempo\ (s)} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

### 1.5.7. Ensayo de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105-20.

Para realizar ensayos de desgaste abrasivo en medio acuoso en materiales metálicos la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales o por su nombre en inglés American Society of Testing Materials (ASTM) presenta la norma ASTM G105. En la cual se describe procedimientos, requisitos y regulaciones, para realizar e interpretar de manera correcta los resultados de dicho ensayo.

El desgaste abrasivo es un problema de gravedad para cualquier sistema, la gravedad de este dependerá de distintos factores como la forma, tamaño y dureza de las partículas abrasivas, también influye la magnitud de la fuerza aplicada y la frecuencia de contacto con estas partículas. La norma ASTM G105-20 (2020), presenta un método en el cual todos estos factores son estandarizados, para establecer una conducta uniforme de desgaste, los resultados de este ensayo son reflejados en la pérdida de volumen del material metálico ensayado en milímetros cúbicos. Se realiza por medio de la prueba de rueda de caucho/arena húmeda.

El ensayo consiste en realizar una mezcla entre las partículas de la arena y agua, esta mezcla se introduce entre la muestra del material a ensayar y la rueda en rotación de goma de neopreno de una dureza determinada. La muestra del material es presionada con una tensión específica mediante de un brazo de palanca contra el disco de neopreno en rotación, generando una huella de desgaste en la muestra, como resultado de la abrasión.

La finalidad del procedimiento que describe la norma ASTM G105-20, es proporcionar datos que permitan determinar la resistencia a la abrasión en medio acuoso, mediante condiciones normalizadas. Sin embargo, los datos obtenidos no deben ser utilizados para predecir la resistencia exacta de un material en un entorno específico. [17]

#### **1.6. Planteamiento de la hipótesis.**

La ejecución de ensayos abrasivos en medio acuoso en los aceros inoxidable AISI 304, AISI 316 y AISI 420, evaluados bajo la norma ASTM G105-20, proporcionara datos para determinar que la velocidad de desgaste abrasivo en medio acuoso es menor en el acero inoxidable AISI 420 en comparación con los aceros AISI 304 y AISI 316.

## **CAPÍTULO II. - METODOLOGÍA**

### **2.1. Enfoque.**

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos en el presente trabajo experimental, se utilizó un análisis tanto cualitativo como cuantitativo, puesto que, el ensayo radica en determinar el desgaste abrasivo los aceros AISI 304, AISI 316, AISI 420, mediante pruebas de laboratorio en un medio acuoso, en el cual todos los procedimientos para llevar a cabo la prueba, como la preparación de las probetas, las condiciones de funcionamiento de la máquina y métodos de evaluación de resultados, deben estar normalizados, en este caso se trabaja con la norma ASTM G105-20.

La recolección de información de líneas de investigación confiables como artículos científicos, tesis, publicaciones de internet confiables, entre otras que en conjunto con la toma de datos durante el ensayo permitirán determinar de manera correcta el desgaste abrasivo en el material a ensayar, también se realizará un registro de parámetros como el peso, volumen antes y después del ensayo de desgaste abrasivo en cada una de las probetas, los cuales se tabularán y analizarán con el fin de obtener resultados concretos, y así determinar la velocidad de desgaste de los materiales a ensayar.

### **2.2. Materiales, equipos y recursos.**

#### **2.2.1. Materiales.**

##### **a) Acero AISI 304.**

El acero inoxidable AISI 304, es parte de los aceros inoxidables austenítico, cuya composición ha hecho de este material uno de los más usados en la industria en general, siendo su principal característica es que presenta una elevada resistencia a la corrosión y oxidación, es un buen material para proceso de soldadura, tolera apropiadamente las deformaciones, es fácil de limpiar y es económico, todas estas características se dan gracias la aleación de los elementos que lo conforman.

[18]

**Tabla 6:** Composición química del acero inoxidable AISI 304, % peso.[19]

| Elemento | C      | Mn  | P       | S       | Si  | Cr    | Ni     |
|----------|--------|-----|---------|---------|-----|-------|--------|
| AISI 304 | ≤ 0,08 | ≤ 2 | ≤ 0,045 | ≤ 0,015 | ≤ 1 | 18-20 | 8-10,5 |

**Tabla 7:** Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304. [19]

| <b>Propiedades Mecánicas a temperatura ambiente</b> |                       |
|---|-----------------------|
| Resistencia a la cedencia min.                      | 21 kg/mm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción.                          | 54 kg/mm <sup>2</sup> |
| Elongación %.                                       | 58 min                |
| Dureza HB. (max)                                    | 190                   |

**b) Acero AISI 316.**

Este material es un acero inoxidable austenítico que, por su aleación de níquel y cromo, posee una alta resistencia a la corrosión y oxidación se puede mencionar que sus características son similares a la del acero inoxidable AISI 304, pero este acero posee una mayor resistencia a la corrosión, logrando tener una buena resistencia en medios ácidos. [18]

**Tabla 8:** Composición química del acero inoxidable AISI 316, % en peso. [19]

| Elemento | C      | Mn  | Mo  | P                | S       | Si  | Cr    | Ni     |
|----------|--------|-----|-----|------------------|---------|-----|-------|--------|
| AISI 316 | ≤ 0,08 | ≤ 2 | 2-3 | ≤ 0,045<br>(max) | ≤ 0,015 | ≤ 1 | 18-20 | 8-10,5 |

**Tabla 9:** Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 316. [19]

| <b>Propiedades Mecánicas a temperatura ambiente</b> |                       |
|---|-----------------------|
| Resistencia a la cedencia min.                      | 24 kg/mm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción.                          | 53 kg/mm <sup>2</sup> |
| Elongación %.                                       | 50 min                |
| Dureza HB. (max)                                    | 200                   |

**c) Acero AISI 420.**

Es un acero inoxidable martensítico, con alto contenido de carbono, el cual hace que este material alcance un alta de dureza y un mayor nivel de resistencia al

desgaste, por el contrario, su resistencia a la corrosión y oxidación es baja, por lo que se le suele someter a tratamientos térmicos como el temple y el revenido.[18]

**Tabla 10:** Composición química del acero inoxidable AISI 420, % en peso. [19]

| Elemento | C         | Mn | P              | S    | Si | Cr        | Ni |
|----------|-----------|----|----------------|------|----|-----------|----|
| AISI 420 | 0,36-0,45 | ≤1 | 0,030<br>(max) | 0,03 | 1  | 12,5-14,5 | ≤1 |

**Tabla 11:** Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 420. [19]

| <b>Propiedades Mecánicas a temperatura ambiente</b> |                       |
|---|-----------------------|
| Resistencia a la cedencia min.                      | -- kg/mm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción.                          | -- kg/mm <sup>2</sup> |
| Elongación %.                                       | -- min                |
| Dureza HB. (max)                                    | 241                   |

#### **d) Arena sílica.**

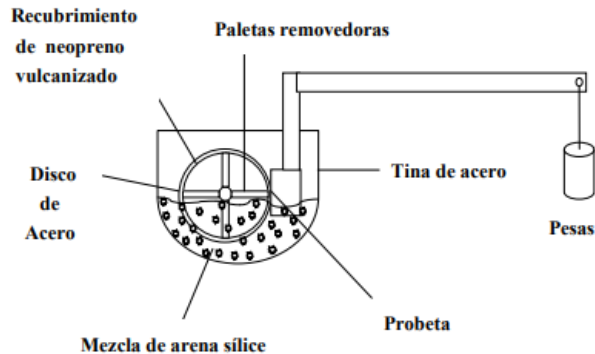
La arena sílica esta principalmente constituido por dos átomos de oxígeno y uno de sílice SiO<sub>2</sub>, es una molécula estable e insoluble en agua, además es un compuesto químico puro ya que su composición por lo general es 100% de SiO<sub>2</sub> (53,3% de O<sub>2</sub> y 46,7% de Si) en la naturaleza se encuentra en rocas ricas en sílice.

Este mineral se puede encontrar en una variedad de formas, pueden presentarse en Macro cristalinas, con cristales visibles, y criptocristalinas compuestos por cristales microscópicos. Su uso en la industria es variado todo esto gracias a sus propiedades físicas y químicas, siendo sus características rales como su dureza, alto punto de fusión, resistencia química, posee propiedades piezoeléctricas y piroeléctricas. Sus usos son en la industria cerámica, vidrio, fundición, metalurgia, arenas de filtración, abrasión, entre otros. [20]

#### **2.2.2. Equipos.**

Para la ejecución del ensayo de desgaste abrasivo se utilizó una maquina tribológica para pruebas de abrasión en un medio acuoso diseñada bajo la norma ASTM G105 y una balanza analítica de 0,0001 gramos. Dichos equipos se

encuentran en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



**Figura 6 :** Esquema de la máquina para ensayos Abrasivos en medio acuoso. [17]

La máquina tiene las siguientes especificaciones normalizadas según la ASTM G105-20:

- **Velocidad de la rueda vulcanizada:** Las ruedas recubiertas de neopreno giran a  $245 \pm 5$  rpm.
- **Cargas:** Fuerza aplicada en contra de probeta de ensayo de forma tangencial es de 222N.
- **Discos:** Discos de acero inoxidable con durezas Shore A50  $\pm 2,0$ . Y Shore A70  $\pm 2,0$ .
- **Características de la arena:** la arena debe ser de grano redondeado como la arena sílica 1,5 kg AFS 50/70.
- **Flujo de la arena:** Este de ser estar entre 60 a 200 gr.
- **Muestra:** La probeta debe tener una forma rectangular con las siguientes medidas: 25,4 mm  $\pm 0,8$  mm (1,00 in  $\pm 0,03$  in) de ancho, 57,2 mm  $\pm 0,8$  mm (2,25 in  $\pm 0,03$  in) de largo y con espesor de entre 6,4 mm a 25,9 mm  $\pm 0,125$  mm (0,25 in a 0,652 in  $\pm 0,005$  in).
- **Mezcla abrasiva:** La mezcla abrasiva de consistir en una mezcla de 0,940 kg de agua desionizada y 1,500 kg de arena. [17]

Se llevo a cabo un análisis en el cual se determinó que la maquina no gira a 250 revoluciones por minuto que es lo mencionado en la norma técnica ASTM G105-

20, sino a 350 revoluciones por minuto, entonces el tiempo determinado para cada prueba paso de 4 a 3 minutos.

### **2.2.3. Recursos.**

#### **a) Recursos humanos.**

El estudiante que está a cargo de la investigación y el docente tutor encargado de guiar al estudiante en el desarrollo del proyecto.

- **Autor:** Cristina Alejandra Barragán Moreta.
- **Tutor:** Ing. Henry Vaca, Mg.

#### **b) Recursos institucionales.**

Se usarán los medios tangibles que proporciona la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

- Biblioteca física y virtual de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
- Máquinas y herramientas proporcionadas por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

#### **c) Recursos materiales.**

Medios físicos los cuales serán utilizados para elaborar el estudio y la elaboración de los planes de mantenimiento:

- Computador.
- Normas Nacionales e Internacionales.
- Internet.
- Biblioteca virtual y física.
- Probetas del material a ensayar.
- Máquinas, equipos y herramientas de laboratorio.
- Material de oficina.

### **2.3. Modalidad de investigación.**

#### **a) Investigación de campo.**

En el presente proyecto se utilizó la investigación de campo para la obtención de datos del ensayo de desgaste abrasivo en los diferentes tipos de aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 y AISI 420, bajo la norma ASTM G105-20,



y así identificar los factores que inciden en el desgaste del material a ensayar, dicho ensayo se realizara en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

**b) Investigación bibliográfica.**

Esta investigación se llevó a cabo utilizando diversas líneas de investigación con fuentes confiables que nos ofrece la biblioteca de la Facultas de Ingeniería Civil y Mecánica, tales como: documentos técnicos, libros, tesis, publicaciones de internet, que estén relacionadas con el tema de este trabajo experimental, y permitan un desarrollo factible del mismo.

**c) Investigación experimental.**

En este proyecto la investigación experimental es fundamental, ya que, se realizará obtención de probetas mediante mecanizado de los materiales seleccionados seguido de los ensayos de desgaste por abrasión sobre las probetas aceros inoxidable seleccionados, con parámetros de operación y evaluación basados en norma ASTM G105-20.

**d) Investigación descriptiva.**

Esta describe el diseño de la investigación, es decir describe los pasos a seguir para el correcto desarrollo del proyecto, abarcando desde la obtención de las probetas hasta los análisis de los resultados obtenidos del ensayo.

**2.4. Población y muestra.**

Para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo experimental, la población considerada son los aceros inoxidable AISI 304, AISI 316 y AISI 420.

En el presente trabajo experimental se consideró una muestra de 10 probetas de cada material es decir 10 probetas de acero inoxidable 304, 10 probetas de acero inoxidable 316 y 10 probetas de acero inoxidable 420.

Teniendo un total de 30 probetas en las cuales se realizó ensayos de desgaste abrasivo en medio acuoso en 5 probetas de cada uno de los aceros inoxidable ya mencionados con un disco de dureza shore A70  $\pm$  2,0 y un disco de dureza shore A 50 $\pm$ 2,0, también se realizó un previo ensayo de rugosidad en la superficie a

ensayar de cada una de las probetas, además se realizó ensayos rugosidad en las superficies a ensayar de cada probeta.

## 2.5. Operacionalización de variables.

En la siguiente tabla se detallará la operacionalización de las variables dependiente e independiente:

- **Variable dependiente:** Velocidad de desgaste abrasivo en el material.
- **Variable independiente:** Material AISI 304, AISI 316 y AISI 420, y parámetros del ensayo de abrasión en un sistema acuoso según la norma ASTM G105-20.

**Tabla 12:** Operacionalización de variables.

| <b>Variable independiente</b>   |  |   |  |   |
|---|--|---|--|---|
| <b>Definición</b>   | <b>Dimensiones</b>                         | <b>Indicadores</b>  | <b>Ítems</b>   | <b>Técnicas e instrumentación</b>           |
| Aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, Parámetros del ensayo de abrasión en un sistema acuoso según la norma ASTM G105-20. | Material a ensayar                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de Acero</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acero AISI 304</li> <li>• Acero AISI 316</li> <li>• Acero AISI 420</li> </ul> | Catálogos Fuentes bibliográficas Norma ASTM |
|   | Parámetros del ensayo de desgaste abrasivo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga aplicada</li> <li>• Velocidad del motor</li> <li>• Material abrasivo</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 222 N</li> <li>• 245 ± 5 rpm</li> <li>• Arena sílica</li> </ul>               |   |
| <b>Variable dependiente</b>   |  |   |  |   |
| <b>Definición</b>   | <b>Dimensiones</b>                         | <b>Indicadores</b>  | <b>Ítems</b>   | <b>Técnicas e instrumentación</b>           |
| La rapidez a la cual un material se desgasta debido a la acción de partículas abrasivas.  | Desgaste abrasivo del material             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso del perdido del material,<br/><math>\Delta P = P_i - P_f</math></li> <li>• Volumen perdido del material,<br/><math>v_d = \frac{\Delta P}{\rho}</math></li> </ul> <p><math>\rho</math> (densidad del material)</p> | <p>Velocidad de desgaste</p> $v_d = \frac{\text{Volumen Perdido}}{\text{Tiempo}}$                                      | Observación directa Fichas de observación   |

## **2.6. Plan de recolección de información.**

Se llevará a cabo un proceso sistemático, que incluirá la recopilación y síntesis de información de diversas fuentes bibliográficas confiables. Esto permitirá obtener un panorama conciso y completo del tema abordado en el presente trabajo de investigación.

Durante el ensayo de abrasión en medio acuoso conforme a la norma ASTM G105-20, se realizará una observación directa para garantizar la recopilación precisa de datos, los cuales serán registrados de manera adecuada en tablas y fichas, con el propósito de analizar y determinar el comportamiento ante el desgaste abrasivo de los aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 y AISI 420, en condiciones de medio acuoso.

## **2.7. Plan de procesamiento de información.**

- Compilación y selección de información bibliográfica relevante.
- Analizar la norma técnica ASTM G105-20 y determinar los parámetros y la correcta ejecución del ensayo.
- Registrar los resultados del ensayo de abrasión en medio acuoso en tablas y fichas de observación.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos en el ensayo mediante la información bibliográfica establecida en el desarrollo del trabajo experimental.
- Elaborar conclusiones y recomendaciones que reflejen los resultados obtenidos del ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso, realizado en los tres tipos de aceros inoxidables.

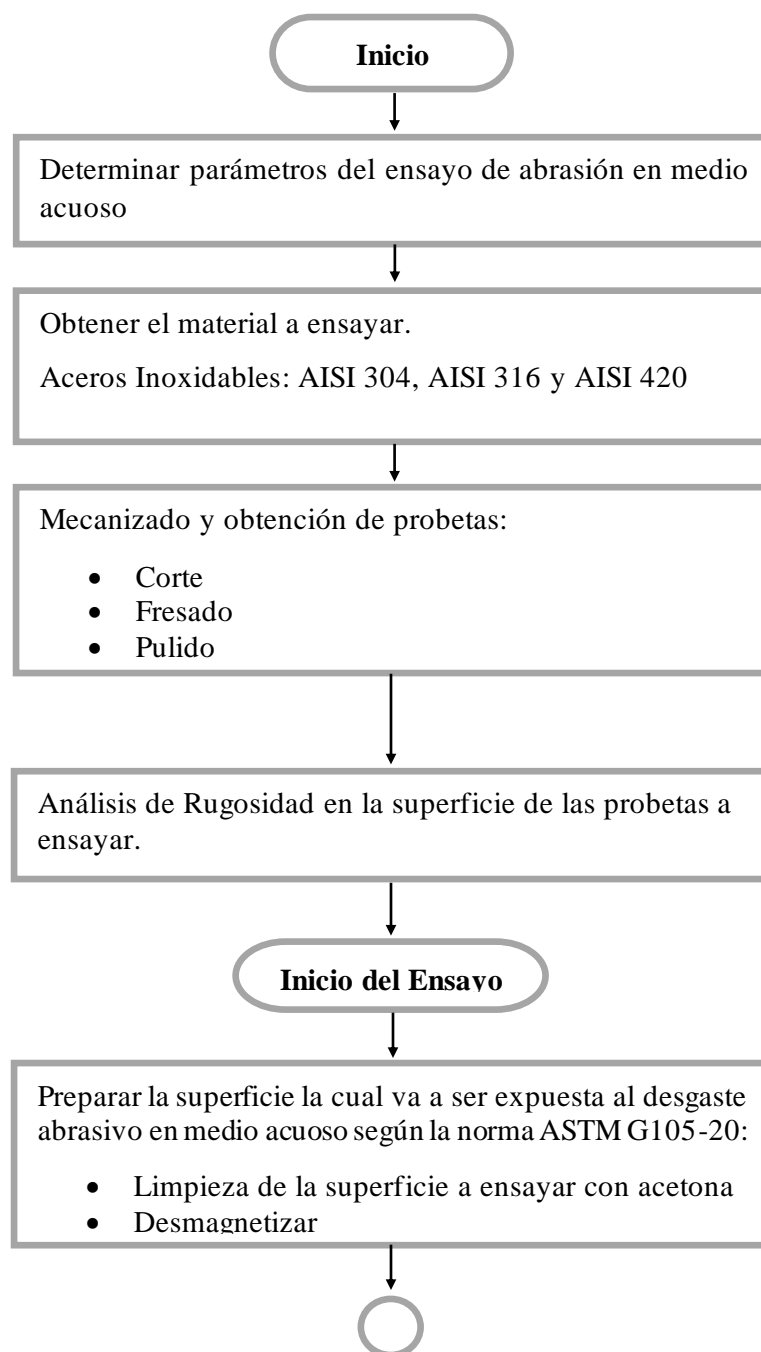
## **2.8. Plan de análisis e interpretación de resultados.**

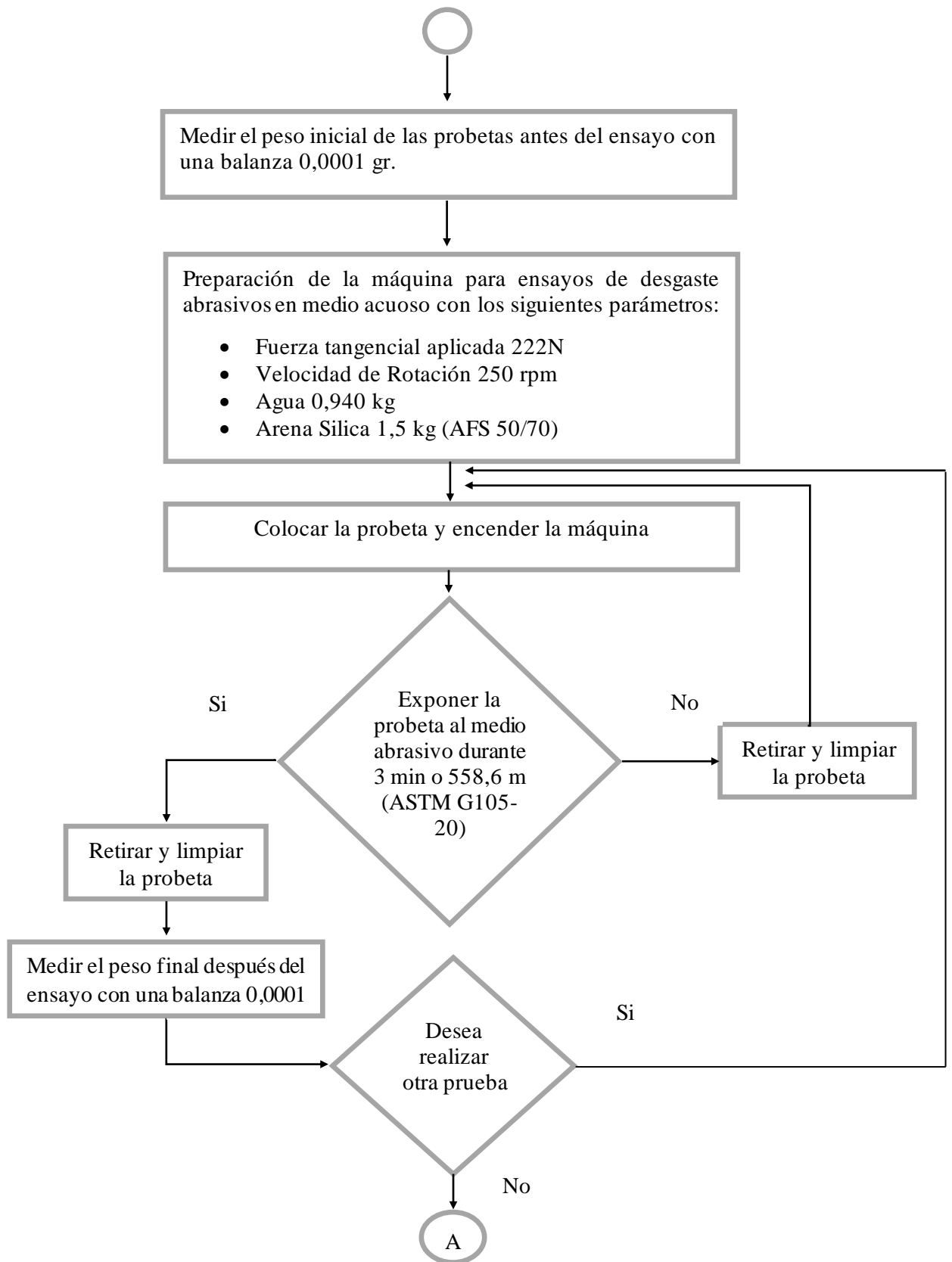
- Análisis de ensayos mecánicos realizados (abrasión, rugosidad)
- Interpretación de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos mecánicos realizados.
- Realizar comparaciones estadísticas con tablas y fichas de observación con los resultados obtenidos de los ensayos.
- Verificar la hipótesis de acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de abrasión en medio acuoso.

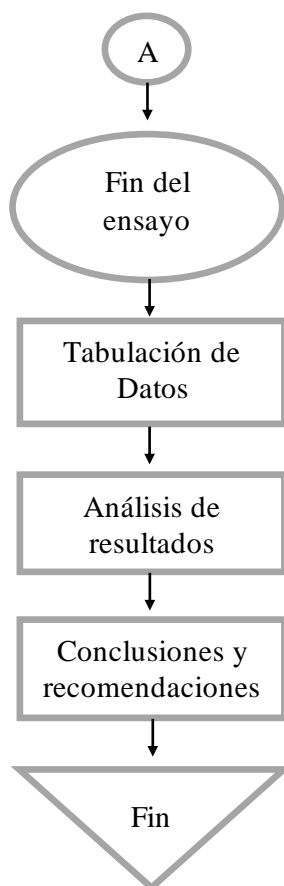
## CAPÍTULO III.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

### 3.1. Procesos de obtención y análisis de resultados.

Para el desarrollo del análisis de la velocidad de desgaste en los aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 y AISI 420 y la obtención de resultados, se realizaron los siguientes procesos, los cuales están detallados en el siguiente diagrama de flujo:







**Figura 7:** Diagrama de flujo de procesos.

### 3.2. Tabulación y presentación de resultados.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se realizó ensayos de:

- Ensayos de rugosidad.
- Ensayos de abrasión en medio acuoso.

Estos ensayos se realizaron en cada una de las probetas, a continuación, se detallan tablas que muestran la disposición de las probetas. Esto se hizo con el objetivo de presentar los resultados correspondientes de cada ensayo de manera ordenada.

**Tabla 13:** Probetas totales.




| <b>Tipo de Acero</b>      | <b>Probetas</b> |
|---------------------------|-----------------|
| Acero Inoxidable AISI 304 | 10              |
| Acero Inoxidable AISI 316 | 10              |
| Acero Inoxidable AISI 420 | 10              |

**Tabla 14:** Probetas para ensayos de rugosidad y abrasión en medio acuoso.

| <b>Tipo de Acero</b>      | <b>Probetas</b>                       |  |
|---------------------------|---------------------------------------|--|
|                           | <b>Disco Shore A50 ± 2,0.</b>         | <b>Disco Shore A70 ± 2,0.</b>          |
| Acero Inoxidable AISI 304 | 304-1, 304-2, 304-3,<br>304-4, 304-5, | 304-6, 304-7, 304-8,<br>304-9, 304-10, |
| Acero Inoxidable AISI 316 | 316-1, 316-2, 316-3,<br>316-4, 316-5, | 316-6, 316-7, 316-8,<br>316-9, 316-10, |
| Acero Inoxidable AISI 420 | 420-1, 420-2, 420-3,<br>420-4, 420-5, | 420-6, 420-7, 420-8,<br>420-9, 420-10, |

### 3.2.1. Análisis del acero inoxidable AISI 304.



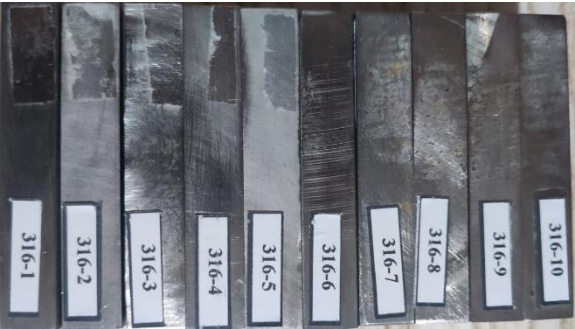
**Tabla 15:** Análisis del acero inoxidable AISI 304.

|     |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
|---|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|------------|------|------|----------|-----|------|------|------|-----|--------|--------|--------|---------|---------|-------------|------------|---|
| <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>   |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales-FICM | <b>Fecha</b>                     | 13/11/2023            |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Tipo de estudio</b>  | De Laboratorio                 |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Normas aplicadas</b>   | ASTM G105-20                   |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>ESPECIFICACIONES</b>   |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Especificación del material</b>  | Acero Inoxidable               | <b>Tipo o grado</b>              | 304                   | <b>Densidad</b>              | 7,93 gr/cm <sup>3</sup> |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                  | <b>Resistencia a la tracción</b> | 54 kg/mm <sup>2</sup> | <b>Elongación</b>            | 58 % en 50 mm           |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                  | <b>Dureza</b>                    | 190 HBW max           | <b>Reducción de Área</b>     | -----                   |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Características</b>  | Rectángulo                     | <b>Módulo de Elasticidad</b>     | 193 GPa               | <b>Maquinabilidad</b>        | -----                   |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Tratamiento Térmico</b>  | -----                          | <b>Temp Ambiente</b>             | 19,7 °C               | <b>Medio de Enfriamiento</b> | -----                   |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
|   |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>COMPOSICION QUIMICA</b>  |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Análisis típico %</th> <th>% C</th> <th>% Si</th> <th>% Mn</th> <th>% P Máx.</th> <th>% S</th> <th>% Cr</th> <th>% Ni</th> <th>% Mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>304</td> <td>≤ 0.08</td> <td>≤ 1.00</td> <td>≤ 2.00</td> <td>≤ 0.045</td> <td>≤ 0.015</td> <td>18.0 - 20.0</td> <td>8.0 - 10.5</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> |                                |                                  |                       |                              |                         | Análisis típico % | % C        | % Si | % Mn | % P Máx. | % S | % Cr | % Ni | % Mo | 304 | ≤ 0.08 | ≤ 1.00 | ≤ 2.00 | ≤ 0.045 | ≤ 0.015 | 18.0 - 20.0 | 8.0 - 10.5 | — |
| Análisis típico %   | % C                            | % Si                             | % Mn                  | % P Máx.                     | % S                     | % Cr              | % Ni       | % Mo |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| 304   | ≤ 0.08                         | ≤ 1.00                           | ≤ 2.00                | ≤ 0.045                      | ≤ 0.015                 | 18.0 - 20.0       | 8.0 - 10.5 | —    |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.           |                                  | <b>Revisado por :</b> | Ing. H. Vaca, Mg.            |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |
| <b>Observaciones :</b> Las propiedades mencionadas se encuentran en la tabla de datos técnicos de Ivan Bohman (Anexo A1 Ficha técnica del acero inoxidable 304), Las dimensiones de las probetas son normalizadas para el ensayo de abrasión en medio acuoso según la norma ASTM G105 -20.  |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |            |      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |            |   |





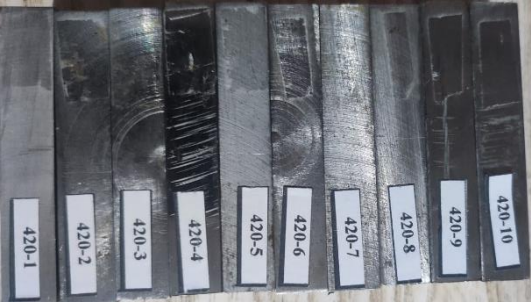
### 3.2.2. Análisis del acero inoxidable AISI 316.

**Tabla 16:** Análisis del acero inoxidable AISI 316.

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>    |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
|--|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------|-----------|------|----------|-----|------|------|------|-----|--------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------|-----------|
| DATOS INFORMATIVOS:  |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>   | Laboratorio de Materiales-FICM |                                  | <b>Fecha</b>          | 13/11/2023                   |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Tipo de estudio</b>   | De Laboratorio                 |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Normas aplicadas</b>  | ASTM G105-20                   |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| ESPECIFICACIONES   |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Especificación del material</b>   | Acero Inoxidable               | <b>Tipo o grado</b>              | 316                   | <b>Densidad</b>              | 7,98 gr/cm <sup>3</sup> |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Ancho</b>   | 25,4 ± 0,8 mm                  | <b>Resistencia a la tracción</b> | 53 kg/mm <sup>2</sup> | <b>Elongación</b>            | 50% en 50 mm            |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Largo</b>   | 57,2 ± 0,8 mm                  | <b>Dureza</b>                    | 200 HB max            | <b>Reducción de Área</b>     | -----                   |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Características</b>   | Rectángulo                     | <b>Módulo de Elasticidad</b>     | 193 GPa               | <b>Maquinabilidad</b>        | -----                   |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Tratamiento Térmico</b>   | -----                          | <b>Temp Ambiente</b>             | 19,7°C                | <b>Medio de Enfriamiento</b> | -----                   |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
|    |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| COMPOSICION QUIMICA  |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Análisis típico %</th> <th>% C</th> <th>% Si</th> <th>% Mn</th> <th>% P Máx.</th> <th>% S</th> <th>% Cr</th> <th>% Ni</th> <th>% Mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>316</td> <td>≤ 0.03</td> <td>≤ 1.00</td> <td>≤ 2.00</td> <td>≤ 0.045</td> <td>≤ 0.015</td> <td>16.0 - 18.0</td> <td>10.0 - 14.0</td> <td>2.0 - 3.0</td> </tr> </tbody> </table> |                                |                                  |                       |                              |                         | Análisis típico % | % C         | % Si      | % Mn | % P Máx. | % S | % Cr | % Ni | % Mo | 316 | ≤ 0.03 | ≤ 1.00 | ≤ 2.00 | ≤ 0.045 | ≤ 0.015 | 16.0 - 18.0 | 10.0 - 14.0 | 2.0 - 3.0 |
| Análisis típico %  | % C                            | % Si                             | % Mn                  | % P Máx.                     | % S                     | % Cr              | % Ni        | % Mo      |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| 316  | ≤ 0.03                         | ≤ 1.00                           | ≤ 2.00                | ≤ 0.045                      | ≤ 0.015                 | 16.0 - 18.0       | 10.0 - 14.0 | 2.0 - 3.0 |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <b>Elaborado por :</b>   | Cristina Barragán M.           |                                  | <b>Revisado por :</b> | Ing. H. Vaca, Mg             |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |
| <p><b>Observaciones :</b> Las propiedades mencionadas se encuentran en la tabla de datos técnicos de Ivan Bohman (Anexo A1 Ficha técnica del acero inoxidable 316), Las dimensiones de las probetas son normalizadas para el ensayo de abrasión en medio acuoso según la norma ASTM G105-20.</p>   |                                |                                  |                       |                              |                         |                   |             |           |      |          |     |      |      |      |     |        |        |        |         |         |             |             |           |



### 3.2.3. Análisis del acero inoxidable AISI 420.

Tabla 17: Análisis del acero inoxidable AISI 420.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA   |                                |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
|---|--------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------|------|------|----------|-----|------|------|------|---------|-------------|--------|--------|-------|-------|-------------|--------|----|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales-FICM | Fecha                     | 13/11/2023    |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Tipo de estudio   | De Laboratorio                 |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                   |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| ESPECIFICACIONES  |                                |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Especificación del material   | Acero Inoxidable               | Tipo o grado              | 420           | Densidad              | 7,8 g/cm <sup>3</sup> |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                  | Resistencia a la tracción | -----         | Elongación            | 40% en 50 mm          |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                  | Dureza                    | 241 HB max    | Reducción de Área     | -----                 |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Características   | Rectángulo                     | Módulo de Elasticidad     | 200 GPa       | Maquinabilidad        | -----                 |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Tratamiento Térmico   | -----                          | Temp Ambiente             | 19,7 °C       | Medio de Enfriamiento | -----                 |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
|   |                                |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| COMPOSICION QUIMICA   |                                |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Análisis típico %</th> <th>% C</th> <th>% Si</th> <th>% Mn</th> <th>% P Máx.</th> <th>% S</th> <th>% Cr</th> <th>% Ni</th> <th>% Mo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>420 mod</td> <td>0,36 - 0,45</td> <td>≤ 1,00</td> <td>≤ 1,00</td> <td>0,030</td> <td>0,030</td> <td>12,5 - 14,5</td> <td>≤ 1,00</td> <td>--</td> </tr> </tbody> </table> |                                |                           |               |                       |                       | Análisis típico % | % C    | % Si | % Mn | % P Máx. | % S | % Cr | % Ni | % Mo | 420 mod | 0,36 - 0,45 | ≤ 1,00 | ≤ 1,00 | 0,030 | 0,030 | 12,5 - 14,5 | ≤ 1,00 | -- |
| Análisis típico %   | % C                            | % Si                      | % Mn          | % P Máx.              | % S                   | % Cr              | % Ni   | % Mo |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| 420 mod   | 0,36 - 0,45                    | ≤ 1,00                    | ≤ 1,00        | 0,030                 | 0,030                 | 12,5 - 14,5       | ≤ 1,00 | --   |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| Elaborado por :   | Cristina Barragán Moreta       |                           | Revisado por: | Ing. H. Vaca, Mg.     |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |
| <p><b>Observaciones :</b> Las propiedades mencionadas se encuentran en la tabla de datos técnicos de Ivan Bohman (Anexo A1 Ficha técnica del acero inoxidable 420), Las dimensiones de las probetas son normalizadas para el ensayo de abrasión en medio acuoso según la norma ASTM G105-20.</p>  |                                |                           |               |                       |                       |                   |        |      |      |          |     |      |      |      |         |             |        |        |       |       |             |        |    |



### 3.2.4. Ensayo de rugosidad de las probetas.

**Tabla 18:** Ensayo de rugosidad de las probetas.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                                |             |                      |                      |
|---|--------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
| DATOS INFORMATIVOS RUGOSIDAD (µm):  |                                |             |                      |                      |
| <b>Probetas</b>   | 30                             |             | <b>Fecha</b>         | 14/11/2023           |
| <b>Lugar de medición</b>  | Laboratorio de Materiales-FICM |             | <b>Temp Amb</b>      | 19,7° C              |
| <b>Tipo de estudio</b>  | De Laboratorio                 |             | <b>Realizado por</b> | Cristina Barragán M. |
| <b>Norma aplicada</b>   | ASTM G105-20                   |             |                      |                      |
| ACERO INOXIDABLE AISI 304   |                                |             |                      |                      |
| Probetas  | Rugosidad 1                    | Rugosidad 2 | Rugosidad 3          | Rugosidad            |
| 304-1   | 0,718                          | 0,703       | 0,652                | 0,691                |
| 304-2   | 0,754                          | 0,704       | 0,681                | 0,713                |
| 304-3   | 0,677                          | 0,539       | 0,609                | 0,608                |
| 304-4   | 0,731                          | 0,606       | 0,653                | 0,663                |
| 304-5   | 0,736                          | 0,664       | 0,536                | 0,645                |
| 304-6   | 0,602                          | 0,772       | 0,688                | 0,687                |
| 304-7   | 0,701                          | 0,655       | 0,837                | 0,731                |
| 304-8   | 0,718                          | 0,638       | 0,805                | 0,720                |
| 304-9   | 0,657                          | 0,745       | 0,729                | 0,710                |
| 304-10  | 0,631                          | 0,586       | 0,772                | 0,663                |
| ACERO INOXIDABLE AISI 316   |                                |             |                      |                      |
| 316-1   | 0,543                          | 0,589       | 0,512                | 0,548                |
| 316-2   | 0,657                          | 0,607       | 0,749                | 0,671                |
| 316-3   | 0,498                          | 0,476       | 0,534                | 0,503                |
| 316-4   | 0,472                          | 0,491       | 0,557                | 0,507                |
| 316-5   | 0,489                          | 0,505       | 0,517                | 0,504                |
| 316-6   | 0,498                          | 0,517       | 0,569                | 0,528                |
| 316-7   | 0,499                          | 0,506       | 0,506                | 0,504                |
| 316-8   | 0,529                          | 0,504       | 0,587                | 0,540                |
| 316-9   | 0,618                          | 0,628       | 0,503                | 0,583                |
| 316-10  | 0,692                          | 0,571       | 0,652                | 0,638                |
| ACERO INOXIDABLE AISI 420   |                                |             |                      |                      |
| 420-1   | 0,516                          | 0,499       | 0,488                | 0,501                |
| 420-2   | 0,507                          | 0,571       | 0,438                | 0,505                |
| 420-3   | 0,549                          | 0,573       | 0,555                | 0,559                |
| 420-4   | 0,564                          | 0,482       | 0,561                | 0,536                |
| 420-5   | 0,518                          | 0,504       | 0,497                | 0,506                |
| 420-6   | 0,504                          | 0,557       | 0,603                | 0,555                |
| 420-7   | 0,493                          | 0,546       | 0,643                | 0,561                |
| 420-8   | 0,457                          | 0,672       | 0,595                | 0,575                |
| 420-9   | 0,692                          | 0,583       | 0,705                | 0,660                |
| 420-10  | 0,518                          | 0,579       | 0,713                | 0,603                |
| <b>Observaciones:</b><br>Las rugosidades de las probetas están dentro del rango establecidos según el enunciado 8,6 de la norma ASTM G105-20, la descripción del ensayo se encuentra en el Anexo B1.  |                                |             |                      |                      |



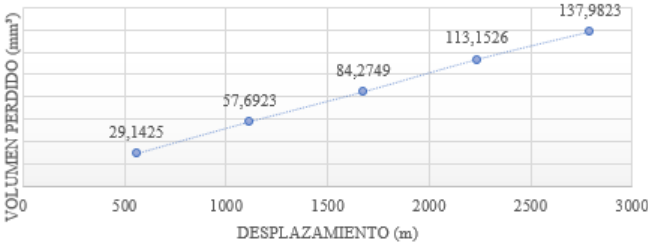

### 3.2.5. Peso inicial de las probetas.

**Tabla 19:** Peso inicial de las probetas.



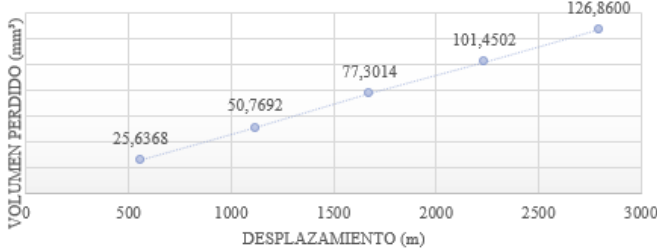

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                                    |                     |                 |                     |
|---|------------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                    |                     |                 |                     |
| <b>Probetas</b>   | 30                                 |                     | <b>Fecha</b>    | Cristina Barragán M |
| <b>Lugar de medición</b>  | Laboratorio de Materiales-<br>FICM |                     | <b>Temp Amb</b> | 19,7° C             |
| <b>Tipo de estudio</b>  | De laboratorio                     | <b>Aprobado por</b> |                 | Ing. H. Vaca, Mg.   |
| <b>Norma aplicada</b>   | ASTM G105-20                       |                     |                 |                     |
| ACERO INOXIDABLE AISI 304   |                                    |                     |                 |                     |
| Probetas  | Peso 1                             | Peso 2              | Peso 3          | Peso inicial        |
| 304-1   | 113,0325                           | 113,0326            | 113,0335        | 113,0329            |
| 304-2   | 114,9852                           | 114,9850            | 114,9855        | 114,9852            |
| 304-3   | 114,0264                           | 114,0259            | 114,0272        | 114,0265            |
| 304-4   | 114,6355                           | 114,6353            | 114,6357        | 114,6355            |
| 304-5   | 115,0650                           | 115,0642            | 115,0645        | 115,0646            |
| 304-6   | 115,5435                           | 115,4439            | 115,4415        | 115,4763            |
| 304-7   | 115,0718                           | 115,0721            | 115,0725        | 115,0721            |
| 304-8   | 115,4979                           | 115,4981            | 115,4981        | 115,4980            |
| 304-9   | 115,5121                           | 115,5132            | 115,5123        | 115,5125            |
| 304-10  | 114,3982                           | 114,3951            | 114,3982        | 114,3972            |
| ACERO INOXIDABLE AISI 316   |                                    |                     |                 |                     |
| 316-1   | 117,8017                           | 117,8019            | 117,8023        | 117,8020            |
| 316-2   | 117,9486                           | 117,9481            | 117,9485        | 117,9484            |
| 316-3   | 119,4712                           | 119,4709            | 119,4726        | 119,4716            |
| 316-4   | 118,2861                           | 118,2855            | 118,2857        | 118,2856            |
| 316-5   | 119,6608                           | 119,6617            | 119,6625        | 119,6617            |
| 316-6   | 117,8108                           | 117,8077            | 117,8111        | 117,8099            |
| 316-7   | 119,0510                           | 119,0542            | 119,0561        | 119,0538            |
| 316-8   | 119,4277                           | 119,4254            | 119,4275        | 119,4269            |
| 316-9   | 119,7547                           | 119,7543            | 119,7562        | 119,7551            |
| 316-10  | 116,7824                           | 116,7853            | 116,7866        | 116,7848            |
| ACERO INOXIDABLE AISI 420   |                                    |                     |                 |                     |
| 420-1   | 117,5506                           | 117,5504            | 117,5503        | 117,5504            |
| 420-2   | 118,7075                           | 118,7052            | 118,7048        | 118,7058            |
| 420-3   | 118,0456                           | 118,0463            | 118,0475        | 118,0465            |
| 420-4   | 120,0526                           | 120,0512            | 120,0544        | 120,0527            |
| 420-5   | 117,9038                           | 117,9037            | 117,9034        | 117,9036            |
| 420-6   | 119,1402                           | 119,1400            | 119,1448        | 119,1417            |
| 420-7   | 119,8110                           | 119,8145            | 119,8168        | 119,8141            |
| 420-8   | 120,4060                           | 120,4076            | 120,4099        | 120,4078            |
| 420-9   | 119,9412                           | 119,9436            | 119,9472        | 119,9440            |
| 420-10  | 118,8213                           | 118,8247            | 118,8272        | 118,8244            |

**3.2.6. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 304 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.**



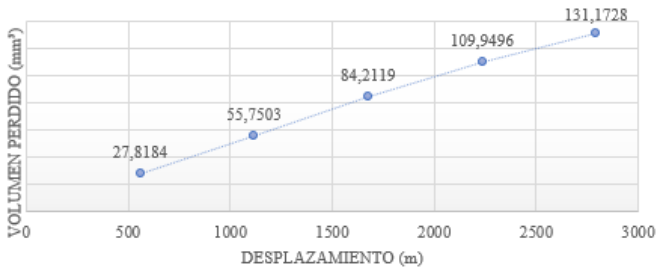

**Tabla 20:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-1 con disco de dureza 50±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                       |   |                                  |                               |
|---|---------------------------------|---|-----------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                       |   |                                  |                               |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023            |   |                                  |                               |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental          |   |                                  |                               |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                       |   |                                  |                               |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                       |   |                                  |                               |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm           |   |                                  |                               |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A50 ± 2,0.            |   |                                  |                               |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                 |   |                                  |                               |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm            |   |                                  |                               |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                |   |                                  |                               |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg              |   |                                  |                               |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 113,0329                        |   |                       |   |                                  |                               |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                       |   |                                  |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso (gr)            | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm³) | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 112,8018                        | 0,2311  | 29,1425               | 0,4137  | 0,00186                          | 0,1619                        |
| 1117,2  | 112,5754                        | 0,4575  | 57,6923               | 0,4095  | 0,00184                          | 0,1603                        |
| 1675,8  | 112,3646                        | 0,6683  | 84,2749               | 0,3988  | 0,00180                          | 0,1561                        |
| 2234,4  | 112,1356                        | 0,8973  | 113,1526              | 0,4016  | 0,00181                          | 0,1572                        |
| 2793  | 111,9387                        | 1,0942  | 137,9823              | 0,3918  | 0,00176                          | 0,1533                        |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm³</b>  |                                 |   |                       | <b>PROBETA</b>  |                                  |                               |
|   |                                 |   |                       |  |                                  |                               |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M             | <b>Revisado por :</b>   | Ing. H. Vaca, Mg.     |   |                                  |                               |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                       |   |                                  |                               |



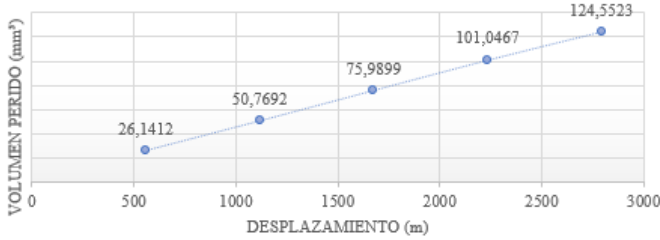

**Tabla 21:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-2 con disco de dureza  $50 \pm 2,0$ .

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                   |                                    |   |  |
|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                   |                                    |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                        |                                    |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimenta                       |                                    |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                   |                                    |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                   |                                    |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | $350 \pm 5$ rpm                   |                                    |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | $A50 \pm 2,0$ .                   |                                    |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | $19,7^{\circ}\text{C}$          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                             |                                    |   |  |
| <b>Ancho</b>  | $25,4 \pm 0,8$ mm               | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 $\mu\text{m}$             |                                    |   |  |
| <b>Largo</b>  | $57,2 \pm 0,8$ mm               | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                            |                                    |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                          |                                    |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 114,9862                        |   |                                   |                                    |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                   |                                    |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | $\Delta P$ (gr)   | Volumen perdido ( $\text{mm}^3$ ) | Tasa de desgaste ( $\text{gr/m}$ ) | Coefficiente de desgaste ( $\text{gr/mN}$ )   | Velocidad de desgaste ( $\text{mm}^3/\text{s}$ ) |
| 558,6   | 114,7829                        | 0,2033  | 25,6368                           | 0,3639                             | 0,00164   | 0,1424   |
| 1117,2  | 114,5836                        | 0,4026  | 50,7692                           | 0,3604                             | 0,00162   | 0,1410   |
| 1675,8  | 114,3732                        | 0,6130  | 77,3014                           | 0,3658                             | 0,00165   | 0,1432   |
| 2234,4  | 114,1817                        | 0,8045  | 101,4502                          | 0,3601                             | 0,00162   | 0,1409   |
| 2793  | 113,9802                        | 1,0060  | 126,8600                          | 0,3602                             | 0,00162   | 0,1410   |
| <b>VOLUMEN PERDIDO <math>\text{mm}^3</math></b>   |                                 |   |                                   |                                    | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                   |                                    |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>             | Ing. H. Vaca, Mg.                  |   |  |
| <b>Observaciones</b>  |                                 |   |                                   |                                    |   |  |

**Tabla 22:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-3 con disco de dureza  $50 \pm 2,0$ .

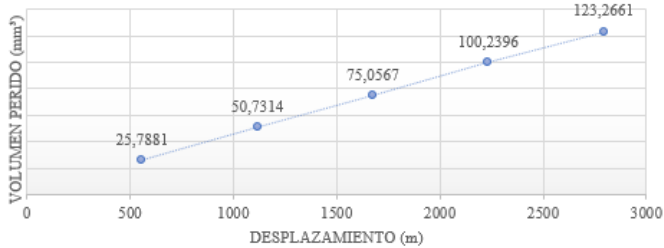

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                   |   |   |  |
|---|---------------------------------|---|-----------------------------------|---|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                   |   |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                        |   |   |  |
| <b>Tipo de estudio</b>  | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                      |   |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                   |   |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                   |   |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | $350 \pm 5$ rpm                   |   |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | $A50 \pm 2,0$ .                   |   |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | $19,7^{\circ}\text{C}$          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                             |   |   |  |
| <b>Ancho</b>  | $25,4 \pm 0,8$ mm               | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 $\mu\text{m}$             |   |   |  |
| <b>Largo</b>  | $57,2 \pm 0,8$ mm               | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                            |   |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                          |   |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta(gr)</b>   | 114,0265                        |   |                                   |   |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                   |   |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | $\Delta P$ (gr)   | Volumen perdido ( $\text{mm}^3$ ) | Tasa de desgaste ( $\text{gr/m}$ )  | Coefficiente de desgaste ( $\text{gr/mN}$ ) | Velocidad de desgaste ( $\text{mm}^3/\text{s}$ ) |
| 558,6   | 113,8059                        | 0,2206  | 27,8184                           | 0,3949  | 0,00178                                     | 0,1545   |
| 1117,2  | 113,5844                        | 0,4421  | 55,7503                           | 0,3957  | 0,00178                                     | 0,1549   |
| 1675,8  | 113,3587                        | 0,6678  | 84,2119                           | 0,3985  | 0,00180                                     | 0,1559   |
| 2234,4  | 113,1546                        | 0,8719  | 109,9496                          | 0,3902  | 0,00176                                     | 0,1527   |
| 2793  | 112,9863                        | 1,0402  | 131,1728                          | 0,3724  | 0,00168                                     | 0,1457   |
| <b>VOLUMEN PERDIDO <math>\text{mm}^3</math></b>   |                                 |   |                                   | <b>PROBETA</b>  |   |  |
|   |                                 |   |                                   |  |   |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>             | Ing. H. Vaca, Mg.   |   |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                                   |   |   |  |

**Tabla 23:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-4 con disco de dureza 50±2,0.



|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |                         |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |                         |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |                         |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A50 ± 2,0.                         |                         |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |                         |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |                         |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |                         |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |                         |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 114,6335                        |   |                                    |                         |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coeficiente de desgaste (gr/mN)   | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 114,4282                        | 0,2073  | 26,1412                            | 0,3711                  | 0,00167   | 0,1452                                     |
| 1117,2  | 114,2329                        | 0,4026  | 50,7692                            | 0,3604                  | 0,00162   | 0,1410                                     |
| 1675,8  | 114,0329                        | 0,6026  | 75,9899                            | 0,3596                  | 0,00162   | 0,1407                                     |
| 2234,4  | 113,8342                        | 0,8013  | 101,0467                           | 0,3586                  | 0,00162   | 0,1403                                     |
| 2793  | 113,6478                        | 0,9877  | 124,5523                           | 0,3536                  | 0,00159   | 0,1384                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    |                         | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                    |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |



**Tabla 24:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-5 con disco de dureza 50±2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
|---|---------------------------------|---------|---------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM |         | Fecha                                 | 28/11/2023  |                                  |                               |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    |         | Tipo de estudio                       | Experimental  |                                  |                               |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina         |   |                                  |                               |
| Acero Inoxidable AISI 304   | Comercial                       |         | Velocidad del disco                   | 350 ± 5 rpm   |                                  |                               |
| Medio de enfriamiento   | -----                           |         | Dureza del disco                      | A50 ± 2,0.  |                                  |                               |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          |         | Fuerza aplicada en la probeta y disco | 222 N   |                                  |                               |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | Tamaño de grano de arena Sílica       | 230/270 µm  |                                  |                               |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | Cantidad de arena                     | 1,5 kg  |                                  |                               |
| Espesor   | 10 mm                           |         | Cantidad de agua                      | 0,940 kg  |                                  |                               |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 115,0646                        |         |                                       |   |                                  |                               |
| RESULTADOS  |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)                 | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 114,8601                        | 0,2045  | 25,7881                               | 0,3661  | 0,00165                          | 0,1433                        |
| 1117,2  | 114,6623                        | 0,4023  | 50,7314                               | 0,3601  | 0,00162                          | 0,1409                        |
| 1675,8  | 114,4694                        | 0,5952  | 75,0567                               | 0,3552  | 0,00160                          | 0,1390                        |
| 2234,4  | 114,2697                        | 0,7949  | 100,2396                              | 0,3558  | 0,00160                          | 0,1392                        |
| 2793  | 114,0871                        | 0,9775  | 123,2661                              | 0,3500  | 0,00158                          | 0,1370                        |
| VOLUMEN PERDIDO mm <sup>3</sup>   |                                 |         |                                       | PROBETA   |                                  |                               |
|   |                                 |         |                                       |  |                                  |                               |
| Elaborado por :   | Cristina Barragán M.            |         | Revisado por :                        | Ing. H. Vaca, Mg.   |                                  |                               |
| Observaciones   |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |

**Tabla 25:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza 50±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                          |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|---|--------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSOS EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 558,6 M</b>   |                   |                        |   |                          |                    |                         |                                  |                               |         |
| <b>PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20</b>   |                   |                        |   |                          |                    |                         | <b>Tiempo de exposición</b>      | 3 minutos                     |         |
| <b>Dureza del neopreno</b>  |                   | A50 ± 2,0.             |   | <b>Cantidad de agua</b>  |                    | 0,940 kg                | <b>Fuerza Aplicada</b>           |                               | 222 N   |
| <b>Tipo de abrasivo</b>   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | <b>Cantidad de arena</b> |                    | 1,50 kg                 | <b>RPM</b>                       |                               | 350 ± 5 |
| <b>Diámetro de la rueda</b>   |                   | 178 mm – 7 in          |   | <b>Ancho de la rueda</b> |                    | 12,3 mm- ½ in           | <b>Moto reductor</b>             |                               | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³)    | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 304-1   | 113,0329          | 112,8018               | 0,2311  | 29,1425                  | 558,6              | 0,4137                  | 0,00186                          | 0,1619                        |         |
| 304-2   | 114,9862          | 114,7829               | 0,2033  | 25,6368                  | 558,6              | 0,3639                  | 0,00164                          | 0,1424                        |         |
| 304-3   | 114,0265          | 113,8059               | 0,2206  | 27,8184                  | 558,6              | 0,3949                  | 0,00178                          | 0,1545                        |         |
| 304-4   | 114,6355          | 114,4282               | 0,2073  | 26,1412                  | 558,6              | 0,3711                  | 0,00167                          | 0,1452                        |         |
| 304-5   | 115,0646          | 114,8601               | 0,2045  | 25,7881                  | 558,6              | 0,3661                  | 0,00165                          | 0,1433                        |         |
| Σ   | 571,7457          | 570,6789               | 1,0668  | 134,5271                 |                    | 1,9098                  | 0,00860                          | 0,7474                        |         |
| Promedio  | 114,3491          | 114,1358               | 0,2134  | 26,9054                  |                    | 0,3820                  | 0,00172                          | 0,1495                        |         |
| Promedio del volumen en mm³: 26,9054<br>Desviación estándar S : 1,5072<br>Coeficiente de variación V: 5,6017  |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                          |                    |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 26:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza 50±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 1117,2 M  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 2 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 304-1   | 113,03290         | 112,5754               | 0,4575           | 57,69231  | 1117,2             | 0,4095                  | 0,00184                          | 0,1603                        |         |
| 304-2   | 114,98620         | 114,5836               | 0,4026           | 50,76923  | 1117,2             | 0,3604                  | 0,00162                          | 0,1410                        |         |
| 304-3   | 114,02650         | 113,5844               | 0,4421           | 55,75032  | 1117,2             | 0,3957                  | 0,00178                          | 0,1549                        |         |
| 304-4   | 114,63550         | 114,2329               | 0,4026           | 50,76923  | 1117,2             | 0,3604                  | 0,00162                          | 0,1410                        |         |
| 304-5   | 115,06460         | 114,6623               | 0,4023           | 50,73140  | 1117,2             | 0,3601                  | 0,00162                          | 0,1409                        |         |
| Σ   | 571,7457          | 569,6386               | 2,1071           | 265,7125  |                    | 1,8861                  | 0,00850                          | 0,7381                        |         |
| Promedio  | 114,3491          | 113,9277               | 0,4214           | 53,1424   |                    | 0,3772                  | 0,00170                          | 0,1476                        |         |
| Promedio del volumen: 53,1424 mm <sup>3</sup><br>Deviación estándar S : 2,9927<br>Coeficiente de variación V: 5,6314  |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 27:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 1657,6 m, con disco de dureza 50±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                        |             |   |                                    |                    |                         |                                  |  |  |
|---|------------------------|-------------|---|------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 1675,6 M  |                        |             |   |                                    |                    |                         |                                  |  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                        |             |   |                                    |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                                  |  |
| Dureza del neopreno   | A50 ± 2,0.             |             | Cantidad de agua  | 0,940 kg                           |                    | Fuerza Aplicada         | 222 N                            |  |  |
| Tipo de abrasivo  | Arena Silica AFS 50/70 |             | Cantidad de arena   | 1,50 kg                            |                    | RPM                     | 350 ± 5                          |  |  |
| Diámetro de la rueda  | 178 mm – 7 in          |             | Ancho de la rueda   | 12,3 mm- ½ in                      |                    | Moto reductor           | 1 hp                             |  |  |
| Probetas  | Peso inicial (gr)      | Peso 3 (gr) | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |  |
| 304-1   | 113,033                | 112,3646    | 0,6683  | 84,2749                            | 1675,6             | 0,3988                  | 0,00180                          | 0,1561                                     |  |
| 304-2   | 114,986                | 114,3732    | 0,6130  | 77,3014                            | 1675,6             | 0,3658                  | 0,00165                          | 0,1432                                     |  |
| 304-3   | 114,027                | 113,3587    | 0,6678  | 84,2119                            | 1675,6             | 0,3985                  | 0,00180                          | 0,1559                                     |  |
| 304-4   | 114,636                | 114,0329    | 0,6026  | 75,9899                            | 1675,6             | 0,3596                  | 0,00162                          | 0,1407                                     |  |
| 304-5   | 115,065                | 114,4694    | 0,5952  | 75,0567                            | 1675,6             | 0,3552                  | 0,00160                          | 0,1390                                     |  |
| Σ   | 571,7457               | 568,5988    | 3,1469  | 396,8348                           |                    | 1,8781                  | 0,00846                          | 0,7349                                     |  |
| Promedio  | 114,3491               | 113,7198    | 0,6294  | 79,3670                            |                    | 0,3756                  | 0,00169                          | 0,1470                                     |  |
| Promedio del volumen: 79,3670 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S : 4,1691<br>Coeficiente de variación V: 3,9222   |                        |             | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                    |                         |                                  |  |  |

**Tabla 28:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza 50±2,0.



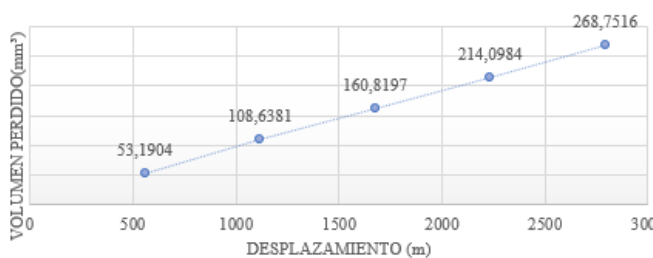

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |   |                       |                      |                         |                                 |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|---|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 2234,4 M  |                   |                        |   |                       |                      |                         |                                 |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                       |                      |                         | Tiempo de exposición            | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |   | Cantidad de agua      |                      | 0,940 kg                | Fuerza Aplicada                 |                               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena     |                      | 1,50 kg                 | RPM                             |                               | 250 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda     |                      | 12,3 mm- ½ in           | Moto reductor                   |                               | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 4 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coeficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 304-1   | 113,0329          | 112,1356               | 0,8973  | 113,1526              | 2234,4               | 0,4016                  | 0,00181                         | 0,1572                        |         |
| 304-2   | 114,9862          | 114,1817               | 0,8045  | 101,4502              | 2234,4               | 0,3601                  | 0,00162                         | 0,1409                        |         |
| 304-3   | 114,0265          | 113,1546               | 0,8719  | 109,9496              | 2234,4               | 0,3902                  | 0,00176                         | 0,1527                        |         |
| 304-4   | 114,6355          | 113,8342               | 0,8013  | 101,0467              | 2234,4               | 0,3586                  | 0,00162                         | 0,1403                        |         |
| 304-5   | 115,0646          | 114,2697               | 0,7949  | 100,2396              | 2234,4               | 0,3558                  | 0,00160                         | 0,1392                        |         |
| Σ   | 571,7457          | 567,5758               | 4,1699  | 525,8386              |                      | 1,8662                  | 0,00841                         | 0,7303                        |         |
| Promedio  | 114,3491          | 113,5152               | 0,8340  | 105,1677              |                      | 0,3732                  | 0,00168                         | 0,1461                        |         |
| Promedio del volumen: 105,1677mm³<br>Desviación estándar S: 5,5516<br>Coeficiente de variación V: 5,2788  |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                       |                      |                         |                                 |                               |         |

**Tabla 29:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 2793,6 m, con disco de dureza 50±2,0.



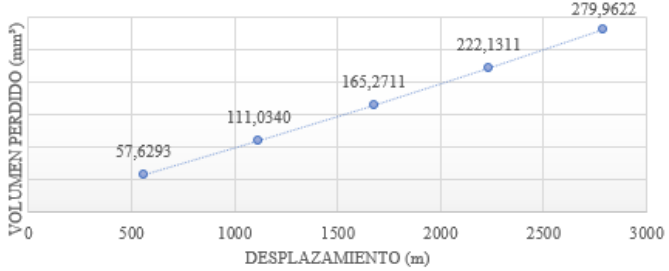

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                    |                         |                                  |  |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 2793 M  |                   |                        |   |                                    |                    |                         |                                  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                                    |                    | Tiempo de exposición    | 3 min                            |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |   | Cantidad de agua                   | 0,940 kg           |                         | Fuerza Aplicada                  | 222 N                                      |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena                  | 1,50 kg            |                         | RPM                              | 350 ± 5                                    |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda                  | 12,3 mm- ½ in      |                         | Moto reductor                    | 1 hp                                       |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 5 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 304-1   | 113,0329          | 111,9387               | 1,0942  | 137,9823                           | 2793               | 0,3918                  | 0,00176                          | 0,1533                                     |
| 304-2   | 114,9862          | 113,9802               | 1,0060  | 126,8600                           | 2793               | 0,3602                  | 0,00162                          | 0,1410                                     |
| 304-3   | 114,0265          | 112,9863               | 1,0402  | 131,1728                           | 2793               | 0,3724                  | 0,00168                          | 0,1457                                     |
| 304-4   | 114,6355          | 113,6478               | 0,9877  | 124,5523                           | 2793               | 0,3536                  | 0,00159                          | 0,1384                                     |
| 304-5   | 115,0646          | 114,0871               | 0,9775  | 123,2661                           | 2793               | 0,3500                  | 0,00158                          | 0,1370                                     |
| Σ   | 571,7457          | 566,6401               | 5,1056  | 643,8335                           |                    | 1,8280                  | 0,00823                          | 0,7154                                     |
| Promedio  | 114,3491          | 113,3280               | 1,0211  | 128,7667                           |                    | 0,3656                  | 0,00165                          | 0,1431                                     |
| Promedio del volumen: 128,7667 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S: 6,3269<br>Coeficiente de variación V: 4,9134   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                    |                         |                                  |  |

**3.2.7. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 304 con disco de dureza Shore A70±2,0.**

**Tabla 30:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-6 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.



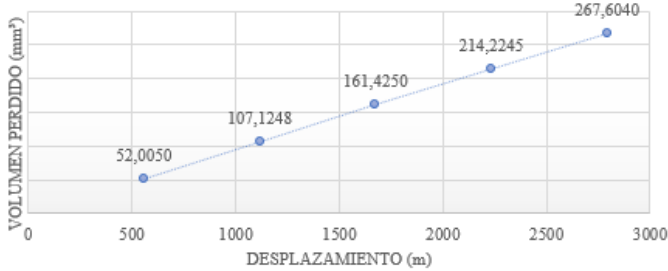

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |   |                                |   |   |
|---|---------------------------------|---|---|--------------------------------|---|---|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |   |                                |   |   |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                              |                                |   |   |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                            |                                |   |   |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |   |                                |   |   |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |   |                                |   |   |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                             |                                |   |   |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                              |                                |   |   |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                                   |                                |   |   |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                              |                                |   |   |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                                  |                                |   |   |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                                |                                |   |   |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 115,4763                        |   |   |                                |   |   |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |   |                                |   |   |
| <b>Despl L (m)</b>  | <b>Pérdida de peso</b>          | <b>ΔP (gr)</b>  | <b>Volumen perdido (mm<sup>3</sup>)</b> | <b>Tasa de desgaste (gr/m)</b> | <b>Coefficiente de desgaste (gr/mN)</b>   | <b>Velocidad de desgaste (mm<sup>3</sup>/s)</b> |
| 558,6   | 115,0545                        | 0,4218  | 53,1904                                 | 0,7551                         | 0,00340   | 0,2955  |
| 1117,2  | 114,6148                        | 0,8615  | 108,6381                                | 0,7711                         | 0,00347   | 0,3018  |
| 1675,8  | 114,2010                        | 1,2753  | 160,8197                                | 0,7611                         | 0,00343   | 0,2978  |
| 2234,4  | 113,7785                        | 1,6978  | 214,0984                                | 0,7598                         | 0,00342   | 0,2974  |
| 2793  | 113,3451                        | 2,1312  | 268,7516                                | 0,7631                         | 0,00344   | 0,2986  |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |   |                                | <b>PROBETA</b>  |   |
|   |                                 |   |   |                                |  |   |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>                   | Ing. H. Vaca, Mg.              |   |   |
| <b>Observaciones</b>  |                                 |   |   |                                |   |   |

**Tabla 31:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-7 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |                         |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |                         |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |                         |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                         |                         |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |                         |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |                         |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |                         |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |                         |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 115,0721                        |   |                                    |                         |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 114,6151                        | 0,4570  | 57,6293                            | 0,8181                  | 0,00369   | 0,3202                                     |
| 1117,2  | 114,1916                        | 0,8805  | 111,0340                           | 0,7881                  | 0,00355   | 0,3084                                     |
| 1675,8  | 113,7615                        | 1,3106  | 165,2711                           | 0,7822                  | 0,00352   | 0,3061                                     |
| 2234,4  | 113,3106                        | 1,7615  | 222,1311                           | 0,7884                  | 0,00355   | 0,3085                                     |
| 2793  | 112,8520                        | 2,2201  | 279,9622                           | 0,7949                  | 0,00358   | 0,3111                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    |                         | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                    |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |





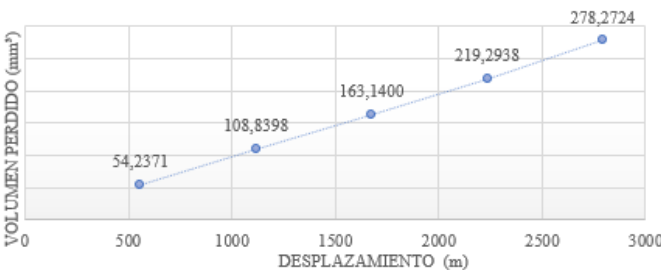

**Tabla 32:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-8 con disco de dureza Shore A 70±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |                         |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |                         |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |                         |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                         |                         |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |                         |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |                         |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |                         |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |                         |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 115,4980                        |   |                                    |                         |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 115,0856                        | 0,4124  | 52,0050                            | 0,7383                  | 0,00333   | 0,2889                                     |
| 1117,2  | 114,6485                        | 0,8495  | 107,1248                           | 0,7604                  | 0,00343   | 0,2976                                     |
| 1675,8  | 114,2179                        | 1,2801  | 161,4250                           | 0,7640                  | 0,00344   | 0,2989                                     |
| 2234,4  | 113,7992                        | 1,6988  | 214,2245                           | 0,7603                  | 0,00342   | 0,2975                                     |
| 2793  | 113,3759                        | 2,1221  | 267,6040                           | 0,7598                  | 0,00342   | 0,2973                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    |                         | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                    |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |

**Tabla 33:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-9 con disco de dureza Shore A 70±2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |                                       |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---------|---------------------------------------|-------------------------|---|--|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |                                       |                         |   |  |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM |         | Fecha                                 | 28/11/2023              |   |  |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    |         | Tipo de estudio                       | Experimental            |   |  |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |                                       |                         |   |  |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina         |                         |   |  |
| Acero Inoxidable AISI 304   | Comercial                       |         | Velocidad del disco                   | 350 ± 5 rpm             |   |  |
| Medio de enfriamiento   | -----                           |         | Dureza del disco                      | A70 ± 2,0.              |   |  |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          |         | Fuerza aplicada en la probeta y disco | 222 N                   |   |  |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | Tamaño de grano de arena Sílica       | 230/270 µm              |   |  |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | Cantidad de arena                     | 1,5 kg                  |   |  |
| Espesor   | 10 mm                           |         | Cantidad de agua                      | 0,940 kg                |   |  |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 115,5125                        |         |                                       |                         |   |  |
| RESULTADOS  |                                 |         |                                       |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )    | Tasa de desgaste (gr/m) | Coficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 115,0754                        | 0,4371  | 55,1198                               | 0,7825                  | 0,00352   | 0,3062                                     |
| 1117,2  | 114,6538                        | 0,8587  | 108,2850                              | 0,7686                  | 0,00346   | 0,3008                                     |
| 1675,8  | 114,2279                        | 1,2846  | 161,9924                              | 0,7667                  | 0,00345   | 0,3000                                     |
| 2234,4  | 113,7727                        | 1,7398  | 219,3947                              | 0,7786                  | 0,00351   | 0,3047                                     |
| 2793  | 113,3021                        | 2,2104  | 278,7390                              | 0,7914                  | 0,00356   | 0,3097                                     |
| VOLUMEN PERDIDO mm <sup>3</sup>   |                                 |         |                                       |                         | PROBETA   |  |
|   |                                 |         |                                       |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |         | <b>Revisado por :</b>                 | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| Observaciones:  |                                 |         |                                       |                         |   |  |


**Tabla 34:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 304-10 con disco de dureza Shore A 70±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                       |                         |   |                               |
|---|---------------------------------|---|-----------------------|-------------------------|---|-------------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                       |                         |   |                               |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023            |                         |   |                               |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental          |                         |   |                               |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                       |                         |   |                               |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                       |                         |   |                               |
| <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm           |                         |   |                               |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.            |                         |   |                               |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                 |                         |   |                               |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm            |                         |   |                               |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                |                         |   |                               |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg              |                         |   |                               |
| <b>Peso inicial de la probeta</b>   | 114,3972                        |   |                       |                         |   |                               |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                       |                         |   |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm³) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coeficiente de desgaste (gr/mN)   | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 113,9671                        | 0,4301  | 54,2371               | 0,7700                  | 0,0035  | 0,3013                        |
| 1117,2  | 113,5341                        | 0,8631  | 108,8398              | 0,7726                  | 0,0035  | 0,3023                        |
| 1675,8  | 113,1035                        | 1,2937  | 163,1400              | 0,7721                  | 0,0035  | 0,3021                        |
| 2234,4  | 112,6582                        | 1,7390  | 219,2938              | 0,7783                  | 0,0035  | 0,3046                        |
| 2793  | 112,1905                        | 2,2067  | 278,2724              | 0,7901                  | 0,0036  | 0,3092                        |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm³</b>  |                                 |   |                       |                         | <b>PROBETA</b>  |                               |
|   |                                 |   |                       |                         |  |                               |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b> | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |                               |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                       |                         |   |                               |


**Tabla 35:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza 70±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                      |                             |                                  |  |         |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|---------|
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSOS EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 558,6 M</b>   |                   |                        |   |                                    |                      |                             |                                  |  |         |
| <b>PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20</b>   |                   |                        |   |                                    |                      | <b>Tiempo de exposición</b> | 3 minutos                        |  |         |
| <b>Dureza del neopreno</b>  |                   | A70 ± 2,0.             |   | <b>Cantidad de agua</b>            |                      | 0,940 kg                    |                                  | <b>Fuerza Aplicada</b>                     | 222 N   |
| <b>Tipo de abrasivo</b>   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | <b>Cantidad de arena</b>           |                      | 1,50 kg                     |                                  | <b>RPM</b>                                 | 350 ± 5 |
| <b>Diámetro de la rueda</b>   |                   | 178 mm – 7 in          |   | <b>Ancho de la rueda</b>           |                      | 12,3 mm- ½ in               |                                  | <b>Moto reductor</b>                       | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m)     | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |         |
| 304-6   | 115,4763          | 115,0545               | 0,4218  | 53,1904                            | 558,6000             | 0,7551                      | 0,003401                         | 0,2955                                     |         |
| 304-7   | 115,0721          | 114,6151               | 0,4570  | 57,6293                            | 558,6000             | 0,8181                      | 0,003685                         | 0,3202                                     |         |
| 304-8   | 115,4980          | 115,0856               | 0,4124  | 52,0050                            | 558,6000             | 0,7383                      | 0,003326                         | 0,2889                                     |         |
| 304-9   | 115,5125          | 115,0754               | 0,4371  | 55,1198                            | 558,6000             | 0,7825                      | 0,003525                         | 0,3062                                     |         |
| 304-10  | 114,3972          | 113,9671               | 0,4301  | 54,2371                            | 558,6000             | 0,7700                      | 0,003468                         | 0,3013                                     |         |
| Σ   | 575,9561          | 573,7977               | 2,1584  | 272,1816                           |                      | 3,8639                      | 0,017405                         | 1,5121                                     |         |
| Promedio  | 115,1912          | 114,7595               | 0,4317  | 54,4363                            |                      | 0,7728                      | 0,00348                          | 0,3024                                     |         |
| Promedio del volumen: 54,4363 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S : 2,4180<br>Coeficiente de variación V: 4,4418   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                      |                             |                                  |  |         |

**Tabla 36:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304 -desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A70±2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 1117,2 M  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                    | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |                               |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 304-6   | 115,4763          | 114,6148               | 0,8615           | 108,6381  | 1117,2000          | 0,7711                  | 0,00347                          | 0,3018                        |         |
| 304-7   | 115,0721          | 114,1916               | 0,8805           | 111,0340  | 1117,2000          | 0,7881                  | 0,00355                          | 0,3084                        |         |
| 304-8   | 115,4980          | 114,6485               | 0,8495           | 107,1248  | 1117,2000          | 0,7604                  | 0,00343                          | 0,2976                        |         |
| 304-9   | 115,5125          | 114,6538               | 0,8587           | 108,2850  | 1117,2000          | 0,7686                  | 0,00346                          | 0,3008                        |         |
| 304-10  | 114,3972          | 113,5341               | 0,8631           | 108,8398  | 1117,2000          | 0,7726                  | 0,00348                          | 0,3023                        |         |
| Σ   | 575,9561          | 571,6428               | 4,3133           | 543,9218  |                    | 3,8608                  | 0,01739                          | 1,5109                        |         |
| Promedio  | 115,1912          | 114,3286               | 0,8627           | 108,7844  |                    | 0,7722                  | 0,00348                          | 0,3022                        |         |
| Promedio del volumen: 108,7844 mm³<br>Desviación estándar S: 1,6807<br>Coeficiente de variación V: 1,5449   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |                               |         |


**Tabla 37:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304-desplazamiento 1657,6 m, con disco de dureza Shore A70  $\pm 2,0$ .

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                          |   |                      |                         |                                  |  |
|---|-------------------|------------------------|--------------------------|---|----------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 1675,6 M  |                   |                        |                          |   |                      |                         |                                  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                          |   |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 $\pm 2,0$ .        |                          | Cantidad de agua  | 0,940 kg             | Fuerza Aplicada         | 222 N                            |  |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                          | Cantidad de arena   | 1,50 kg              | RPM                     | 350 $\pm 5$                      |  |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                          | Ancho de la rueda   | 12,3 mm- ½ in        | Moto reductor           | 1 hp                             |  |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )  | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 304-6   | 115,4763          | 114,2010               | 1,2753                   | 160,8197  | 1675,8000            | 0,7610                  | 0,00343                          | 0,2978                                     |
| 304-7   | 115,0721          | 113,7615               | 1,3106                   | 165,2711  | 1675,8000            | 0,7821                  | 0,00352                          | 0,3061                                     |
| 304-8   | 115,4980          | 114,2179               | 1,2801                   | 161,4250  | 1675,8000            | 0,7639                  | 0,00344                          | 0,2989                                     |
| 304-9   | 115,5125          | 114,2279               | 1,2846                   | 161,9924  | 1675,8000            | 0,7666                  | 0,00345                          | 0,3000                                     |
| 304-10  | 114,3972          | 113,1035               | 1,2937                   | 163,1400  | 1675,8000            | 0,7720                  | 0,00348                          | 0,3021                                     |
| $\Sigma$  | 575,9561          | 569,5118               | 6,4443                   | 812,6482  |                      | 3,8455                  | 0,01732                          | 1,5049                                     |
| Promedio  | 115,1912          | 113,9024               | 1,2889                   | 162,5296  |                      | 0,7691                  | 0,00346                          | 0,3010                                     |
| Promedio del volumen: 162,5296 mm <sup>3</sup><br>Deviación estándar S: 1,91377<br>Coeficiente de variación V: 1,1774   |                   |                        |                          | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                         |                                  |  |

**Tabla 38:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuosos en el acero inoxidable 304-desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A70  $\pm 2,0$ .

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                          |   |                      |                         |                                  |  |             |
|---|-------------------|------------------------|--------------------------|---|----------------------|-------------------------|----------------------------------|--|-------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 2234,4 M  |                   |                        |                          |   |                      |                         |                                  |  |             |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                          |   |                      |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                                  |             |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 $\pm 2,0$ .        |                          | Cantidad de agua  |                      | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada                            | 222 N       |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                          | Cantidad de arena   |                      | 1,50 kg                 |                                  | RPM  | 350 $\pm 5$ |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                          | Ancho de la rueda   |                      | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                              | 1 hp        |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )  | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |             |
| 304-6   | 115,4763          | 113,7785               | 1,6978                   | 214,0984  | 2234,4000            | 0,7598                  | 0,00342                          | 0,2974                                     |             |
| 304-7   | 115,0721          | 113,3106               | 1,7615                   | 222,1311  | 2234,4000            | 0,7884                  | 0,00355                          | 0,3085                                     |             |
| 304-8   | 115,4980          | 113,7992               | 1,6988                   | 214,2245  | 2234,4000            | 0,7603                  | 0,00342                          | 0,2975                                     |             |
| 304-9   | 115,5125          | 113,7727               | 1,7398                   | 219,3947  | 2234,4000            | 0,7786                  | 0,00351                          | 0,3047                                     |             |
| 304-10  | 114,3972          | 112,6582               | 1,7390                   | 219,2938  | 2234,4000            | 0,7783                  | 0,00351                          | 0,3046                                     |             |
| $\Sigma$  | 575,9561          | 567,3192               | 8,6369                   | 1089,1425   |                      | 3,8654                  | 0,01741                          | 1,5127                                     |             |
| Promedio  | 115,1912          | 113,4638               | 1,7274                   | 217,8285  |                      | 0,7731                  | 0,00348                          | 0,3025                                     |             |
| Promedio del volumen: 217,8285 mm <sup>3</sup><br>Deviación estándar S : 3,4535<br>Coeficiente de variación V: 0,0159   |                   |                        |                          | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                         |                                  |  |             |

**Tabla 39:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 304-desplazamiento 2793,6 m, con disco de dureza Shore A70  $\pm 2,0$ .

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 304 -DESPLAZAMIENTO 2793 M  |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                                    |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 $\pm 2,0$ .        |   | Cantidad de agua                   | 0,940 kg             |                         | Fuerza Aplicada                  | 222 N                                      |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena                  | 1,50 kg              |                         | RPM                              | 350 $\pm 5$                                |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda                  | 12,3 mm- ½ in        |                         | Moto reductor                    | 1 hp                                       |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 304-6   | 115,4763          | 113,3451               | 2,1312  | 268,7516                           | 2793,0000            | 0,7631                  | 0,00344                          | 0,2986                                     |
| 304-7   | 115,0721          | 112,8520               | 2,2201  | 279,9622                           | 2793,0000            | 0,7949                  | 0,00358                          | 0,3111                                     |
| 304-8   | 115,4980          | 113,3759               | 2,1221  | 267,6040                           | 2793,0000            | 0,7598                  | 0,00342                          | 0,2973                                     |
| 304-9   | 115,5125          | 113,3021               | 2,2104  | 278,7390                           | 2793,0000            | 0,7914                  | 0,00356                          | 0,3097                                     |
| 304-10  | 114,3972          | 112,1905               | 2,2067  | 278,2724                           | 2793,0000            | 0,7901                  | 0,00356                          | 0,3092                                     |
| $\Sigma$  | 575,9561          | 565,0656               | 10,8905   | 1373,3291                          |                      | 3,8992                  | 0,01756                          | 1,5259                                     |
| Promedio  | 115,1912          | 113,0131               | 2,1781  | 274,6658                           |                      | 0,7798                  | 0,00351                          | 0,3052                                     |
| Promedio del volumen: 274,6658 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S : 5,3130<br>Coeficiente de variación V: 0,0193  |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                      |                         |                                  |  |



**3.2.8. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 316 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.**

**Tabla 40:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-1 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                       |   |                                  |                               |
|---|---------------------------------|---|-----------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                       |   |                                  |                               |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM | Fecha   | 28/11/2023            |   |                                  |                               |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    | Tipo de estudio   | Experimental          |   |                                  |                               |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                       |   |                                  |                               |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                       |   |                                  |                               |
| Acero Inoxidable AISI 316   | Comercial                       | Velocidad del disco   | 350 ± 5 rpm           |   |                                  |                               |
| Medio de enfriamiento   | -----                           | Dureza del disco  | A50 ± 2,0.            |   |                                  |                               |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          | Fuerza aplicada en la probeta y disco   | 222 N                 |   |                                  |                               |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   | Tamaño de grano de arena Sílica   | 230/270 µm            |   |                                  |                               |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   | Cantidad de arena   | 1,5 kg                |   |                                  |                               |
| Espesor   | 10 mm                           | Cantidad de agua  | 0,940 kg              |   |                                  |                               |
| Peso inicial de la probeta  | 117,8020                        |   |                       |   |                                  |                               |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                       |   |                                  |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm³) | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 117,6358                        | 0,1662  | 20,8271               | 0,2975  | 0,00134                          | 0,1157                        |
| 1117,2  | 117,4657                        | 0,3363  | 42,1429               | 0,3010  | 0,00136                          | 0,1171                        |
| 1675,8  | 117,2946                        | 0,5074  | 63,5840               | 0,3028  | 0,00136                          | 0,1177                        |
| 2234,4  | 117,1278                        | 0,6742  | 84,4862               | 0,3017  | 0,00136                          | 0,1173                        |
| 2793  | 116,9692                        | 0,8328  | 104,3609              | 0,2982  | 0,00134                          | 0,1160                        |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm³</b>  |                                 |   |                       | <b>PROBETA</b>  |                                  |                               |
|   |                                 |   |                       |  |                                  |                               |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b> | Ing. H. Vaca, Mg.   |                                  |                               |
| Observaciones   |                                 |   |                       |   |                                  |                               |

**Tabla 41:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-2 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |  |                                    |   |                                  |   |
|---|---------------------------------|--|------------------------------------|---|----------------------------------|---|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |  |                                    |   |                                  |   |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>                                 | 28/11/2023                         |   |                                  |   |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>                       | Experimental                       |   |                                  |   |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |  |                                    |   |                                  |   |
| Características de la probeta   |                                 |  | Características de la máquina      |   |                                  |   |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>                   | 350 ± 5 rpm                        |   |                                  |   |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>                      | A50 ± 2,0.                         |   |                                  |   |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b> | 222 N                              |   |                                  |   |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>       | 230/270 µm                         |   |                                  |   |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>                     | 1,5 kg                             |   |                                  |   |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>                      | 0,940 kg                           |   |                                  |   |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 117,9484                        |  |                                    |   |                                  |   |
| RESULTADOS  |                                 |  |                                    |   |                                  |   |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)                                      | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad dedesgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 117,7866                        | 0,1618                                       | 20,2757                            | 0,2897  | 0,00130                          | 0,1126                                    |
| 1117,2  | 117,6282                        | 0,3202                                       | 40,1253                            | 0,2866  | 0,00129                          | 0,1115                                    |
| 1675,8  | 117,4677                        | 0,4807                                       | 60,2381                            | 0,2869  | 0,00129                          | 0,1116                                    |
| 2234,4  | 117,3089                        | 0,6395                                       | 80,1378                            | 0,2862  | 0,00129                          | 0,1113                                    |
| 2793  | 117,1498                        | 0,7986                                       | 100,0752                           | 0,2859  | 0,00129                          | 0,1112                                    |
| VOLUMEN PERDIDO mm <sup>3</sup>   |                                 |  |                                    | PROBETA   |                                  |   |
|   |                                 |  |                                    |  |                                  |   |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |  | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.   |                                  |   |
| Observaciones   |                                 |  |                                    |   |                                  |   |


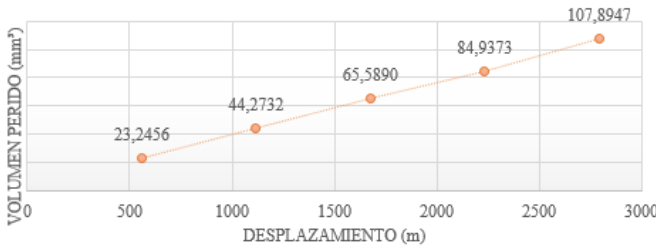
**Tabla 42:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-3 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
|---|---------------------------------|---------|---------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM |         | Fecha                                 | 28/11/2023  |                                  |                               |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    |         | Tipo de estudio                       | Experimental  |                                  |                               |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina         |   |                                  |                               |
| Acero Inoxidable AISI 316   | Comercial                       |         | Velocidad del disco                   | 350 ± 5 rpm   |                                  |                               |
| Medio de enfriamiento   | -----                           |         | Dureza del disco                      | A50 ± 2,0.  |                                  |                               |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          |         | Fuerza aplicada en la probeta y disco | 222 N   |                                  |                               |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | Tamaño de grano de arena Sílica       | 230/270 µm  |                                  |                               |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | Cantidad de arena                     | 1,5 kg  |                                  |                               |
| Espesor   | 10 mm                           |         | Cantidad de agua                      | 0,940 kg  |                                  |                               |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 119,4716                        |         |                                       |   |                                  |                               |
| RESULTADOS  |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)                 | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 119,3092                        | 0,1624  | 20,3509                               | 0,2907  | 0,00131                          | 0,1131                        |
| 1117,2  | 119,1366                        | 0,335   | 41,9799                               | 0,2999  | 0,00135                          | 0,1166                        |
| 1675,8  | 118,9752                        | 0,4964  | 62,2055                               | 0,2963  | 0,00133                          | 0,1152                        |
| 2234,4  | 118,8194                        | 0,6522  | 81,7293                               | 0,2919  | 0,00131                          | 0,1135                        |
| 2793  | 118,6721                        | 0,7995  | 100,1880                              | 0,2863  | 0,00129                          | 0,1113                        |
| VOLUMEN PERDIDO mm³   |                                 |         |                                       | PROBETA   |                                  |                               |
|   |                                 |         |                                       |  |                                  |                               |
| Elaborado por :   | Cristina Barragán M.            |         | Revisado por :                        | Ing. H. Vaca, Mg.   |                                  |                               |
| Observaciones:  |                                 |         |                                       |   |                                  |                               |



**Tabla 43:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-4 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |   |                         |                                 |  |
|---|---------------------------------|---|---|-------------------------|---------------------------------|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |   |                         |                                 |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023  |                         |                                 |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental  |                         |                                 |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |   |                         |                                 |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |   |                         |                                 |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm   |                         |                                 |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A50 ± 2,0.  |                         |                                 |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N   |                         |                                 |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm  |                         |                                 |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg  |                         |                                 |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg  |                         |                                 |  |
| <b>Peso inicial de la probeta</b>   | 118,2856                        |   |   |                         |                                 |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |   |                         |                                 |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )  | Tasa de desgaste (gr/m) | Coeficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 118,1055                        | 0,1801  | 22,5689   | 0,3224                  | 0,00145                         | 0,1254                                     |
| 1117,2  | 117,9396                        | 0,3460  | 43,3584   | 0,3097                  | 0,00140                         | 0,1204                                     |
| 1675,8  | 117,7691                        | 0,5165  | 64,7243   | 0,3082                  | 0,00139                         | 0,1199                                     |
| 2234,4  | 117,5945                        | 0,6911  | 86,6040   | 0,3093                  | 0,00139                         | 0,1203                                     |
| 2793  | 117,4294                        | 0,8562  | 107,2932  | 0,3066                  | 0,00138                         | 0,1192                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   | <b>PROBETA</b>  |                         |                                 |  |
|   |                                 |   |  |                         |                                 |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>   | Ing. H. Vaca, Mg.       |                                 |  |
| Observaciones   |                                 |   |   |                         |                                 |  |



**Tabla 44:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-5 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  |                                 | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA   |                                      | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |   |  |
|--|---------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|---|--|
|     |                                 |  |                                      |                                |   |  |
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |                                 |   |                                      |                                |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>   | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                           |                                |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>  | ASTM G105-20                    | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                         |                                |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>                                     |                                 |   |                                      |                                |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>   |                                 |   | <b>Características de la máquina</b> |                                |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>   | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                          |                                |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>   | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A50 ± 2,0.                           |                                |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>  | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                                |                                |   |  |
| <b>Ancho</b>   | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                           |                                |   |  |
| <b>Largo</b>   | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                               |                                |   |  |
| <b>Espesor</b>   | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                             |                                |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta</b>  | 119,6617                        |   |                                      |                                |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>  |                                 |   |                                      |                                |   |  |
| Despl L (m)  | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )   | Tasa de desgaste (gr/m)        | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6  | 119,4762                        | 0,1855  | 23,2456                              | 0,3321                         | 0,00150   | 0,1291                                     |
| 1117,2   | 119,3084                        | 0,3533  | 44,2732                              | 0,3162                         | 0,00142   | 0,1230                                     |
| 1675,8   | 119,1383                        | 0,5234  | 65,5890                              | 0,3124                         | 0,00141   | 0,1215                                     |
| 2234,4   | 118,9839                        | 0,6778  | 84,9373                              | 0,3033                         | 0,00137   | 0,1180                                     |
| 2793   | 118,8007                        | 0,861   | 107,8947                             | 0,3083                         | 0,00139   | 0,1199                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>  |                                 |   |                                      |                                | <b>PROBETA</b>  |  |
|  |                                 |   |                                      |                                |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>   | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>                | Ing. H. Vaca, Mg.              |   |  |
| Observaciones  |                                 |   |                                      |                                |   |  |

**Tabla 45:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A50  $\pm 2,0$ .

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |             |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|--|-------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316 -DESPLAZAMIENTO 558,6 M   |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |             |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                                    |                      |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                                  |             |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 $\pm 2,0$ .        |   | Cantidad de agua                   |                      | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada                            | 222 N       |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena                  |                      | 1,50 kg                 |                                  | RPM  | 350 $\pm 5$ |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda                  |                      | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                              | 1 hp        |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |             |
| 316-1   | 117,8020          | 117,6358               | 0,1662  | 20,8271                            | 558,6                | 0,2975                  | 0,00134                          | 0,1157                                     |             |
| 316-2   | 117,9484          | 117,7866               | 0,1618  | 20,2757                            | 558,6                | 0,2897                  | 0,00130                          | 0,1126                                     |             |
| 316-3   | 119,4716          | 119,3092               | 0,1624  | 20,3509                            | 558,6                | 0,2907                  | 0,00131                          | 0,1131                                     |             |
| 316-4   | 118,2856          | 118,1055               | 0,1801  | 22,5689                            | 558,6                | 0,3224                  | 0,00145                          | 0,1254                                     |             |
| 316-5   | 119,6617          | 119,4762               | 0,1855  | 23,2456                            | 558,6                | 0,3321                  | 0,00150                          | 0,1291                                     |             |
| $\Sigma$  | 593,1693          | 592,3133               | 0,8560  | 107,2682                           |                      | 1,5324                  | 0,00690                          | 0,5959                                     |             |
| Promedio  | 118,6339          | 118,4627               | 0,1712  | 21,4536                            |                      | 0,3065                  | 0,00138                          | 0,1192                                     |             |
| Promedio del volumen: 21,4536 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S :1,2768<br>Coeficiente de variación V: 5,9516  |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                      |                         |                                  |  |             |

**Tabla 46:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.



|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                      |                          |                                   |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316-DESPLAZAMIENTO 1117,2 M   |                   |                        |                  |   |                      |                          |                                   |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                      |                          | Tiempo de exposición              | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                      | 0,940 kg                 |                                   | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                      | 1,50 kg                  |                                   | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                      | 12,3 mm- ½ in            |                                   | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (mgr/m) | Coefficiente de desgaste (mgr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 316-1   | 117,8020          | 117,4657               | 0,3363           | 42,1429   | 1117,2               | 0,3010                   | 0,00136                           | 0,1171                        |         |
| 316-2   | 117,9484          | 117,6282               | 0,3202           | 40,1253   | 1117,2               | 0,2866                   | 0,00129                           | 0,1115                        |         |
| 316-3   | 119,4716          | 119,1366               | 0,3350           | 41,9799   | 1117,2               | 0,2999                   | 0,00135                           | 0,1166                        |         |
| 316-4   | 118,2856          | 117,9396               | 0,3460           | 43,3584   | 1117,2               | 0,3097                   | 0,00140                           | 0,1204                        |         |
| 316-5   | 119,6617          | 119,3084               | 0,3533           | 44,2732   | 1117,2               | 0,3162                   | 0,00142                           | 0,1230                        |         |
| Σ   | 593,1693          | 591,4785               | 1,6908           | 211,8797  |                      | 1,5134                   | 0,00682                           | 0,5886                        |         |
| Promedio  | 118,6339          | 118,2957               | 0,3382           | 42,3759   |                      | 0,3027                   | 0,00136                           | 0,1177                        |         |
| Promedio del volumen: 42,3759 mm³<br>Desviación estándar S : 1,7833<br>Coeficiente de variación V: 4,2082   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                          |                                   |                               |         |

**Tabla 47:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                       |                      |                         |                                  |                               |
|---|-------------------|------------------------|---|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316-DESPLAZAMIENTO 1675,6 M   |                   |                        |   |                       |                      |                         |                                  |                               |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                       |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |                               |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |   | Cantidad de agua      | 0,940 kg             | Fuerza Aplicada         | 222 N                            |                               |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena     | 1,50 kg              | RPM                     | 350 ± 5                          |                               |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda     | 12,3 mm- ½ in        | Moto reductor           | 1 hp                             |                               |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 316-1   | 117,8020          | 117,2946               | 0,5074  | 63,5840               | 1675,6               | 0,3028                  | 0,00136                          | 0,1177                        |
| 316-2   | 117,9484          | 117,4677               | 0,4807  | 60,2381               | 1675,6               | 0,2869                  | 0,00129                          | 0,1116                        |
| 316-3   | 119,4716          | 118,9752               | 0,4964  | 62,2055               | 1675,6               | 0,2963                  | 0,00133                          | 0,1152                        |
| 316-4   | 118,2856          | 117,7691               | 0,5165  | 64,7243               | 1675,6               | 0,3082                  | 0,00139                          | 0,1199                        |
| 316-5   | 119,6617          | 119,1383               | 0,5234  | 65,5890               | 1675,6               | 0,3124                  | 0,00141                          | 0,1215                        |
| Σ   | 593,1693          | 590,6449               | 2,5244  | 316,3409              |                      | 1,5066                  | 0,00679                          | 0,5858                        |
| Promedio  | 118,6339          | 118,1290               | 0,5049  | 63,2682               |                      | 0,3013                  | 0,00136                          | 0,1172                        |
| Promedio del volumen: 63,2682 mm³<br>Deviación estándar S : 1,7833<br>Coeficiente de variación V: 4,2082  |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                       |                      |                         |                                  |                               |



**Tabla 48:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316-DESPLAZAMIENTO 2234,4 M   |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                      |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                      | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                      | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                      | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 316-1   | 117,8020          | 117,1278               | 0,6742           | 84,4862   | 2234,4               | 0,3017                  | 0,00136                          | 0,1173                        |         |
| 316-2   | 117,9484          | 117,3089               | 0,6395           | 80,1378   | 2234,4               | 0,2862                  | 0,00129                          | 0,1113                        |         |
| 316-3   | 119,4716          | 118,8194               | 0,6522           | 81,7293   | 2234,4               | 0,2919                  | 0,00131                          | 0,1135                        |         |
| 316-4   | 118,2856          | 117,5945               | 0,6911           | 86,6040   | 2234,4               | 0,3093                  | 0,00139                          | 0,1203                        |         |
| 316-5   | 119,6617          | 118,9839               | 0,6778           | 84,9373   | 2234,4               | 0,3033                  | 0,00137                          | 0,1180                        |         |
| Σ   | 593,1693          | 589,8345               | 3,3348           | 417,8947  |                      | 1,4925                  | 0,00672                          | 0,5804                        |         |
| Promedio  | 118,6339          | 117,9669               | 0,6670           | 83,5789   |                      | 0,2985                  | 0,00134                          | 0,1161                        |         |
| Promedio del volumen: 83,5789 mm³<br>Desviación estándar S : 2,7800 mm³<br>Coeficiente de variación V:3,35261   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 49:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316 -desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A50  $\pm$  2,0.



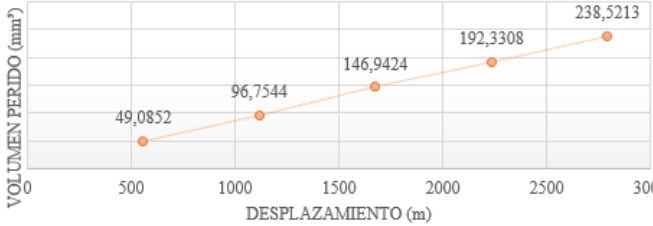

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316 -DESPLAZAMIENTO 2793 M  |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                                    |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 $\pm$ 2,0.         |   | Cantidad de agua                   | 0,940 kg             | Fuerza Aplicada         | 222 N                            |  |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena                  | 1,50 kg              | RPM                     | 350 $\pm$ 5                      |  |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda                  | 12,3 mm- ½ in        | Moto reductor           | 1 hp                             |  |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 316-1   | 117,4020          | 116,3170               | 1,0850  | 135,9649                           | 2793                 | 0,3885                  | 0,00175                          | 0,7554                                     |
| 316-2   | 117,6484          | 116,5701               | 1,0783  | 135,1253                           | 2793                 | 0,3861                  | 0,00174                          | 0,7507                                     |
| 316-3   | 119,0716          | 118,0110               | 1,0606  | 132,9073                           | 2793                 | 0,3797                  | 0,00171                          | 0,7384                                     |
| 316-4   | 117,9856          | 116,8882               | 1,0974  | 137,5188                           | 2793                 | 0,3929                  | 0,00177                          | 0,7640                                     |
| 316-5   | 119,0617          | 118,0006               | 1,0611  | 132,9699                           | 2793                 | 0,3799                  | 0,00171                          | 0,7387                                     |
| $\Sigma$  | 591,1693          | 585,7869               | 5,3824  | 674,4862                           |                      | 1,9271                  | 0,00868                          | 3,7471                                     |
| Promedio  | 118,2339          | 117,1574               | 1,0765  | 134,8972                           |                      | 0,3854                  | 0,00174                          | 0,7494                                     |
| Promedio del volumen: 134,8972 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S :1,9826<br>Coeficiente de variación V: 1,4697   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                      |                         |                                  |  |

**3.2.9. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 316 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.**

**Tabla 50:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-6 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |   |                                 |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |   |                                 |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |   |                                 |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de ensayo</b>   | Experimental                       |   |                                 |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |   |                                 |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |   |                                 |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |   |                                 |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                         |   |                                 |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |   |                                 |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 μm                         |   |                                 |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |   |                                 |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |   |                                 |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 117,8099                        |   |                                    |   |                                 |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |   |                                 |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coeficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 117,4337                        | 0,3762  | 47,1429                            | 0,67347   | 0,00303                         | 0,2619                                     |
| 1117,2  | 117,0320                        | 0,7779  | 97,4812                            | 0,69629   | 0,00314                         | 0,2708                                     |
| 1675,8  | 116,6439                        | 1,1660  | 146,1153                           | 0,69587   | 0,00313                         | 0,2706                                     |
| 2234,4  | 116,2374                        | 1,5725  | 197,0551                           | 0,70377   | 0,00317                         | 0,2737                                     |
| 2793  | 115,8431                        | 1,9668  | 246,4662                           | 0,70419   | 0,00317                         | 0,2739                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    | <b>PROBETA</b>  |                                 |  |
|   |                                 |   |                                    |  |                                 |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.   |                                 |  |
| Observaciones   |                                 |   |                                    |   |                                 |  |

**Tabla 51:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-7 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                              |                                |   |   |
|---|---------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|---|---|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                              |                                |   |   |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                   |                                |   |   |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de ensayo</b>   | Experimental                 |                                |   |   |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                              |                                |   |   |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                              |                                |   |   |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                  |                                |   |   |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                   |                                |   |   |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                        |                                |   |   |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                   |                                |   |   |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                       |                                |   |   |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                     |                                |   |   |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 119,0538                        |   |                              |                                |   |   |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                              |                                |   |   |
| <b>Despl L (m)</b>  | <b>Pérdida de peso</b>          | <b>ΔP (gr)</b>  | <b>Volumen perdido (mm³)</b> | <b>Tasa de desgaste (gr/m)</b> | <b>Coefficiente de desgaste (gr/mN)</b> | <b>Velocidad de desgaste (mm³/s)</b>  |
| 558,6   | 118,6621                        | 0,3917  | 49,0852                      | 0,7012                         | 0,00316                                 | 0,2727  |
| 1117,2  | 118,2817                        | 0,7721  | 96,7544                      | 0,6911                         | 0,00311                                 | 0,2688  |
| 1675,8  | 117,8812                        | 1,1726  | 146,9424                     | 0,6998                         | 0,00315                                 | 0,2721  |
| 2234,4  | 117,5190                        | 1,5348  | 192,3308                     | 0,6869                         | 0,00309                                 | 0,2671  |
| 2793  | 117,1504                        | 1,9034  | 238,5213                     | 0,6815                         | 0,00307                                 | 0,2650  |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm³</b>  |                                 |   |                              |                                |   | <b>PROBETA</b>  |
|   |                                 |   |                              |                                |   |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>        | Ing. H. Vaca, Mg.              |   |   |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                              |                                |   |   |

**Tabla 52:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-8 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |  |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---------|--|-------------------------|---|--|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |  |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM |         |  | <b>Fecha</b>            | 28/11/2023  |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             |         |  | <b>Tipo de ensayo</b>   | Experimental  |  |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |  |                         |   |  |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina                |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>  | Comercial                       |         | <b>Velocidad del disco</b>                   | 350 ± 5 rpm             |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           |         | <b>Dureza del disco</b>                      | A70 ± 2,0.              |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          |         | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b> | 222 N                   |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>       | 230/270 µm              |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | <b>Cantidad de arena</b>                     | 1,5 kg                  |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           |         | <b>Cantidad de agua</b>                      | 0,940 kg                |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 119,4269                        |         |  |                         |   |  |
| RESULTADOS  |                                 |         |  |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )           | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 119,0455                        | 0,3814  | 47,7945                                      | 0,6828                  | 0,00308   | 0,2655                                     |
| 1117,2  | 118,6609                        | 0,7660  | 95,9900                                      | 0,6856                  | 0,00309   | 0,2666                                     |
| 1675,8  | 118,2686                        | 1,1583  | 145,1504                                     | 0,6913                  | 0,00311   | 0,2688                                     |
| 2234,4  | 117,8708                        | 1,5561  | 195,0000                                     | 0,6964                  | 0,00314   | 0,2708                                     |
| 2793  | 117,5078                        | 1,9191  | 240,4887                                     | 0,6871                  | 0,00310   | 0,2672                                     |
| VOLUMEN PERDIDO mm <sup>3</sup>   |                                 |         |  |                         | PROBETA   |  |
|   |                                 |         |  |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |         |  | <b>Revisado por :</b>   | Ing. H. Vaca, Mg.   |  |
| Observaciones:  |                                 |         |  |                         |   |  |



**Tabla 53:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-9 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |  |                         |   |                               |
|---|---------------------------------|---------|--|-------------------------|---|-------------------------------|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |  |                         |   |                               |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM |         | <b>Fecha</b>                                 | 28/11/2023              |   |                               |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             |         | <b>Tipo de estudio</b>                       | Experimental            |   |                               |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |  |                         |   |                               |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina                |                         |   |                               |
| <b>Acero Inoxidable AISI 316</b>  | Comercial                       |         | <b>Velocidad del disco</b>                   | 350 ± 5 rpm             |   |                               |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           |         | <b>Dureza del disco</b>                      | A70 ± 2,0.              |   |                               |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          |         | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b> | 222 N                   |   |                               |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>       | 230/270 µm              |   |                               |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | <b>Cantidad de arena</b>                     | 1,5 kg                  |   |                               |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           |         | <b>Cantidad de agua</b>                      | 0,940 kg                |   |                               |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 119,7551                        |         |  |                         |   |                               |
| RESULTADOS  |                                 |         |  |                         |   |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)                        | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 119,3669                        | 0,3882  | 48,6466                                      | 0,6950                  | 0,00313   | 0,2703                        |
| 1117,2  | 118,9661                        | 0,7890  | 98,8722                                      | 0,7062                  | 0,00318   | 0,2746                        |
| 1675,8  | 118,5636                        | 1,1915  | 149,3108                                     | 0,7111                  | 0,00320   | 0,2765                        |
| 2234,4  | 118,1639                        | 1,5912  | 199,3985                                     | 0,7121                  | 0,00321   | 0,2769                        |
| 2793  | 117,7940                        | 1,9611  | 245,7519                                     | 0,7021                  | 0,00316   | 0,2731                        |
| VELOCIDAD DE DESGASTE mm³/s   |                                 |         |  |                         | PROBETA   |                               |
|   |                                 |         |  |                         |  |                               |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |         |  | <b>Revisado por :</b>   | Ing. H. Vaca, Mg.   |                               |
| <b>Observaciones</b>  |                                 |         |  |                         |   |                               |

**Tabla 54:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 316-10 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.



| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |                                       |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---------|---------------------------------------|-------------------------|---|--|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |                                       |                         |   |  |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM |         | Fecha                                 | 28/11/2023              |   |  |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    |         | Tipo de estudio                       | Experimental            |   |  |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |                                       |                         |   |  |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina         |                         |   |  |
| Acero Inoxidable AISI 316   | Comercial                       |         | Velocidad del disco                   | 350 ± 5 rpm             |   |  |
| Medio de enfriamiento   | -----                           |         | Dureza del disco                      | A70 ± 2,0.              |   |  |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          |         | Fuerza aplicada en la probeta y disco | 222 N                   |   |  |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | Tamaño de grano de arena Sílica       | 230/270 µm              |   |  |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | Cantidad de arena                     | 1,5 kg                  |   |  |
| Espesor   | 10 mm                           |         | Cantidad de agua                      | 0,940 kg                |   |  |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 116,7848                        |         |                                       |                         |   |  |
| RESULTADOS  |                                 |         |                                       |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )    | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 116,3791                        | 0,4057  | 50,8396                               | 0,7263                  | 0,00327   | 0,2824                                     |
| 1117,2  | 115,9773                        | 0,8075  | 101,1905                              | 0,7228                  | 0,00326   | 0,2811                                     |
| 1675,8  | 115,5849                        | 1,1999  | 150,3634                              | 0,7161                  | 0,00323   | 0,2785                                     |
| 2234,4  | 115,1831                        | 1,6017  | 200,7143                              | 0,7168                  | 0,00323   | 0,2788                                     |
| 2793  | 114,7942                        | 1,9906  | 249,4486                              | 0,7127                  | 0,00321   | 0,2772                                     |
| VOLUMEN PERIDO mm <sup>3</sup>  |                                 |         |                                       |                         | PROBETA   |  |
|   |                                 |         |                                       |                         |  |  |
| Elaborado por :   | Cristina Barragán M.            |         | Revisado por :                        | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| Observaciones   |                                 |         |                                       |                         |   |  |

**Tabla 55:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316 -desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316 -DESPLAZAMIENTO 558,6 M   |                   |                        |   |                                    |                      |                         |                                  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                                    |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 $\pm$ 2,0.         |   | Cantidad de agua                   | 0,940 kg             | Fuerza Aplicada         | 222 N                            |  |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena                  | 1,50 kg              | RPM                     | 350 $\pm$ 5                      |  |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda                  | 12,3 mm- ½ in        | Moto reductor           | 1 hp                             |  |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 316-6   | 117,8099          | 117,4337               | 0,3762  | 47,1429                            | 558,6                | 0,6735                  | 0,00303                          | 0,2619                                     |
| 316-7   | 119,0538          | 118,6621               | 0,3917  | 49,0852                            | 558,6                | 0,7012                  | 0,00316                          | 0,2727                                     |
| 316-8   | 119,4269          | 119,0455               | 0,3814  | 47,7945                            | 558,6                | 0,6828                  | 0,00308                          | 0,2655                                     |
| 316-9   | 119,7551          | 119,3669               | 0,3882  | 48,6466                            | 558,6                | 0,6950                  | 0,00313                          | 0,2703                                     |
| 316-10  | 116,7848          | 116,3791               | 0,4057  | 50,8396                            | 558,6                | 0,7263                  | 0,00327                          | 0,2824                                     |
| $\Sigma$  | 592,8305          | 590,8873               | 1,9432  | 243,5088                           |                      | 3,4787                  | 0,01567                          | 1,3528                                     |
| Promedio  | 118,5661          | 118,1775               | 0,3886  | 48,7018                            |                      | 0,6957                  | 0,00313                          | 0,2706                                     |
| Promedio del volumen: 48,7018 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S : 1,5893<br>Coeficiente de variación V: 3,2634   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                      |                         |                                  |  |





**Tabla 56:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316-DESPLAZAMIENTO 1117,2 M   |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |                               |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                      | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                      | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                      | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 316-6   | 117,8099          | 117,0320               | 0,7779           | 97,4812   | 1117,2               | 0,6963                  | 0,00314                          | 0,2708                        |         |
| 316-7   | 119,0538          | 118,2817               | 0,7721           | 96,7544   | 1117,2               | 0,6911                  | 0,00311                          | 0,2688                        |         |
| 316-8   | 119,4269          | 118,6609               | 0,7660           | 95,9900   | 1117,2               | 0,6856                  | 0,00309                          | 0,2666                        |         |
| 316-9   | 119,7551          | 118,9661               | 0,7890           | 98,8722   | 1117,2               | 0,7062                  | 0,00318                          | 0,2746                        |         |
| 316-10  | 116,7848          | 115,9773               | 0,8075           | 101,1905  | 1117,2               | 0,7228                  | 0,00326                          | 0,2811                        |         |
| Σ   | 592,8305          | 588,9180               | 3,9125           | 490,2882  |                      | 3,5021                  | 0,01578                          | 1,3619                        |         |
| Promedio  | 118,5661          | 117,7836               | 0,7825           | 98,0576   |                      | 0,7004                  | 0,00316                          | 0,2724                        |         |
| Promedio del volumen: 98,0576 mm³<br>Desviación estándar S : 2,2358<br>Coeficiente de variación V: 2,2801   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                         |                                  |                               |         |


**Tabla 57:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316-DESPLAZAMIENTO 1675,6 M   |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |                               |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  | 0,940 kg             |                         | Fuerza Aplicada                  | 222 N                         |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   | 1,50 kg              |                         | RPM                              | 350 ± 5                       |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   | 12,3 mm- ½ in        |                         | Moto reductor                    | 1 hp                          |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 316-6   | 117,8099          | 116,6439               | 1,1660           | 146,1153  | 1675,8               | 0,6958                  | 0,00313                          | 0,2706                        |
| 316-7   | 119,0538          | 117,8812               | 1,1726           | 146,9424  | 1675,8               | 0,6997                  | 0,00315                          | 0,2721                        |
| 316-8   | 119,4269          | 118,2686               | 1,1583           | 145,1504  | 1675,8               | 0,6912                  | 0,00311                          | 0,2688                        |
| 316-9   | 119,7551          | 118,5636               | 1,1915           | 149,3108  | 1675,8               | 0,7110                  | 0,00320                          | 0,2765                        |
| 316-10  | 116,7848          | 115,5849               | 1,1999           | 150,3634  | 1675,8               | 0,7160                  | 0,00323                          | 0,2785                        |
| Σ   | 592,8305          | 586,9422               | 5,8883           | 737,8822  |                      | 3,5137                  | 0,01583                          | 1,3664                        |
| Promedio  | 118,5661          | 117,3884               | 1,1777           | 147,5764  |                      | 0,7027                  | 0,00317                          | 0,2733                        |
| Promedio del volumen: 147,5764 mm³<br>Deviación estándar S : 2,2412<br>Coeficiente de variación V: 1,5187   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                         |                                  |                               |

**Tabla 58:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316-desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.



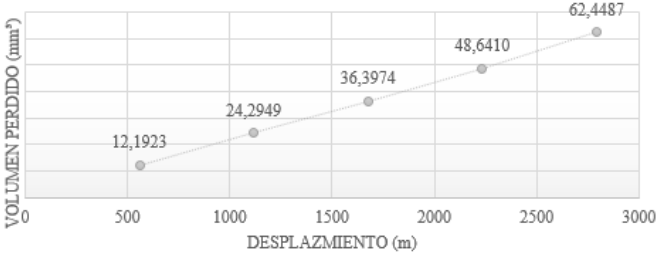

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |         |
|--|-------------------|------------------------|------------------|---|----------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316-DESPLAZAMIENTO 2234,4 M  |                   |                        |                  |   |                      |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20   |                   |                        |                  |   |                      | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |                               |         |
| Dureza del neopreno  |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                      | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                      | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda   |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                      | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas   | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento L (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 316-6  | 117,8099          | 116,2374               | 1,5725           | 197,0551  | 2234,4000            | 0,7038                  | 0,00317                          | 0,2737                        |         |
| 316-7  | 119,0538          | 117,5190               | 1,5348           | 192,3308  | 2234,4000            | 0,6869                  | 0,00309                          | 0,2671                        |         |
| 316-8  | 119,4269          | 117,8708               | 1,5561           | 195,0000  | 2234,4000            | 0,6964                  | 0,00314                          | 0,2708                        |         |
| 316-9  | 119,7551          | 118,1639               | 1,5912           | 199,3985  | 2234,4000            | 0,7121                  | 0,00321                          | 0,2769                        |         |
| 316-10   | 116,7848          | 115,1831               | 1,6017           | 200,7143  | 2234,4000            | 0,7168                  | 0,00323                          | 0,2788                        |         |
| Σ  | 592,8305          | 584,9742               | 7,8563           | 984,4987  |                      | 3,5161                  | 0,01584                          | 1,3674                        |         |
| Promedio   | 118,5661          | 116,9948               | 1,5713           | 196,8997  |                      | 0,7032                  | 0,00317                          | 0,2735                        |         |
| Promedio del volumen: 196,8997 mm³<br>Desviación estándar S : 3,6042<br>Coeficiente de variación V: 0,0183   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                      |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 59:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 316 -desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0.

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                          |   |                    |                         |                                  |  |
|--|-------------------|------------------------|--------------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 316 -DESPLAZAMIENTO 2793 M   |                   |                        |                          |   |                    |                         |                                  |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20   |                   |                        |                          |   |                    | Tiempo de exposición    | 3 minutos                        |  |
| Dureza del neopreno  |                   | A70 $\pm$ 2,0.         |                          | Cantidad de agua  | 0,940 kg           | Fuerza Aplicada         | 222 N                            |  |
| Tipo de abrasivo   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                          | Cantidad de arena   | 1,50 kg            | RPM                     | 350 $\pm$ 5                      |  |
| Diámetro de la rueda   |                   | 178 mm – 7 in          |                          | Ancho de la rueda   | 12,3 mm- ½ in      | Moto reductor           | 1 hp                             |  |
| Probetas   | Peso inicial (gr) | Peso I (gr)            | Desgaste $\Delta$ P (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )  | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 316-6  | 117,8099          | 115,8431               | 1,9668                   | 246,4662  | 2793               | 0,7042                  | 0,00317                          | 0,2739                                     |
| 316-7  | 119,0538          | 117,1504               | 1,9034                   | 238,5213  | 2793               | 0,6815                  | 0,00307                          | 0,2650                                     |
| 316-8  | 119,4269          | 117,5078               | 1,9191                   | 240,4887  | 2793               | 0,6871                  | 0,00310                          | 0,2672                                     |
| 316-9  | 119,7551          | 117,7940               | 1,9611                   | 245,7519  | 2793               | 0,7021                  | 0,00316                          | 0,2731                                     |
| 316-10   | 116,7848          | 114,7942               | 1,9906                   | 249,4486  | 2793               | 0,7127                  | 0,00321                          | 0,2772                                     |
| $\Sigma$   | 592,8305          | 583,0895               | 9,7410                   | 1220,6767   |                    | 3,4876                  | 0,01571                          | 1,3563                                     |
| Promedio   | 118,5661          | 116,6179               | 1,9482                   | 244,1353  |                    | 0,6975                  | 0,00314                          | 0,2713                                     |
| Promedio del volumen: 244,1353 mm <sup>3</sup><br>Deviación estándar S : 4,6979<br>Coeficiente de variación V: 0,0192  |                   |                        |                          | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |  |

**3.2.10. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 420 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.**

**Tabla 60:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-1 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |                            |   |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |                            |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |                            |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | ASTM G105-20                    | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |                            |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |                            |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                            |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |                            |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A50 ± 2,0.                         |                            |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |                            |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |                            |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |                            |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |                            |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 117,5504                        |   |                                    |                            |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |                            |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (mgr/mN9) | Coeficiente de desgaste (mg/mN)   | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 117,4553                        | 0,0951  | 12,1923                            | 0,1702                     | 0,00077   | 0,0677                                     |
| 1117,2  | 117,3609                        | 0,1895  | 24,2949                            | 0,1696                     | 0,00076   | 0,0675                                     |
| 1675,8  | 117,2665                        | 0,2839  | 36,3974                            | 0,1694                     | 0,00076   | 0,0674                                     |
| 2234,4  | 117,171                         | 0,3794  | 48,6410                            | 0,1698                     | 0,00076   | 0,0676                                     |
| 2793  | 117,0633                        | 0,4871  | 62,4487                            | 0,1744                     | 0,00079   | 0,0694                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    |                            | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                    |                            |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.          |   |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                                    |                            |   |  |

**Tabla 61:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-2 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |                      |                                       |                         |   |                               |
|---|---------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------|---|-------------------------------|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |                      |                                       |                         |   |                               |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM |                      | Fecha                                 | 28/11/2023              |   |                               |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    |                      | Tipo de estudio                       | Experimental            |   |                               |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |                      |                                       |                         |   |                               |
| Características de la probeta   |                                 |                      | Características de la máquina         |                         |   |                               |
| Acero Inoxidable AISI 420   | Comercial                       |                      | Velocidad del disco                   | 350 ± 5 rpm             |   |                               |
| Medio de enfriamiento   | -----                           |                      | Dureza del disco                      | A50 ± 2,0.              |   |                               |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          |                      | Fuerza aplicada en la probeta y disco | 222 N                   |   |                               |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   |                      | Tamaño de grano de arena Sílica       | 230/270 µm              |   |                               |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   |                      | Cantidad de arena                     | 1,5 kg                  |   |                               |
| Espesor   | 10 mm                           |                      | Cantidad de agua                      | 0,940 kg                |   |                               |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 118,7058                        |                      |                                       |                         |   |                               |
| RESULTADOS  |                                 |                      |                                       |                         |   |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)              | Volumen perdido (mm³)                 | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 118,6067                        | 0,0991               | 12,7051                               | 0,1774                  | 0,00080   | 0,0706                        |
| 1117,2  | 118,5085                        | 0,1973               | 25,2949                               | 0,1766                  | 0,00080   | 0,0703                        |
| 1675,8  | 118,4094                        | 0,2964               | 38,0000                               | 0,1769                  | 0,00080   | 0,0704                        |
| 2234,4  | 118,3106                        | 0,3952               | 50,6667                               | 0,1769                  | 0,00080   | 0,0704                        |
| 2793  | 118,2157                        | 0,4901               | 62,8333                               | 0,1755                  | 0,00079   | 0,0698                        |
| VOLUMEN PERDIDO mm³   |                                 |                      |                                       |                         | PROBETA   |                               |
|   |                                 |                      |                                       |                         |  |                               |
| Elaborado por :   |                                 | Cristina Barragán M. |                                       | Revisado por :          |   | Ing. H. Vaca, Mg.             |
| Observaciones:  |                                 |                      |                                       |                         |   |                               |

**Tabla 62:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-3 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.



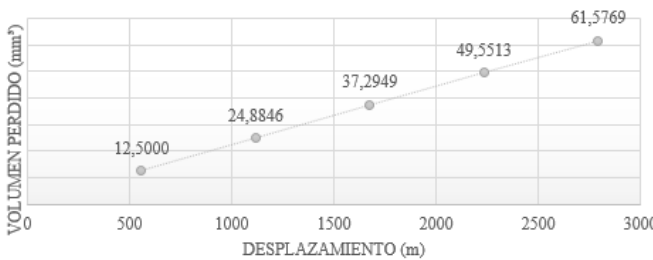

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                       |                         |   |                               |
|---|---------------------------------|---|-----------------------|-------------------------|---|-------------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                       |                         |   |                               |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM | Fecha   | 28/11/2023            |                         |   |                               |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    | Tipo de estudio   | Experimental          |                         |   |                               |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                       |                         |   |                               |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                       |                         |   |                               |
| Acero Inoxidable AISI 420   | Comercial                       | Velocidad del disco   | 350 ± 5 rpm           |                         |   |                               |
| Medio de enfriamiento   | -----                           | Dureza del disco  | A50 ± 2,0.            |                         |   |                               |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          | Fuerza aplicada en la probeta y disco   | 222 N                 |                         |   |                               |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   | Tamaño de grano de arena Sílica   | 230/270 µm            |                         |   |                               |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   | Cantidad de arena   | 1,5 kg                |                         |   |                               |
| Espesor   | 10 mm                           | Cantidad de agua  | 0,940 kg              |                         |   |                               |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 118,0465                        |   |                       |                         |   |                               |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                       |                         |   |                               |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm³) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 558,6   | 117,9508                        | 0,0957  | 12,269                | 0,1713                  | 0,00077   | 0,0682                        |
| 1117,2  | 117,8519                        | 0,1946  | 24,949                | 0,1742                  | 0,00078   | 0,0693                        |
| 1675,8  | 117,7544                        | 0,2921  | 37,449                | 0,1743                  | 0,00079   | 0,0693                        |
| 2234,4  | 117,6588                        | 0,3877  | 49,705                | 0,1735                  | 0,00078   | 0,0690                        |
| 2793  | 117,5642                        | 0,4823  | 61,833                | 0,1727                  | 0,00078   | 0,0687                        |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm³</b>  |                                 |   |                       |                         | <b>PROBETA</b>  |                               |
|   |                                 |   |                       |                         |  |                               |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b> | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |                               |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                       |                         |   |                               |

**Tabla 63:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-4 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                |  |                                    |                         |   |  |
|---|--------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales-FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |                         |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>            | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |                         |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                      | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |                         |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                          | <b>Dureza del disco</b>   | A50 ± 2,0.                         |                         |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                         | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |                         |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                  | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |                         |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                  | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |                         |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                          | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |                         |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta(gr)</b>   | 120,0527                       |   |                                    |                         |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                |   |                                    |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 119,9561                       | 0,0966  | 12,3846                            | 0,17293                 | 0,00078   | 0,0688                                     |
| 1117,2  | 119,8580                       | 0,1947  | 24,9615                            | 0,17427                 | 0,00079   | 0,0693                                     |
| 1675,8  | 119,7597                       | 0,293   | 37,5641                            | 0,17486                 | 0,00079   | 0,0696                                     |
| 2234,4  | 119,6599                       | 0,3928  | 50,3590                            | 0,17580                 | 0,00079   | 0,0699                                     |
| 2793  | 119,5607                       | 0,492   | 63,0769                            | 0,17615                 | 0,00079   | 0,0701                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                |   |                                    |                         | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                |   |                                    |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.           |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                |   |                                    |                         |   |  |



**Tabla 64:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-5 con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| Lugar de estudio y Análisis   | Laboratorio de Materiales- FICM | Fecha   | 28/11/2023                         |                         |   |  |
| Normas aplicadas  | ASTM G105-20                    | Tipo de estudio   | Experimental                       |                         |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                         |   |  |
| Acero Inoxidable AISI 420   | Comercial                       | Velocidad del disco   | 350 ± 5 rpm                        |                         |   |  |
| Medio de enfriamiento   | -----                           | Dureza del disco  | A50 ± 2,0.                         |                         |   |  |
| Temperatura ambiente  | 19,7°C                          | Fuerza aplicada en la probeta y disco   | 222 N                              |                         |   |  |
| Ancho   | 25,4 ± 0,8 mm                   | Tamaño de grano de arena Sílica   | 230/270 µm                         |                         |   |  |
| Largo   | 57,2 ± 0,8 mm                   | Cantidad de arena   | 1,5 kg                             |                         |   |  |
| Espesor   | 10 mm                           | Cantidad de agua  | 0,940 kg                           |                         |   |  |
| Peso inicial de la probeta (gr)   | 117,9034                        |   |                                    |                         |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coeficiente de desgaste (gr/mN)   | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 117,8059                        | 0,0975  | 12,5000                            | 0,1745                  | 0,00079   | 0,0694                                     |
| 1117,2  | 117,7093                        | 0,1941  | 24,8846                            | 0,1737                  | 0,00078   | 0,0691                                     |
| 1675,8  | 117,6125                        | 0,2909  | 37,2949                            | 0,1736                  | 0,00078   | 0,0691                                     |
| 2234,4  | 117,5169                        | 0,3865  | 49,5513                            | 0,1730                  | 0,00078   | 0,0688                                     |
| 2793  | 117,4231                        | 0,4803  | 61,5769                            | 0,1720                  | 0,00077   | 0,0684                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    |                         | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                    |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| Observaciones:  |                                 |   |                                    |                         |   |  |

**Tabla 65:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A50  $\pm$  2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                                    |                    |                         |                                  |  |             |
|---|-------------------|------------------------|---|------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|-------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 558,6 M   |                   |                        |   |                                    |                    |                         |                                  |  |             |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                                    |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                                  |             |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 $\pm$ 2,0.         |   | Cantidad de agua                   |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada                            | 222 N       |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena                  |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM  | 350 $\pm$ 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda                  |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                              | 1 hp        |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr)  | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |             |
| 420-1   | 117,5504          | 117,4553               | 0,0951  | 12,1923                            | 558,6              | 0,1702                  | 0,00077                          | 0,0677                                     |             |
| 420-2   | 118,7058          | 118,6067               | 0,0991  | 12,7051                            | 558,6              | 0,1774                  | 0,00080                          | 0,0706                                     |             |
| 420-3   | 118,0465          | 117,9508               | 0,0957  | 12,2692                            | 558,6              | 0,1713                  | 0,00077                          | 0,0682                                     |             |
| 420-4   | 120,0527          | 119,9561               | 0,0966  | 12,3846                            | 558,6              | 0,1729                  | 0,00078                          | 0,0688                                     |             |
| 420-5   | 117,9034          | 117,8059               | 0,0975  | 12,5000                            | 558,6              | 0,1745                  | 0,00079                          | 0,0694                                     |             |
| $\Sigma$  | 592,2588          | 591,7748               | 0,4840  | 62,0513                            |                    | 0,8665                  | 0,00390                          | 0,3447                                     |             |
| Promedio  | 118,4518          | 118,3550               | 0,0968  | 12,4103                            |                    | 0,1733                  | 0,00078                          | 0,0689                                     |             |
| Promedio del volumen: 12,1923 mm <sup>3</sup>   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                                    |                    |                         |                                  |  |             |
| Desviación estándar S : 0,2205  |                   |                        |   |                                    |                    |                         |                                  |  |             |
| Coeficiente de variación V: 1,7765  |                   |                        |   |                                    |                    |                         |                                  |  |             |


**Tabla 66:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |  |
|---|-------------------|------------------------|---|-----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 1117,2 M  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                       |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |   | Cantidad de agua      |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |  |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena     |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |  |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda     |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |  |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³) | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |  |
| 420-1   | 117,1504          | 116,8345               | 0,3159  | 40,5000               | 1117,2             | 0,2828                  | 0,00127                          | 0,2250                        |         |  |
| 420-2   | 118,3058          | 118,0208               | 0,2850  | 36,5385               | 1117,2             | 0,2551                  | 0,00115                          | 0,2030                        |         |  |
| 420-3   | 117,7465          | 117,4306               | 0,3159  | 40,5000               | 1117,2             | 0,2828                  | 0,00127                          | 0,2250                        |         |  |
| 420-4   | 119,6527          | 119,3478               | 0,3049  | 39,0897               | 1117,2             | 0,2729                  | 0,00123                          | 0,2172                        |         |  |
| 420-5   | 117,5038          | 117,2052               | 0,2986  | 38,2821               | 1117,2             | 0,2673                  | 0,00120                          | 0,2127                        |         |  |
| Σ   | 590,3592          | 588,8389               | 1,5203  | 194,9103              |                    | 1,3608                  | 0,00613                          | 1,0828                        |         |  |
| Promedio  | 118,0718          | 117,7678               | 0,3041  | 38,9821               |                    | 0,2722                  | 0,00123                          | 0,2166                        |         |  |
| Promedio del volumen: 38,9821 mm³   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                       |                    |                         |                                  |                               |         |  |
| Desviación estándar S : 1,7032  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |  |
| Coeficiente de variación V: 4,3691  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |  |

**Tabla 67:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |  |         |  |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|---------|--|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 1675,6 M  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |  |         |  |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |  |         |  |
| Dureza del neopreno   |                   | A50 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               |  | 222 N   |  |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           |  | 350 ± 5 |  |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 |  | 1 hp    |  |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |  |         |  |
| 420-1   | 117,5504          | 117,2665               | 0,2839           | 36,3974   | 1675,6             | 0,1694                  | 0,00076                          | 0,0674                        |  |         |  |
| 420-2   | 118,7058          | 118,4094               | 0,2964           | 38,0000   | 1675,6             | 0,1769                  | 0,00080                          | 0,0704                        |  |         |  |
| 420-3   | 118,0465          | 117,7544               | 0,2921           | 37,4487   | 1675,6             | 0,1743                  | 0,00079                          | 0,0693                        |  |         |  |
| 420-4   | 120,0527          | 119,7597               | 0,2930           | 37,5641   | 1675,6             | 0,1749                  | 0,00079                          | 0,0696                        |  |         |  |
| 420-5   | 117,9034          | 117,6125               | 0,2909           | 37,2949   | 1675,6             | 0,1736                  | 0,00078                          | 0,0691                        |  |         |  |
| Σ   | 592,2588          | 590,8025               | 1,4563           | 186,7051  |                    | 0,8691                  | 0,00391                          | 0,3458                        |  |         |  |
| Promedio  | 118,4518          | 118,1605               | 0,2913           | 37,3410   |                    | 0,1738                  | 0,00078                          | 0,0692                        |  |         |  |
| Promedio del volumen: 37, 3410 mm³<br>Desviación estándar S : 0,6890<br>Coeficiente de variación V: 1,8451  |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |                               |  |         |  |

**Tabla 68:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.



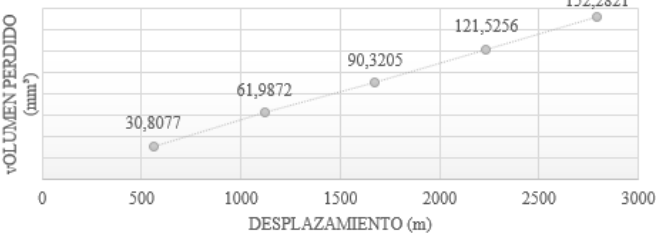

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 420-DESPLAZAMIENTO 2234,4 M   |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                | Fuerza Aplicada                  |                               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 | RPM                              |                               | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           | Moto reductor                    |                               | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 420-1   | 117,5504          | 117,1710               | 0,3794           | 48,6410   | 2234,4             | 0,1698                  | 0,00076                          | 0,0676                        |         |
| 420-2   | 118,7058          | 118,3106               | 0,3952           | 50,6667   | 2234,4             | 0,1769                  | 0,00080                          | 0,0704                        |         |
| 420-3   | 118,0465          | 117,6588               | 0,3877           | 49,7051   | 2234,4             | 0,1735                  | 0,00078                          | 0,0690                        |         |
| 420-4   | 120,0527          | 119,6599               | 0,3928           | 50,3590   | 2234,4             | 0,1758                  | 0,00079                          | 0,0699                        |         |
| 420-5   | 117,9034          | 117,5169               | 0,3865           | 49,5513   | 2234,4             | 0,1730                  | 0,00078                          | 0,0688                        |         |
| Σ   | 592,2588          | 590,3172               | 1,9416           | 248,9231  |                    | 0,8690                  | 0,00391                          | 0,3457                        |         |
| Promedio  | 118,4518          | 118,0634               | 0,3883           | 49,7846   |                    | 0,1738                  | 0,00078                          | 0,0691                        |         |
| Promedio del volumen: 49,7846 mm³<br>Desviación estándar S : 0,8709<br>Coeficiente de variación V: 1,7293   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 69:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.


|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |   |                       |                    |               |                         |                                 |                               |
|--|-------------------|------------------------|---|-----------------------|--------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 2793 M   |                   |                        |   |                       |                    |               |                         |                                 |                               |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20   |                   |                        |   |                       |                    |               | Tiempo de exposición    | 3 minutos                       |                               |
| Dureza del neopreno  |                   | A50 ± 2,0.             |   | Cantidad de agua      |                    | 0,940 kg      | Fuerza Aplicada         |                                 | 222 N                         |
| Tipo de abrasivo   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena     |                    | 1,50 kg       | RPM                     |                                 | 350 ± 5                       |
| Diámetro de la rueda   |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda     |                    | 12,3 mm- ½ in | Moto reductor           |                                 | 1 hp                          |
| Probetas   | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³) | Desplazamiento (m) | L             | Tasa de desgaste (gr/m) | Coeficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |
| 420-1  | 117,5504          | 117,0633               | 0,4871  | 62,4487               | 2793               |               | 0,1744                  | 0,00079                         | 0,0694                        |
| 420-2  | 118,7058          | 118,2157               | 0,4901  | 62,8333               | 2793               |               | 0,1755                  | 0,00079                         | 0,0698                        |
| 420-3  | 118,0465          | 117,5642               | 0,4823  | 61,8333               | 2793               |               | 0,1727                  | 0,00078                         | 0,0687                        |
| 420-4  | 120,0527          | 119,5607               | 0,4920  | 63,0769               | 2793               |               | 0,1762                  | 0,00079                         | 0,0701                        |
| 420-5  | 117,9034          | 117,4231               | 0,4803  | 61,5769               | 2793               |               | 0,1720                  | 0,00077                         | 0,0684                        |
| Σ  | 592,2588          | 589,8270               | 2,4318  | 311,7692              |                    |               | 0,8707                  | 0,00392                         | 0,3464                        |
| Promedio   | 118,4518          | 117,9654               | 0,4864  | 62,3538               |                    |               | 0,1741                  | 0,00078                         | 0,0693                        |
| Promedio del volumen: 62, 3538 mm³<br>Desviación estándar S : 0,6449<br>Coeficiente de variación V: 1,0342   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                       |                    |               |                         |                                 |                               |

**3.2.11. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en acero inoxidable 420 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.**

**Tabla 70:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-6 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.



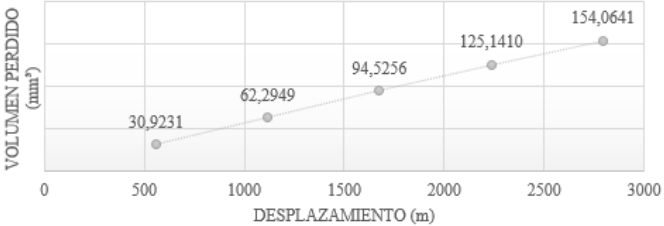

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                              |   |   |                                      |
|---|---------------------------------|---|------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                              |   |   |                                      |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                   |   |   |                                      |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                 |   |   |                                      |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                              |   |   |                                      |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                              |   |   |                                      |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                  |   |   |                                      |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                   |   |   |                                      |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                        |   |   |                                      |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                   |   |   |                                      |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                       |   |   |                                      |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                     |   |   |                                      |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 118,8517                        |   |                              |   |   |                                      |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                              |   |   |                                      |
| <b>Despl L (m)</b>  | <b>Pérdida de peso</b>          | <b>ΔP (gr)</b>  | <b>Volumen perdido (mm³)</b> | <b>Tasa de desgaste (gr/m)</b>  | <b>Coefficiente de desgaste (gr/mN)</b> | <b>Velocidad de desgaste (mm³/s)</b> |
| 558,6   | 118,6114                        | 0,2403  | 30,8077                      | 0,4302  | 0,00194                                 | 0,1712                               |
| 1117,2  | 118,3682                        | 0,4835  | 61,9872                      | 0,4328  | 0,00195                                 | 0,1722                               |
| 1675,8  | 118,1472                        | 0,7045  | 90,3205                      | 0,4204  | 0,00189                                 | 0,1673                               |
| 2234,4  | 117,9038                        | 0,9479  | 121,5256                     | 0,4242  | 0,00191                                 | 0,1688                               |
| 2793  | 117,6639                        | 1,1878  | 152,2821                     | 0,4253  | 0,00192                                 | 0,1692                               |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm³</b>  |                                 |   |                              | <b>PROBETA</b>  |   |                                      |
|   |                                 |   |                              |  |   |                                      |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>        | Ing. H. Vaca, Mg.   |   |                                      |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                              |   |   |                                      |

**Tabla 71:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-7 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.



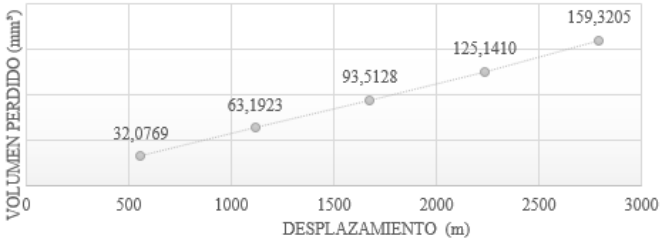

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |   |                                  |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|---|----------------------------------|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |   |                                  |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/23                           |   |                                  |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |   |                                  |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |   |                                  |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |   |                                  |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |   |                                  |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                         |   |                                  |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |   |                                  |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |   |                                  |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |   |                                  |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |   |                                  |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 119,8041                        |   |                                    |   |                                  |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |   |                                  |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 119,5694                        | 0,2347  | 30,0897                            | 0,4202  | 0,00189                          | 0,1672                                     |
| 1117,2  | 119,3283                        | 0,4758  | 61,0000                            | 0,4259  | 0,00192                          | 0,1694                                     |
| 1675,8  | 119,0856                        | 0,7185  | 92,1154                            | 0,4288  | 0,00193                          | 0,1706                                     |
| 2234,4  | 118,8445                        | 0,9596  | 123,0256                           | 0,4295  | 0,00193                          | 0,1709                                     |
| 2793  | 118,5944                        | 1,2097  | 155,0897                           | 0,4331  | 0,00195                          | 0,1723                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    | <b>PROBETA</b>  |                                  |  |
|   |                                 |   |                                    |  |                                  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.   |                                  |  |
| <b>Observaciones:</b>   |                                 |   |                                    |   |                                  |  |



**Tabla 72:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-8 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div> |                                 |         |  |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---------|--|-------------------------|---|--|
| DATOS INFORMATIVOS:   |                                 |         |  |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM |         |  | <b>Fecha</b>            | 28/11/2023  |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             |         |  | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental  |  |
| DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO   |                                 |         |  |                         |   |  |
| Características de la probeta   |                                 |         | Características de la máquina                |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                       |         | <b>Velocidad del disco</b>                   | 350 ± 5 rpm             |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           |         | <b>Dureza del disco</b>                      | A70 ± 2,0.              |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          |         | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b> | 222 N                   |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   |         | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>       | 230/270 µm              |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   |         | <b>Cantidad de arena</b>                     | 1,5 kg                  |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           |         | <b>Cantidad de agua</b>                      | 0,940 kg                |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 120,4078                        |         |  |                         |   |  |
| RESULTADOS  |                                 |         |  |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )           | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 120,1666                        | 0,2412  | 30,9231                                      | 0,4318                  | 0,00195   | 0,1718                                     |
| 1117,2  | 119,9219                        | 0,4859  | 62,2949                                      | 0,4349                  | 0,00196   | 0,1730                                     |
| 1675,8  | 119,6705                        | 0,7373  | 94,5256                                      | 0,4400                  | 0,00198   | 0,1750                                     |
| 2234,4  | 119,4317                        | 0,9761  | 125,1410                                     | 0,4369                  | 0,00197   | 0,1738                                     |
| 2793  | 119,2061                        | 1,2017  | 154,0641                                     | 0,4303                  | 0,00194   | 0,1712                                     |
| VOLUMEN PERDIDO mm <sup>3</sup>   |                                 |         |  |                         | PROBETA   |  |
|   |                                 |         |  |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |         |  | <b>Revisado por :</b>   | Ing. H. Vaca, Mg.   |  |
| Observaciones   |                                 |         |  |                         |   |  |


**Tabla 73:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-9 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |                         |   |  |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |                         |   |  |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |                         |   |  |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |                         |   |  |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |                         |   |  |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                         |                         |   |  |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |                         |   |  |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |                         |   |  |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |                         |   |  |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |                         |   |  |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 119,9440                        |   |                                    |                         |   |  |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |                         |   |  |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN)  | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 119,6938                        | 0,2502  | 32,0769                            | 0,4479                  | 0,00202   | 0,1782                                     |
| 1117,2  | 119,4511                        | 0,4929  | 63,1923                            | 0,4412                  | 0,00199   | 0,1755                                     |
| 1675,8  | 119,2146                        | 0,7294  | 93,5128                            | 0,4353                  | 0,00196   | 0,1732                                     |
| 2234,4  | 118,9679                        | 0,9761  | 125,1410                           | 0,4369                  | 0,00197   | 0,1738                                     |
| 2793  | 118,7013                        | 1,2427  | 159,3205                           | 0,4449                  | 0,00200   | 0,1770                                     |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    |                         | <b>PROBETA</b>  |  |
|   |                                 |   |                                    |                         |  |  |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            |   | <b>Revisado por :</b>              | Ing. H. Vaca, Mg.       |   |  |
| <b>Observaciones</b>  |                                 |   |                                    |                         |   |  |

**Tabla 74:** Ensayo de abrasión en medio acuoso, probeta 420-10 con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |                                 |  |                                    |   |                                |   |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------|---|--------------------------------|---|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |                                 |   |                                    |   |                                |   |
| <b>Lugar de estudio y Análisis</b>  | Laboratorio de Materiales- FICM | <b>Fecha</b>  | 28/11/2023                         |   |                                |   |
| <b>Normas aplicadas</b>   | <b>ASTM G105-20</b>             | <b>Tipo de estudio</b>  | Experimental                       |   |                                |   |
| <b>DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO</b>  |                                 |   |                                    |   |                                |   |
| <b>Características de la probeta</b>  |                                 | <b>Características de la máquina</b>  |                                    |   |                                |   |
| <b>Acero Inoxidable AISI 420</b>  | Comercial                       | <b>Velocidad del disco</b>  | 350 ± 5 rpm                        |   |                                |   |
| <b>Medio de enfriamiento</b>  | -----                           | <b>Dureza del disco</b>   | A70 ± 2,0.                         |   |                                |   |
| <b>Temperatura ambiente</b>   | 19,7°C                          | <b>Fuerza aplicada en la probeta y disco</b>  | 222 N                              |   |                                |   |
| <b>Ancho</b>  | 25,4 ± 0,8 mm                   | <b>Tamaño de grano de arena Sílica</b>  | 230/270 µm                         |   |                                |   |
| <b>Largo</b>  | 57,2 ± 0,8 mm                   | <b>Cantidad de arena</b>  | 1,5 kg                             |   |                                |   |
| <b>Espesor</b>  | 10 mm                           | <b>Cantidad de agua</b>   | 0,940 kg                           |   |                                |   |
| <b>Peso inicial de la probeta (gr)</b>  | 118,8244                        |   |                                    |   |                                |   |
| <b>RESULTADOS</b>   |                                 |   |                                    |   |                                |   |
| Despl L (m)   | Pérdida de peso                 | ΔP (gr)   | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> ) | Tasa de desgaste (gr/m)   | Coficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad dedesgaste (mm <sup>3</sup> /s) |
| 558,6   | 118,5893                        | 0,2351  | 30,1410                            | 0,4209  | 0,00190                        | 0,1675                                    |
| 1117,2  | 118,3416                        | 0,4828  | 61,8974                            | 0,4322  | 0,00195                        | 0,1719                                    |
| 1675,8  | 118,1073                        | 0,7171  | 91,9359                            | 0,4280  | 0,00193                        | 0,1703                                    |
| 2234,4  | 117,8615                        | 0,9629  | 123,4487                           | 0,4309  | 0,00194                        | 0,1715                                    |
| 2793  | 117,6205                        | 1,2039  | 154,3462                           | 0,4310  | 0,00194                        | 0,1715                                    |
| <b>VOLUMEN PERDIDO mm<sup>3</sup></b>   |                                 |   |                                    | <b>PROBETA</b>  |                                |   |
|   |                                 |   |                                    |  |                                |   |
| <b>Elaborado por :</b>  | Cristina Barragán M.            | <b>Revisado por :</b>   | Ing. H. Vaca, Mg.                  |   |                                |   |
| <b>Observaciones</b>  |                                 |   |                                    |   |                                |   |


**Tabla 75:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 558,6 m, con disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0.

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                          |   |                    |                         |                                  |  |             |
|--|-------------------|------------------------|--------------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|-------------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 558,6 M  |                   |                        |                          |   |                    |                         |                                  |  |             |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20   |                   |                        |                          |   |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                                  |             |
| Dureza del neopreno  |                   | A70 $\pm$ 2,0.         |                          | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                | Fuerza Aplicada                  |  | 222 N       |
| Tipo de abrasivo   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                          | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 | RPM                              |  | 350 $\pm$ 5 |
| Diámetro de la rueda   |                   | 178 mm – 7 in          |                          | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           | Moto reductor                    |  | 1 hp        |
| Probetas   | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste $\Delta P$ (gr) | Volumen perdido (mm <sup>3</sup> )  | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm <sup>3</sup> /s) |             |
| 420-6  | 118,8517          | 118,6114               | 0,2403                   | 30,8077   | 558,6              | 0,4302                  | 0,00194                          | 0,1712                                     |             |
| 420-7  | 119,8041          | 119,5694               | 0,2347                   | 30,0897   | 558,6              | 0,4202                  | 0,00189                          | 0,1672                                     |             |
| 420-8  | 120,4078          | 120,1666               | 0,2412                   | 30,9231   | 558,6              | 0,4318                  | 0,00195                          | 0,1718                                     |             |
| 420-9  | 119,9440          | 119,6938               | 0,2502                   | 32,0769   | 558,6              | 0,4479                  | 0,00202                          | 0,1782                                     |             |
| 420-10   | 118,8244          | 118,5893               | 0,2351                   | 30,1410   | 558,6              | 0,4209                  | 0,00190                          | 0,1675                                     |             |
| $\Sigma$   | 597,8320          | 596,6305               | 1,2015                   | 154,0385  |                    | 2,1509                  | 0,00969                          | 0,8558                                     |             |
| Promedio   | 119,5664          | 119,3261               | 0,2403                   | 30,8077   |                    | 0,4302                  | 0,00194                          | 0,1712                                     |             |
| Promedio del volumen: 30,8077 mm <sup>3</sup><br>Desviación estándar S : 0,8543<br>Coeficiente de variación V: 2,7731  |                   |                        |                          | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |  |             |


**Tabla 76:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 1117,2 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 1117,2 M  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |                  |   |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Motoreductor                  | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 420-6   | 118,8517          | 118,3682               | 0,4835           | 61,9872   | 1117,2             | 0,4328                  | 0,00195                          | 0,1722                        |         |
| 420-7   | 119,8041          | 119,3283               | 0,4758           | 61,0000   | 1117,2             | 0,4259                  | 0,00192                          | 0,1694                        |         |
| 420-8   | 120,4078          | 119,9219               | 0,4859           | 62,2949   | 1117,2             | 0,4349                  | 0,00196                          | 0,1730                        |         |
| 420-9   | 119,9440          | 119,4511               | 0,4929           | 63,1923   | 1117,2             | 0,4412                  | 0,00199                          | 0,1755                        |         |
| 420-10  | 118,8244          | 118,3416               | 0,4828           | 61,8974   | 1117,2             | 0,4322                  | 0,00195                          | 0,1719                        |         |
| Σ   | 597,8320          | 595,4111               | 2,4209           | 310,3718  |                    | 2,1669                  | 0,00976                          | 0,8621                        |         |
| Promedio  | 119,5664          | 119,0822               | 0,4842           | 62,0744   |                    | 0,4334                  | 0,00195                          | 0,1724                        |         |
| Promedio del volumen: 62,0744 mm³<br>Desviación estándar S : 0,9425<br>de variación V: 1,5184   |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |                               |         |


**Tabla 77:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 1675,6 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|---|-----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN MEDIO ACUOSO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 1675,6 M  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                       |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.0 ± 2,0.     |   | Cantidad de agua      |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena     |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda     |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³) | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 420-6   | 118,8517          | 118,1472               | 0,7045  | 90,3205               | 1675,8             | 0,4204                  | 0,00189                          | 0,1673                        |         |
| 420-7   | 119,8041          | 119,0856               | 0,7185  | 92,1154               | 1675,8             | 0,4288                  | 0,00193                          | 0,1706                        |         |
| 420-8   | 120,4078          | 119,6705               | 0,7373  | 94,5256               | 1675,8             | 0,4400                  | 0,00198                          | 0,1750                        |         |
| 420-9   | 119,9440          | 119,2146               | 0,7294  | 93,5128               | 1675,8             | 0,4353                  | 0,00196                          | 0,1732                        |         |
| 420-10  | 118,8244          | 118,1073               | 0,7171  | 91,9359               | 1675,8             | 0,4279                  | 0,00193                          | 0,1703                        |         |
| Σ   | 597,8320          | 594,2252               | 3,6068  | 462,4103              |                    | 2,1523                  | 0,00969                          | 0,8563                        |         |
| Promedio  | 119,5664          | 118,8450               | 0,7214  | 92,4821               |                    | 0,4305                  | 0,00194                          | 0,1713                        |         |
| Promedio del volumen: 92,4821 mm³<br>Desviación estándar S : 1,8079<br>Coeficiente de variación V: 1,9548   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                       |                    |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 78:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 2234,4 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
|--|-------------------|------------------------|------------------|---|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 420-DESPLAZAMIENTO 2234,4 M  |                   |                        |                  |   |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20   |                   |                        |                  |   |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno  |                   | A70 ± 2,0.             |                  | Cantidad de agua  |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo   |                   | Arena Silica AFS 50/70 |                  | Cantidad de arena   |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda   |                   | 178 mm – 7 in          |                  | Ancho de la rueda   |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas   | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr) | Volumen perdido (mm³)   | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 420-6  | 118,8517          | 117,9038               | 0,9479           | 121,5256  | 2234,4             | 0,4242                  | 0,00191                          | 0,1688                        |         |
| 420-7  | 119,8041          | 118,8445               | 0,9596           | 123,0256  | 2234,4             | 0,4295                  | 0,00193                          | 0,1709                        |         |
| 420-8  | 120,4078          | 119,4317               | 0,9761           | 125,1410  | 2234,4             | 0,4369                  | 0,00197                          | 0,1738                        |         |
| 420-9  | 119,9440          | 118,9679               | 0,9761           | 125,1410  | 2234,4             | 0,4369                  | 0,00197                          | 0,1738                        |         |
| 420-10   | 118,8244          | 117,8615               | 0,9629           | 123,4487  | 2234,4             | 0,4309                  | 0,00194                          | 0,1715                        |         |
| Σ  | 597,8320          | 593,0094               | 4,8226           | 618,2821  |                    | 2,1583                  | 0,00972                          | 0,8587                        |         |
| Promedio   | 119,5664          | 118,6019               | 0,9645           | 123,6564  |                    | 0,4317                  | 0,00194                          | 0,1717                        |         |
| Promedio del volumen: 123,6564 mm³<br>Desviación estándar S: 1,5543<br>Coeficiente de variación V: 0,0126  |                   |                        |                  | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                    |                         |                                  |                               |         |

**Tabla 79:** Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso en el acero inoxidable 420-desplazamiento 2793 m, con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

|  <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |
|---|-------------------|------------------------|---|-----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------|
| RESULTADOS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO EN EL ACERO INOXIDABLE 420 -DESPLAZAMIENTO 2793 M  |                   |                        |   |                       |                    |                         |                                  |                               |         |
| PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-20  |                   |                        |   |                       |                    |                         | Tiempo de exposición             | 3 minutos                     |         |
| Dureza del neopreno   |                   | A70 ± 2,0.             |   | Cantidad de agua      |                    | 0,940 kg                |                                  | Fuerza Aplicada               | 222 N   |
| Tipo de abrasivo  |                   | Arena Silica AFS 50/70 |   | Cantidad de arena     |                    | 1,50 kg                 |                                  | RPM                           | 350 ± 5 |
| Diámetro de la rueda  |                   | 178 mm – 7 in          |   | Ancho de la rueda     |                    | 12,3 mm- ½ in           |                                  | Moto reductor                 | 1 hp    |
| Probetas  | Peso inicial (gr) | Peso 1 (gr)            | Desgaste ΔP (gr)  | Volumen perdido (mm³) | Desplazamiento (m) | Tasa de desgaste (gr/m) | Coefficiente de desgaste (gr/mN) | Velocidad de desgaste (mm³/s) |         |
| 420-6   | 118,8517          | 117,6639               | 1,1878  | 152,2821              | 2793               | 0,4253                  | 0,00192                          | 0,1692                        |         |
| 420-7   | 119,8041          | 118,5944               | 1,2097  | 155,0897              | 2793               | 0,4331                  | 0,00195                          | 0,1723                        |         |
| 420-8   | 120,4078          | 119,2061               | 1,2017  | 154,0641              | 2793               | 0,4303                  | 0,00194                          | 0,1712                        |         |
| 420-9   | 119,9440          | 118,7013               | 1,2427  | 159,3205              | 2793               | 0,4449                  | 0,00200                          | 0,1770                        |         |
| 420-10  | 118,8244          | 117,6205               | 1,2039  | 154,3462              | 2793               | 0,4310                  | 0,00194                          | 0,1715                        |         |
| Σ   | 597,8320          | 591,7862               | 6,0458  | 775,1026              |                    | 2,1646                  | 0,00975                          | 0,8612                        |         |
| Promedio  | 119,5664          | 118,3572               | 1,2092  | 155,0205              |                    | 0,4329                  | 0,00195                          | 0,1722                        |         |
| Promedio del volumen: 155,0205 mm³<br>Desviación estándar S: 3,0259<br>Coeficiente de variación V: 0,0195   |                   |                        | Observaciones: La descripción de los pasos del ensayo se encuentra en el Anexo B2 |                       |                    |                         |                                  |                               |         |



### 3.3. Interpretación de los resultados.

A lo largo de los capítulos anteriores, se describieron la metodología utilizada para la recopilación de datos, se presentaron características de los ensayos en general y de los materiales seleccionados, Ahora nos enfocaremos en la interpretación de los resultados obtenidos a partir de estos datos.

#### 3.3.1. Resultados e interpretación de los ensayos de rugosidad.

**Tabla 80:** Interpretación de los ensayos de rugosidad.

| Acero Inoxidable AISI 304 |                             | Acero Inoxidable AISI 316 |                             | Acero Inoxidable AISI 420 |                             |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Probetas                  | Rugosidad ( $\mu\text{m}$ ) | Probetas                  | Rugosidad ( $\mu\text{m}$ ) | Probetas                  | Rugosidad ( $\mu\text{m}$ ) |
| 304-1                     | 0,691                       | 316-1                     | 0,548                       | 420-1                     | 0,501                       |
| 304-2                     | 0,713                       | 316-2                     | 0,671                       | 420-2                     | 0,505                       |
| 304-3                     | 0,608                       | 316-3                     | 0,503                       | 420-3                     | 0,559                       |
| 304-4                     | 0,663                       | 316-4                     | 0,507                       | 420-4                     | 0,536                       |
| 304-5                     | 0,645                       | 316-5                     | 0,504                       | 420-5                     | 0,506                       |
| 304-6                     | 0,687                       | 316-6                     | 0,528                       | 420-6                     | 0,555                       |
| 304-7                     | 0,731                       | 316-7                     | 0,504                       | 420-7                     | 0,561                       |
| 304-8                     | 0,720                       | 316-8                     | 0,540                       | 420-8                     | 0,575                       |
| 304-9                     | 0,710                       | 316-9                     | 0,583                       | 420-9                     | 0,660                       |
| 304-10                    | 0,663                       | 316-10                    | 0,638                       | 420-10                    | 0,603                       |

Se puede observar que la rugosidad de cada una de las probetas obtenida mediante ensayos de rugosidad realizados en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato, no superan el límite establecido de entre  $0,5\mu\text{m}$  a  $0,75\mu\text{m}$  en el apartado 8,6 de la norma técnica ASTM G105-20.

#### 3.3.2. Resultados e interpretación de los ensayos de abrasión en medio acuoso.

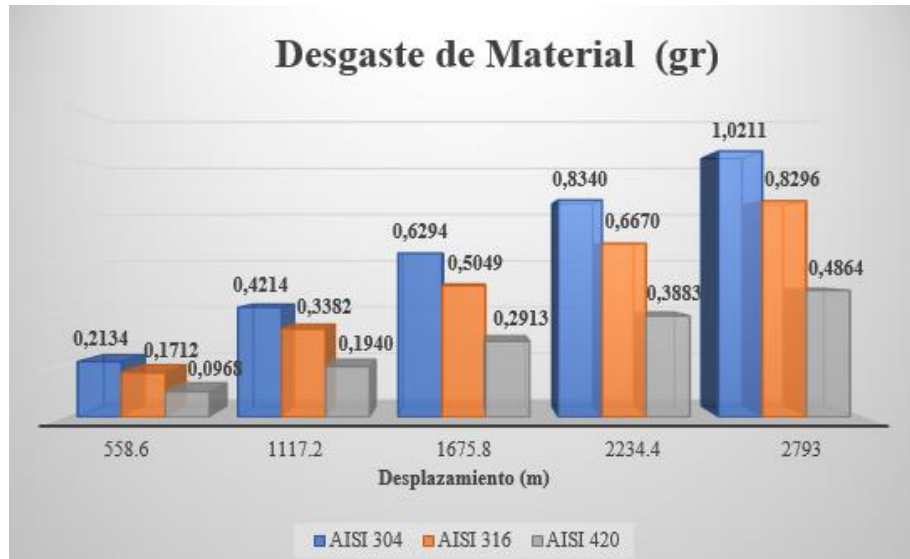
##### 3.3.2.1. Resultados de los ensayos de abrasión en medio acuoso con disco de dureza Shore A50 $\pm 2,0$ .

**Tabla 81:** Resultados del ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

| PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASTM G105-20 |   |                            |            |  |                               |  |   |   |
|---|---|----------------------------|------------|--|-------------------------------|--|---|---|
| Dureza Shore<br>A50 ± 2,0.                        | Fuerza aplicada<br>entre el disco y la<br>probeta |                            | 222N       |  | Cantidad de<br>Arena          |  | 1,5 kg ASF<br>50/70                                 |   |
|   | Velocidad de giro                                 |                            | 350±5 rpm  |  | Cantidad de Agua              |  | 0,940 kg  |   |
| <b>ACERO INOXIDABLE AISI 304</b>                  |   |                            |            |  |                               |  |   |   |
| Despl<br>L(m)                                     | Peso<br>inicial<br>(gr)                           | Pérdida<br>de peso<br>(gr) | ΔP<br>(gr) | Volumen<br>perdido<br>(mm <sup>3</sup> ) | Tasa de<br>desgaste<br>(gr/g) | Coefficiente<br>de desgaste<br>(gr/mN) | Velocidad<br>de<br>desgaste<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Coefficiente<br>de<br>variación ≤<br>7% |
| 558,6   | 114,3491  | 114,1358                   | 0,2134     | 26,9054                                  | 0,3820                        | 0,00172                                | 0,1495  | 5,6017                                  |
| 1117,2  | 114,3491  | 113,9277                   | 0,4214     | 53,1425                                  | 0,3772                        | 0,00170                                | 0,1476  | 5,6314                                  |
| 1675,8  | 114,3491  | 113,7198                   | 0,6294     | 79,3670                                  | 0,3756                        | 0,00169                                | 0,1470  | 4,9934                                  |
| 2234,4  | 114,3491  | 113,5152                   | 0,8340     | 105,1677                                 | 0,3732                        | 0,00168                                | 0,1461  | 5,2788                                  |
| 2793  | 114,3491  | 113,3280                   | 1,0211     | 128,7667                                 | 0,3656                        | 0,00165                                | 0,1431  | 4,9134                                  |
| <b>ACERO INIDABLE AISI 316</b>                    |   |                            |            |  |                               |  |   |   |
| Despl<br>L(m)                                     | Peso<br>inicial<br>(gr)                           | Pérdida<br>de peso<br>(gr) | ΔP<br>(gr) | Volumen<br>perdido<br>(mm <sup>3</sup> ) | Tasa de<br>desgaste<br>(gr/g) | Coefficiente<br>de desgaste<br>(gr/mN) | Velocidad<br>de<br>desgaste<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Coefficiente<br>de<br>variación ≤<br>7% |
| 558,6   | 118,6339  | 118,4627                   | 0,1712     | 21,4536                                  | 0,3065                        | 0,00138                                | 0,1192  | 5,9516                                  |
| 1117,2  | 118,6339  | 118,2957                   | 0,3382     | 42,3759                                  | 0,3027                        | 0,00136                                | 0,1177  | 4,2082                                  |
| 1675,8  | 118,6339  | 118,1290                   | 0,5049     | 63,2682                                  | 0,3013                        | 0,00136                                | 0,1172  | 3,6361                                  |
| 2234,4  | 118,6339  | 117,9669                   | 0,6670     | 83,5789                                  | 0,2985                        | 0,00134                                | 0,1161  | 3,3261                                  |
| 2793  | 118,4518  | 117,9654                   | 0,8296     | 103,9624                                 | 0,2970                        | 0,00134                                | 0,1155  | 3,2337                                  |
| <b>ACERO INIDABLE AISI 420</b>                    |   |                            |            |  |                               |  |   |   |
| Despl<br>L(m)                                     | Peso<br>inicial<br>(gr)                           | Pérdida<br>de peso<br>(gr) | ΔP<br>(gr) | Volumen<br>perdido<br>(mm <sup>3</sup> ) | Tasa de<br>desgaste<br>(rg/g) | Coefficiente<br>de desgaste<br>(gr/mN) | Velocidad<br>de<br>desgaste<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Coefficiente<br>de<br>variación ≤<br>7% |
| 558,6   | 118,4518  | 118,3550                   | 0,0968     | 12,4103                                  | 0,1733                        | 0,00078                                | 0,0689  | 1,7765                                  |
| 1117,2  | 118,4518  | 118,2577                   | 0,1940     | 24,8769                                  | 0,1737                        | 0,00078                                | 0,0691  | 1,7282                                  |
| 1675,8  | 118,4518  | 118,1605                   | 0,2913     | 37,3410                                  | 0,1738                        | 0,00078                                | 0,0692  | 1,8451                                  |
| 2234,4  | 118,4518  | 118,0634                   | 0,3883     | 49,7846                                  | 0,1738                        | 0,00078                                | 0,0691  | 1,7493                                  |
| 2793  | 118,4518  | 117,9654                   | 0,4864     | 62,3538                                  | 0,1741                        | 0,00078                                | 0,0693  | 1,0342                                  |

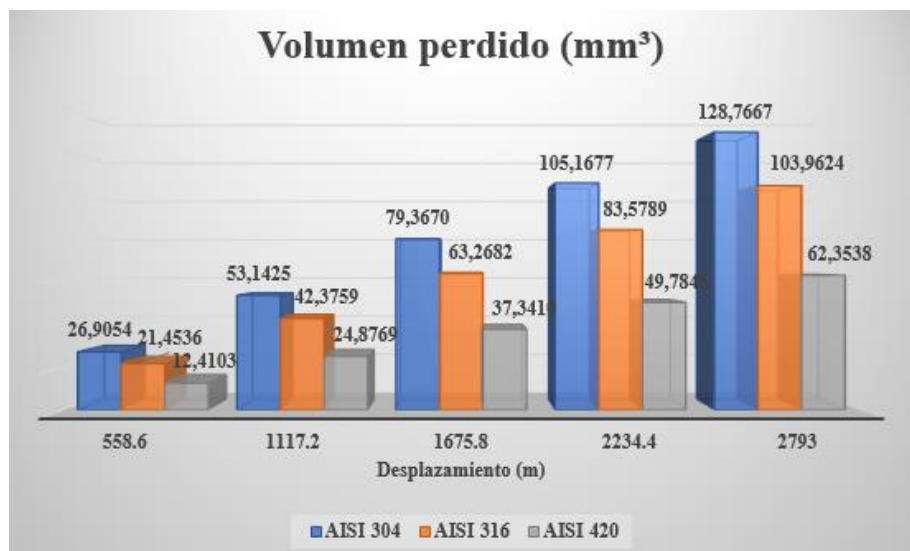
### 3.3.2.2. Interpretación de los ensayos de abrasión en medio acuoso con disco de dureza Shore A50 ± 2,0.

A continuación, se presenta la interpretación de los resultados al llevar a cabo el ensayo de desgaste abrasivo en los aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, de acuerdo con la norma ASTM G105-20, con el disco de dureza Shore A50 ± 2,0.



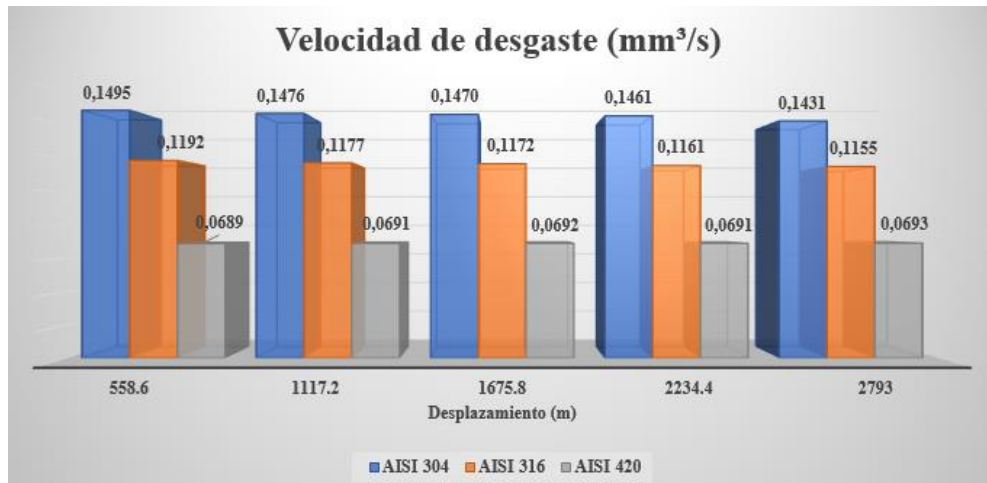
**Figura 8:** Representación gráfica del desgaste del material con el disco Shore A50  $\pm 2,0$ .

La figura 7 muestra que el acero inoxidable AISI 304 y AISI 316 tienen un desgaste final de 1,0211 gr y 0,8296 gr respectivamente, con poca diferencia, lo que sugiere que estos dos tipos de acero tienen similitud en sus propiedades en términos de resistencia al desgaste. Mientras tanto, el acero inoxidable AISI 420 presenta un desgaste final de 0,4864 gr, un desgaste menor en comparación con los otros dos tipos de aceros inoxidables.



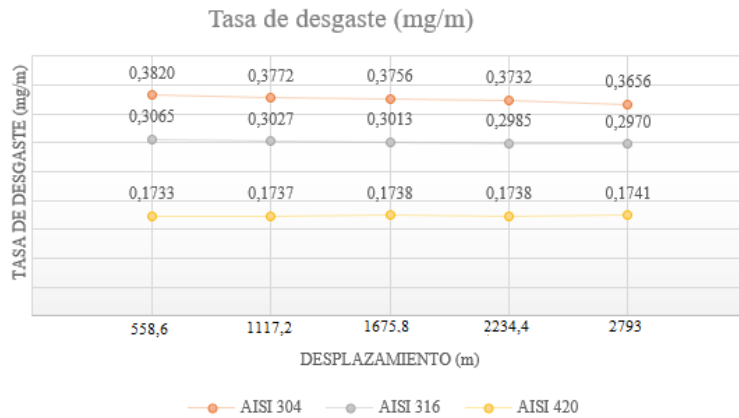
**Figura 9:** Representación gráfica del volumen perdido con el disco Shore A50  $\pm 2,0$ .

Mediante la figura 8 podemos interpretar que al igual que en el desgaste de material, la diferencia de volumen perdido en el acero inoxidable AISI 316 es menor al acero inoxidable AISI 304 pero no de una forma significativa teniendo respectivamente un volumen perdido final de  $128,7667 \text{ mm}^3$  y de  $103,9624 \text{ mm}^3$ , contrario a lo que podemos observar con el acero inoxidable AISI 420, el cual a comparación con el primer acero este tiene una pérdida de volumen final de  $62,3538 \text{ mm}^3$ . Siendo la diferencia muy notoria.



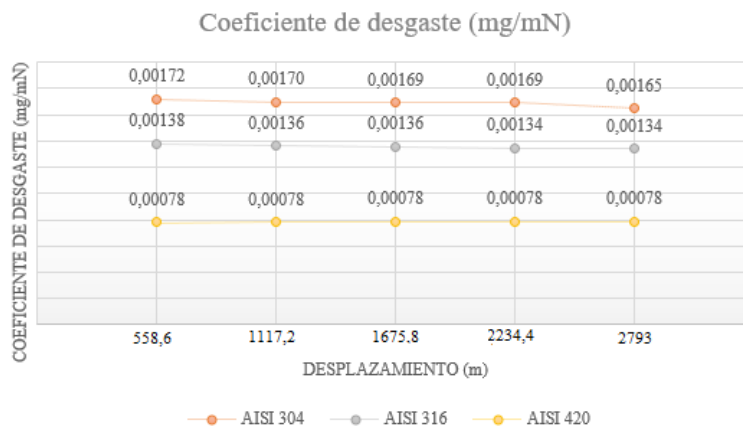
**Figura 10:** Representación gráfica de la velocidad de desgaste con el disco Shore A50  $\pm 2,0$ .

En la figura 9 podemos interpretar que el acero inoxidable AISI 304 y AISI 316, tienen una velocidad de desgaste mayor en comparación con el acero inoxidable AISI 420, por lo que podemos decir que la resistencia al desgaste es mayor el ultimo mencionado, mientras que en los aceros AISI 304 Y AISI 316 son más propensos a tener un desgaste en este tipo de entorno. También es importante mencionar que durante el ensayo el desgaste obtenido en cada uno de los aceros se obtuvo una velocidad de desgaste similar y hasta se podría decir que constante, teniendo que un promedio de velocidad para el acero inoxidable AISI 304 de  $0,1466 \text{ mm}^3/\text{s}$ , del AISI 316 es de  $0,1171 \text{ mm}^3/\text{s}$  y del acero inoxidable AISI 420 tenemos una velocidad promedio de  $0,0691 \text{ mm}^3/\text{s}$ .



**Figura 11:** Representación gráfica de la tasa de desgaste con el disco Shore A50  $\pm$  2,0.

En la figura 10 tenemos la representación de la tasa de desgaste lo cual va acorde con los resultados obtenidos y mencionados como la velocidad de desgaste y volumen perdido es decir tenemos una tasa de desgaste menor en el acero AISI 420 que va desde los valores de 0,1733 mg/m hasta el valor de 0,1741 mg/m, en comparación con la tasa de desgaste del acero AISI 304 que tiene valores desde los 0,3820 hasta 0,3656 mg/m y AISI 316 que tiene valores desde los 0,3065 hasta 0,2970 mg/m, también tenemos que la tasa de desgaste en cada material tiene una tendencia gradual al disminuir.



**Figura 12:** Representación gráfica del coeficiente de desgaste con el disco Shore A50  $\pm$  2,0.

En la figura 11 podemos interpretar que el coeficiente de desgaste es acorde y similar a los datos obtenidos anteriormente de cada material como lo son la velocidad de desgaste y la pérdida de volumen, teniendo un coeficiente de

desgaste menor en el acero AISI 420 manteniéndose entre valores de 0,00078 mg/Nm, y un coeficiente de desgaste mayor en los aceros AISI 304 teniendo un rango de entre 0,00172 y 0,00165 mg/ Nm y AISI 316 que su coeficiente de desgaste va desde 0,00138 hasta 0,00134 mg/

### 3.3.2.3.Resultados de los ensayos de abrasión en medio acuoso con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

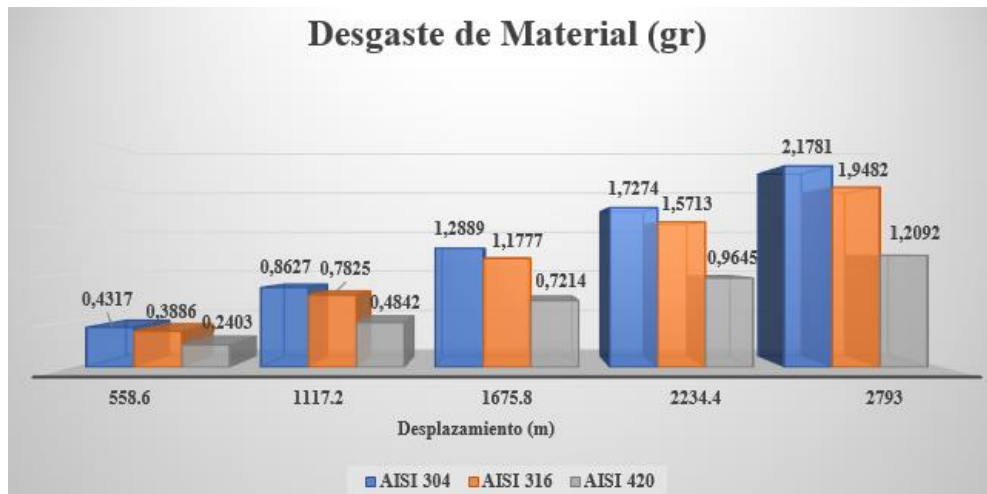
**Tabla 82:** Resultados del ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

| PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASTM G105-20 |  |                            |            |  |                               |  |   |   |
|---|--|----------------------------|------------|--|-------------------------------|--|---|---|
| Dureza Shore<br>A50 ± 2,0.                        | Fuerza aplicada entre<br>el disco y la probeta |                            | 222N       |  | Cantidad de Arena             |  | 1,5 kg ASF<br>50/70                                 |   |
|   | Velocidad de giro                              |                            | 350±5 rpm  |  | Cantidad de Agua              |  | 0,940 kg  |   |
| <b>ACERO INOXIDABLE AISI 304</b>                  |  |                            |            |  |                               |  |   |   |
| Despl<br>L(m)                                     | Peso<br>inicial<br>(gr)                        | Pérdida<br>de peso<br>(gr) | ΔP<br>(gr) | Volumen<br>perdido<br>(mm <sup>3</sup> ) | Tasa de<br>desgaste<br>(rg/g) | Coefficiente<br>de desgaste<br>(gr/mN) | Velocidad<br>de<br>desgaste<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Coefficiente<br>de<br>variación ≤<br>7% |
| 558,6   | 115,1912                                       | 114,7595                   | 0,4317     | 54,4363                                  | 0,7728                        | 0,00348                                | 0,3024  | 4,4418                                  |
| 1117,2  | 115,1912                                       | 114,3286                   | 0,8627     | 108,7844                                 | 0,7722                        | 0,00348                                | 0,3022  | 1,5449                                  |
| 1675,8  | 115,1912                                       | 113,9024                   | 1,2889     | 162,5296                                 | 0,7691                        | 0,00346                                | 0,3010  | 1,1775                                  |
| 2234,4  | 115,1912                                       | 113,4638                   | 1,7274     | 217,8285                                 | 0,7731                        | 0,00348                                | 0,3025  | 0,0159                                  |
| 2793  | 115,1912                                       | 113,0131                   | 2,1781     | 274,6658                                 | 0,7798                        | 0,00351                                | 0,3052  | 0,0193                                  |
| <b>ACERO INOXIDABLE AISI 316</b>                  |  |                            |            |  |                               |  |   |   |
| Despl<br>L(m)                                     | Peso<br>inicial<br>(gr)                        | Pérdida<br>de peso<br>(gr) | ΔP<br>(gr) | Volumen<br>perdido<br>(mm <sup>3</sup> ) | Tasa de<br>desgaste<br>(gr/g) | Coefficiente<br>de desgaste<br>(gr/mN) | Velocidad<br>de<br>desgaste<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Coefficiente<br>de<br>variación ≤<br>7% |
| 558,6   | 118,5661                                       | 118,1775                   | 0,3886     | 48,7018                                  | 0,6957                        | 0,00313                                | 0,2706  | 3,2634                                  |
| 1117,2  | 118,5661                                       | 117,7836                   | 0,7825     | 98,0576                                  | 0,7004                        | 0,00316                                | 0,2724  | 2,2801                                  |
| 1675,8  | 118,5661                                       | 117,3884                   | 1,1777     | 147,5764                                 | 0,7027                        | 0,00317                                | 0,2733  | 1,5187                                  |
| 2234,4  | 118,5661                                       | 116,9948                   | 1,5713     | 196,8997                                 | 0,7032                        | 0,00317                                | 0,2735  | 0,0183                                  |
| 2793  | 118,5661                                       | 116,6179                   | 1,9482     | 244,1353                                 | 0,6975                        | 0,00314                                | 0,2713  | 0,0192                                  |
| <b>ACERO INOXIDABLE AISI 420</b>                  |  |                            |            |  |                               |  |   |   |
| Despl<br>L(m)                                     | Peso<br>inicial<br>(gr)                        | Pérdida<br>de peso<br>(gr) | ΔP<br>(gr) | Volumen<br>perdido<br>(mm <sup>3</sup> ) | Tasa de<br>desgaste<br>(gr/g) | Coefficiente<br>de desgaste<br>(gr/mN) | Velocidad<br>de<br>desgaste<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Coefficiente<br>de<br>variación ≤<br>7% |
| 558,6   | 119,5664                                       | 119,3261                   | 0,2403     | 30,8077                                  | 0,4302                        | 0,00194                                | 0,1712  | 2,7731                                  |
| 1117,2  | 119,5664                                       | 119,0822                   | 0,4842     | 62,0744                                  | 0,4334                        | 0,00195                                | 0,1724  | 1,5184                                  |
| 1675,8  | 119,5664                                       | 118,8450                   | 0,7214     | 92,4821                                  | 0,4305                        | 0,00194                                | 0,1713  | 1,9548                                  |
| 2234,4  | 119,5664                                       | 118,6019                   | 0,9645     | 123,6564                                 | 0,4317                        | 0,00194                                | 0,1717  | 0,0126                                  |
| 2793  | 119,5664                                       | 118,3572                   | 1,2092     | 155,0205                                 | 0,5412                        | 0,00244                                | 0,1722  | 0,0195                                  |

### 3.3.2.4.Interpretación de los ensayos de abrasión en medio acuoso con disco de dureza Shore A70 ± 2,0.

A continuación, se presenta la interpretación de los resultados al llevar a cabo el ensayo de desgaste abrasivo en los aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 Y

AISI 420, de acuerdo con la norma ASTM G105-20, con el disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0.



**Figura 13:** Representación gráfica del desgaste del material con el disco Shore A70  $\pm$  2,0.

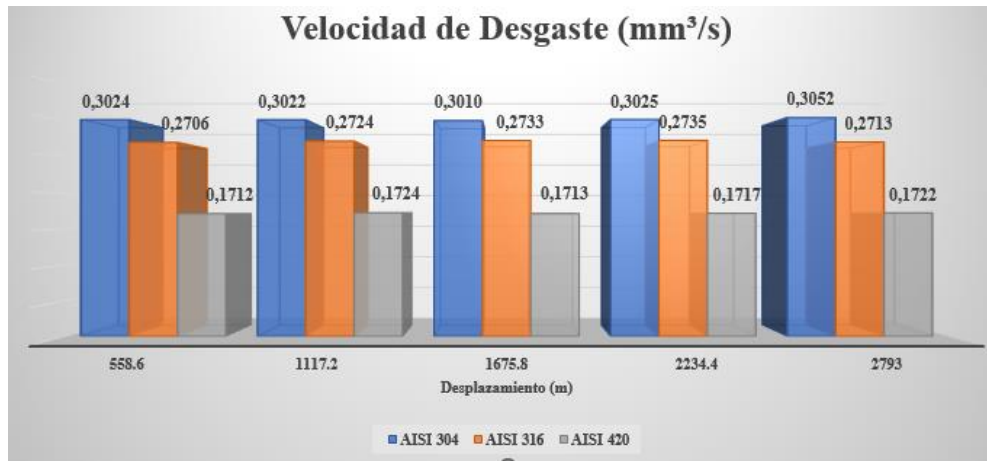
La figura 12 muestra que el acero inoxidable AISI 420 presenta un desgaste final de 1,2092 gr, en comparación con los otros dos tipos de aceros inoxidables AISI 304 y AISI 316 que tienen un desgaste final de 2,1781 gr y 1,9482 gr respectivamente con un muy poca diferencia entre ellos, lo que sugiere que estos tienen similitud en sus propiedades en términos de resistencia al desgaste.



**Figura 14:** Representación gráfica del volumen perdido con el disco Shore A70  $\pm$  2,0.

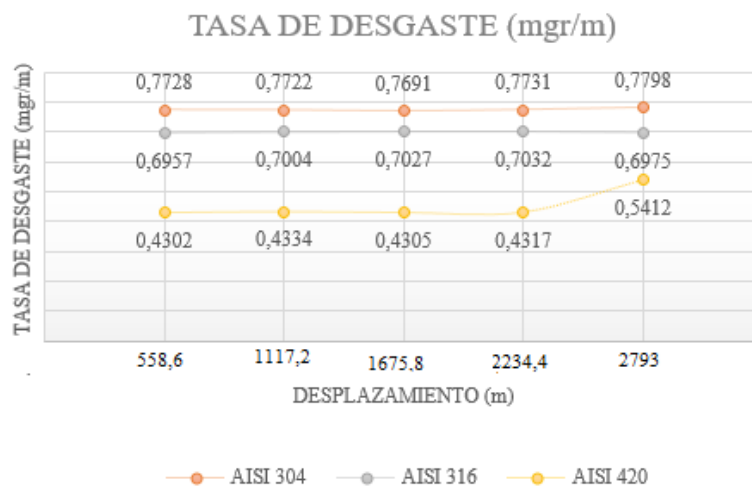
El volumen perdido representado en la figura 13, se puede decir que el volumen perdido va aumentando de forma gradual, y que se sigue demostrando que el

Acero inoxidable AISI 304 Y AISI 326 presentan una pérdida de volumen final mayor en comparación con el acero inoxidable AISI 420, teniendo una pérdida de volumen final de 274,6658 mm<sup>3</sup> para el acero Inoxidable 304, para el acero inoxidable AISI 316 244,1353 mm<sup>3</sup>, mientras que para el acero inoxidable 420 tenemos 155, 0205 mm<sup>3</sup>.



**Figura 15:** Representación gráfica de la velocidad de desgaste con el disco Shore A70±2,0.

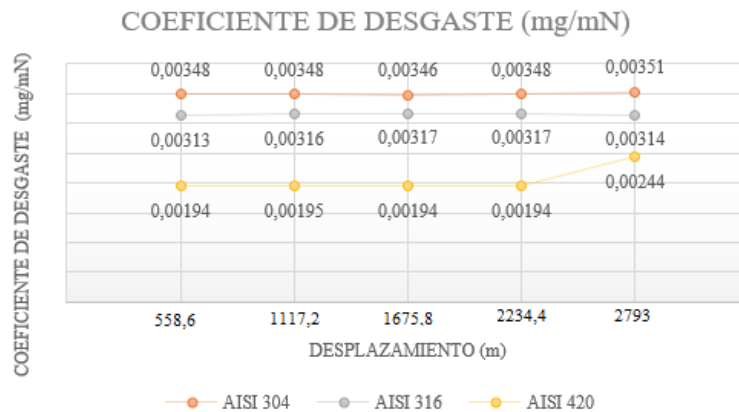
La figura 14 muestra la velocidad de desgaste en los tres aceros inoxidables, teniendo como resultado una velocidad de desgaste similar en cada uno de los aceros, al igual que podemos seguir comprobando que el acero inoxidable AISI 420 tiene una velocidad de desgaste promedio de 0,1718 mm<sup>3</sup>/s la cual es menor en comparación a las velocidades de los aceros inoxidables AISI 304 que tiene un valor de 0,3027mm<sup>3</sup>/s y AISI 316 de 0,2722 mm<sup>3</sup>/s.





**Figura 16:** Representación gráfica de la tasa de desgaste con el disco Shore A70  $\pm$  2,0.

En la figura 15 tenemos la tasa de desgaste en la cual se puede determinar que existe un desgaste similar, hasta se podría decir conste, también observamos la diferencia notoria entre la tasa de desgaste entre el acero inoxidable AISI 420 la cual va desde los valores de 0,4302 mg/m hasta 0,5412 mg/m, podemos ver claramente que existe un salto en la tasa de desgaste, esto se debe que en la probeta 420-9 se tuvo una mayor pérdida de masa en comparación a las demás probetas de 420 y los aceros inoxidables AISI 304 con valores de entre 0,7728 mg/m y 0,7798 mg/m y en el acero AISI 316 tenemos un rango de valores de 0,6957 mg/m hasta 0,6975 mg/m en su tasa de desgaste.



**Figura 17:** Representación gráfica del coeficiente de desgaste con el disco Shore A70  $\pm$  2,0.

En la figura 16 se puede apreciar que se tiene valores de coeficiente de desgaste son casi similares entre los aceros inoxidables AISI 304 con valores que van desde 0,00348 mg/mN hasta 0,00351 mg/mN y AISI 316 con valores de entre 0,00313 mg/Mn y 0,00314 mg/Mn, y como se mencionó antes podrían ser hasta constante, también podemos observar como el coeficiente de desgaste del acero inoxidable AISI 420 es menor, pero podemos encontrar un salto en el último punto el cual va de 0,00194 mg/mN hasta 0,00244 mg/Mn, esto se debe a que en la probeta 420-9 se tuvo una mayor pérdida de masa en comparación a las demás probetas de 420 con el disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0.

### 3.4. Verificación de la Hipótesis.

**Hipótesis:** La ejecución de ensayos abrasivos en un medio acuoso en los aceros inoxidable AISI 304, AISI 316 y AISI 420, evaluados bajo la norma ASTM G105-20, permitirá determinar que la velocidad de desgaste abrasivo en medio acuoso es menor en el acero inoxidable AISI 420.

#### Comprobación.

**Tabla 83:** Resultados de la velocidad de desgaste.

| <b>Velocidad de desgaste (mm<sup>3</sup>/s)</b> |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Disco SHORE A50 ± 2,0.</b>                   |                 |                 |                 |
| <b>Despl (m)</b>                                | <b>AISI 304</b> | <b>AISI 316</b> | <b>AISI 420</b> |
| <b>558,6</b>                                    | 0,1495          | 0,1192          | 0,0689          |
| <b>1117,2</b>                                   | 0,1476          | 0,1177          | 0,0691          |
| <b>1675,8</b>                                   | 0,1470          | 0,1172          | 0,0692          |
| <b>2234,4</b>                                   | 0,1461          | 0,1161          | 0,0691          |
| <b>2793</b>                                     | 0,1431          | 0,1155          | 0,0693          |
| <b>Disco SHORE A70 ± 2,0.</b>                   |                 |                 |                 |
| <b>Despl (m)</b>                                | <b>AISI 304</b> | <b>AISI 316</b> | <b>AISI 420</b> |
| <b>558,6</b>                                    | 0,3024          | 0,2706          | 0,1712          |
| <b>1117,2</b>                                   | 0,3022          | 0,2724          | 0,1724          |
| <b>1675,8</b>                                   | 0,3010          | 0,2733          | 0,1713          |
| <b>2234,4</b>                                   | 0,3025          | 0,2735          | 0,1717          |
| <b>2793</b>                                     | 0,3052          | 0,2713          | 0,1722          |

Para la comprobación de esta hipótesis los datos obtenidos son suficientemente claros para poder determinar que la velocidad del acero inoxidable AISI 420, es significativamente menor a la velocidad de desgaste del acero inoxidable AISI 304 y el acero inoxidable AISI 316, como se puede observar en la tabla 89, en la cual esta resumida los resultados de la velocidad de desgaste del ensayo realizado para el presente trabajo de investigación.

Es decir que fácilmente se puede comprobar la hipótesis en la que se expresa que el acero inoxidable AISI 420 tiene una velocidad de desgaste menor comprado

con la velocidad de desgaste del acero inoxidable de los aceros AISI 304 y AISI 316.

La hipótesis fue planteada de esa manera debido a que en información previa se presentó que la dureza del acero inoxidable AISI 420 es mayor a la de los aceros inoxidables AISI 304 Y AISI 316, ya que la dureza es una propiedad de los materiales que esta netamente ligada con la resistencia al desgaste.

## **CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1. Conclusiones.**

- La aplicación de la norma ASTM G105-20, y la definición correcta de las condiciones de evaluación del desgaste abrasivo, como las dimensiones de las probetas (25,4 mm  $\pm$  0,8 mm de ancho, 57,2 mm  $\pm$  0,8 mm de largo y 6,4 mm a 15,9 mm de espesor), la cantidad adecuada de mezcla abrasiva (1,5 kg de arena y 0,940 kg de agua), la aplicación de una fuerza de 222 N, y la velocidad de rotación del disco de 350 rpm, son parámetros fundamentales para asegurar la calidad de la investigación. En caso contrario, la validez y confiabilidad de los datos obtenidos se verán comprometidas.
- El coeficiente de variación, conforme a lo establecido en la norma ASTM G105-20, desempeña un papel crucial al evaluar si las condiciones y parámetros empleados en el ensayo son los correctos. Los resultados revelan un coeficiente de variación inferior al 7%, lo cual se encuentra dentro de los límites aceptados. Esto lleva a formular que las condiciones del ensayo y el funcionamiento de máquina son adecuados y confiables.
- Con base a los resultados obtenidos en este trabajo experimental, se pudo determinar que el material que presentó un desgaste abrasivo más pronunciado en condiciones acuosas fue el acero inoxidable AISI 304, en comparación con los desgastes observados en el acero inoxidable AISI 316 y AISI 420. Este resultado está vinculado a la diferencia en la dureza de cada material, siendo el acero inoxidable AISI 304 el de menor dureza.
- La diferencia en porcentaje de los resultados de la pérdida de material en mm<sup>3</sup>, con el disco de dureza Shore A50  $\pm$  2,0 entre el acero inoxidable AISI 304 y AISI 316 es del 19,26%, la diferencia entre el acero inoxidable AISI 316 y AISI 420 es del 40,02%, y entre los aceros inoxidables AISI 304 y AISI 420 es del 51,57 %.
- La diferencia en porcentaje de los resultados de la pérdida de material en mm<sup>3</sup>, con el disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0. entre el acero inoxidable AISI 304 y AISI 316 es del 17,47%, la diferencia entre el acero

inoxidable AISI 316 y AISI 420 es del 36,50%, y entre los aceros inoxidables AISI 304 y AISI 420 es del 43,56 %.

- El desgaste volumétrico obtenido con el disco de dureza Shore A50  $\pm$  2,0 en 5 intervalos de tiempo de 180 segundos o 3 minutos, ayudaron al cálculo de la velocidad de desgaste abrasivo teniendo para el acero AISI 304 una velocidad promedio de 0,1466 mm<sup>3</sup>/s, para el acero inoxidable AISI 316 una velocidad promedio de 0,1171 mm<sup>3</sup>/s, y para el acero inoxidable AISI 420 una velocidad promedio de 0.0691 mm<sup>3</sup>/s.
- El desgaste volumétrico obtenido con el disco de dureza Shore A70  $\pm$  2,0 en 5 intervalos de tiempo de 180 segundos o 3 minutos, ayudaron al cálculo de la velocidad de desgaste abrasivo teniendo para el acero AISI 304 una velocidad promedio de 0,3026 mm<sup>3</sup>/s, para el acero inoxidable AISI 316 una velocidad promedio de 0,2722 mm<sup>3</sup>/s, y para el acero inoxidable AISI 420 una velocidad promedio de 0,1717 mm<sup>3</sup>/s.
- Los resultados de los ensayos del presente trabajo experimental, ejecutados conforme a la norma ASTM G105-20 en los aceros inoxidables AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, fueron claros al identificar cuál de los aceros experimento un desgaste abrasivo más pronunciado y cual experimento una menor incidencia del mismo. Por lo tanto, no fue necesario realizar un análisis estadístico para determinar la variación en el desgaste abrasivo entre los tres tipos de aceros inoxidable.

#### **4.2. Recomendaciones.**

- Realizar una evaluación del estado operativo de la máquina, lo cual incluye la revisión de los conductos utilizados para el suministro de los elementos de mezcla abrasiva, es necesario garantizar que dichos conductos estén limpios y libres de cualquier impureza que puedan afectar el desarrollo del ensayo.
- Utilizar la proporción adecuada de los componentes de la mezcla abrasiva, dado que una aplicación excesiva de cualquiera de estos elementos podría resultar en la obstrucción tanto de la válvula de desagüe

como en la válvula suministradora de arena. Esta situación conllevaría a una ralentización del proceso.

- Llevar a cabo pre-ensayos, con el fin de establecer de manera precisa los parámetros experimentales e identificar posibles problemas o inconsistencias en el procedimiento experimental. Esto contribuye significativamente a la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.
- Realizar una limpieza cuidadosa de la maquina después de cada probeta ensayada, y desechar adecuadamente los restos de la mezcla abrasiva, para prevenir la contaminación entre probetas y minimizar la posibilidad de que los resultados se vean afectados debido a la presencia de residuos previos.
- Emplear una balanza de precisión con una resolución de 0,0001 gramos es esencial para obtener mediciones precisas. Además, se debe realizar la limpieza de las probetas antes de cada pesaje para garantizar la fiabilidad de los resultados.
- Seleccionar un abrasivo, es crucial optar por el más adecuado para tu aplicación específica. Se debe considerar diversos factores, como el tipo de material que estás probando, su dureza y el objetivo del ensayo. Además, asegurar de que el abrasivo elegido cumpla con las normativas establecidas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] R, G, Bayer, *Mechanical Wear Fundamentals and Testing-Second Edition*, Columbus, Ohio: Taylor & Francis Group, 2019.
- [2] M, R, H, Cárdenas, "Desarrollo de máquina tribológica para ensayos de abrasión en un medio acuoso", Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, 2013.
- [3] I, M, Gualtero Cartagena, "Estudio comparativo de resistencia al desgaste abrasivo, erosivo y adhesivo en aceros inoxidable AISI 304 Y AISI 420", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2017.
- [4] J, L, Suárez, X, I Suarez y R, R, Contreras, "Comportamiento de 3 Familias de Aceros Inoxidables ante Solicitudes Tribológicas de Abrasión y Erosión," *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol, 21, n° 2, 2017.
- [5] R, L, Mott, *Resistencia de Materiales Aplicada- 3ra Edición*, Prentice Hall, 2000.
- [6] R, Lefevre, *Propiedades Mecánicas de los Materiales- 8va Edición*, Mexico, Pearson Educación, 2019.
- [7] P, D, Bilmes y M, D, Pereda, "Aceros Inoxidables" Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina, 2019.
- [8] A, L, Alanis, "Caracterización de Aceros Inoxidables y Estudio de su Resistencia Mecánica y Conformabilidad" Universidad Autónoma de Nuevo León, 2011.
- [9] Bonnet Suministros y Maquinarias S,L, "Clasificación de los Aceros Inoxidables", 2021, [En línea], Disponible: <https://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf/>, [Último acceso:20 Febrero 2023].
- [10] CALVOSEALING, "Clasificación de Aceros Inoxidables", 2020, [En línea], Disponible:<https://calvosealing.com/wp>

content/uploads/doceES\_acero\_inoxidable\_clasificacion\_0.pdf/, [Último acceso: 20 Febrero 2023].

- [11] ULMA, "Ulma Architectural Solution", 2020, [En línea], Disponible: <https://www.ulmaforge.com/noticia/acero-inoxidable-propiedades-y-aplicaciones/>, [Último acceso: 20 Febrero 2023].
- [12] H, Liang, G, E, Totten *Mechanical Tribology: Materials, Characterization, and Applications*, Taylor & Francis Group, 2017.
- [13] I, M, Hutchings, *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*, Oxford: Butterworth\_Heinemann, 2012.
- [14] Y, Li, P, Schreiber, J, Schneider y C, Greiner, "Tribological mechanisms of slurry abrasive wear", *Friction*, 2022.
- [15] E, Rabinowicz, *Friction and Wear of Materials*, John Wiley & Sons, 2008.
- [16] E, R, B, Michael M Khonsari, "Applied tribology: bearing design and lubrication", UK, John Wiley & Sons, 2017.
- [17] ASTM International, "Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests", 2020.
- [18] L, M, Romero, "Propiedades del Acero Inoxidable", Universidad Técnica de Catalan, Barcelona, 2016.
- [19] BOHMAN, "Catalogo de Aceros y Materiales 2023", BOHMAN, [En línea], Disponible: <https://online.fliphtml5.com/dljug/alyk/#p=1/>, [Último acceso: 16 Mayo 2023].
- [20] Geoterra Dominicana, "¿Qué es la arena silice?", Geoterra Dominicana, Minería ambiental Responsable, [En línea], Disponible: <https://www.geoterradominicana.com/articulos/que-es-la-arena-de-silice/> [Último acceso: 16 Mayo 2023].



## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha técnica de aceros inoxidable.

► IVAN BOHMAN C.A maneja las siguientes calidades de aceros inoxidable:

| Composición química |             |        |        |          |         |             |             |           |
|---------------------|-------------|--------|--------|----------|---------|-------------|-------------|-----------|
| Análisis típico %   | % C         | % Si   | % Mn   | % P Máx. | % S     | % Cr        | % Ni        | % Mo      |
| 304                 | ≤ 0.08      | ≤ 1.00 | ≤ 2.00 | ≤ 0.045  | ≤ 0.015 | 18.0 - 20.0 | 8.0 - 10.5  | ---       |
| 316                 | ≤ 0.03      | ≤ 1.00 | ≤ 2.00 | ≤ 0.045  | ≤ 0.015 | 16.0 - 18.0 | 10.0 - 14.0 | 2.0 - 3.0 |
| 430                 | ≤ 0.08      | ≤ 1.00 | ≤ 1.00 | ≤ 0.040  | ≤ 0.015 | 16.0 - 18.0 | ---         | --        |
| 420 mod             | 0.36 - 0.45 | ≤ 1.00 | ≤ 1.00 | 0.030    | 0.030   | 12.5 - 14.5 | ≤ 1.00      | --        |

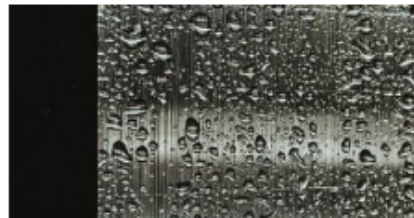
  

| Equivalencias y propiedades |   |   |              |                 |         |                      |
|-----------------------------|---|---|--------------|-----------------|---------|----------------------|
| AISI                        | Resistencia a la tracción (kg/mm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la cedencia min.(kg/mm <sup>2</sup> ) | Elongación % | Dureza HB (máx) | W.Nr    | European Designation |
| 304                         | 54  | 21  | 58 min       | 190             | 1.43012 | X5CrNi18-10          |
| 316                         | 53  | 24  | 50           | 200             | 1.4404  | X2CrNiMo 17-3-2      |
| 430                         | 53  | 26  | 40           | 180             | 1.4016  | X6Cr 17              |
| 420 mod                     | --  | --  | --           | 241             | 1.2063  | X41Cr13              |

**Aceros con L:** 304-L y 316-L tiene ventajas sobre los aceros inoxidable 304 y 316, en cuanto a su mejor soldabilidad. Al tener los aceros con L menor contenido de carbono, disminuye su capacidad precipitación de carburos al ser soldados, por lo que las zonas afectadas por el calor tienen mejor resistencia a la corrosión que los aceros convencionales 304 y 316. Esto es sumamente importante, cuando el medio corrosivo es crítico, como en el caso de alimentos y ácidos.



| Información general  |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
|--|--|-------------------------|-------------------------|------|-----|-------------------|------------------------|--|---------|------------------------------|---------|------------------------------------|---------|--|-------------------|--|-------------------|---|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|----|-----------------------|--|--|--|--|--|-----------------|-----------------|--|--|--|--|
| <p>STAVAX es un acero inoxidable para utensilios, aleado al cromo, dotado de las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia a la corrosión.</li> <li>• Buena pulibilidad.</li> <li>• Buena resistencia al desgaste.</li> <li>• Buena mecanibilidad.</li> <li>• Buena estabilidad en el temple.</li> </ul> <p>Combinadas, estas propiedades reportan al acero unas excepcionales prestaciones en la producción. Los beneficios prácticos de una <b>buena resistencia a la corrosión</b> en un molde para plástico pueden resumirse como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Menor costo de mantenimiento del molde.</b><br/>Las superficies de las impresiones con cavidades mantienen su acabado original durante largos periodos de producción.<br/>Los moldes conservados o empleados en lugares húmedos no requieren protección especial.</li> <li>• <b>Menor costo de producción.</b><br/>Debido a que los canales para el agua de refrigeración no pueden oxidarse (a diferencia de los aceros convencionales para moldes), las características de transferencia térmica y, por tanto, de eficacia en la refrigeración son constantes durante toda la vida de servicio del molde, lo cual garantiza unos ciclos de fabricación estables.</li> </ul> <p>Estas cualidades, unidas a la alta resistencia al desgaste de STAVAX ofrecen al usuario del molde unos utensilios de larga duración que reportando una máxima rentabilidad.</p> |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Análisis típico %</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,38</td> <td>0,9</td> <td>0,5</td> <td>13,6</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>Normas equivalentes</td> <td colspan="5">(AISI 420) (W.-Nr. 1.2083)</td> </tr> <tr> <td>Estado de suministros</td> <td colspan="5">Recocido blando hasta aprox. 190 Brinell</td> </tr> <tr> <td>Código de color</td> <td colspan="5">Naranja / Negro</td> </tr> </tbody> </table>   |  |                         |                         |      |     | Análisis típico % | C                      | Si   | Mn      | Cr                           | V       |                                    | 0,38    | 0,9  | 0,5               | 13,6   | 0,3               | Normas equivalentes   | (AISI 420) (W.-Nr. 1.2083) |                         |                         |                              |    | Estado de suministros | Recocido blando hasta aprox. 190 Brinell |  |  |  |  | Código de color | Naranja / Negro |  |  |  |  |
| Análisis típico %  | C  | Si                      | Mn                      | Cr   | V   |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
|  | 0,38                                     | 0,9                     | 0,5                     | 13,6 | 0,3 |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Normas equivalentes  | (AISI 420) (W.-Nr. 1.2083)               |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Estado de suministros  | Recocido blando hasta aprox. 190 Brinell |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Código de color  | Naranja / Negro                          |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Aplicaciones   |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| <p>Se recomienda para todo tipo de utensilios de molde, aunque sus propiedades especiales lo hacen particularmente adecuado para moldes que deban reunir los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Resistencia a la corrosión/manchas</b>, es decir, para el moldeado de materiales corrosivos, por ejemplo PVC, acetatos, y para moldes expuestos a condiciones de trabajo/almacenamiento húmedas.</li> <li>• <b>Resistencia al desgaste</b>, es decir, para el moldeado de materiales abrasivos/con cargas, incluyendo materiales termoendurecibles moldeados por inyección. Asimismo, para moldes con series de producción excepcionalmente largas, por ejemplo, componente eléctricos/electrónicos; cubertería y envases de un solo uso.</li> <li>• <b>Acabado superficial de gran calidad</b>, es decir, para la producción de piezas ópticas, tales como lentes de cámaras fotográficas y cristales de gafas de sol, y para artículos médicos, por ejemplo, jeringas y frascos de análisis.</li> </ul>  |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de molde</th> <th>Dureza recomendada HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Moldes de inyección para:<br/>materiales termoplásticos</td> <td>45 - 54</td> </tr> <tr> <td>materiales termoendurecibles</td> <td>45 - 54</td> </tr> <tr> <td>Moldes de compresión/transferencia</td> <td>50 - 54</td> </tr> <tr> <td>Moldes de soplado para PVC, PET, etc.</td> <td>45 - 54</td> </tr> <tr> <td>Moldes de extrusión, extrusión horizontal para varillas y perfiles</td> <td>45 - 54</td> </tr> </tbody> </table>  |  |                         |                         |      |     | Tipo de molde     | Dureza recomendada HRC | Moldes de inyección para:<br>materiales termoplásticos | 45 - 54 | materiales termoendurecibles | 45 - 54 | Moldes de compresión/transferencia | 50 - 54 | Moldes de soplado para PVC, PET, etc.                      | 45 - 54           | Moldes de extrusión, extrusión horizontal para varillas y perfiles | 45 - 54           |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Tipo de molde  | Dureza recomendada HRC                   |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Moldes de inyección para:<br>materiales termoplásticos   | 45 - 54                                  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| materiales termoendurecibles   | 45 - 54                                  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Moldes de compresión/transferencia   | 50 - 54                                  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Moldes de soplado para PVC, PET, etc.  | 45 - 54                                  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Moldes de extrusión, extrusión horizontal para varillas y perfiles   | 45 - 54                                  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Propiedades  |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Características físicas  |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Templado y revenido a 50 HRC. Características a temperatura ambiental y temperaturas elevadas.   |  |                         |                         |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperatura</th> <th>20 ° C</th> <th>200 ° C</th> <th>400 ° C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densidad kg/m<sup>3</sup></td> <td>7800</td> <td>7 750</td> <td>7 700</td> </tr> <tr> <td>Módulo de elasticidad N/mm<sup>2</sup> kp/mm<sup>2</sup></td> <td>200 000<br/>20 400</td> <td>190 000<br/>19 400</td> <td>180 000<br/>18 300</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C</td> <td>—</td> <td>11,0 x 10<sup>-6</sup></td> <td>11,4 x 10<sup>-6</sup></td> </tr> <tr> <td>Conductividad térmica W/m °C</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>24</td> </tr> </tbody> </table>   |  |                         |                         |      |     | Temperatura       | 20 ° C                 | 200 ° C  | 400 ° C | Densidad kg/m <sup>3</sup>   | 7800    | 7 750                              | 7 700   | Módulo de elasticidad N/mm <sup>2</sup> kp/mm <sup>2</sup> | 200 000<br>20 400 | 190 000<br>19 400  | 180 000<br>18 300 | Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C | —                          | 11,0 x 10 <sup>-6</sup> | 11,4 x 10 <sup>-6</sup> | Conductividad térmica W/m °C | 16 | 20                    | 24                                       |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Temperatura  | 20 ° C                                   | 200 ° C                 | 400 ° C                 |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Densidad kg/m <sup>3</sup>   | 7800                                     | 7 750                   | 7 700                   |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Módulo de elasticidad N/mm <sup>2</sup> kp/mm <sup>2</sup>   | 200 000<br>20 400                        | 190 000<br>19 400       | 180 000<br>18 300       |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C  | —  | 11,0 x 10 <sup>-6</sup> | 11,4 x 10 <sup>-6</sup> |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |
| Conductividad térmica W/m °C   | 16                                       | 20                      | 24                      |      |     |                   |                        |  |         |                              |         |                                    |         |  |                   |  |                   |   |                            |                         |                         |                              |    |                       |  |  |  |  |  |                 |                 |  |  |  |  |



## Anexo 2. Norma ASTM G105-20.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: G105 – 20

### Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G105; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

#### 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 millimetres. Materials of higher abrasion resistance will have a lower volume loss.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses after SI units are provided for information only and are not considered standard.

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, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.5 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

#### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

D2000 Classification System for Rubber Products in Automotive Applications

D2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness

E11 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves

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

Current edition approved Dec. 1, 2020. Published December 2020. Originally approved in 1989. Last previous edition approved in 2016 as G105 – 16. DOI: 10.1520/G0105-20.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

G40 Terminology Relating to Wear and Erosion

2.2 *SAE Standard:*<sup>3</sup>

SAE J200 Classification System for Rubber Materials

#### 3. Terminology

3.1 *Definitions:*

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

3.1.1.1 *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>4</sup> **G40**

#### 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.

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 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

<sup>3</sup> Available from SAE International (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096, <http://www.sae.org>.

<sup>4</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

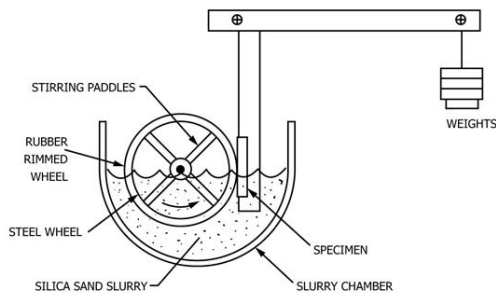


FIG. 1 Schematic Diagram of the Wear Test Apparatus

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>5</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 (see Note 1) and test material uniformity.

NOTE 1—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.

6.1.1 Discussion—The location of the pivot point between the lever arm and the specimen holder must be 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.

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). The rubber will conform to Classification D2000 (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 ± 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 ± 2.

6.2.3 The 70 Durometer wheel will be in accordance with 2BC715K11Z1Z2Z3Z4, where:

- Z1, Z3, and Z4 are the same as for 6.2.1, and
- Z2—Type A Durometer hardness 70 ± 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 rpm ± 5 rpm) must remain constant under load. Other drives producing 245 rpm under load are suitable.



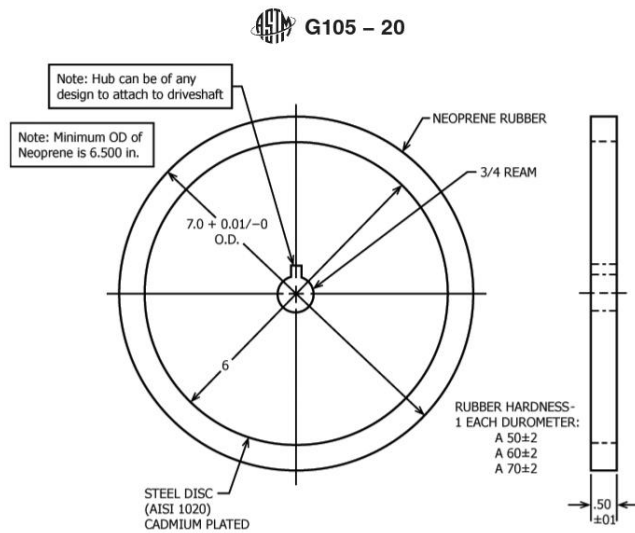


FIG. 2 Rubber Wheel

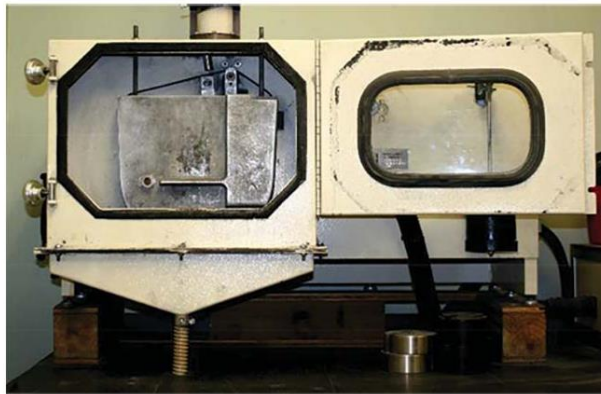


FIG. 3 Test Apparatus with Slurry Chamber Cover Removed

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 N ± 3.6 N (50.0 lbf ± 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



FIG. 4 Test Apparatus in Operation

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>6</sup>

7.2 AFS 50/70 test sand is controlled by the qualified source to the following size range using U.S. Sieves (Specification E11).

| 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 mm ± 0.8 mm (1.00 in. ± 0.03 in.) wide by 57.2 mm ± 0.8 mm (2.25 in. ± 0.03 in.) long by 6.4 mm to 15.9 mm (0.25 in. 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 (0.375 in.) thick, 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 μm to 0.75 μm (20 μin. 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

<sup>6</sup> The sole source of supply of the apparatus known to the committee at this time is Ottawa Silica Co., P.O. Box 577, Ottawa, IL 61350. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,<sup>1</sup> which you may attend.

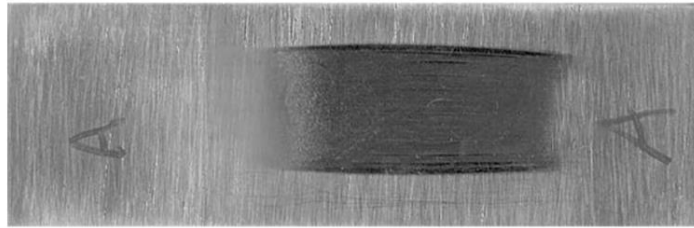


FIG. 5 Typical Uniform Wear Scar

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 D2240. 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.

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. Note: ensure wheel rotation and slurry mixing has started prior to loading specimen against wheel.

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. 5).

9.12.1 It is recommended that rubber wheels be dressed again after accumulating approximately 6000 revolutions during 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>6</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 mm × 13 mm × 13 mm (5 in. × ½ in. × 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:

$$\begin{aligned} &\text{Normalized Mass Loss in Grams} \\ &= \frac{177.8 \times 12.7 \times \text{Actual Mass Loss (g)}}{\text{Actual Diameter (mm.)} \times \text{Actual Width (mm.)}} \\ &\quad \text{or} \\ &= \frac{7.000 \times 0.500 \times \text{Actual Mass Loss (g)}}{\text{Actual Diameter (in.)} \times \text{Actual Width (in.)}} \end{aligned}$$

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 X1](#).

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 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 test method 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 mm<sup>3</sup> 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 [E122](#), Practice [E177](#), and ASTM *STP 15D*.<sup>7</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>7</sup> *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, ASTM STP 15D*, ASTM International, 1976 (out of print). (Revised as MNL7A, *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis*, Seventh Edition.)



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 E122, STP 15D,<sup>7</sup> 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:

- $s$  = standard deviation (small sample size, 2 to 10) =  $R/d_2$  (1)
- $s$  = standard deviation (any sample size) (2)
- $V = \sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 / (n - 1)}$  (3)
- $V = \% \text{ coefficient of variation} = (s/\bar{x}) \times 100$  (4)
- $n$  = sample size (95 % confidence level) =  $(1.96 V/e)^2$

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,

TABLE A1.1 Minimum Acceptable Sample Size (n) for 95 % Confidence Level

| n  | Allowable Sampling Error (%) |     |     |     |     |     |     |     |      |     |
|----|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|    | Coefficient of Variation (V) |     |     |     |     |     |     |     |      |     |
|    | 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   | ...  | ... |
| 6  | ...                          | 35  | 16  | 9   | 6   | 4   | 3   | 2   | 2    | 2   |
| 7  | ...                          | 47  | 21  | 12  | 8   | 6   | 4   | 3   | 2    | 2   |
| 8  | ...                          | 62  | 28  | 16  | 10  | 7   | 5   | 4   | 3    | 3   |
| 9  | ...                          | 78  | 35  | 20  | 13  | 9   | 7   | 5   | 4    | 4   |
| 10 | ...                          | 96  | 43  | 24  | 16  | 11  | 8   | 6   | 4    | 4   |

- $\sum x$  = 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
- $d_2$  = 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. 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

TABLE A1.2 Factors for Estimating Standard Deviation from the Range on the Basis of Sampling Size

| Sample Size (n) | $d_2$ | $1/d_2$ |
|-----------------|-------|---------|
| 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  |

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) =  $\frac{4.2}{1.693} = 2.36$ ,

Coefficient of variation (v) =  $(s/\bar{x}) \times 100 = (2.36/15.7) \times 100 = 15.0\%$ .

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 = $\sum(x - \bar{x})^2$ |

$s = \sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 / (n - 1)} = \sqrt{2.1375/9} = \sqrt{0.2375} = 0.4873$   
 $V = (s/\bar{x}) \times 100 = (0.4873/6.45) \times 100 = 7.56\%$

TABLE A1.3 Typical Volume Loss Range<sup>A</sup>

| 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              |

<sup>A</sup> Falex Corporation, 1020 Airpark Drive, Sugar Grove, IL (USA).

A1.5.1.1 In this particular test series the 7.56 % coefficient 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 E122 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  $\bar{x}$ , 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 mm<sup>3</sup> 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.

**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.

*ASTM International 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 International 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 International, 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](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>*

### Anexo 3. Factura de compra de norma ASTM G105-20.

Order Number: 000437373

Order Date: 2023-05-03

| Item   | Quantity | Price   | Total   |
|--|----------|---------|---------|
| Standard Test Method for Conducting Wet Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests<br><br>Item: G0105-20-PDF<br>Language: English (United States)<br>Format: PDF | 1        | \$57.00 | \$57.00 |
| Subtotal:  |          |         | \$57.00 |
| Shipping:  |          |         | \$0.00  |
| Tax:   |          |         | \$0.00  |
| Grand Total:   |          |         | \$57.00 |

#### Address Information

##### Billing Address

María Cristina Moreta  
0963638506  
Calle Jhonson City y Camilo Montenegro  
Guaranda, EC-B  
20150  
EC:Ecuador

##### Shipping Address

María Cristina Moreta  
0963638506  
Calle Jhonson City y Camilo Montenegro  
Guaranda, EC-B  
20150  
EC:Ecuador

#### Payment Information

##### Payment Type

Visa  
#: \*\*\*\*\* 1373  
Exp: \*\*/\*\*

## Anexo 4. Ensayo de rugosidad.



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



### Procedimiento para realizar el Ensayo de Rugosidad

#### 1. Preparación de la superficie:

Las superficies a medir deben estar limpias y libres de cualquier contaminante que pueda afectar la medición de la rugosidad.



#### 2. Calibración del equipo:

Previo a la realización del ensayo es necesario asegurarse que este se encuentre correctamente calibrado, el ensayo se llevara a cabo con el equipo de medición de rugosidad que se encuentra en el laboratorio de metalografía de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

#### 3. Realización de las mediciones:

Colocar el equipo en una superficie a medir, es necesario tener extremo cuidado con el equipo ya que posee una aguja sensible con la cual mide la rugosidad, es necesario realizar al menos 3 mediciones en cada superficie.





## Anexo 5. Ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso.



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



### Procedimiento para realizar el Ensayo de Desgaste Abrasivo en Medio Acuoso

Este ensayo de abrasion en medio acuosos es un metodo que se rige bajo la norma ASTM G105-20, por lo que cada parametro esta basado n dicha norma, Cabe recalcar que la norma tecnica ASTM G105-20, es para determinar el desgaste abrasivo en medio acuoso más no para determinar la velocidad de desgaste abrasivo en un medio acuoso.

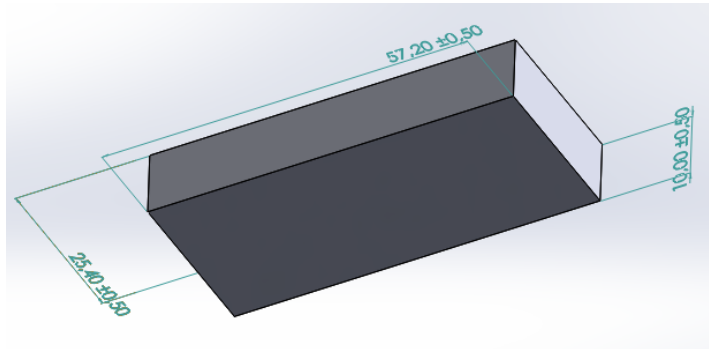
#### 1. Preparación de la muestra:

Para llevar a cabo el ensayo se debe tener muestras o probetas que según la norma ASTM G105-20, estas deben ser de forma rectangular con las siguientes medidas:

De ancho:  $25,4 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$

De largo :  $57,2 \text{ mm} \pm 0,8 \text{ mm}$

De espesor :  $6,4 \text{ mm}$  a  $15,9 \text{ mm}$



Para el presente trabajo experimental se realizo 10 probetas de acero Inoxidable AISI 304, AISI 316 Y AISI 420, es decir 30 probetas o muestras.



## 2. Preparacion del equipo y parametos del ensayo

Tanto el equipo como los parametos del ensayo estan determinados bajo la norma ASTM G105-20, por lo que la norma describe los siguientes parametos.

| <b>Parametos</b>                         |                                     |
|--|-------------------------------------|
| <b>Velocidad de rotacion del disco</b>   | 350± 5 rpm                          |
| <b>Distancia total de desplazamiento</b> | 5586 m                              |
| <b>Tiempo de cada prueba</b>             | 15 minutos                          |
| <b>Número de ciclos totales</b>          | 5000 ciclos                         |
| <b>Perdida de masa en probetas cada</b>  | 1000 ciclos                         |
| <b>Dureza del neorpeno</b>               | Shore A70 ± 2,0. y Shore A50 ± 2,0. |
| <b>Tamaño del grano de arena silica</b>  | 50/70 AFS (230/270 µm)              |
| <b>Motor</b>                             | 1 HP                                |
| <b>Mezcla Abrasiva</b>                   | 1,5 kg de arena y 0,940 kg de agua  |

## 3. Realizacion del ensayo

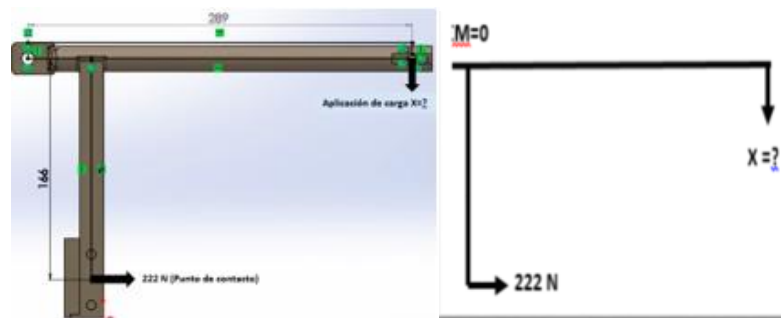
Previamente a empezar el ensayo se deben realizar una serie de pasos.

- Medir el peso inicial de cada proveta , pero antes de esto es necesario limpiar las probetas con cetona, además, es importante demagnetizar las probetas utilizando la ley de Curie, que establece que al aumentar la temperatura de las probetas, su campo magenetico disminuye.



Para el pesaje inicial y posterior de cada probeta es necesario hacerlo en una balanza analítica de precisión de 0,0001 gramos, que lo expresa en la norma ASTM G105-20

- Para determinar la carga que se debe colocar para el ensayo se realizó anteriormente un análisis de momentos donde  $\Sigma M=0$ , este análisis se encuentra en la tesis “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”.



Donde:

$$\Sigma M = 0$$

$$X1 = 289 \text{ mm}$$

$$Y1 = 166 \text{ mm}$$

$$PX1 = ?$$

$$PY2 = 222 \text{ N}$$

$$222 \text{ N} * 166 \text{ mm} = 289 \text{ N} * X1$$

$$PX1 = 127,5 \text{ N}$$

La carga a aplicar es de 127,5 N, es decir que, se debe aplicar un peso de 13 Kg en el extremo del brazo donde al aplicar dicho peso, generará una carga de 222 N en el punto tangencial.

Para iniciar el ensayo se deben realizar los siguientes pasos:

- Limpiar la cámara de la máquina donde se llevará a cabo el ensayo, seguidamente se colocará el disco, la probeta.





- Antes de llevar a cabo el ensayo con las probetas, se debe realizar una prueba previa para determinar que la máquina esté funcionando bien, es decir, realizar el ensayo con una probeta de prueba.
- Se colocará la mezcla abrasiva y seguido el peso de 13 kg, de esta manera se lleva a cabo el ensayo durante 3 minutos después de estos tres minutos debe realizarse un pesaje para determinar la masa perdida.



Al finalizar cada ensayo (cada 3 minutos o 180 segundos) se debe desechar la mezcla abrasiva, limpiar la cámara y repetir el ensayo 5 veces más por cada probeta, es decir, el tiempo total de ensayo por cada probeta es de 15 minutos, también antes del pesaje se debe limpiar muy bien las probetas.

#### **4. Analisis de datos**

Una vez se tenga los datos de pérdida de masa de todas las probetas se procede a

el análisis de datos se debe utilizar las siguientes formulas:

Para hallar el desgaste de material:

$$\Delta P(\text{gr}) = P_i - P_f$$

Donde

Pi = Peso Inicial

Pf = Peso Final

Para hallar el volumen perdido:

$$Vol p (mm^3) = \left( \frac{\Delta P (\text{gr})}{\rho \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}} \right)} \right) * 100$$

Donde

$\Delta P$  = Desgaste de material

$\rho$  = Densidad del material ensayado

Para calcular la tasa de desgaste:

$$Tasa de desg = \frac{\Delta P (\text{mgr})}{L(\text{m})}$$

Donde

$\Delta P$  = Desgaste de material

L = Desplazamiento lineal

Para determinar el coeficiente de desgaste:

$$k = \frac{\Delta P (\text{mgr})}{F(N) * L(\text{m})}$$

Donde

$\Delta P$  = Desgaste de material

F= Fuerza nominal

L = Desplazamiento lineal

Para determinar la velocidad de desgaste:

$$Vdesg \left( \frac{mm^3}{s} \right) = \frac{Volp(mm^3)}{T(s)}$$

Donde

Volp= Volumen perdido

T= Tiempo de exposición.