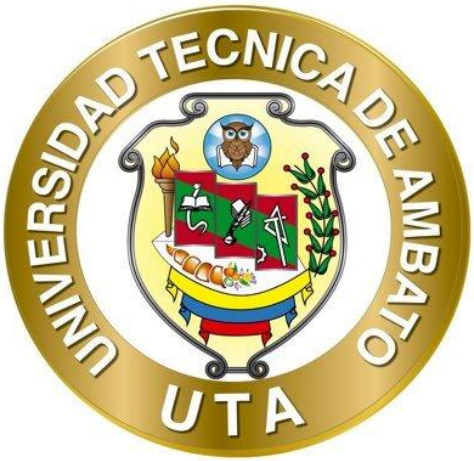


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

TEMA:

Análisis de la dureza y resistencia al desgaste de materiales poliméricos comerciales utilizados en componentes mecánicos

---

AUTOR: Israel Vladimir Cando Chicaiza

TUTOR: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

Ambato - Ecuador

Junio-2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"ANÁLISIS DE LA DUREZA Y RESISTENCIA AL DESGASTE DE MATERIALES POLIMÉRICOS COMERCIALES UTILIZADOS EN COMPONENTES MECÁNICOS"**, elaborado por el estudiante Israel Vladimir Cando Chicaiza, portador de la cédula de ciudadanía número 1850495597, 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, junio 2026



Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

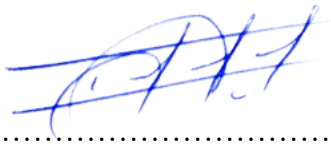
C.C. 1803729126

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Israel Vladimir Cando Chicaiza**, con C.C. 1850495597 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS DE LA DUREZA Y RESISTENCIA AL DESGASTE DE MATERIALES POLIMÉRICOS COMERCIALES UTILIZADOS EN COMPONENTES MECÁNICOS ",** así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, junio 2026



…….

Israel Vladimir Cando Chicaiza

C.C. 1850495597

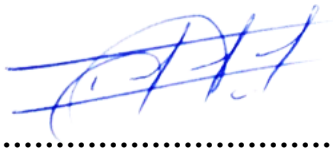
AUTOR

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 procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este 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, junio 2026



.....

Israel Vladimir Cando Chicaiza

C.C. 1850495597

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Israel Vladimir Cando Chicaiza** , de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **"ANÁLISIS DE LA DUREZA Y RESISTENCIA AL DESGASTE DE MATERIALES POLIMÉRICOS COMERCIALES UTILIZADOS EN COMPONENTES MECÁNICOS ".**

Ambato, junio 2026

Para constancia firma:

Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.	Ing. Vanessa Fernanda Morales Rovalino, MSc.
C.C. 1802039485	C.C. 1802630416
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

A Dios, por darme la salud y la sabiduría necesaria para superar cada obstáculo en este camino y por poner a las personas correctas en mi vida para culminar con éxito esta etapa. A mis padres, por ser el ejemplo vivo de constancia y perseverancia. A mi querido padre, con profunda admiración y respeto, por ser mi ejemplo de trabajo duro, rectitud y perseverancia, por enseñarme que con disciplina y honestidad se puede lograr todo lo que uno se propone. A mi querida madre, por ser el amor más puro e incondicional en mi vida y mi motor detrás de cada uno de mis pasos, por cada palabra de aliento o un abrazo a tiempo, recordándome siempre de lo que soy capaz. Tu sabiduría y entrega diaria me enseñaron que con amor y constancia no hay meta inalcanzable. Este logro es el resultado directo de sus sacrificios, de su amor incondicional y de esa confianza ciega en mis capacidades. Su fe inquebrantable en mi ha sido mi mayor fortaleza. A mis hermanos, mis eternos compañeros de vida, por compartir mis desvelos y ser el refugio seguro donde siempre encontrare paz, gracias por escuchar mis inquietudes y por tener siempre una broma oportuna para aliviar la presión de los días más difíciles. Compartir este logro con todos ustedes es una de mis mayores alegrías, gracias por ser mi motivación y orgullo.

Israel Cando

AGRADECIMIENTO

Terminar este trabajo de titulación no solo es el resultado del esfuerzo académico, sino también del apoyo incondicional de las personas que me acompañaron en cada etapa de este camino. Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, su fe inquebrantable en mis capacidades han sido el motor que me impulsó a seguir adelante y no rendirme en los momentos más difíciles. Ver sus sacrificios me enseño el verdadero significado de la constancia y perseverancia. Les agradezco infinitamente sus palabras de aliento en los momentos clave para motivarme, este logro les pertenece tanto como a mí. A mis hermanos, gracias por ser mi refugio, escuchar mis inquietudes y por entender mis ausencias, su presencia es el ancla que me mantiene firme en los momentos más difíciles. De igual manera, expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Mg. Henry Vaca, su guía y exigencia académica fuero pilares fundamentales para culminar este trabajo de titulación. Gracias por compartir su conocimiento y por motivarme a ir más allá de mis capacidades. A la Universidad Técnica de Ambato, por ser parte fundamental de mi formación académica, de mi crecimiento intelectual y personal.

Mi agradecimiento infinito a todos ellos por su confianza y por acompañarme a cerrar con éxito este gran paso en mi vida.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPÍTULO I 1
1.1. Antecedentes Investigativos 1
1.2. Objetivos 2
1.2.1. Objetivo General 2
1.2.2. Objetivos específicos 2
1.3. Marco Teórico 3
1.3.1. Fundamentos de manufactura 3
1.3.2. Los materiales en la manufactura 5
1.3.3. Los Metales 6
1.3.4. Clasificación y materiales de estudio 8
1.3.5. Nylon 8
1.3.6. Teflón 10
1.3.7. Grilon 12
1.3.8. Duralon 14
1.3.9. Ensayos 16
1.3.10. Ensayo de dureza 17
1.3.11. Ensayo de abrasión 20
CAPÍTULO II 24

METODOLOGÍA 24
2.1. Materiales 24
2.1.1. Materia Prima 25
2.2. Métodos 25
2.2.1. Ubicación 25
2.2.2. Tipo de investigación 26
2.2.2.1. Experimental 26
2.2.2.2. Descriptiva 26
2.2.2.3. Cuantitativa 27
2.2.3. Hipótesis 27
2.2.4. Población y muestra 27
2.2.5. Recolección de información 27
2.2.6. Normativa 28
2.3. Variables 29
2.3.1. Variable Independiente: 29
2.3.2. Variable Dependiente: 30
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información 31
2.5. Ensayos 33
2.5.1. Proceso del ensayo de Dureza 33
2.5.2. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión 34
CAPÍTULO III 38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 38
3.1. Interpretación y discusión de resultados. 38
3.2. Análisis de Resultado 59
3.2.1. Análisis del Ensayo de Dureza Shore D (Norma ASTM D2240-15) 59
3.2.1.1. Discusión del comportamiento 60
3.2.2. Análisis del ensayo de resistencia al desgaste abrasivo (Norma ISO 9352) . 61
3.2.2.1. Discusión del Mecanismo de Desgaste Superficial 61
3.2.2.2. Análisis Cuantitativo del Desgaste en Masa y Volumétrico 61
3.2.2.3. Fórmulas empleadas 61
3.2.2.4. Cálculo por material 64
3.2.2.5. Tabla resumen 72

3.2.2.6. Discusión del comportamiento.....75
CAPÍTULO IV.....77
4.1. Conclusiones.....77
4.2. Recomendaciones.....80
MATERIALES DE REFERENCIA.....81
Referencias bibliográficas.....81
ANEXOS.....84

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Manufactura Proceso Técnico[1].....3
Fig. 2 Manufactura en el proceso tecnológico[1].....4
Fig. 3 Clasificación de la Manufactura[1].....5
Fig. 4 Diagrama de los polímeros[1].....6
Fig. 5 Indentador tipo D[25]. 18
Fig. 6 Durómetro Shore D.....20
Fig. 7 Abrasímetro.....20
Fig. 8 Esquema del sistema giratorio del Abrasímetro. 21
Fig. 9 Ensayo de desgaste. 23
Fig. 10 Diagrama de flujo del desarrollo experimental.....32
Fig. 11. Dureza Shore D.....60
Fig. 12. Ciclos vs Índice de desgaste (Nylon).....66
Fig. 13. Ciclos vs Índice de desgaste (Grilon). 68
Fig. 14. Ciclos vs Índice de desgaste (Teflón). 70
Fig. 15. Ciclos vs Índice de desgaste (Duralon).....72
Fig. 16. Desgaste abrasivo (5000 ciclos). 73
Fig. 17. El diagrama radial correlaciona simultáneamente la tasa de desgaste en masa, la tasa de desgaste volumétrica y la densidad del material. 74
Fig. 18. Diagrama de Dispersión Asimétrica de Desgaste y Densidad. 74
Fig. 19. Diagrama de superficie del desgaste abrasivo. 75
Fig. 20. Nylon (Probetas para el ensayo de abrasión).....84
Fig. 21. Teflón (Probetas para el ensayo de abrasión y dureza).....84
Fig. 22. Grilon (Probetas para el ensayo de abrasión y dureza).....84
Fig. 23. Duralon (Probetas para el ensayo de abrasión y dureza). 85
Fig. 24. Ensayo de dureza. 85
Fig. 25. Peso de la carga aplicada a los brazos. 85
Fig. 26. Ensayo de Desgaste abrasivo Taber. 86
Fig. 27. Desgaste del polímero a 5000 ciclos.....86
Fig. 28. Teflón (Probeta a 5000 ciclos de abrasión).....87

Fig. 29. Nylon (Probeta a 5000 ciclos de abrasión). 87
Fig. 30. Grilon (Probeta a 5000 ciclos de abrasión). 87
Fig. 31. Duralon (Probeta a 5000 ciclos de abrasión). 88
Fig. 32. Pesaje de las probetas. 88
Fig. 33 Dimensiones de las probetas. 89
Fig. 34. Dimensiones de las planchas de polímero. 90

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. Selección de muelas abrasivas [27]. 22
TABLA II. Materiales. 24
TABLA III. Materiales (continuación). 25
TABLA IV. Material y número de probetas. 27
TABLA V. Operacionalización de variable Independiente. 29
TABLA VI.Operacionalización de variable Dependiente. 30
TABLA VII. Proceso del ensayo de dureza. 33
TABLA VIII. Proceso del ensayo de dureza (continuación). 34
TABLA IX. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión. 34
TABLA X. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión(continuación). .35
TABLA XI. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión(continuación). 36
TABLA XII. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión(continuación). 37
TABLA XIII. Registro puntual y valores promedio de dureza Shore D para los materiales evaluados. 59
TABLA XIV. Descripción de la fórmula de pérdida de masa total. 61
TABLA XV. Descripción de la fórmula de pérdida de masa promedio. 62
TABLA XVI. Descripción de la fórmula de tasa de desgaste en masa. 62
TABLA XVII. Descripción de la fórmula de Perdida volumétrica acumulada promedio. 62
TABLA XVIII. Descripción de la fórmula de Tasa de desgaste volumétrica. 63
TABLA XIX. Descripción de la fórmula de desviación Estándar Muestral. 63
TABLA XX. Descripción de la fórmula del coeficiente de variación. 63
TABLA XXI. Descripción de la fórmula de intervalo de confianza. 64
TABLA XXII. Índice de desgaste(mg) vs Número de ciclos. 72
TABLA XXIII. Tabla resumen del ensayo de resistencia al desgaste abrasivo. 73
TABLA XXIV. Comportamiento Estadístico 75

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación caracteriza y evalúa el comportamiento mecánico y tribológico de cuatro polímeros de ingeniería comercial (Duralon, Grilon, Nylon y Teflón) comúnmente implementados en la manufactura de elementos mecánicos industriales. La fase experimental se ejecutó bajo normativas estandarizadas, realizando ensayos de dureza por indentación mediante un durómetro Tipo Shore D bajo la norma ASTM D2240-15, y ensayos de desgaste abrasivo dinámico utilizando un mecanismo rotativo Taber de acuerdo con la especificación ISO 9352. El Duralon presentó datos de mayor rigidez estructural y el menor índice de desgaste Taber, evidenciando excelente estabilidad dimensional bajo esfuerzos localizados. Por otro lado, el Teflón, a pesar de registrar la menor dureza superficial, alcanzó una resistencia al desgaste sumamente eficiente. Esta se justifica por la activación de un mecanismo de autolubricación molecular y también por la formación de una película de transferencia polímero-polímero sobre las ruedas abrasivas. El Grilon presenta un desempeño tribológico y mecánico superior al Nylon ya que posee mayor densidad molecular. El Nylon presentó mayor abrasión severa, debido a la plastificación termo-mecánica por fricción y a la susceptibilidad higroscópica inherente. Finalmente, este análisis mecánico entrega criterios estructurados de selección de materiales para componentes mecánicos, se establece al Duralon como el candidato óptimo para configuraciones de alta carga estructural, y al Teflón se lo establece como la alternativa principal al utilizar en interfaces de deslizamiento continuo donde la lubricación externa resulte técnicamente ser restrictiva.

Palabras clave: POLÍMERO, DUREZA SHORE D, ABRASIÓN TABER, AUTOLUBRICACIÓN, HIGROSCÓPICO, RESISTENCIA.

ABSTRACT

This research paper characterizes and evaluates the mechanical and tribological behavior of four commercial engineering polymers Duralon, Grilon, Nylon, and Teflon commonly implemented in the manufacturing of industrial mechanical components. The experimental phase was executed under standardized protocols, conducting indentation hardness tests utilizing a Shore Type D durometer in accordance with the ASTM D2240-15 standard, and dynamic abrasive wear tests employing a Taber rotary mechanism according to the ISO 9352 specification. Duralon exhibited the highest structural rigidity and the lowest Taber wear index, demonstrating excellent dimensional stability under localized stresses. On the other hand, Teflon, despite registering the lowest surface hardness, achieved highly efficient wear resistance. This behavior is scientifically justified by the activation of an intrinsic molecular self-lubrication mechanism and the subsequent formation of a polymer-to-polymer transfer film on the abrasive wheels. Grilon displayed superior tribological and mechanical performance compared to standard Nylon due to its higher molecular density. Nylon exhibited the highest vulnerability to severe abrasion, driven by friction-induced thermo-mechanical plasticization and its inherent hygroscopic susceptibility. Finally, this mechanical analysis delivers structured material selection criteria for mechanical components, establishing Duralon as the optimal candidate for high structural load configurations, and designating Teflon as the primary alternative for continuous sliding interfaces where external lubrication is technically restrictive.

Keywords: POLYMER, SHORE D HARDNESS, TABER ABRASION, SELF-LUBRICATING, HYGROSCOPIC, RESISTANCE.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Para fundamentar el presente trabajo se basa en una serie de investigaciones previas, cuyas contribuciones son determinantes para el desarrollo y la estructura de los argumentos aquí expuestos. La inclusión de estos referentes permite asegurar el rigor técnico en la evaluación y el progreso sistemático del documento.

En Ingeniería Mecánica, la selección de materiales es fundamental para asegurar la vida útil de los componentes y la confiabilidad de estos. Los poliméricos comerciales como (Nylon, Teflón, Grilon y Duralon), se emplean cada vez más como sustitutos de metales en diversos componentes mecánicos (como engranajes, rodamientos, etc.) debido a las ventajas que presenta cada material, como su menor peso, resistencia a la corrosión, y a menudo, su costo competitivo. Sin embargo, existe una limitada disponibilidad de datos experimentales y estandarizados sobre sus propiedades mecánicas clave (específicamente la dureza y la resistencia al desgaste).

La falta de información precisa sobre la dureza, que influye en la capacidad del material para resistir el daño superficial y la resistencia al desgaste que es crucial en piezas con movimiento relativo, puede llevar a la selección inadecuada del polímero. Esto resulta en fallas prematuras del componente, mantenimientos más frecuentes y, consecuentemente, incrementos en los costos de operación, además una reducción en la eficiencia de los sistemas mecánicos. En base a esto la pregunta es: ¿Cómo varia la dureza y la resistencia al desgaste de los materiales poliméricos comerciales como Nylon, Teflón, Grilon y Duralon?, es esencial realizar una caracterización experimental rigurosa para proporcionar una base de datos confiable que ayude a ingenieros y diseñadores a tomar decisiones informadas. Esta investigación es importante porque llenará un vacío de conocimiento al proporcionar datos experimentales verificados sobre las propiedades mecánicas de los polímeros comerciales.

En la práctica, al analizar la dureza y la resistencia al desgaste, se obtendrán criterios de selección de materiales más robustos para la industria mecánica local y nacional. Esto permitirá a las empresas y diseñadores elegir el polímero óptimo que maximice el rendimiento y minimice las fallas, lo que se traduce en mejoras en la calidad y durabilidad de los productos finales. Además, los resultados pueden servir como una guía de referencia para la normalización de ensayos de polímeros en el contexto ecuatoriano.

La optimización de los componentes mecánicos conduce a maquinaria más segura y a menores tiempos de inactividad en procesos productivos, una selección precisa del material reduce los costos asociados con el reemplazo de piezas y el mantenimiento correctivo, generando un ahorro significativo y aumentando la competitividad de la industria al adoptar materiales modernos de manera eficiente, este proyecto es crucial para aplicar y profundizar los conocimientos de ciencia de materiales, cumpliendo así con los objetivos planteados.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Analizar la dureza y resistencia al desgaste de materiales poliméricos comerciales utilizados en componentes mecánicos

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar las probetas para los ensayos de dureza y resistencia al desgaste de materiales poliméricos comerciales utilizados en componentes mecánicos.
- Desarrollar los ensayos de dureza y resistencia al desgaste de los materiales poliméricos comerciales utilizados en componentes mecánicos
- Analizar los resultados de los ensayos de dureza y resistencia al desgaste de los materiales poliméricos comerciales utilizados en componentes mecánicos.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Fundamentos de manufactura

Manufactura es la combinación de las palabras latinas manus (manos) y factus (hacer), que significa hecho a mano. La manufactura actualmente utiliza maquinaria automatizada y controlada por computadora, sin embargo, la historia se puede dividir en dos partes[1]:

1. El hombre descubrió materiales e invento los procesos para fabricar cosas.
2. El sistema de producción y su desarrollo.

En la actualidad la manufactura se puede definir de dos maneras: una económica y una tecnológica. La manufactura tecnológica altera la geometría y propiedades mediante procesos físicos y químicos de un material para fabricar productos con un fin determinado. La manufactura también lleva a cabo el ensamblaje de piezas múltiples para obtener productos está involucra la combinación de varios factores como herramientas, maquinas, trabajo manual y energía, Figura 1. Por lo general se considera una serie de operaciones para ejecutar la manufactura, la cual nos lleva al estado final que se desea[1].

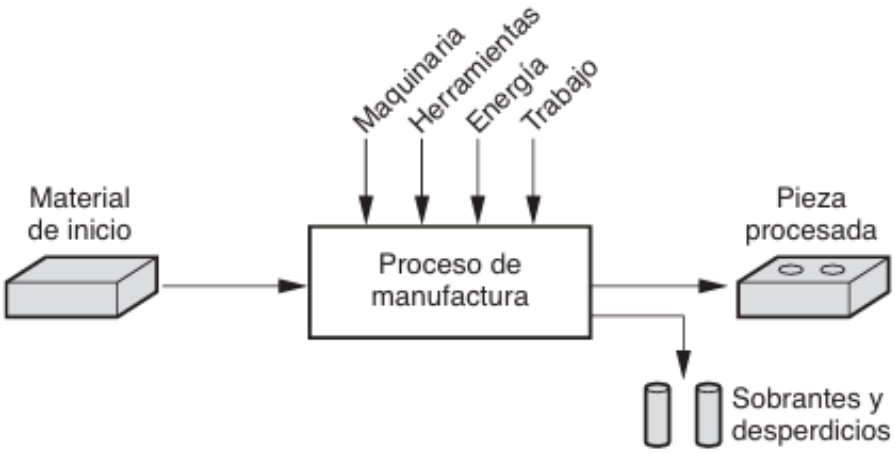


Fig. 1 Manufactura Proceso Técnico[1].

La manufactura económica se puede definir como la transformación de los materiales para obtener artículos útiles y por ende de mayor valor, Fig. 2. La clave es que modificando la forma y sus propiedades incremente el valor del material[1].

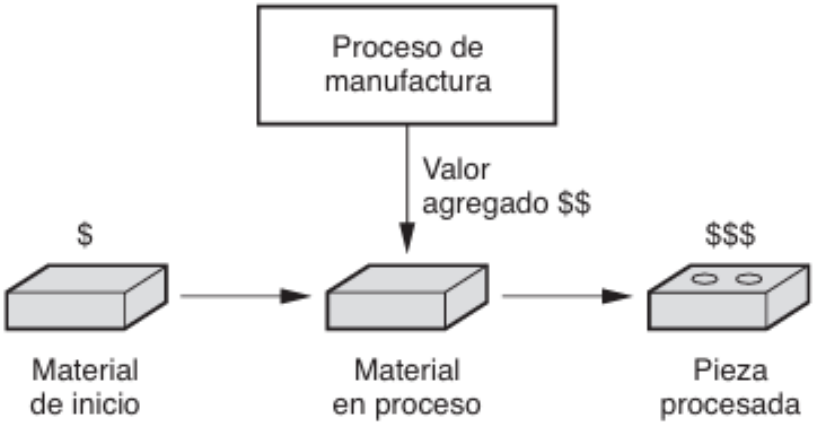


Fig. 2 Manufactura en el proceso tecnológico[1]

Por medio de la manufactura aplicada en el material se obtiene diferentes artículos que utiliza diversos procesos, un proceso común es el ensamblaje ya que en este se entorna la manufactura económica[1].

Procesos de Manufactura

La clasificacion de la manufactura podemos observar en la Fig. 3.

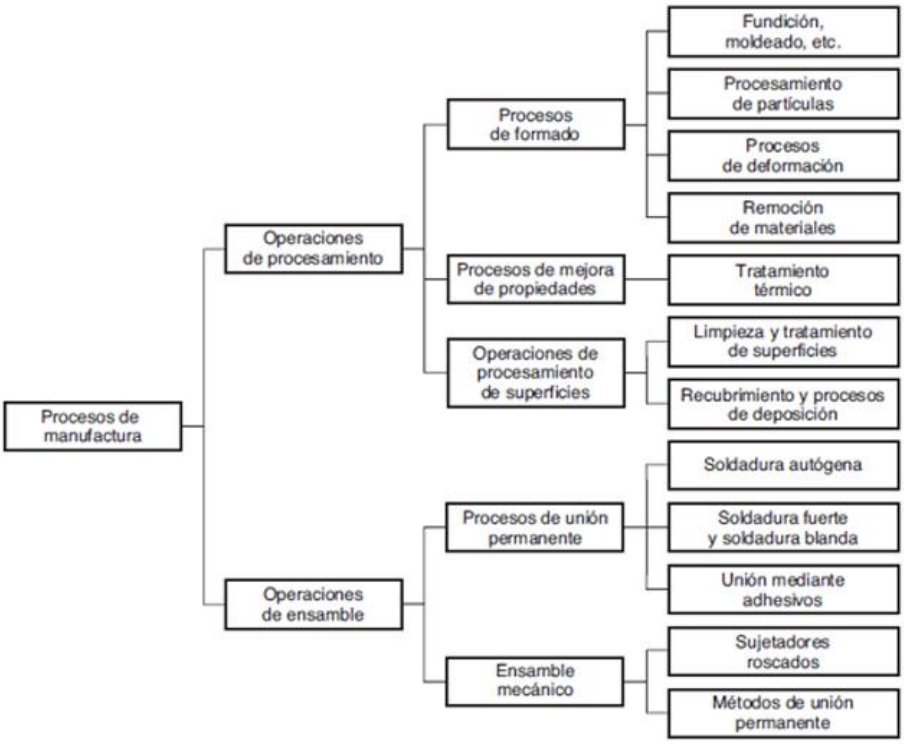


Fig. 3 Clasificación de la Manufactura[1].

1.3.2. Los materiales en la manufactura

En la ingeniería los materiales se pueden clasificar en 4 categorías y cada una contiene diferentes características químicas, físicas y mecánicas, las tres primeras categorías: metales, cerámicos y polímeros no se parecen y complican los procesos de manufactura. En la cuarta categoría tenemos los compuestos que contiene mezclas no homogéneas de las tres categorías[1], Figura 4.

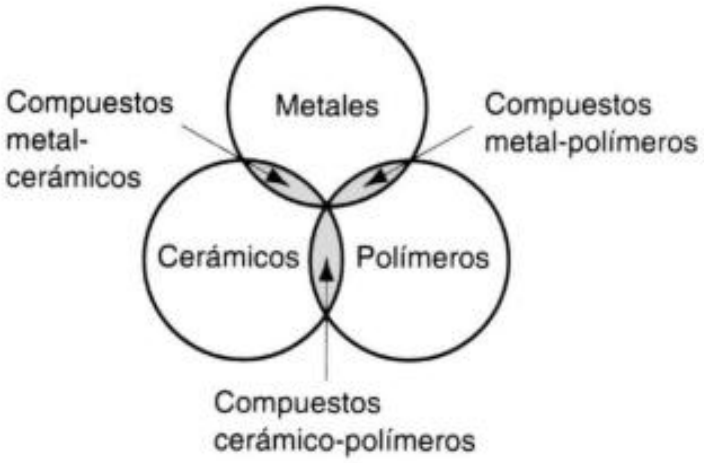


Fig. 4 Diagrama de los polímeros[1]

1.3.3. Los Metales

Las aleaciones son por lo general los metales utilizados en la manufactura, están compuestos de dos o más elementos. Los materiales metálicos se dividen en dos grupos: ferrosos y no ferrosos[1].

1. Ferrosos

   Los materiales ferrosos están dominados por el hierro, estos materiales son más relevantes en el comercio global ya que representan el pilar fundamental de la infraestructura global contemporánea, este grupo conformado de aceros y hierro colado, este abarca más de las tres cuartas partes del volumen total en términos de masa[1].

   El acero se identifica como una aleación solida de hierro y carbono que está compuesta con el 0.02% y el 2.11% de carbono. Debido a su versatilidad, es un exponente de mayor relevancia dentro de los materiales ferrosos. La composición habitualmente se modifica mediante la adición de otros elementos como manganeso, cromo, níquel y molibdeno, con la finalidad de optimizar las propiedades del metal[1].

El hierro colado, aleación hierro carbono presenta un contenido de carbono superior, compuesta con el 2% y el 4% respectivamente, si se adiciona la presencia de silicio en proporciones de 0.5% al 3%, mejora las propiedades en procesos de conformación por moldeo, generalmente su uso en fundición en arena verde[1].

2. No ferrosos

   En esta categoría están todos los elementos metálicos y sus respectivas soluciones solidas que no contienen hierro en su matriz como componente mayoritario. Estas aleaciones no ferrosas tienen una gran relevancia comercial ya que tienen propiedades mecánicas y físicas específicas[1].

Los cerámicos

Los cerámicos se los define como compuestos que integran elementos (metálicos o semimetálicos) y también no metálicos, conocidos como el oxígeno, el carbono y el nitrógeno. Estos cerámicos de subdividen de acuerdo con su estructura y procesamiento[1]:

1. **Cerámicos Cristalinos**

   Se los diferencia por un ordenamiento atómico de largo alcance. Mediante el proceso de sinterización se fabrican, donde la energía térmica que se aplica está por debajo del punto de fusión para así tener la difusión atómica y con ello la unión de las partículas[1].

2. **Cerámicos vitreos (Amorfos)**

   Estos cerámicos no tienen una estructura cristalina definida. En su procesamiento tiene una fusión completa de los componentes y se logra el conformado en estado viscoso como, laminado o soplados comunes en la industria del vidrio[1].

Materiales poliméricos

Los materiales poliméricos en la actualidad se los encuentra muy comúnmente en el entorno, como en componentes mecánicos industriales o también en materiales médicos. Las propiedades únicas de los polímeros y su versatilidad facilitan el desarrollo tecnológico y científico[1].

Un polímero es una macromolécula constituida por la repetición de unidades estructurales llamadas meros. Estos meros se consolidan mediante los enlaces covalentes, donde se forman cadenas de gran longitud y peso molecular ya que sus átomos como el cloro, oxigeno, nitrógeno e hidrogeno comparten electrones[1].

Según su comportamiento térmico y su configuración estructural, se los puede clasificar en tres grupos principales:

Polímeros Termoplásticos

Estos polímeros se identifican por su capacidad de presentar ciclos reversibles de calentamiento y enfriamiento. Estos materiales se los pueden conformar al ser fundidos y posteriormente se solidifican sin que se degrade significativamente su estructura. Los más comunes contienen polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo, y nylon. Los polímeros termoplásticos han ganado un terreno significativo como sustituto de algunos metales ya que sus propiedades específicas como su resistencia a la corrosión, su peso, y costos operativos son bajos[1].

1.3.4. Clasificación y materiales de estudio

Los materiales para enforcarse son termoplásticos como (Nylon, Teflón, Grilon y Duralon), caracterizados por su capacidad de adquirir cualquier forma mediante el calor y su resistencia estructural. La tribología de los polímeros es importante ya que, a diferencia de los metales, los polímeros tienen una naturaleza viscoelástica, es decir su respuesta mecánica depende de la velocidad de carga y la temperatura.

1.3.5. Nylon

El Nylon es una poliamida sintética caracterizada por tener grupos de amida en su cadena principal, generalmente conocido por presentar una alta resistencia mecánica y tenacidad. El comportamiento tribológico necesita de un acondicionamiento previo (limpieza y control de humedad) antes de realizar ensayos de dureza o desgaste[2].

Cristalinidad y Mecánica

La estructura semicristalina le otorga una alta resistencia al impacto y a la fatiga[3]. La disposición de las cadenas moleculares ayuda a tener una absorción de energía mayor comparado a otros termoplásticos. El Nylon es hidrofílico es decir que absorbe la humedad presente en el ambiente, es un dato clave al estudiar su dureza (dureza Shore D), ya que el agua actúa como plastificante, con esto se reduce la dureza superficial, pero aumenta su ductilidad[2].

Comportamiento Tribológico del Nylon

El Nylon tiene un desempeño robusto cuando presenta condiciones de deslizamiento en seco, su rugosidad depende de su coeficiente de fricción y su tasa de desgaste[4]. El desgaste abrasivo es el que predomina es sus fases iniciales, ya que presenta una baja conductividad térmica, el calor que se genera puede producir un ablandamiento térmico[5].

Si se tiene altas velocidades de deslizamiento, este polímero puede presentar un flujo de estado superficial, modificando así la precisión dimensional del componente[6]. Este polímero tiene propiedades auto lubricantes inherentes que a baja velocidad se puede usar sin aplicar lubricantes, minimizando así los costos de mantenimiento[2].

Ventajas:

- Posee una alta tenacidad, gracias a su excelente capacidad de soportar impactos sin fracturarse[7].
- Tiene uno de los mejores esfuerzos de tracción conocido como resistencia mecánica[5].
- Es ideal para engranajes ya que por sus propiedades amortigua las vibraciones mejor que los metales.
- Tiene resistencia química, es decir buena tolerancia a aceites, grasas y solventes industriales.
- Resiste la fatiga al soportar ciclos de carga repetitivos, lo que beneficia a la vida útil de los componentes[8].

- Su costo-beneficio ya que brida altas prestaciones a un precio menor comparado a metales[5].

Desventajas:

- Expande el material por la absorción de humedad lo que afecta la precisión dimensional[9].
- Al estar cerca de su temperatura de transición vítrea disminuyen sus propiedades mecánicas.
- Se reduce la dureza al absorber agua por humedad ya que actúa como plastificante.
- Tiene una resistencia limitada a ácidos ya que se degrada rápidamente[9].
- Si se expone a temperaturas altas de forma continua en aire puede sufrir degradación oxidativa.
- Durante el corte se necesita herramientas muy afiladas para evitar que el material se derrita o sufra deformaciones por presencia de calor[5].

1.3.6. Teflón

El teflón es uno de los principales en la tribología de los polímeros debido a su coeficiente de fricción extremadamente bajo, este coeficiente se puede comparar al hielo sobre hielo[7]. Este polímero destaca por que tiene muy buena resistencia química, al utilizar en componentes mecánicos se le considera por su capacidad auto lubricante, aunque presenta una dureza baja a comparación de otros polímeros[10].

Es un fluoro polímero lineal que contiene un alto peso molecular donde los átomos de hidrogeno de la cadena de polietileno son sustituidos por átomos de flúor, estas propiedades dan un excelente comportamiento mecánico[11].

Cristalinidad y Mecánica

El teflón tiene una estructura compuesta por zonas ordenadas (cristalinas) y zonas desordenadas (amorfas), por esto este polímero es semicristalino. Aunque en su estado puro puede alcanzar un 90% de cristalinidad, los procesos de sinterizado y enfriamiento modifican esta condición, suele estabilizarse el grado de cristalinidad entre el 50% y el 70%[12].

Al tener una mayor dureza y resistencia a la fluencia, el polímero tiene mayor cristalinidad, esta determina cuanta resistencia opone el material a la penetración del indentador cónico. Las cadenas son rígidas gracias a la unión de Carbono-Flúor, esto otorga ductilidad al material ya que la laminas moleculares se deslizan con facilidad una sobre otra[12].

Comportamiento Tribológico del Teflón

Este polímero es único en su comportamiento tribológico ya que como ventaja principal tiene la auto lubricación, pero como contraparte critica es su taza de desgaste[13]. El teflón tiene un coeficiente de fricción muy bajo para materiales solidos (0.05 a 0.1 en seco), esto se debe a que los átomos de flúor son electronegativos y repele las iteraciones químicas con la contracara[10].

Sus moléculas se desenredan y se alinean en dirección al movimiento, esto permite un deslizamiento suave lo que genera una ligera disipación de energía en forma de calor[7]. Aunque el teflón posee baja fricción, la resistencia al desgaste del teflón puro es demasiado pobre a comparación del Nylon. Este polímero se desgasta por un proceso de escamado[14].

Ventajas:

- El desgaste por adhesión se reduce drásticamente por poseer un coeficiente de fricción mínimo.
- Es autolubricante y se puede utilizar sin la necesidad de aceites o grasas externas.
- Posee inercia química es decir que no reacciona con ninguna sustancia química industrial.
- Se mantiene estable en sus rangos de temperatura.
- Facilita la limpieza y evita que se adhiera residuos gracias a que tiene una energía superficial baja.
- Posee aislamiento eléctrico ya que tiene propiedades dieléctricas[15].

Desventajas:

- Es propenso a hendiduras ya que es bando.
- Al estar bajo carga estática prolongada tiende a deformarse permanentemente.
- Al tener contacto con partículas duras se desgasta más rápido a comparación de del Nylon por su baja resistencia a la abrasión.
- Sin tratamientos químicos especiales es complicado adherirlo a otras superficies.
- Su resistencia es limitada ya que no soporta altos esfuerzos de flexión o tracción[16].

1.3.7. Grilon

El Grilon es una variante comercial de poliamida, este material es importante debido al balance que tiene entre costo y sus características mecánicas. Este polímero se utiliza con frecuencia en la fabricación de piezas que necesitan tener precisión en la dimensión y bajo la fricción constante, la resistencia al impacto. En procesos industriales el Grilon está optimizado para el uso en moldeo y extrusión, lo que modifica ligeramente la estructura[17].

Cristalinidad y Mecánica

Este polímero semicristalino contiene en su estructura regiones ordenadas y rígidas(cristalino) y las regiones amorfas (flexibles y desordenadas). La dureza depende del grado de cristalinidad que tenga el Grilon, con una mayor cristalinidad la densidad de los enlaces de hidrogeno aumenta entre las cadenas de poliamida, lo que da como resultado una deformación plástica mayor bajo la carga del indentador[17].

Tiene un módulo elástico elevado y una alta resistencia a la tracción. Sin embargo, depende mucho el tiempo(fluencia) en su mecánica, ya que, si se aplica una carga por un largo tiempo, las cadenas se deslizan ya que las regiones amorfas lo permiten, lo que puede causar fallas en la medición de dureza si no se respeta el tiempo de aplicación de un durómetro. Un beneficio de Grilon es su capacidad de absorber energía antes de la fractura, lo que lo hace muy bueno en componentes que sufren impactos[17].

Comportamiento tribológico del Grilon

Al estar en situaciones de fricción el Grilon tiene un muy buen desempeño al igual que en desgaste, esto lo posiciona como un material intermedio entre la rigidez que posee el Duralon y la extrema lubricidad del teflón. La resistencia al desgaste abrasivo se debe a la tenacidad del Grilon ya que al tener una abrasión por partículas muy duras lo resiste muy bien. En un ensayo Taber, Grilon tiende a enseñar una tasa de desgaste estable, después de superar la fase de asentamiento[2].

El coeficiente de fricción es moderado, factor crítico reportado es que la temperatura local de la probeta puede generar calor al tener fricción por que el Grilon tiene baja conductividad térmica, esto provoca que se ablande la superficie debido al calor, con esto aumenta la adhesión y reduce la dureza, por lo que en altas velocidades el desgaste aumenta[2].

Al igual que toda poliamida este polímero es higroscópico, provocando que disminuya la dureza y tenga absorción de agua que puede reducir la fricción ya que también actúa como auto lubricante[2].

Ventajas:

- Posee gran versatilidad ya que se puede mecanizar por facilidad para obtener geometrías complejas.
- En entornos contaminados presenta una resistencia al desgaste abrasivo.
- El módulo estático permite mantener la forma del material bajo cargas moderas sin experimentar distorsiones.
- Buen comportamiento tribológico ya que se puede obtener superficies muy lisas por medio del acabado superficial.
- Hay disponibilidad en diversas formas (barras, placas).
- Posee gran resistencia al impacto y evita fallas catastróficas en el componente mecánico[18].

Desventajas:

- Por hidratación puede sufrir cambios dimensionales ya que es una poliamida[9].
- Posee una conductividad térmica baja ya que acumula el calor que se genera por fricción, esto podría ablandar el material.
- En comparación a los metales este material posee un coeficiente de expansión térmica alto.
- Si se expone a rayos UV puede volverse quebradizo con el tiempo (envejecimiento).
- La dureza del material varía dependiendo de la temperatura[18].

1.3.8. Duralon

El Duralon es un polímero que representa una categoría de alto rendimiento diseñado especialmente para la sustitución de metales en componentes donde se necesita un equilibrio entre la durabilidad antes la perdida de material por fricción o acción mecánica y su capacidad de carga. Este polímero contiene un alto peso molecular o una poliamida modificada con rellenos cerámicos o metálicos[17].

Cristalinidad y mecánica del Duralon

Posee una estructura semicristalina muy alta, lo que ayuda a tener una estabilidad dimensional superior a otros polímeros comerciales[19]. Ya que tiene cadenas moleculares muy largas, el Duralon posee zonas cristalinas densamente empaquetadas. Esta alta densidad de cristalinas hace que el polímero tenga mayor dureza, posicionándola en el rango superior de los termoplásticos (75-85 Shore D)[17].

Dentro de las mayores ventajas mecánicas de este polímero es la resistencia que tiene al flujo en frio. Mientras que el Teflón se deforma con facilidad al estar bajo una carga estática, el Duralon conserva su forma gracias a la rigidez que tiene su matriz cristalina[17].

El módulo elástico del Duralon es elevado esto permite que el material al ser fabricado en componentes soporte esfuerzos de compresión significativos sin tener falla, algo crítico para bujes y cojinetes industriales[17].

Comportamiento Tribológico del Duralon

El Duralon en cuestión de fricción y desgaste ofrece una vida útil prolongada en ambientes abrasivos. La resistencia al desgaste por abrasión en el Duralon se destaca por que la tasa de desgaste es más baja frente a partículas duras[19]. Según la norma ISO 9352, en ensayos de abrasión, la pérdida de masa en este material es baja, como tiene alta energía de cohesión molecular, impide que se arranque fragmentos del polímero[20].

Posee un coeficiente de fricción estable, a pesar de que no alcanza los niveles de fricción baja del teflón, el Duralon mantiene constante este coeficiente incluso bajo altas presiones de contacto. Esta característica es fundamental ya que evita la vibración por fricción en maquinaria pesada[18]. Este polímero tiene valores límites de presión-velocidad superiores al Nylon y al Grilon, esto nos indica que puede utilizarse a mayores velocidades y cargas, antes de que la superficie material se degrade por el calor de la fricción[21].

Ventajas:

- Es un polímero muy rígido ideal para resistir la penetración.
- Al estar bajo carga y cambios de temperatura tiende a sufrir muy poca deformación gracias a su estabilidad dimensional[21].
- Su vida útil es más larga ya que resiste el desgaste en condiciones de fricción severa.
- Este material no se ve afectado por la humedad ambiental.
- Posee resistencia química ya que soporta químicos más agresivos que las poliamidas estándar.
- Tiene alta capacidad de carga ya que soporta presiones de contacto más elevadas sin deformarse[7].

Desventajas:

- Representa una inversión mayor para el proyecto o la industria, ya que el precio del material es elevado.
- Es difícil de mecanizar ya que requiere herramientas de mayor calidad.

- Es menos tolerante a desalinearse en el montaje ya que tiene menor flexibilidad[19].
- La disponibilidad es limitada en comparación a los otros polímeros.
- Como es rígido, las rayas profundas pueden actuar como concentradores de esfuerzos.

1.3.9. Ensayos

El estudio de la dureza y el rendimiento de los polímeros comerciales en aplicaciones mecánicas, como cojinetes, engranajes o sistemas de deslizamiento, se cimienta en la Tribología. Esta ciencia es esencial para comprender la interacción de las superficies en movimiento. La función principal de esta tesis es caracterizar la resistencia al desgaste, que se define como la pérdida progresiva de material de una superficie debido a la acción mecánica.

Los polímeros de ingeniería son materiales complejos; a diferencia de los metales, su comportamiento tribológico está influenciado por su naturaleza viscoelástica y su baja capacidad para disipar el calor generado por la fricción. Los ensayos deben identificar la dureza y resistencia al desgaste en mecanismos de falla predominantes[22].

Existe un principio fundamental en la tribología que relaciona directamente la dureza del material con su resistencia al desgaste, estableciendo que un material más duro, por lo general, se desgasta menos bajo las mismas condiciones de carga y distancia recorrida[6]. La dureza es la propiedad mecánica clave que predice la capacidad de un material para resistir la indentación o la penetración permanente de otro objeto, convirtiéndose así en un factor crucial para predecir la resistencia al desgaste abrasivo. Para los polímeros termoplásticos de ingeniería utilizados en componentes, la medición de la dureza debe ser precisa y estandarizada)[23].

Los documentos técnicos de fabricantes para materiales como el Nylon, Teflón, Grilon y Duralon generalmente omiten las variaciones mecánicas que se generan por factores del entorno de operación, es fundamental establecer ensayos estandarizados bajo normativas internacionales para conocer estas variaciones mecánicas.

El comportamiento tribológico de estos polímeros termoplásticos no es una propiedad intrínseca y estática del material, sino una respuesta dinámica de todo el sistema tribológico en el que interactúan la geometría del contacto, la carga normal y la fricción molecular[6].

Para tener conocimiento de estas variaciones mecánicas y proveer criterios para la selección de materiales para la industria, el desarrollo experimental de esta investigación se enfoca en dos ejes fundamentales, la cuantificación de la resistencia a la indentación Plástica y la resistencia al desgaste abrasivo, este a través de una simulación controlada de fricción por deslizamiento, que sirve para medir la remoción progresiva de masa.

Para polímeros semirrígidos o elastómeros, se utiliza el Durómetro Shore D. La selección rigurosa de estas normas es esencial para la validez científica de la tesis, ya que solo mediante métodos estandarizados se pueden generar valores comparables que justifiquen la posterior correlación con los resultados de la prueba de desgaste.

El desarrollo experimental de la tesis exige una metodología rigurosa para la preparación de probetas. Es crucial que las muestras de los polímeros comerciales tengan dimensiones uniformes y un acabado superficial consistente para evitar que la geometría o los defectos de fabricación distorsionen las mediciones. Una vez preparadas, se procede con la fase de cuantificación del desgaste utilizando equipos tribológicos, donde se miden parámetros como la pérdida de masa o el volumen de material desprendido bajo condiciones controladas de carga, velocidad y distancia[24].

Al ejecutar este desarrollo experimental nos permitirá registrar una correlación analítica entre la tasa de perdida de volumen y la dureza superficial, las nomas a utilizar son la ASTM D2240-15 para el ensayo de dureza Shore D, y la norma ISO 9352 para el ensayo de resistencia por desgaste abrasivo.

1.3.10. Ensayo de dureza

El ensayo de dureza mediante durómetro Shore D es el método estandarizado bajo la norma D2240-15 el cual evalúa la resistencia relativa a la indentación plástica en polímeros rígidos, semirrígidos y termoplásticos de ingeniería.

En esta investigación, este ensayo constituye la métrica estática fundamental para caracterizar superficialmente los lotes adquiridos de Nylon, Teflón, Grilon y Duralon antes de someterlos a los ensayos de desgaste abrasivo[25].

ASTM D2240-15

El principio de este ensayo es la resistencia que opone la matriz polimérica semicristalina a la penetración de un cuerpo significativamente más rígido (indentador de acero templado) accionado por una fuerza elástica calibrada[25].

Especificaciones Geométricas del Indentador y Calibración

La norma ASTM D2240-15 es sumamente estricta respecto a la configuración del durómetro tipo D para evitar falsas correlaciones tribológicas. A diferencia de la escala Shore A (utilizada para elastómeros blandos que emplea un cono truncado), la escala Shore D requiere un indentador agudo diseñado para vencer la rigidez de polímeros estructurales[25]:

El identador es una varilla de acero templado, con un radio en la punta para evitar concentraciones de esfuerzos infinitas y desgarro molecular inmediato[25].

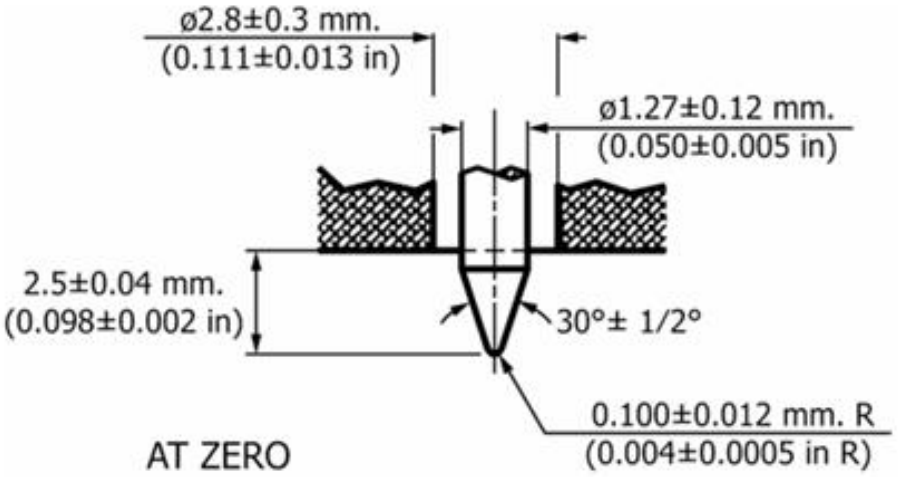


Fig. **5** Indentador tipo D[25].

Criterios de Preparación de Probetas

Para obtener datos validos de dureza y poder comparar con la tasa de desgaste, las probetas deben cumplir con los siguientes parámetros:

- **Espesor critico:** la probeta a usar debe tener un espesor mínimo de 6mm. Si el espesor es menor, las ondas de esfuerzo mecánico atravesarían el polímero y se obtendría datos erróneos[25].
- **Distancia de seguridad:** Ninguna medición debe realizarse a no menos de 12mm de los bordes exteriores de la probeta y tampoco a menos de 6 mm de distancia de la huella previa ya que cada indentación genera un campo de esfuerzos residuales alrededor de la huella[25].

El ensayo de dureza Shore D funciona presionando el identador a la geometría del polímero, al aplicar fuerza el identador penetra el polímero desplazando las cadenas moleculares[26]. Si el material es blando este identador penetra profundamente y si es altamente rígido y cristalino, la matriz molecular opone una resistencia y el identador avanza muy poco.

Si se deja el durómetro presionado, se podrá notar que el valor de la dureza empieza a bajar con el tiempo, esto se debe a que las regiones amorfas del polímero se reacomodan lentamente bajo la presión, permitiendo que la punta se hunda más[25].

Por ello se realiza la lectura de a 1 segundo (instantánea) ya que esta nos permite medir la respuesta elástica y dureza superficial. El equipo por utilizar es el durómetro Shore D, este ensayo de dureza es un transductor mecánico, ya que mide la profundidad de una penetración micrométrica y lo convierte en un valor numérico de rigidez superficial, teniendo así un criterio predictivo de como el polímero resistirá en una máquina[25].



Fig. 6 Durómetro Shore D.

1.3.11. Ensayo de abrasión

Este ensayo tiene como objetivo cuantificar la pérdida progresiva en los componentes mecánicos fabricados con Nylon, Teflón, Grilon y Duralon simulando las condiciones de movimiento relativo y de fricción de un componente mecánico real. El equipo tribológico para utilizar es el (Taber Type Abrasion Tester) bajo la norma 9352[27].



Fig. 7 Abrasímetro.

Norma ISO 9352

El método para utilizar por la norma ISO 9352 está asociada al principio del abrasímetro Taber que analiza en un contacto de fricción por rodadura combinada con un deslizamiento tangencial constante[27].

Cinemática y principio físico del ensayo Taber

- **Montaje de la muestra:** La probeta debe ser plana y circular con un diámetro de 100 mm, y un espesar de 6 mm, y se le coloca en la maquina Taber [27].
- **Acción de las ruedas:** Posee dos ruedas abrasivas independientes que su función es asentarse sobre la superficie de la probeta bajo una carga nominal predeterminada[27].



Fig. 8 Esquema del sistema giratorio del Abrasímetro.

La plataforma al girar en un plano horizontal hace que la rotación de las dos ruedas abrasivas esté en direcciones opuestas, debido a que el eje de rotación de las ruedas esta desplazado respecto al eje de la plataforma giratoria, se genera un vector de deslizamiento tangencial continuo sobre el material polimérico[27].

Parámetros para el control del proceso operativo

Para evitar distorsión analítica asociada a la viscoelasticidad de los termoplásticos, la norma ISO 9352 exige estandarizar las siguientes variables:

- **Selección del tipo de rueda abrasiva:** Según la norma se establece la clasificación de las ruedas según el tamaño del grano.

TABLA I. Selección de muelas abrasivas [27].

Series designation	Wheel type	Composition	Recommended load range N	Abrasive action	Approximate grit size (No. of abrasive particles/cm2)
CS10	Resilient	Rubber and abrasive grain	4,9 to 9,8	Mild	1 420
CS10F	Resilient	Rubber and abrasive grain	2,5 to 4,9	Very mild	1 420
CS17	Resilient	Rubber and abrasive grain	4,9 to 9,8	Harsh	645
H10	Non-resilient	Vitrified	4,9 to 9,8	Coarse	1 160
H18	Non-resilient	Vitrified	4,9 to 9,8	Medium coarse	1 160
H22	Non-resilient	Vitrified	4,9 to 9,8	Very coarse	515
H38	Non-resilient	Vitrified	2,5; 4,9; 9,8	Very coarse Hard	5 785

NOTES

1 Under normal conditions, the "CS" series wheels shall be used when testing a flexible specimen; the "H" series wheels shall be used for testing rigid specimens.

2 CS10F wheels are subject to deterioration due to ageing of the rubber, especially in high-ozone atmospheres. It is therefore important to use these wheels before the expiration date on the wheel.

3 When refacing (see 8.10), the recommended number of rotations for CS10, CS10F and CS17 wheels is 25 to 50.

4 Results from two different wheels, even of the same type, may not always be comparable.

- **Carga normal aplicada:** Cada rueda abrasiva posee brazos auxiliares para la carga. Las cargas que se especifican en la norma corresponden a fuerzas equivalentes a masas de 250 g (2.45 N), 500 g (4.90 N) o 1000 g (9.81 N). La carga máxima es de 9.81 N por rueda para inducir los esfuerzos que aceleren la cinética de desgaste[27].
- **Número de ciclos de rotación:** El ensayo se mide por ciclos completos de la plataforma giratoria mas no por metros lineales, los intervalos para inspeccionar se configuran a los 100, 500, 1000, 5000 ciclos, dependiendo de la tasa de remoción.



Fig. 9 Ensayo de desgaste.

Finalmente, se evalúa de forma directa la relación que presenta la dureza Shore D y el índice de desgaste de cada polímero. Este análisis busca comprobar si los polímeros con mayor dureza Shore D presentan un menor desgaste abrasivo. Además, se investigará cómo factores internos, como la adición de rellenos o refuerzos (fibras o partículas lubricantes) en los polímeros comerciales, afectan simultáneamente la dureza y el rendimiento tribológico, permitiendo una recomendación informada para la ingeniería mecánica[28].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Los materiales requeridos para la ejecución de las pruebas se detallan en la TABLA II.

TABLA II. Materiales.

Material	Figura
Nylon	
Teflón	
Grilon	

TABLA III. Materiales (continuación).

Material	Figura
Duralon	
Alcohol Isopropílico	

2.1.1. Materia Prima

Las planchas de Nylon, Teflón, Grilon y Duralon es la materia prima que se utiliza para estos ensayos de dureza y desgaste por abrasión se obtiene de proveedores locales.

2.2. Métodos

2.2.1. Ubicación

El dimensionamiento geométrico de las probetas poliméricas se llevó a cabo en Ambato mediante la tecnología de corte por chorro de agua (Waterjet cutting) de la empresa ALUVID GLASS CIA. LTDA.

Se utilizó un centro de mecanizado CNC marca Flow International Corporation, modelo Mach 3, el cual posibilitó la obtención de las probetas precisas y reproducibles. Al tratarse de un proceso de corte en frío, se eliminó el riesgo de inducción térmica en la periferia de las muestras, asegurando que los ensayos de dureza y desgaste subsiguientes reflejen fielmente el comportamiento mecánico del polímero comercial en su estado original.

Los ensayos de dureza y resistencia al desgaste abrasivo se realizan en la Universidad Técnica de Ambato, en el Laboratorio de Mecánica (LIM).

2.2.2. Tipo de investigación

2.2.2.1. Experimental

El tipo de investigación es experimental, debido a la manipulación intencional y controlada de la variable independiente (polímeros Comerciales: Nylon, Teflón, Grilon y Duralon) para analizar los cambios que se produce en las variables dependientes (propiedades mecánicas de Dureza y Resistencia al desgaste).

La metodología se adapta a un carácter experimental y se desarrolla bajo un entorno de laboratorio controlado, donde las probetas de los polímeros seleccionados (como Nylon, Teflón, Grilon y Duralon) están bajo pruebas de dureza Shore D y ensayos de desgaste abrasivo. A través de estos ensayos se busca medir con precisión y examinar cómo las características de cada material interfieren en su resistencia a la indentación y el comportamiento que presenta ante la pérdida de material por abrasión. Garantizando la obtención de datos cuantitativos, fiables y verificables sobre su desempeño mecánico.

2.2.2.2. Descriptiva

La componente descriptiva de la investigación se centrará en la caracterización detallada del desempeño superficial y tribológico de los cuatro polímeros estudiados. Esto implica documentar, clasificar y comparar sistemáticamente todos los resultados obtenidos de dureza y tasas de desgaste. El propósito es conocer el rendimiento, destacando las ventajas y limitaciones de cada polímero en términos de durabilidad mecánica. Esta documentación genera información técnica esencial para la toma de decisiones en el diseño y la selección de materiales para piezas de maquinaria expuestas a fricción constante.

2.2.2.3. Cuantitativa

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo para la caracterización tribológica de los polímeros termoplásticos que se analizan (Nylon, Teflón, Grilon y Duralon) Se fundamenta en la recopilación de datos y el análisis estadístico. Los datos obtenidos no se evalúan de manera cualitativa, sino de manera numérica de acuerdo con la resistencia a la indentación (Dureza Shore D) y la pérdida de masa por desgaste abrasivo, ya que con esto se puede establecer correlaciones entre sí.

2.2.3. Hipótesis

El análisis de los materiales poliméricos comerciales (Duralon, Grilon, Nylon, Teflón) utilizados en componentes mecánicos permitirá comparar su dureza y resistencia al desgaste.

2.2.4. Población y muestra

La población de esta investigación engloba los polímeros de ingeniería que son comercializados en el mercado nacional, el cual se utiliza para la fabricación de elementos mecánicos. La muestra que es seleccionada está constituida por 20 probetas mecanizadas a partir de planchas de cuatro tipos de polímeros termoplásticos, los cuales se mecanizaran en 5 probetas por material. Metodológicamente, cumple y supera el mínimo de réplicas exigido por las normas internacionales ISO 9352 y ASTM D2240-15 para los ensayos.

TABLA IV. Material y número de probetas.

Material	**Número de probetas**
Nylon	5
Teflón	5
Grilon	5
Duralon	5
Total, de probetas ensayadas	20

2.2.5. Recolección de información

En este estudio la técnica empleada es la observación científica experimental acoplada a la medición directa instrumentada.

Así permite registrar de manera controlada y objetiva, las variaciones físicas que presentan las probetas de Nylon, Teflón, Grilon y Duralon al ser sometidas a situaciones mecánicas y tribológicas.

2.2.6. Normativa

El proceso de recolección no depende de criterios del operador, es la respuesta física que presenta el material a través de los sistemas de medición de los equipos utilizados en el laboratorio bajo las normas:

- ASTM D2240-15
- ISO 9352

La metodología de esta investigación no sufre desviaciones científicas debido al equipamiento. Se tomaron las variables críticas fundamentales de las normas internacionales ISO 9352 y ASTM D2240-15 (como la velocidad de 72 rpm, la carga por brazo, el tipo de muela H-22 y los tiempos de retención) y se adaptaron controlando rigurosamente la electrónica digital de los equipos de ensayo disponibles en la universidad.

2.3. Variables

2.3.1. Variable Independiente:

Polímeros Comerciales: Nylon, Teflón, Grilon y Duralon.

TABLA V. Operacionalización de variable Independiente.

Definición	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Clasificación de los termoplásticos de ingeniería según su ordenamiento molecular, grado de cristalinidad intrínseca, los cuales determinan la cohesión de la matriz superficial y su respuesta mecánica frente a solicitaciones externas.	Poliamidas estructurales	Tipo de matriz polimérica semicristalina.	Nylon	Observación experimental. Identificación del material.
			Grilon	
	Polímeros de alto rendimiento	Tipo de matriz polimérica de alto rendimiento.	Duralon	
	Fluoro polímeros comerciales	Grado de autolubricación.	Teflón	

2.3.2. Variable Dependiente:

- Propiedades mecánicas de Dureza y Resistencia al desgaste.

TABLA VI. Operacionalización de variable Dependiente.

Definición	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Resistencia a la indentación plástica (Dureza) El termoplástico presenta una oposición a la penetración de un cuerpo rígido, evaluando la respuesta instantánea elástica de las cadenas moleculares.	Respuesta instantánea de resistencia a la indentación	(Dureza Shore D) Resistencia a la indentación.	Dureza shore D a t=1s	Indentación estática basada en la (Norma ASTM D2240-15).
				Durómetro digital Shore D.
Resistencia al desgaste abrasivo Debido a los mecanismos que se somete la probeta y presenta pérdida progresiva de masa y desgarro molecular provocados por la rodadura abrasiva severa de un tercer cuerpo rígido.	Pérdida de masa absoluta	Reducción de peso en miligramos(mg).	Masa por cada intervalo (Ciclos)	Análisis del desgaste por abrasión (Norma ISO 9352).
			Cálculo del índice de Taber según la norma	Abrasímetro con ruedas Taber H-22 según la norma. Balanza analítica de alta precisión.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnicas de investigación

En este estudio la técnica principal para utilizar es la observación científica experimental la cual se adapta a la medición directa instrumentada y esto nos permite registrar de manera controlada, objetiva y sistemática las variaciones físicas que presenta las probetas de Duralon, Grilon, Nylon y Teflón al ser sometidas a solicitaciones mecánicas y tribológicas. La recolección de datos depende de la respuesta física del material transducido por los equipos de medición del laboratorio bajo las normas ASTM D2240-15 e ISO 9352.

Instrumentos de recolección de información

Para obtener las magnitudes físicas evaluadas, se utilizó los siguientes instrumentos de alta precisión.

- Durómetro digital (Shore D), que se basa en la norma ASTM D2240-15, este durómetro está equipado con un identador de acero templado. Se utiliza para medir la resistencia superficial a la penetración plástica que tiene el material polimérico y así registrar el comportamiento a intervalos de 1s.
- Abrasímetro Taber, que se rige por la norma ISO 9352, este equipo es utilizado para inducir un régimen de desgaste abrasivo severo mediante la aplicación de ruedas vitrificadas rígidas Taber H-22 bajo una carga normalizada de 750g por brazo (1500 g carga total), a una velocidad constante de 72 rpm.
- Balanza de alta precisión, este instrumento nos ayuda a registrar con estricta exactitud la masa inicial y las variaciones de masa finales en intervalos discretos de ciclos abrasivos, permitiendo determinar la tasa de remoción de material por desgaste de acuerdo con la norma ISO 9352.

La recolección de datos del ensayo de dureza se ejecuta mediante el protocolo de la norma ASTM D2240-15 aplicando el durómetro Shore D en 5 puntos equidistantes. Los valores se tabulan de forma inmediata en la hoja de campo que es específico para el análisis de desviación estándar.

En la recolección de datos en el ensayo de desgaste por abrasión, antes de registrar el peso que presenta la probeta luego del ensayo de abrasión hay que asegurarse que la balanza analítica tenga sus puertas de vidrio cerradas y así evitar perturbaciones por corrientes de aire que pueda existir en el laboratorio. Una vez recolectados los datos numéricos la información será procesada mediante herramientas como Microsoft Excel aplicando los siguientes métodos analíticos:

Se calcula la media aritmética y la desviación estándar para los valores de dureza Shore D y también para los valores de desgaste por abrasión de cada grupo de polímeros. Esto ayuda a determinar la dispersión de los datos y evaluar la homogeneidad de los lotes comerciales del material.

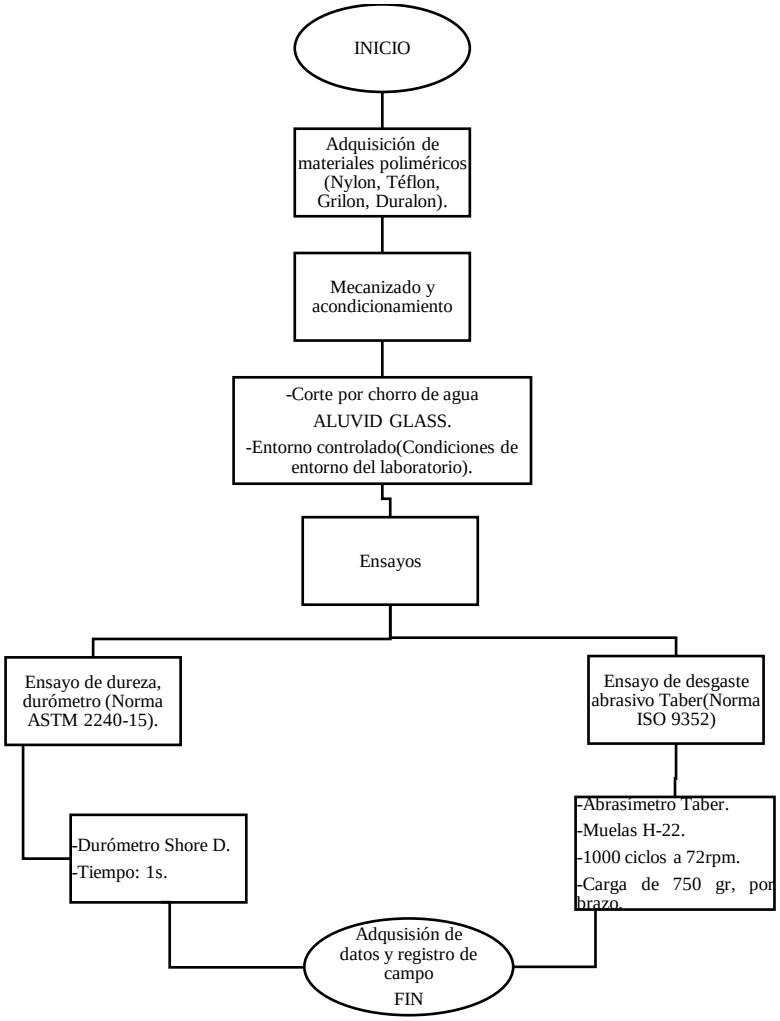


Fig. 10 Diagrama de flujo del desarrollo experimental.

2.5. Ensayos

2.5.1. Proceso del ensayo de Dureza

El ensayo de dureza basado en la norma ASTM D2240-15 se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, en el Laboratorio de Mecánica (LIM).

TABLA VII. Proceso del ensayo de dureza.

Pasos	Actividades	Descripción	Imagen
1	Preparación de la probeta en específico la superficie	Las superficies de los discos poliméricos (Nylon, Grilon, Teflón y Duralon) se someten a una descontaminación con alcohol isopropílico para suprimir películas de grasa y partículas en suspensión. Con el fin de garantizar la planicidad exigida por la norma y mitigar errores por rugosidad o paralelismo, se verifica que la superficie de contacto esté completamente libre de imperfecciones geométricas,	
2	Medición	Se posiciona el durómetro digital de forma perpendicular a la cara de la probeta. Se ejerce una fuerza de compresión axial constante y descendente a través de la celda de carga del instrumento, provocando la penetración del indentador cónico de acero templado (30° de muesca) en la matriz superficial del termoplástico.	

TABLA VIII. Proceso del ensayo de dureza (continuación).

Pasos	Actividades	Descripción	Imagen
3	Adquisición, Registro Gravado y Muestreo Estadístico	Los datos se transcriben de forma inmediata en la matriz de campo, clasificando las lecturas por tipo de material. Este procedimiento se repite de forma secuencial en cinco puntos geométricos diferentes del disco para promediar la anisotropía del material.	

2.5.2. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión

El ensayo de resistencia al desgaste por abrasión basado en la norma ISO 9352 se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, en el Laboratorio de Mecánica (LIM).

TABLA IX. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión.

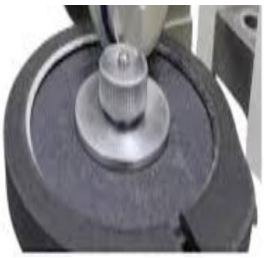
Pasos	Actividad	Descripción	Fotografía
1	Acondicionamiento y Rectificado de Muelas H-22	Para eliminar restos de polímeros de ensayos previos y garantizar la exposición de grano limpio, las muelas Taber H-22 se someten a un proceso de refrentado dinámico. Se utilizan el papel de lija calibrado provisto por el fabricante.	

TABLA X. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión(continuación).

Pasos	Actividad	Descripción	Fotografía
2	Programación y Calibración del Abrasímetro	Se parametriza el equipo introduciendo las variables del ensayo. Se sincroniza las revoluciones y número de ciclos (1000 ciclos, 72 ±rpm) y se verifica el acoplamiento neumático del sistema de extracción por vacío.	
3	Adquisición de la Masa Inicial	La probeta polimérica limpia, se introduce en la cámara de la balanza analítica. Se efectúa el registro gravimétrico de partida cerrando las compuertas de vidrio para anular errores por corrientes de convección del aire. Esta medición constituye la línea base para el cálculo posterior de la pérdida de masa.	

TABLA XI. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión(continuación).

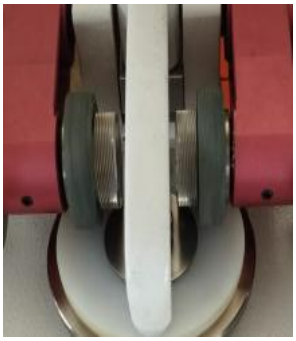
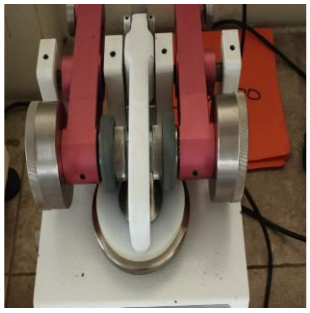
Pasos	Actividad	Descripción	Fotografía
4	Colocación de Muelas y fijación de la probeta en la máquina de abrasión	Se montan las muelas H-22 en los brazos izquierdo y derecho comprobando si están bien sujetas. Simultáneamente, el disco polimérico se posiciona de forma concéntrica sobre la plataforma, asegurando su estabilidad y restricción de movimiento mediante el ajuste del tornillo central de apriete para evitar excentricidades axiales.	
5	Calibración de la Carga Normal del Sistema	Se disponen los contrapesos cilíndricos de acero sobre los soportes de los brazos móviles del Abrasímetro. Una vez aseguradas las pesas, se descienden manualmente los tres brazos del sistema de forma suave y controlada hasta que las muelas H-22 asienten sobre la superficie de rodadura de la probeta.	
6	Ejecución del Ensayo Tribológico Dinámico	Se da inicio al ensayo, el rozamiento tangencial induce un mecanismo de desgaste severo arado superficial. El conteo regresivo se interrumpe de forma programada en los intervalos establecidos (1000 ciclos).	

TABLA XII. Proceso del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión(continuación).

Pasos	Actividad	Descripción	Fotografía
7	Desmontaje, Extracción	Al cumplirse cada intervalo de ciclos, se elevan los brazos mecánicos y se extrae la probeta del plato central.	
8	Registro de la pérdida de masa final y realizar el cálculo del Índice de desgaste Taber.	La probeta se pesa en la balanza analítica bajo el mismo procedimiento del Paso 3 para obtener la masa final. La pérdida de peso acumulada se introduce en la ecuación de la norma ISO 9352, y así determinar el Índice de Desgaste Taber, repitiendo los pasos para cada uno de los materiales.	

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Interpretación y discusión de resultados.

3.1.1. Obtención de datos

La adquisición de datos que se utilizó para esta investigación se diseñó con el objetivo de registrar de manera objetiva y sistemática las propiedades micromecánicas y tribológicas del Duralon, Grilon, Nylon y Teflón. El proceso prescinde de interpretaciones cualitativas, estructurándose a través de sistemas de conversión física y digital controlados.

El estudio evalúa las propiedades mecánicas de cada material polimérico bajo normativas internacionales, los datos se registran de forma directa mediante equipos digitales de medición y transductores instrumentados de ensayo, garantizando fidelidad en sus lecturas.

Esta fase es importante en la investigación, ya que se recopila el conjunto de procedimientos metodológicos y tecnológicos que se utiliza para acondicionar, capturar y registrar los datos mecánicos y tribológicos que se presenta durante los ensayos. Posterior, la validez del análisis depende por completo de la repetibilidad y rigurosidad de los ensayos, y la instrumentación del laboratorio.

Con el propósito de garantizar la absoluta transparencia y la reproducibilidad científica de los ensayos realizados en los talleres y laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, las 20 probetas para ensayar, de Nylon, Teflón, Grilon y Duralon (5 por cada polímero), se registra los datos de manera acumulativa. A continuación, se presenta las fichas que muestran los datos de interés técnico de cada uno de los ensayos.

3.1.1.1. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 1 a 1000 ciclos.

- Polímero Nylon a 1000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	11/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Nylon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,9260	57,8987	27,3000	0,0471%	1000
57,9789	57,9615	17,4000	0,0300%	1000
58,3176	58,2964	21,2000	0,0364%	1000
57,8587	57,8371	21,6000	0,0373%	1000
58,0299	58,0020	27,9000	0,0481%	1000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 67,5
2) 68,5
3) 69,5
4) 86
5) 79,5

3.1.1.2. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 2 a 2000 ciclos

- Polímero Nylon a 2000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	11/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Nylon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,9260	57,8889	18.5500	0.0640%	2000
57,9789	57,9523	13.3000	0.0459%	2000
58,3176	58,2887	14.4500	0.0496%	2000
57,8587	57,8288	14.9500	0.0517%	2000
58,0299	57,9931	18.4000	0.0634%	2000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 67,5
2) 68,5
3) 69,5
4) 86
5) 79,5

3.1.1.3. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 3 a 3000 ciclos

- Polímero Nylon a 3000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	11/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Nylon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,9260	57,8821	14,6333	0,0758%	3000
57,9789	57,9461	10,9333	0,0566%	3000
58,3176	58,2815	12,0333	0,0619%	3000
57,8587	57,8227	12,0000	0,0622%	3000
58,0299	57,9873	14,2000	0,0734%	3000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 67,5
2) 68,5
3) 69,5
4) 86
5) 79,5

3.1.1.4. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 4 a 4000 ciclos

- Polímero Nylon a 4000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	12/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Nylon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,9260	57,8768	12,3000	0,0849%	4000
57,9789	57,9404	9,6250	0,0664%	4000
58,3176	58,2766	10,2500	0,0703%	4000
57,8587	57,8181	10,1500	0,0702%	4000
58,0299	57,9842	11,4250	0,0788%	4000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 67,5
2) 68,5
3) 69,5
4) 86
5) 79,5

3.1.1.5. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 5 a 5000 ciclos

- Polímero Nylon a 5000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	12/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Nylon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,9260	57,8735	10,5000	0,0906%	5000
57,9789	57,9376	8,2600	0,0712%	5000
58,3176	58,2743	8,6600	0,0742%	5000
57,8587	57,8158	8,5800	0,0741%	5000
58,0299	57,9816	9,6600	0,0832%	5000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 67,5
2) 68,5
3) 69,5
4) 86
5) 79,5

3.1.1.6. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 6 a 1000 ciclos

- Polímero Teflón a 1000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	14/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Teflón		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
102,0131	102,0002	12,9000	0,0126%	1000
102,1252	102,1151	10,1000	0,0099%	1000
101,6255	101,6142	11,3000	0,0111%	1000
102,0596	102,0481	11,5000	0,0113%	1000
102,1797	102,1666	13,1000	0,0128%	1000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 60,5
2) 68,5
3) 73,5
4) 72
5) 73

3.1.1.7. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 7 a 2000 ciclos

- Polímero Teflón a 2000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	14/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Teflón		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
102,0131	101,9924	10,35	0,0203%	2000
102,1252	102,1108	7,20	0,0141%	2000
101,6255	101,6079	8,80	0,0173%	2000
102,0596	102,0409	9,35	0,0183%	2000
102,1797	102,1645	7,60	0,0149%	2000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 60,5
2) 68,5
3) 73,5
4) 72
5) 73

3.1.1.8. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 8 a 3000 ciclos

- Polímero Teflón a 3000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	14/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Teflón		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
102,0131	101,9864	8,90	0,0262%	3000
102,1252	102,1026	7,53	0,0221%	3000
101,6255	101,6002	8,43	0,0249%	3000
102,0596	102,0346	8,33	0,0245%	3000
102,1797	102,1591	6,87	0,0202%	3000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 60,5
2) 68,5
3) 73,5
4) 72
5) 73

3.1.1.9. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber Ensayo 9 a 4000 ciclos.

- Polímero Teflón a 4000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	15/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Teflón		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
102,0131	101,9810	8,025	0,0315%	4000
102,1252	102,0962	7,250	0,0284%	4000
101,6255	101,5950	7,625	0,0300%	4000
102,0596	102,0293	7,575	0,0297%	4000
102,1797	102,1542	6,375	0,0250%	4000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 60,5
2) 68,5
3) 73,5
4) 72
5) 73

3.1.1.10. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 10 a 5000 ciclos

- Polímero Teflón a 5000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	15/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Teflón		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
102,0131	101,9776	7,10	0,0348%	5000
102,1252	102,0922	6,60	0,0323%	5000
101,6255	101,5907	6,96	0,0342%	5000
102,0596	102,0257	6,78	0,0332%	5000
102,1797	102,1501	5,92	0,0290%	5000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 60,5
2) 68,5
3) 73,5
4) 72
5) 73

3.1.1.11. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 11 a 1000 ciclos

- Polímero Grilon a 1000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	07/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Grilon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
73,0778	73,0619	15,9000	0,0218%	1000
72,7268	72,7065	20,3000	0,0279%	1000
71,8602	71,8467	13,5000	0,0188%	1000
73,7058	73,6905	15,3000	0,0208%	1000
73,1073	73,0914	15,9000	0,0217%	1000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 85
2) 83,5
3) 83
4) 88.5
5) 84,5

3.1.1.12. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 12 a 2000 ciclos

- Polímero Grilon a 2000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	07/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Grilon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
73,0778	73,0540	11,9000	0,0326%	2000
72,7268	72,6985	14,1500	0,0389%	2000
71,8602	71,8375	11,3500	0,0316%	2000
73,7058	73,6809	12,4500	0,0338%	2000
73,1073	73,0828	12,2500	0,0335%	2000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 85
2) 83,5
3) 83
4) 88.5
5) 84,5

3.1.1.13. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 13 a 3000 ciclos

- Polímero Grilon a 3000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	07/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Grilon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
73,0778	73,0478	10,0000	0,0411%	3000
72,7268	72,6929	11,3000	0,0466%	3000
71,8602	71,8312	9,6700	0,0404%	3000
73,7058	73,6737	10,7000	0,0435%	3000
73,1073	73,0758	10,5000	0,0431%	3000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 85
2) 83,5
3) 83
4) 88.5
5) 84,5

3.1.1.14. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 14 a 4000 ciclos

- Polímero Grilon a 4000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	08/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Grilon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
73,0778	73,0423	8,8800	0,0486%	4000
72,7268	72,6888	9,5000	0,0522%	4000
71,8602	71,8265	8,4300	0,0469%	4000
73,7058	73,6681	9,4300	0,0511%	4000
73,1073	73,0721	8,8000	0,0481%	4000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 85
2) 83,5
3) 83
4) 88.5
5) 84,5

3.1.1.15. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 15 a 5000 ciclos

- Polímero Grilon a 5000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	08/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Grilon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
73,0778	73,0387	7,8200	0,0535%	5000
72,7268	72,6856	8,2400	0,0566%	5000
71,8602	71,8204	7,9600	0,0554%	5000
73,7058	73,6639	8,3800	0,0568%	5000
73,1073	73,0678	7,9000	0,0540%	5000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 85
2) 83,5
3) 83
4) 88.5
5) 84,5

3.1.1.16. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 16 a 1000 ciclos

- Polímero Duralon a 1000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	08/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Duralon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,2715	57,2572	14,3000	0,0250%	1000
56,6628	56,6489	13,9000	0,0245%	1000
57,1300	57,1181	11,9000	0,0208%	1000
56,5688	56,5563	12,5000	0,0221%	1000
56,6717	56,6613	10,4000	0,0184%	1000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 84
2) 88,5
3) 84
4) 85,5
5) 87,5

3.1.1.17. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber Ensayo 17 a 2000 ciclos

- Polímero Duralon a 2000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	04/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Duralon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,2715	57,2500	10,7500	0,0375%	2000
56,6628	56,6397	11,5500	0,0408%	2000
57,1300	57,1127	8,6500	0,0303%	2000
56,5688	56,5487	10,0500	0,0355%	2000
56,6717	56,6535	9,1000	0,0321%	2000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 84
2) 88,5
3) 84
4) 85,5
5) 87,5

3.1.1.18. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber Ensayo 8 a 3000 ciclos.

- Polímero Duralon a 3000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	04/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Duralon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,2715	57,2458	8,5667	0,0449%	3000
56,6628	56,6340	9,6000	0,0508%	3000
57,1300	57,1081	7,3000	0,0383%	3000
56,5688	56,5460	7,6000	0,0403%	3000
56,6717	56,6489	7,6000	0,0402%	3000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 84
2) 88,5
3) 84
4) 85,5
5) 87,5

3.1.1.19. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber Ensayo 9 a 4000 ciclos

- Polímero Duralon a 4000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	04/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Duralon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS				
Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,2715	57,2432	7,0750	0,0494%	4000
56,6628	56,6287	8,5250	0,0602%	4000
57,1300	57,1039	6,5250	0,0457%	4000
56,5688	56,5426	6,5500	0,0463%	4000
56,6717	56,6442	6,8750	0,0485%	4000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 84
2) 88,5
3) 84
4) 85,5
5) 87,5

3.1.1.20. Ficha de registro de datos para el ensayo de desgaste Abrasivo Taber

Ensayo 10 a 5000 ciclos

- Polímero Duralon a 5000 ciclos

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

DATOS INFORMATIVOS:			
Probetas: 5	Realizado por:	Israel Cando	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de materiales-FICM	Fecha:	04/05/2026
Tipo de estudio	De laboratorio		
Normas aplicadas	ISO 9352		

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO TABER			
Especificación de la probeta		**Especificación de la máquina**	
Duralon		Velocidad del Disco	72 rpm ± 2 rpm
Temperatura Ambiente	19.7° C	Disco abrasivo utilizado	H22
Dimensión	ϕ 100.2 ±0.2 mm	Tipo de Abrasión	Fuerte
Espesor:	6 mm	Carga aplicada a los brazos	1500 gr
Material	Polímero	Número de Muelas	2

RESULTADOS

Peso Inicial (gr)	Peso Final(gr)	Índice de Desgaste Taber (IDT)	Porcentaje de Pérdida de masa (%)	Ciclos
57,2715	57,2393	6,4400	0,0562%	5000
56,6628	56,6252	7,5200	0,0664%	5000
57,1300	57,1006	5,8800	0,0515%	5000
56,5688	56,5389	5,9800	0,0529%	5000
56,6717	56,6415	6,0400	0,0533%	5000



Observaciones:

Dureza (Shore D):

1) 84
2) 88,5
3) 84
4) 85,5
5) 87,5

3.2. Análisis de Resultado

3.2.1. Análisis del Ensayo de Dureza Shore D (Norma ASTM D2240-15)

En esta sección se presentan y analizan los valores de dureza obtenidos mediante la indentación de las muestras poliméricas, utilizando un durómetro calibrado bajo los lineamientos de la norma ASTM D2240-15. Los datos individuales recopilados y procesados de la dureza Shore D, se presentan para los cuatro polímeros comerciales de estudio (Duralon, Grilon, Nylon y Teflón) incluyendo los registros puntuales como también los valores promedios obtenidos. El análisis experimental se ejecuta bajo la norma ASTM D2240-15, utilizando un durómetro Shore D.

TABLA XIII. Registro puntual y valores promedio de dureza Shore D para los materiales evaluados.

Material	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Promedio
Nylon	67,5	68,5	69,5	86	79,5	74,2
Teflón	60,5	68,5	73,5	72	73	69,5
Grilon	85	83,5	83	88,5	84,5	84,9
Duralon	84	88,5	84	85,5	87,5	85,9

En los ensayos de dureza se determinó el siguiente orden (de mayor a menor con relación a la escala Shore D).

- **Duralon:** Con una dureza de 85,9 Shore D, por lo tanto, podemos determinar que es el material con mayor rigidez y con mayor resistencia a la indentación.
- **Grilon:** Con una dureza de 84,9 Shore D
- **Nylon:** Con una dureza de 74,2 Shore D, en esta toma de datos se presentó una mayor dispersión debido a que posee una naturaleza higroscópica, la cual puede cambiar ligeramente las propiedades superficiales según la humedad.
- **Teflón:** Con una dureza de 69,5 Shore D, por lo tanto, podemos determinar que es el material más blando y deformable de los cuatro polímeros.

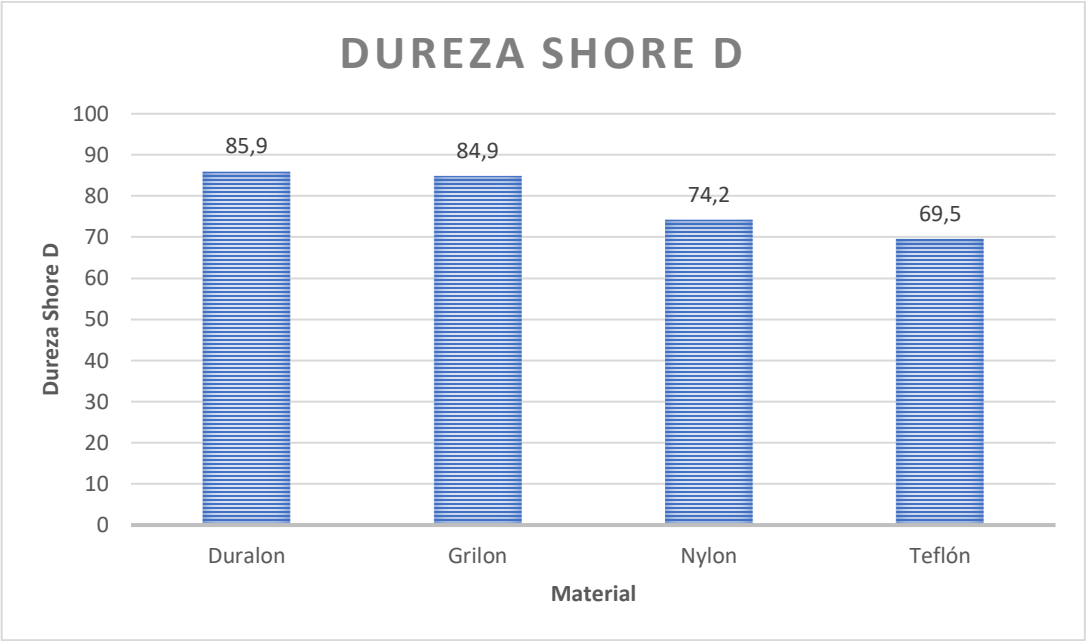


Fig. 11. Dureza Shore D

3.2.1.1. Discusión del comportamiento

Como se observa en el registro de datos, el Duralon tiene la mayor resistencia a la indentación (Dureza Shore D) con un valor promedio de 85,9 Shore D, lo que refleja una alta homogeneidad en la densidad de su matriz polimérica superficial. Similar en cuanto a rigidez presenta el Grilon con un valor promedio de 84,9 Shore D, consolidando a ambos materiales en el espectro de alta dureza para aplicaciones que requieran soporte de cargas estáticas localizadas.

Mientras que el Nylon exhibe un valor promedio de 74,2 Shore D, pero presenta unas ligeras variaciones este comportamiento es característico de las poliamidas industriales debido a su naturaleza higroscópica, lo que induce una plastificación localizada que altera puntualmente la resistencia a la penetración de la aguja del durómetro. Finalmente, el Teflón se presenta como el material más blando con un valor promedio de 69,5 Shore D, condición gobernada por la alta flexibilidad de sus cadenas fluoro carbonadas lineales.

3.2.2. Análisis del ensayo de resistencia al desgaste abrasivo (Norma ISO 9352)

Se evalúa el comportamiento tribológico de las probetas poliméricas sometidas a abrasión mediante ruedas giratorias, cuantificando la pérdida de masa y volumen de acuerdo con el procedimiento estandarizado por la norma ISO 9352.

3.2.2.1. Discusión del Mecanismo de Desgaste Superficial

El análisis de la resistencia al desgaste por abrasión bajo los lineamientos de la norma ISO 9352 reveló comportamientos tribológicos altamente diferenciados entre los cuatro polímeros evaluados (Nylon, Grilon, Teflón y Duralon). De acuerdo con el principio del ensayo, la pérdida progresiva de material es el resultado directo de las acciones combinadas de microcorte y rayado ejercidas por las partículas duras de las ruedas abrasivas sobre la superficie polimérica.

Para interpretar con rigor científico el desempeño de cada material, los resultados deben ser discutidos bajo la dualidad de los criterios de eficiencia en masa y estabilidad geométrica volumétrica, tal como lo sugiere el apartado 9 de la norma ISO 9352.

3.2.2.2. Análisis Cuantitativo del Desgaste en Masa y Volumétrico

Los datos experimentales tras un ciclo severo de 5,000 revoluciones muestran que las tasas de desgaste difieren significativamente al cambiar el parámetro de control (masa vs. volumen):

3.2.2.3. Fórmulas empleadas

- **Pérdida de masa total por probeta Δm_i:**

$$\Delta m_i = m_{inicial} - m_{final}$$

TABLA XIV. Descripción de la fórmula de pérdida de masa total.

Término	Descripción
Δm_i	Pérdida de masa total
$m_{inicial}$	Masa inicial
m_{final}	Masa final

- **Pérdida de masa promedio del material Δm_{prom}:**

$$\Delta m_{prom} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta m_i$$

TABLA XV. Descripción de la fórmula de pérdida de masa promedio.

Término	Descripción
Δm_{prom}	Pérdida de masa promedio del material
n	Número total de datos
Δm_i	Pérdida de masa total

- **Tasa de Desgaste en Masa M_L:**

$$M_L = \frac{\Delta m_{prom}}{5\ mil\ ciclos} 1000\ rev \qquad (mg/1000\ \ rev)$$

TABLA XVI. Descripción de la fórmula de tasa de desgaste en masa.

Término	Descripción
Δm_{prom}	Pérdida de masa promedio del material
M_L	Tasa de Desgaste en Masa

- **Pérdida Volumétrica Acumulada Promedio V_L:**

$$V_L = \frac{\Delta m_{prom}}{\rho} \qquad (mm^3)$$

TABLA XVII. Descripción de la fórmula de Perdida volumétrica acumulada promedio.

Término	Descripción
Δm_{prom}	Pérdida de masa promedio del material
V_L	Perdida volumétrica acumulada promedio
ρ	Densidad del material

- **Tasa de Desgaste Volumétrica**

$$T_V = \frac{V_L}{5\ mil\ ciclos} 1000\ rev \qquad (mm^3/1000\ \ rev)$$

TABLA XVIII. Descripción de la fórmula de Tasa de desgaste volumétrica.

Término	Descripción
T_V	Tasa de Desgaste Volumétrica
V_L	Perdida volumétrica acumulada promedio

- **Desviación Estándar Muestral (S):**

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i - \Delta m_{prom})^2}{n-1}}$$

TABLA XIX. Descripción de la fórmula de desviación Estándar Muestral.

Término	Descripción
S	Desviación Estándar Muestral
Δm_{prom}	Pérdida de masa promedio del material
Δm_i	Pérdida de masa total
n	Número total de datos

- **Coeficiente de variación**

$$CV = \left(\frac{S}{\Delta m_{prom}}\right) 100\%$$

TABLA XX. Descripción de la fórmula del coeficiente de variación.

Término	Descripción
CV	Coeficiente de variación
S	Desviación Estándar Muestral
Δm_{prom}	Pérdida de masa promedio del material

- **Distribución t-Student para Intervalos de Confianza**

Al desconocerse la desviación estándar poblacional y trabajar con n = 5 (4 grados de libertad), se utiliza el estadístico t de dos colas para un nivel de confianza del 95% (α= 0.05). El valor crítico tabulado es $T_{\alpha/2,v} = 2.776$. El intervalo se define como:

$$\mu = \Delta m_{prom} \pm \left(T_{\alpha/2,v} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \right) 100\%$$

TABLA XXI. Descripción de la fórmula de intervalo de confianza.

Término	Descripción
μ	Intervalo de confianza
S	Desviación Estándar Muestral
Δm_{prom}	Pérdida de masa promedio del material
n	Número total de datos
$T_{\alpha/2,v}$	Valor crítico tabulado

3.2.2.4. Cálculo por material

Nylon

Densidad de referencia: $\rho = 1{,}14\ g/cm^3 = 1{,}14\ mg/mm^3$

Probeta 1: 57.9260 g - 57.8735 g = 0.0525 g → 52.5 mg

Probeta 2: 57.9789 g - 57.9376 g = 0.0413 g → 41.3 mg

Probeta 3: 58.3176 g - 58.2743 g = 0.0433 g → 43.3 mg

Probeta 4: 57.8587 g - 57.8158 g = 0.0429 g → 42.9 mg

Probeta 5: 58.0299 g - 57.9816 g = 0.0483 g → 48.3 mg

Resultados Consolidados (Nylon):

- Δm_{prom} **(Nylon) =** (52.5 + 41.3 + 43.3 + 42.9 + 48.3) / 5 = 45.66 mg
- **ML (Nylon) =** 45.66 mg / 5 = 9.13 mg/1000 rev
- **VL (Nylon) =** 45.66 mg / 1.14 mg/mm^3 = 40.05mm^3

- **TV (Nylon)** = 40.05 mm^3 / 5 = 8.01 mm^3/1000 rev
- **Desviación Estándar Muestral (S):**

Probeta 1: $(52.5 - 45.66)^2 = 46.7856\ mg$

Probeta 2: $(41.30 - 45.66)^2 = 19.009\ mg$

Probeta 3: $(43.30 - 45.66)^2 = 5.5696\ mg$

Probeta 4: $(42.90 - 45.66)^2 = 7.6176\ mg$

Probeta 5: $(48.30 - 45.66)^2 = 6.9696\ mg$

Total Sumatoria: 85.9520

$$S = \sqrt{\frac{85.9520}{5-1}} = 4.635\ mg$$

- **Coeficiente de variación**

$$CV = \left(\frac{4.635}{45.66}\right)100\% = 10.15\%$$

- **Distribución t-Student para Intervalos de Confianza**

Para un nivel de significancia α= 0.05 (95% de confianza) de dos colas y 4 grados de libertad . El valor crítico tabulado es $T_{\alpha/2,v} = 2.776$.

Calculamos el margen de error estándar (E):

$$E = t_{0.025,4} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{4.635}{\sqrt{5}} = 2.776 \cdot 2.072 = 5.751\ mg$$

Determinamos el Intervalo de Confianza (IC) para la media poblacional μ:

$$\mu = 45.66 \pm 5.751\ mg$$

$$IC = [39.909\ mg\ ;\ 51.411mg]$$

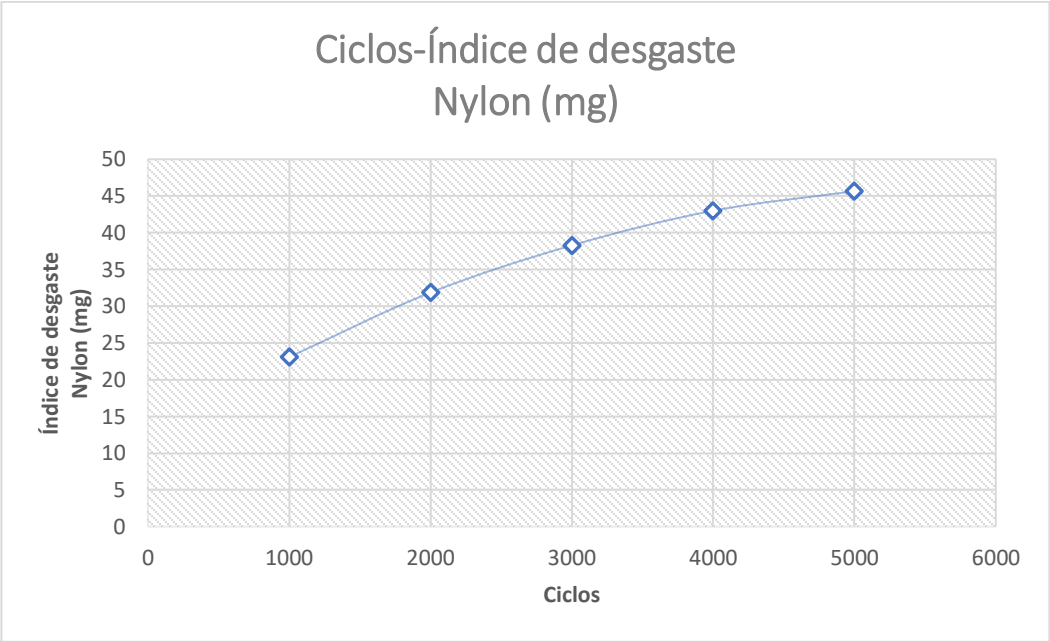


Fig. 12. Ciclos vs Índice de desgaste (Nylon).

Grilon

Densidad de referencia: $\rho = 1{,}14\ g/cm^3 = 1{,}14\ mg/mm^3$

Probeta 1: 73.0778 g - 73.0387 g = 0.0391 g → 39.1 mg

Probeta 2: 72.7268 g - 72.6856 g = 0.0412 g → 41.2 mg

Probeta 3: 71.8602 g - 71.8204 g = 0.0398 g → 39.8 mg

Probeta 4: 73.7058 g - 73.6639 g = 0.0419 g → 41.9 mg

Probeta 5: 73.1073 g - 73.0678 g = 0.0395 g → 39.5 mg

Resultados Consolidados (Grilon):

- Δm_{prom} **(Grilon) =** (39.1 + 41.2 + 39.8 + 41.9 + 39.5) / 5 = 40.30 mg
- **ML (Grilon) =** 40.30 mg / 5 = 8.06 mg/1000 rev
- **VL (Grilon) =** 40.30 mg / 1.14 mg/mm^3 = 35.35 mm^3
- **TV (Grilon) =** 35.35 mm3 / 5 = 7.07 mm^3/1000 rev

- **Desviación Estándar Muestral (S):**

Probeta 1: $(39.10 - 40.30)^2 = 1.4400\ mg$

Probeta 2: $(41.20 - 40.30)^2 = 0.8100\ mg$

Probeta 3: $(39.80 - 40.30)^2 = 0.2500\ mg$

Probeta 4: $(41.90 - 40.30)^2 = 2.5600\ mg$

Probeta 5: $(39.50 - 40.30)^2 = 0.6400\ mg$

Total Sumatoria: 5.7000

$$S = \sqrt{\frac{5.700}{5-1}} = 1.194\ mg$$

- **Coeficiente de variación**

$$CV = \left(\frac{1.194}{40.300}\right) 100\% = 2.96\%$$

- **Distribución t-Student para Intervalos de Confianza**

Para un nivel de significancia α= 0.05 (95% de confianza) de dos colas y 4 grados de libertad . El valor crítico tabulado es $T_{\alpha/2,v} = 2.776$.

Calculamos el margen de error estándar (E):

$$E = t_{0.025,4} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{1.194}{\sqrt{5}} = 2.776 \cdot 0.534 = 1.482\ mg$$

Determinamos el Intervalo de Confianza (IC) para la media poblacional μ:

$$\mu = 40.300 \pm 1.482\ mg$$

$$IC = [38.818\ mg\ ;\ 41.782\ mg]$$

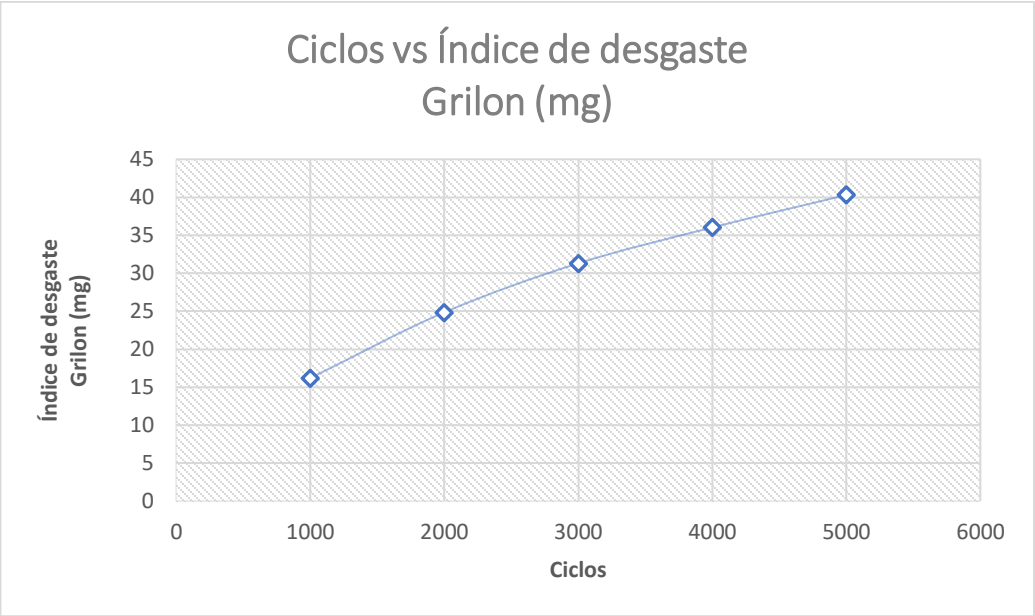


Fig. 13. Ciclos vs Índice de desgaste (Grilon).

Teflón

Densidad de referencia: $\rho = 2{,}20\ g/cm^3 = 2{,}20\ mg/mm^3$

Probeta 1: 102.0131 g - 101.9776 g = 0.0355 g → 35.5 mg

Probeta 2: 102.1252 g - 102.0922 g = 0.0330 g → 33.0 mg

Probeta 3: 101.6255 g - 101.5907 g = 0.0348 g → 34.8 mg

Probeta 4: 102.0596 g - 102.0257 g = 0.0339 g → 33.9 mg

Probeta 5: 102.1797 g - 102.1501 g = 0.0296 g → 29.6 mg

Resultados Consolidados (Teflón):

- Δm_{prom} **(Teflón)** = (35.5 + 33.0 + 34.8 + 33.9 + 29.6) / 5 = 33.36 mg
- **ML (Teflón)** = 33.36 mg / 5 = 6.67 mg/1000 rev
- **VL (Teflón)** = 33.36 mg / 2.20 mg/mm^3 = 15.16 mm^3
- **TV (Teflón)** = 15.16 mm3 / 5 = 3.03 mm^3/1000 rev

- **Desviación Estándar Muestral (S):**

Probeta 1: $(35.50 - 33.36)^2 = 4.5796\ mg$

Probeta 2: $(33.00 - 33.36)^2 = 0.1296\ mg$

Probeta 3: $(34.80 - 33.36)^2 = 2.0736\ mg$

Probeta 4: $(33.90 - 33.36)^2 = 0.2916\ mg$

Probeta 5: $(29.60 - 33.36)^2 = 14.1376\ mg$

Total Sumatoria: 21.2120

$$S = \sqrt{\frac{21.2120}{5-1}} = 2.303\ mg$$

- **Coeficiente de variación**

$$CV = \left(\frac{2.303}{33.360}\right) 100\% = 6.90\%$$

- **Distribución t-Student para Intervalos de Confianza**

Para un nivel de significancia α= 0.05 (95% de confianza) de dos colas y 4 grados de libertad . El valor crítico tabulado es $T_{\alpha/2,v} = 2.776$.

Calculamos el margen de error estándar (E):

$$E = t_{0.025,4} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{2.303}{\sqrt{5}} = 2.776 \cdot 1.030 = 2.859\ mg$$

Determinamos el Intervalo de Confianza (IC) para la media poblacional μ:

$$\mu = 33.360 \pm 2.859\ mg$$

$$IC = [30.501\ mg\ ; 36.219\ mg]$$

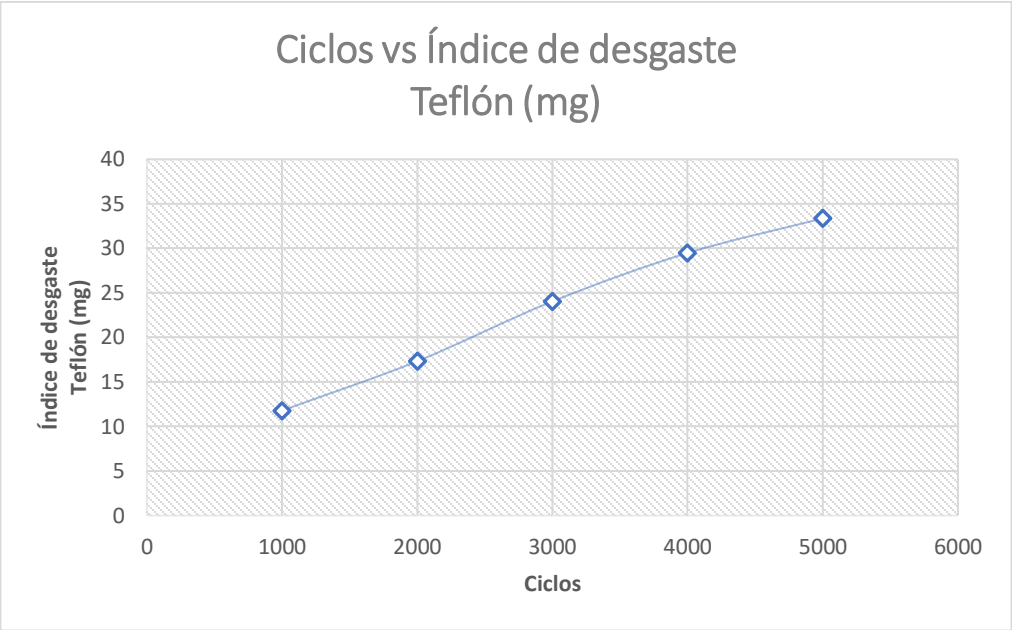


Fig. 14. Ciclos vs Índice de desgaste (Teflón).

Duralon

Densidad de referencia: $\rho = 1{,}20\ g/cm^3 = 1{,}20\ mg/mm^3$

Probeta 1: 57.2715 g - 57.2393 g = 0.0322 g → 32.2 mg

Probeta 2: 56.6628 g - 56.6252 g = 0.0376 g → 37.6 mg

Probeta 3: 57.1300 g - 57.1006 g = 0.0294 g → 29.4 mg

Probeta 4: 56.5688 g - 56.5389 g = 0.0299 g → 29.9 mg

Probeta 5: 56.6717 g - 56.6415 g = 0.0302 g → 30.2 mg

Resultados Consolidados (Duralon):

- Δm_{prom} **(Duralon) =** (32.2 + 37.6 + 29.4 + 29.9 + 30.2) / 5 = 31.86 mg
- **ML (Duralon) =** 31.86 mg / 5 = 6.37 mg/1000 rev
- **VL (Duralon) =** 31.86 mg / 1.20 mg/mm^3 = 26.55 mm^3
- **TV (Duralon) =** 26.55 mm^3/ 5 = 5.31 mm^3/1000 rev

- **Desviación Estándar Muestral (S):**

Probeta 1: $(32.20 - 31.86)^2 = 0.1156\ mg$

Probeta 2: $(37.60 - 31.86)^2 = 32.9476\ mg$

Probeta 3: $(29.40 - 31.86)^2 = 6.0516\ mg$

Probeta 4: $(29.90 - 31.86)^2 = 3.8416\ mg$

Probeta 5: $(30.20 - 31.86)^2 = 2.7556\ mg$

Total Sumatoria: 45.7120

$$S = \sqrt{\frac{45.7120}{5-1}} = 3.381\ mg$$

- **Coeficiente de variación**

$$CV = \left(\frac{3.381}{31.860}\right) 100\% = 10.61\%$$

- **Distribución t-Student para Intervalos de Confianza**

Para un nivel de significancia α= 0.05 (95% de confianza) de dos colas y 4 grados de libertad . El valor crítico tabulado es $T_{\alpha/2,v} = 2.776$.

Calculamos el margen de error estándar (E):

$$E = t_{0.025,4} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2.776 \cdot \frac{3.381}{\sqrt{5}} = 2.776 \cdot 1.512 = 4.197\ mg$$

Determinamos el Intervalo de Confianza (IC) para la media poblacional μ:

$$\mu = 31.860 \pm 4.197\ mg$$

$$IC = [27.663\ mg\ ; 36.057\ mg]$$

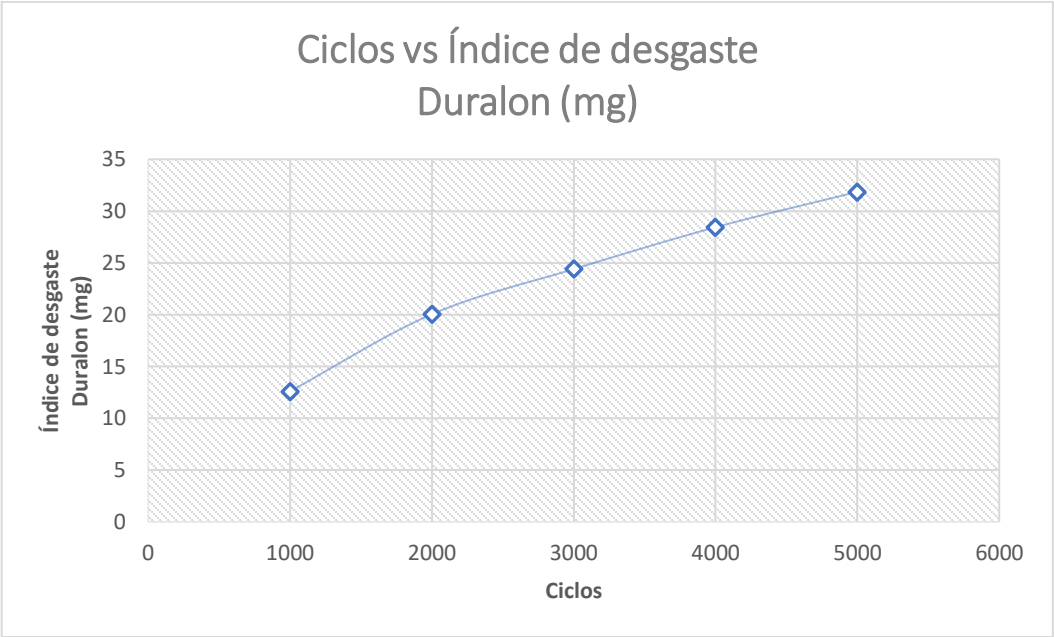


Fig. 15. Ciclos vs Índice de desgaste (Duralon).

3.2.2.5. Tabla resumen

En la siguiente tabla tenemos el índice de desgaste promedio de las 5 probetas vs el número de ciclos de los cuatro polímeros.

TABLA XXII. Índice de desgaste(mg) vs Número de ciclos.

	Duralon	**Teflón**	**Grilon**	**Nylon**
1000	12,6	11,86	16,18	23,08
2000	20,04	17,32	24,84	31,86
3000	24,4	24,04	31,3	38,28
4000	28,44	29,48	36,02	43
5000	31,86	33,36	40,3	45,66

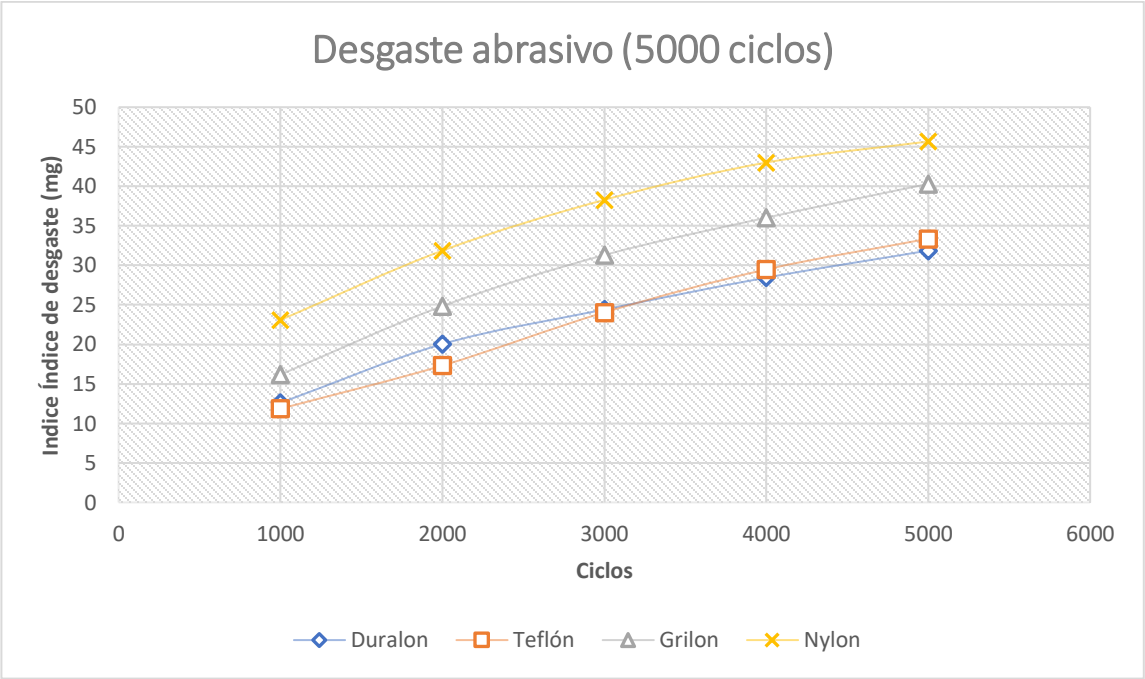


Fig. 16. Desgaste abrasivo (5000 ciclos).

La siguiente tabla integra las variables tribológicas calculadas para cada uno de los polímeros comerciales evaluados.

TABLA XXIII. Tabla resumen del ensayo de resistencia al desgaste abrasivo.

Material	**Masa perdida promedio (mg)**	**Densidad teórica (g/cm^3)**	**Tasa de desgaste en masa (mg)**	**Volumen Perdido Promedio (mm^3)**	**Tasa de desgaste volumétrica (mm^3/1000 rev)**
Duralon	31,86	1,20	6,37	26,55	5,31
Teflón	33,36	2,20	6,67	15,16	3,03
Grilon	40,30	1,14	8,06	35,35	7,07
Nylon	45,66	1,14	9,13	40,05	8,01

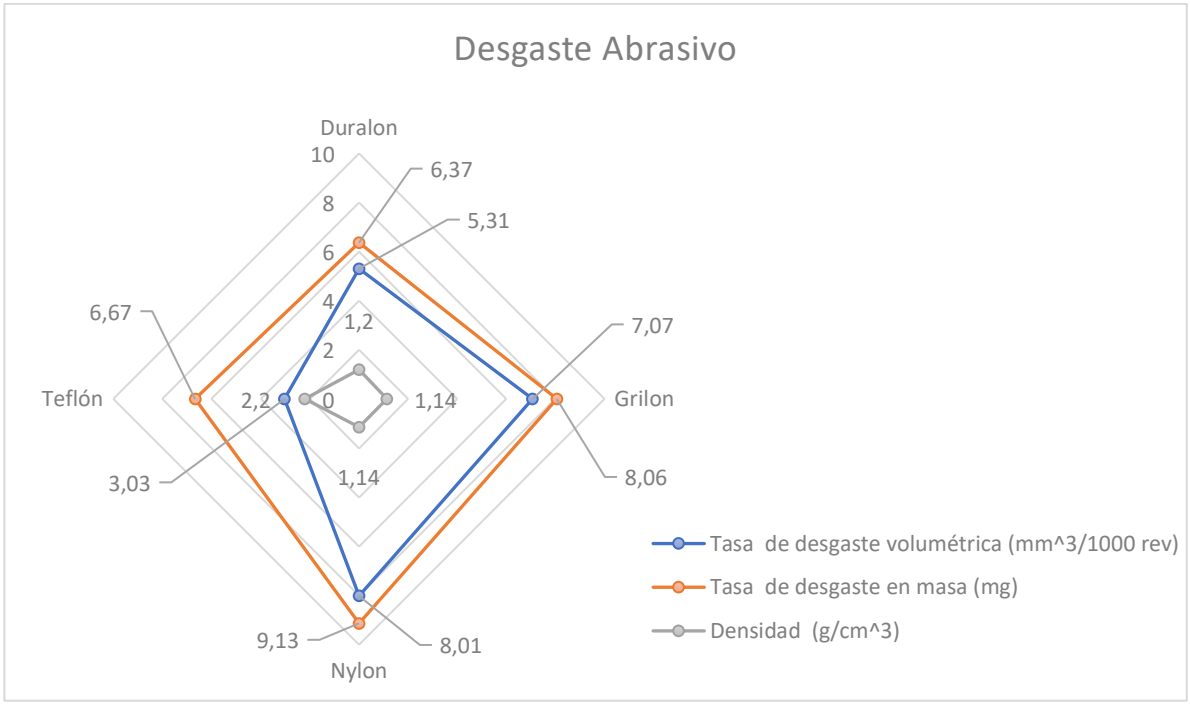


Fig. 17. El diagrama radial correlaciona simultáneamente la tasa de desgaste en masa, la tasa de desgaste volumétrica y la densidad del material.

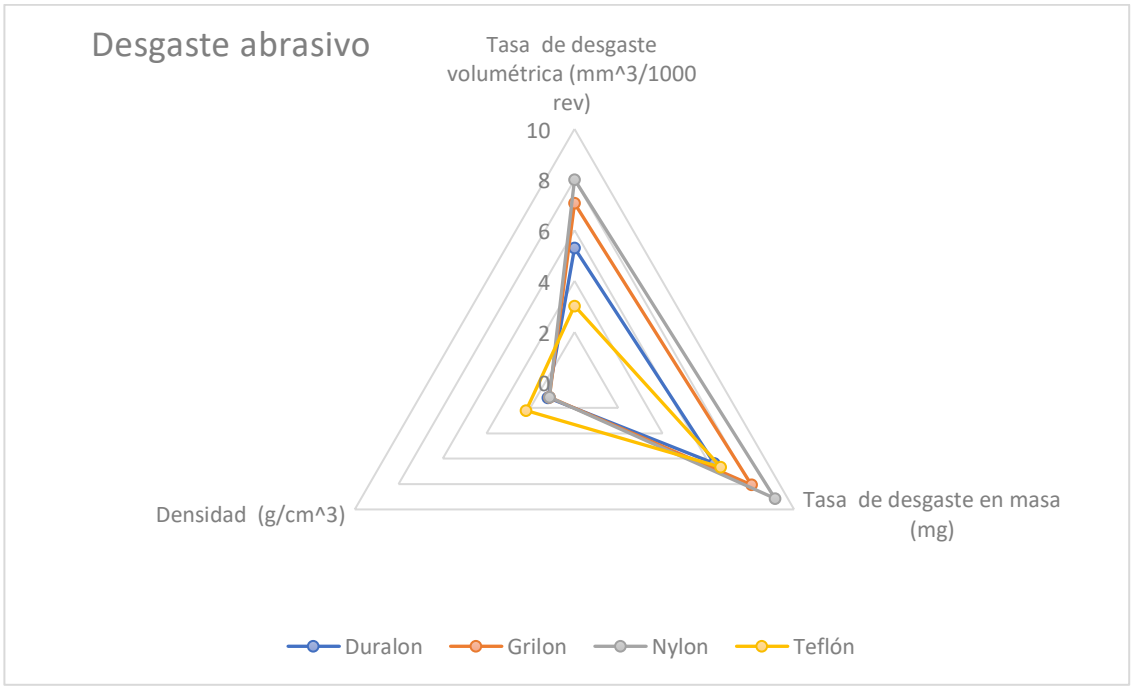


Fig. 18. Diagrama de Dispersión Asimétrica de Desgaste y Densidad.

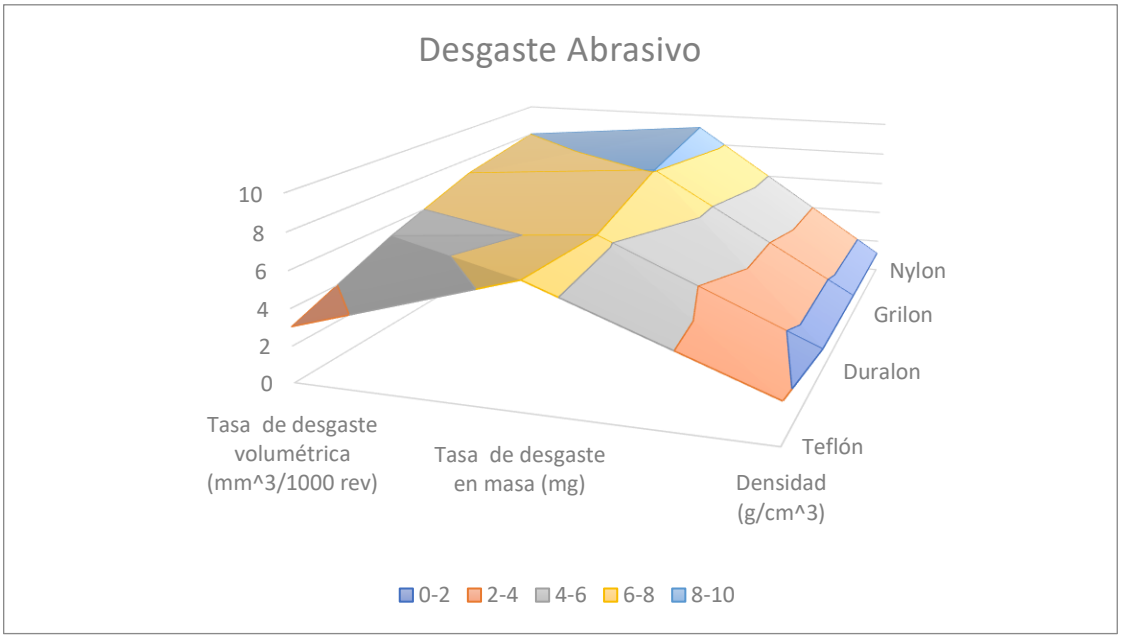


Fig. 19. Diagrama de superficie del desgaste abrasivo.

La siguiente tabla resume el comportamiento estadístico del proyecto de investigación:

TABLA XXIV. Comportamiento Estadístico

Material	**Masa perdida promedio (mg)**	**Desviación Estándar (S) [mg]**	**Coeficiente de Variación (CV)**	**Intervalo de Confianza (95%) [mg]**
Duralon	31.860	3.381	10.61%	$[27.663\ mg\ ; 36.057\ mg]$
Teflón	33.360	2.303	6.90%	$[30.501\ mg\ ; 36.219\ mg]$
Grilon	40.300	1.194	2.96%	$[38.818\ mg\ ; 41.782\ mg]$
Nylon	45.660	4.635	10.15%	$[39.909\ mg\ ; 51.411 mg]$

3.2.2.6. Discusión del comportamiento

Evaluado estrictamente bajo la pérdida de masa acumulada ((M_L), el Duralon se posiciona como el material con mayor resistencia al desgaste, registrando la tasa más baja del grupo con 6.37mg/1000rev. Este comportamiento se atribuye a su estructura molecular amorfa pero altamente cohesionada, que le confiere una rigidez estructural y una tenacidad al impacto superiores.

El Teflón, a pesar de registrar una pérdida de masa intermedia (33,36 mg), tiene la mayor densidad dentro del grupo que se estudia con (2,20 g/cm^3), esto permite que el polímero experimente el menor volumen perdido absoluto (15,16 mm^3) y que la tasa de desgaste volumétrica sea más eficiente y baja (3,03 mm^3/1000).

El Grilon y el Nylon comparten la menor densidad (1,14 g/cm^3),) y exhiben un desempeño inferior, siendo el Nylon el material más vulnerable y con menor resistencia al desgaste al registrar los valores más críticos de todo el ensayo: la mayor pérdida de masa (45,66 mg), el mayor volumen desalojado (40,05 mm^3) y la tasa de desgaste volumétrica más elevada (8,01mm^3/1000).

Las 5 probetas ensayadas por material resultan metodológicamente óptimas y suficientes para asegurar la significancia estadística de la presente investigación. En el ámbito normativo, este volumen de réplicas satisface y excede las exigencias mínimas estipuladas por las normas internacionales ASTM D2240-15 e ISO 9352. Estadísticamente, la homogeneidad del proceso experimental queda demostrada por la obtención de coeficientes de variación notablemente bajos, situados entre el 2.96% y el 10.61%.

Al evaluar los datos mediante la distribución t-Student para muestras pequeñas, los intervalos de confianza al 95% correspondientes a los polímeros de alta y baja resistencia no exhiben traslape alguno. Esta divergencia matemática constituye la evidencia científica definitiva de que los resultados registrados poseen una alta significancia estadística y que las diferencias observadas corresponden a las propiedades del material y no variaciones aleatorias.

3.3. Verificación de la hipótesis

En virtud de que la evidencia experimental recolectada demuestra de forma clara que el análisis de los materiales poliméricos comerciales (Duralon, Grilon, Nylon, Teflón) utilizados en componentes mecánicos permite comparar su dureza y resistencia al desgaste, SE APRUEBA LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN formulada para este proyecto de grado.

CAPÍTULO IV

4.1. Conclusiones

- Se fabricaron exitosamente 20 probetas normalizadas, 5 probetas por cada polímero (Duralon, Grilon, Nylon, Teflón), de acuerdo con los requisitos dimensionales exigidos por las normas ASTM D2240-15 e ISO 9352. Controlar rigurosamente el paralelismo de las caras y el espesor nominal de las muestras evitó perturbaciones por flexión estructural u holguras mecánicas durante la rodadura abrasiva, blindando la validez estadística y la trazabilidad de los datos gravimétricos capturados en el laboratorio.
- Los ensayos de dureza o resistencia a la indentación determinaron que el Duralon y el Grilon poseen la mayor rigidez estructural del grupo, registrando valores promedio de 85,9 Shore D y 84,9 Shore D respectivamente. La mínima diferencia de una unidad entre ambos termoplásticos demuestra que comparten un nivel homólogo de empaquetamiento molecular y resistencia ante la deformación plástica localizada.
- El Nylon presentó mayor dispersión en sus lecturas superficiales, con un promedio de 74,2 Shore D. Está dispersión se atribuye directamente a la naturaleza higroscópica del polímero, donde la absorción de humedad ambiental es heterogénea, modificando así la homogeneidad de la dureza en la superficie de la probeta.
- El Teflón registró la menor resistencia a la penetración (Dureza Shore D) de los materiales ensayados, con un valor promedio de 69,5 Shore D que refleja su elevada ductilidad. La dispersión observada en sus lecturas evidencia el fenómeno de fluencia lenta bajo la carga sostenida del durómetro, un factor crítico que afecta su estabilidad dimensional ante esfuerzos de compresión localizados.
- Se determinó de manera concluyente que la resistencia a la indentación de los materiales sigue un orden decreciente: Duralon (85,9 Shore D), Grilon (84,9 Shore D), Nylon (74,2 Shore D), Teflón (69,5 Shore D). Esta escala posiciona al Duralon

y al Grilon como las alternativas óptimas para soportar esfuerzos mecánicos localizados de compresión sin sufrir deformaciones plásticas severas.

- Al analizar la pérdida de masa acumulada tras 5,000 ciclos de abrasión, el Duralon demostró la mayor resistencia al desgaste con una tasa de pérdida de masa promedio de (6.37 mg/1000 rev), seguido por el Teflón (6.67 mg/1000 rev), el Grilon (8.06 mg/1000 rev) y, finalmente, el Nylon comercial genérico (9.13 mg/1000 rev). Esto posiciona al Duralon como el material más eficiente, del grupo de estudio bajo el criterio cuantitativo de masa desalojada.
- Conforme al apartado 9.d de la norma ISO 9352, la evaluación del desgaste en materiales con densidades significativamente divergentes, la pérdida de volumen (VL) es el indicador crítico de resistencia mecánica. Bajo este criterio volumétrico, el Teflón registra el mejor desempeño con una tasa de desgaste de 3.03 mm^3/1000 rev frente a los 5.31 mm^3/1000 rev del Duralon, esto demuestra que la alta densidad del Teflón (2.2 g/cm^3) altera la interpretación geométrica del desgaste frente a polímeros más ligeros.
- El comportamiento volumétrico del Teflón se explica por su baja energía superficial y propiedad de autolubricación. En los ciclos iniciales del ensayo, el Teflón deposita una microcapa de material hacia la superficie de las ruedas abrasivas, esto reduce de forma drástica el coeficiente de fricción de la interfaz y protegiendo la integridad geométrica de la probeta frente a un desbaste continuo sobre la probeta.
- El comportamiento experimental validó que el Grilon posee una resistencia al desgaste superior en un 12% en comparación con el Nylon comercial genérico. Al compartir una base molecular similar (1.14 g/cm^3), esta diferencia se atribuye directamente a las modificaciones industriales del Grilon, el cual cuenta con un mayor grado de cristalinidad y aditivos estabilizantes que aumentan la cohesión de la matriz polimérica ante el microcorte mecánico.
- El desgaste de las muestras exhibió una disminución monótona y progresiva del peso en función del incremento de los ciclos de rotación. La alta repetibilidad estadística observada entre las cinco probetas ensayadas por cada material

confirma un riguroso control experimental de las variables operativas de la norma, tales como la velocidad de giro del plato de soporte, el ajuste del sistema de vacío y la limpieza superficial.

4.2. Recomendaciones

- Para el diseño y desarrollo de componentes mecánicos poliméricos, se recomienda romper con el paradigma de seleccionar materiales basándose únicamente en los datos de dureza de los catálogos comerciales.
- Se recomienda que los diseñadores e ingenieros mecánicos deben evaluar simultáneamente el régimen de trabajo del componente; si el elemento estará expuesto a cargas de indentación estática o impacto moderado, debe priorizarse un polímero de alta dureza y tenacidad como el Duralon, pero si operará bajo fricción dinámica continua donde la lubricación externa sea inviable, se debe seleccionar un material con capacidad de autolubricación como el Teflón, independientemente de su baja dureza.
- Dado que las poliamidas (Nylon y Grilon) tienden a calentarse y embotar los poros de los elementos abrasivos por transferencia térmica, se recomienda implementar de manera obligatoria la limpieza de las ruedas con cepillo de alambre o el reemplazo del papel abrasivo, tal como se indica en los apartados 8.10 y 8.10.1 de la norma, para evitar caídas artificiales en la tasa de desgaste real.
- La limpieza de las probetas con alcohol isopropílico es fundamental para limpiar impurezas que pueda existir en la superficie y así comenzar con los ensayos propuestos.
- En el ensayo de abrasión se recomienda limpiar las muelas en cada probeta y verificar que la aspiradora este encendida durante el ensayo para evitar que se acumule residuos del material.
- Con el fin de reducir la incertidumbre en el cálculo del desgaste volumétrico, se sugiere medir la densidad real de las probetas comerciales mediante el método de inmersión según la norma ISO 1183-1. Sustituir los valores teóricos de los catálogos por datos experimentales directos garantizará una mayor rigurosidad en la conversión de las tasas de pérdida de masa a volumen.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

[1] M. P. Groover, *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA*, Tercera Edición. 2007.

[2] H. Unal, U. Sen, y A. Mimaroglu, "Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface", *Tribol. Int.*, vol. 37, núm. 9, pp. 727–732, sep. 2004, doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2004.03.002.

[3] W. Wang y J. Li, "Evaluation of the Friction and Wear Properties of PA6 Composites Filled with Nano-SiO_2", *Adv. Mat. Res.*, vol. 299–300, pp. 86–89, 2011, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.299-300.86.

[4] A. Pogačnik, A. Kupec, y M. Kalin, "Tribological properties of polyamide (PA6) in self-mated contacts and against steel as a stationary and moving body", *Wear*, vol. 378–379, pp. 17–26, may 2017, doi: 10.1016/J.WEAR.2017.01.118.

[5] "(PDF) ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y MECÁNICAS DEL NYLON-6 IRRADIADO A DIFERENTES TEMPERATURAS". Consultado: el 29 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/297762286_ESTUDIO_DE_LAS_PROPIEDADES_TERMICAS_Y_MECANICAS_DEL_NYLON-6_IRRADIADO_A_DIFERENTES_TEMPERATURAS

[6] B. J. Briscoe y S. K. Sinha, "Wear of polymers", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 216, núm. 6, pp. 401–413, 2002, doi: 10.1243/135065002762355325.

[7] C. DeArmitt, "Functional Fillers for Plastics", *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials*, pp. 455–468, jul. 2011, doi: 10.1016/B978-1-4377-3514-7.10026-1.

[8] J. Chen, J. Zhu, H. Wu, S. Guo, y J. Qiu, "Constructing highly aligned crystalline structure to enhance sliding wear performance of bulk polyamide 6", *Polymer (Guildf).*, vol. 237, p. 124353, dic. 2021, doi: 10.1016/J.POLYMER.2021.124353.

[9] M. Baráth, M. Kotus, L. Boszorádová, J. Baláži, L. Hrabovský, y Š. Pravda, "Effect of Relative Humidity on Tribological and Mechanical Properties of PA6-Based Composites", *Management Systems in Production Engineering*, vol. 33, núm. 3, pp. 362–370, sep. 2025, doi: 10.2478/MSPE-2025-0034.

[10] S. Bahadur, "The development of transfer layers and their role in polymer tribology", *Wear*, vol. 245, núm. 1–2, pp. 92–99, oct. 2000, doi: 10.1016/S0043-1648(00)00469-5.

[11] H. Saito *et al.*, “Effect of sliding paths on wear and friction of polytetrafluoroethylene composites”, *Tribol. Int.*, vol. 212, p. 110963, dic. 2025, doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2025.110963.

[12] J. Blumm, A. Lindemann, M. Meyer, y C. Strasser, “Characterization of PTFE using advanced thermal analysis techniques”, *Int. J. Thermophys.*, vol. 31, núm. 10, pp. 1919–1927, 2010, doi: 10.1007/S10765-008-0512-Z.

[13] J. Khedkar, I. Negulescu, y E. I. Meletis, “Sliding wear behavior of PTFE composites”, *Wear*, vol. 252, núm. 5–6, pp. 361–369, mar. 2002, doi: 10.1016/S0043-1648(01)00859-6.

[14] A. A. Pitenis, K. L. Harris, C. P. Junk, G. S. Blackman, W. G. Sawyer, y B. A. Krick, “Ultralow Wear PTFE and Alumina Composites: It is All About Tribochemistry”, *Tribol. Lett.*, vol. 57, núm. 1, ene. 2015, doi: 10.1007/S11249-014-0445-6.

[15] A. A. Bakır, R. Atik, y S. Özerinç, “Mechanical properties of thermoplastic parts produced by fused deposition modeling:a review”, *Rapid Prototyp. J.*, vol. 27, núm. 3, pp. 537–561, abr. 2021, doi: 10.1108/RPJ-03-2020-0061.

[16] N. Gupta *et al.*, “Metal nanoparticles enhanced thermophysical properties of phase change material for thermal energy storage”, *Mater. Today Proc.*, vol. 32, pp. 463–467, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.164.

[17] O. Olea-Mejia, W. Brostow, y E. Buchman, “Wear resistance and wear mechanisms in polymer + metal composites”, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 10, núm. 12, pp. 8254–8259, dic. 2010, doi: 10.1166/JNN.2010.3026.

[18] K. Friedrich, “Polymer composites for tribological applications”, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 1, núm. 1, pp. 3–39, oct. 2018, doi: 10.1016/J.AIEPR.2018.05.001.

[19] A. Wang, A. Essner, V. K. Polineni, C. Stark, y J. H. Dumbleton, “Lubrication and wear of ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacements”, *Tribol. Int.*, vol. 31, núm. 1–3, pp. 17–33, ene. 1998, doi: 10.1016/S0301-679X(98)00005-X.

[20] S. Basavarajappa, K. V. Arun, J. P. Davim, S. Basavarajappa, K. V. Arun, y J. P. Davim, “Effect of Filler Materials on Dry Sliding Wear Behavior of Polymer Matrix Composites – A Taguchi Approach”, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 8, núm. 5, pp. 379–391, may 2009, doi: 10.4236/JMMCE.2009.85034.

[21] P. H. Shipway y N. K. Ngao, “Microscale abrasive wear of polymeric materials”, *Wear*, vol. 255, núm. 1–6, pp. 742–750, ago. 2003, doi: 10.1016/S0043-1648(03)00106-6.

[22] “Ensayo de dureza: qué es y para qué sirve”. Consultado: el 6 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-dureza-materiales/

[23] “Resistencia al desgaste - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos”. Consultado: el 6 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.mexpolimeros.com/desgaste.html

[24] P. Muñoz-Valverde *et al.*, “PREDICCIÓN DE DESGASTE ABRASIVO Y DUREZA SUPERFICIAL DE PARTES IMPRESAS POR TECNOLOGÍA SLA”, *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología* , vol. 2024, núm. 31, pp. 19–31, ene. 2024, doi: 10.17163/INGS.N31.2024.02.

[25] “Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness 1”, doi: 10.1520/D2240-15.

[26] N. K. Myshkin, M. I. Petrokovets, y A. V. Kovalev, “Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer”, *Tribol. Int.*, vol. 38, núm. 11-12 SPEC. ISS., pp. 910–921, nov. 2005, doi: 10.1016/J.TRIBOINT.2005.07.016.

[27] “Plastics-Determination of resistance to wear by abrasive wheels Plastiques-D&termination de la r&i.stance B I’usure par galets abrasifs”.

[28] “Fricción y desgaste - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos”. Consultado: el 6 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.mexpolimeros.com/lab/friccion.html

ANEXOS.



Fig. 20. Nylon (Probetas para el ensayo de abrasión).



Fig. 21. Teflón (Probetas para el ensayo de abrasión y dureza).



Fig. 22. Grilon (Probetas para el ensayo de abrasión y dureza).



Fig. 23. Duralon (Probetas para el ensayo de abrasión y dureza).



Fig. 24. Ensayo de dureza.



Fig. 25. Peso de la carga aplicada a los brazos.



Fig. 26. Ensayo de Desgaste abrasivo Taber.

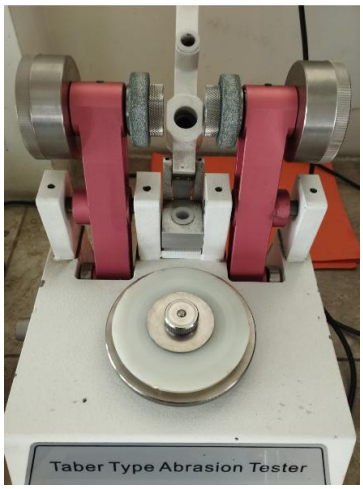


Fig. 27. Desgaste del polímero a 5000 ciclos.



Fig. 28. Teflón (Probeta a 5000 ciclos de abrasión).



Fig. 29. Nylon (Probeta a 5000 ciclos de abrasión).



Fig. 30. Grilon (Probeta a 5000 ciclos de abrasión).



Fig. 31. Duralon (Probeta a 5000 ciclos de abrasión).



Fig. 32. Pesaje de las probetas.

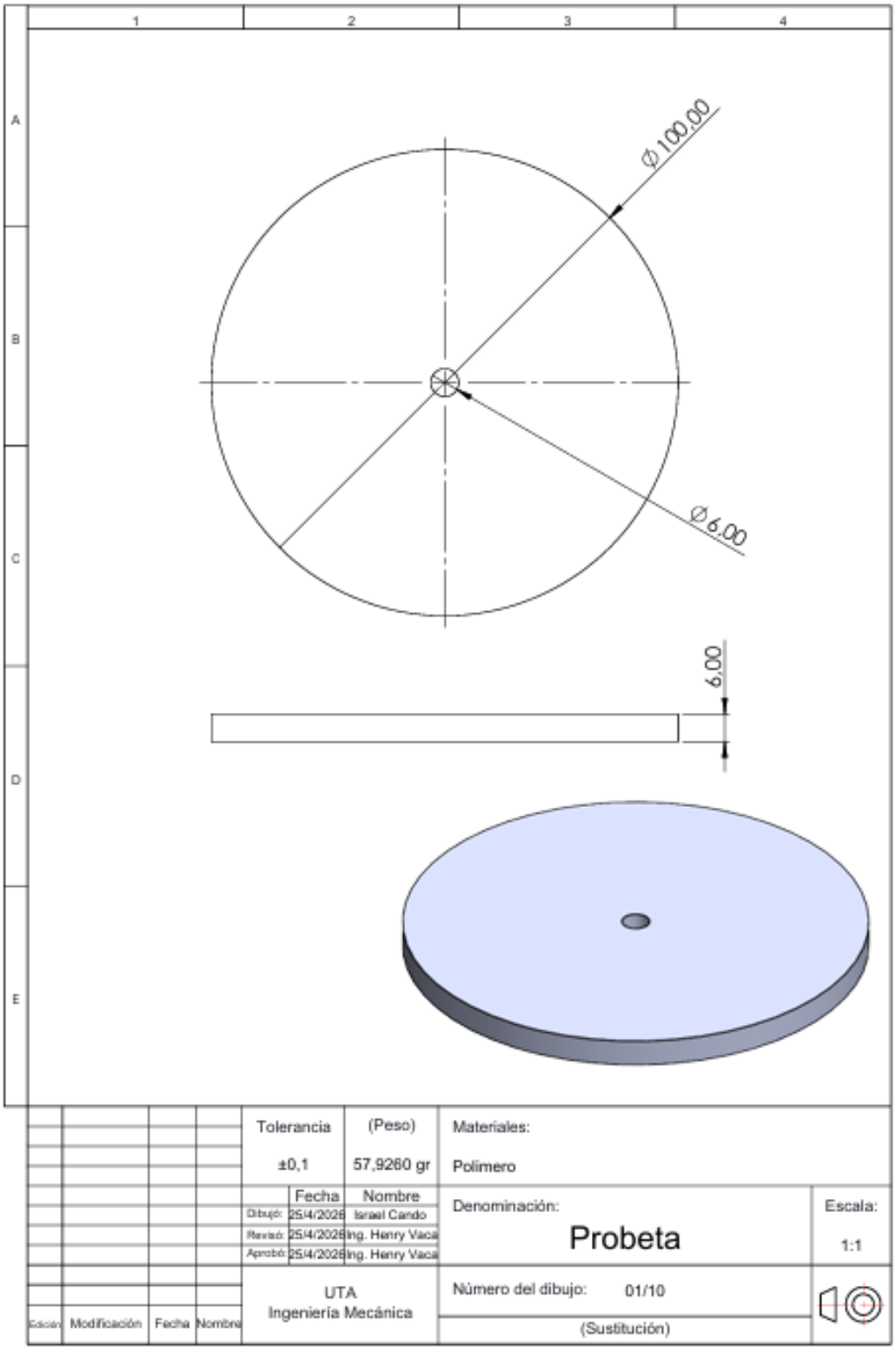


Fig. 33 Dimensiones de las probetas.

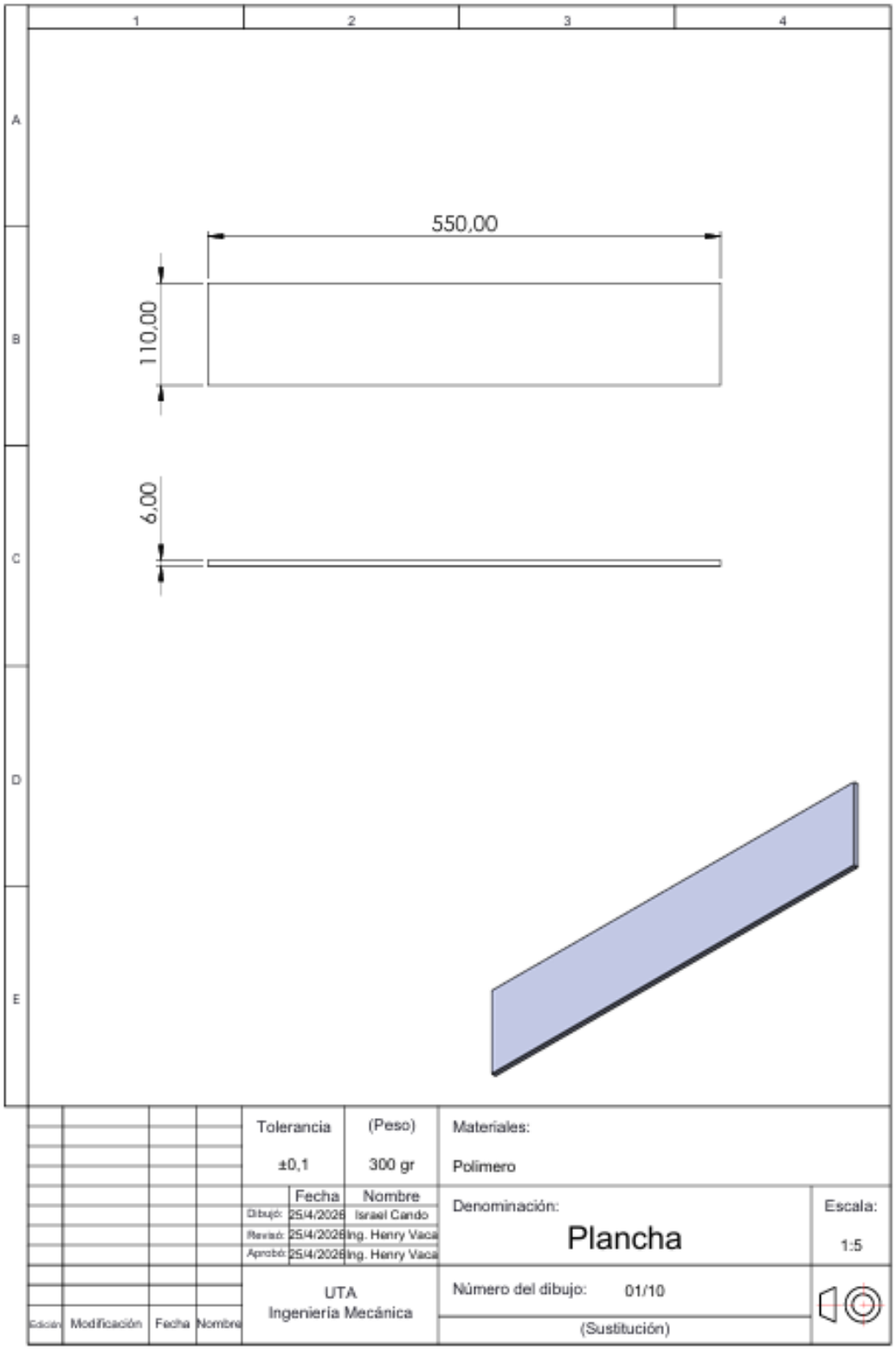


Fig. 34. Dimensiones de las planchas de polímero.