



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE COMPONENTES  
TERMOPLÁSTICOS, OBTENIDOS A PARTIR DE LA RESINA  
INGENIERÍA-TOUGH Y RESINA STANDARD EN ORIENTACIÓN  
PARALELA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA ADITIVA  
PARA IMPRESIÓN 3D (SLA)”.**

---

**AUTOR:** Darío Javier Yumbolema Narváez

**TUTOR:** Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

**AMBATO – ECUADOR**

**Julio - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el Tema: **“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE COMPONENTES TERMOPLÁSTICOS, OBTENIDOS A PARTIR DE LA RESINA INGENIERÍA-TOUGH Y RESINA STANDARD EN ORIENTACIÓN PARALELA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA ADITIVA PARA IMPRESIÓN 3D (SLA)”**. Elaborado por el Sr. Darío Javier Yumbolema Narváez, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804482139, 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 revisada en cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Julio 2021

---

**Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas**  
**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo Darío Javier Yumbolema Narvález, con C.I 1804482139 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE COMPONENTES TERMOPLÁSTICOS, OBTENIDOS A PARTIR DE LA RESINA INGENIERÍA-TOUGH Y RESINA STANDARD EN ORIENTACIÓN PARALELA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA ADITIVA PARA IMPRESIÓN 3D (SLA)”**., así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Julio 2021



---

**Darío Javier Yumbolema Narvález**

**C.I.: 1804482139**

**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, Julio 2021



---

**Darío Javier Yumbolema Narváez**

**C.I.: 1804482139**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Darío Javier Yumbolema Narváz de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DE COMPONENTES TERMOPLÁSTICOS, OBTENIDOS A PARTIR DE LA RESINA INGENIERÍA-TOUGH Y RESINA STANDARD EN ORIENTACIÓN PARALELA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA ADITIVA PARA IMPRESIÓN 3D (SLA)”**.

Ambato, Julio 2021

**Para constancia firman**

---

**Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega**

**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Pablo Raúl Valle Velasco**

**Miembro Calificador**

## DEDICATORIA

*Este trabajo va Dedicado a Dios por ser el pilar fundamental de mi vida y estar presente en cada prueba y desafío.*

*A mis padres Rita Piedad y Segundo Abel que han sido mis héroes y mentores, que mediante su esfuerzo diario han puesto el ejemplo de que cualquier cosa que se desea con esfuerzo y perseverancia se puede conseguir.*

*A mis hermanos Nelly, Ángel, Jazmín, Estefanía, Monserrat quienes de una u otra manera siempre me han demostrado su apoyo incondicional en los momentos que se los ha necesitado demostrando una verdadera unión familiar.*

Darío Yumbolema

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios en primer lugar por darme la vida, salud, unos padres maravillosos, unos hermanos increíbles, en fin, una familia única a la cual estoy orgulloso de pertenecer.*

*A mis padres por el apoyo constante, tanto moral como financieramente, sin su ayuda este sueño no se pudiera convertir en realidad.*

*A mis hermanos, que son una fuente de inspiración constante de superación y sacrificio, su ayuda ha sido muy importante a lo largo del desarrollo de este y muchos otros proyectos.*

*Sin duda una mención especial para mi prometida Marisol que ha estado impulsándome al crecimiento constante mediante su apoyo y amor.*

*A mi tutor el Ing. Cristian Pérez que con su ayuda y guía se pudo completar este trabajo de investigación.*

*A mi alma mater Universidad Técnica de Ambato, a la carrera de Ingeniería Mecánica, a todos los docentes por sus conocimientos y concejos oportunos.*

*Finalmente, para todos mis amigos a los que considero como unos hermanos más, su amistad y apoyo ha sido importante para el cumplimiento de muchas metas.*

*También quiero agradecer a todas las personas que estuvieron a mi lado e hicieron esto posible, "MUCHÍSIMAS GRACIAS DESDE LO MÁS PROFUNDO DE MI CORAZÓN"*

## INDICE DE CONTENIDO

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I – MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general. ....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Hipótesis .....	4
1.3.1 Variable Dependiente .....	4
1.3.2 Variable Independiente.....	4
1.4 Marco Teórico .....	4
1.4.1 Impresión 3D.....	4
1.4.2 Tecnologías de fabricación 3D .....	5
1.4.3 Materiales .....	7
1.4.4 Software.....	11
1.4.5 Dureza.....	12
1.4.6 Dureza de bola.....	13
1.4.7 Dureza Rockwell .....	13
1.4.8 Dureza Shore. ....	14

1.4.9 Desgaste.....	17
1.4.10 Tipos de desgaste.....	17
<b>CAPÍTULO II - METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
2.1 Materiales .....	20
2.2 Recursos .....	20
2.3 Métodos .....	22
2.3.1 Experimental.....	23
2.3.2 Cuantitativa.....	23
<b>CAPÍTULO III - RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
3.1 Análisis y discusión de los resultados .....	24
3.2 Ensayo de desgaste .....	24
3.2.1 Ficha de registro de Datos Técnicos Resina Estándar.....	26
3.2.2 Ficha de registro de la probeta Resina Standard tipo II sin curar.....	26
3.2.3 Ficha de registro de la probeta Resina Standard tipo II con un curado de 15 minutos .....	28
3.2.4 Ficha de registro de la probeta Resina Standard tipo II con un curado de 30 minutos. ....	31
3.2.5 Ficha de registro de Datos Técnicos resina Tough.....	33
3.2.6 Ficha de registro de la probeta Resina de Ingeniería Tough tipo II sin curar .....	34
3.2.7 Ficha de registro de la probeta Resina de Ingeniería Tough tipo II con un curado de 60 minutos .....	36
3.2.8 Ficha de registro de la probeta Resina de Ingeniería Tough tipo II con un curado de 120 minutos. ....	38
3.2.9 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA ESTÁNDAR .....	40
3.2.10 EXTRAPOLACIÓN DE DATOS RESINA ESTÁNDAR .....	41
3.2.11 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA TOUGH.....	44
3.2.12 INTERPOLACIÓN DE DATOS RESINA TOUGH .....	44
3.2.13 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS .....	47

3.3 Ensayo de dureza.....	50
3.3.1 Ficha de registro de datos técnicos de la dureza Shore tipo D tomados en la resina estándar tipo I.....	52
3.3.2 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I Orientación Paralela. ....	53
3.3.3 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I. Sin Curar.....	53
3.3.4 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I. Curado 15 minutos .....	55
3.3.5 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I. Curado 30 minutos	57
3.3.6 Ficha de registro Datos Técnicos de Dureza Shore D Resina Tough.....	59
3.3.7 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Orientación Paralela	59
3.3.8 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Sin Curar .....	60
3.3.9 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Curado 60 min.....	61
3.3.10 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Curado 120 min.....	63
3.3.11 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA ESTANDAR DUREZA SHORE D .....	65
3.3.12 EXTRAPOLACIÓN DE DUREZA RESINA ESTÁNDAR .....	66
3.3.13 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA TOUGH.....	68
3.3.14 INTERPOLACIÓN DE DATOS RESINA TOUGH .....	69
3.3.15 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS .....	71
3.4 Verificación de hipótesis .....	75
4 CAPITULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
4.1 Conclusiones.....	83
4.2 Recomendaciones .....	85
Referencias Bibliográficas.....	86
5 Anexo .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dureza de algunos materiales [10].....	13
Tabla 2: Escalas de dureza Rockwell [10].....	14
Tabla 3: Escalas disponibles de short [11].....	15
Tabla 4: Dureza de polímeros [11].....	17
Tabla 5: Materiales y precios .....	21
Tabla 6: Materiales utilizados en impresión 3D .....	22
Tabla 7: Equipos Estandarizados para medición de Desgaste. ....	25
Tabla 8: Cálculos resina Estándar sin curado .....	26
Tabla 9: Valores de las muestras tomadas resina estándar sin curado .....	28
Tabla 10: Tabla de Cálculos resina estándar 15 minutos curados .....	29
Tabla 11: Resultados de curado a 15 minutos resina estándar.....	30
Tabla 12: Análisis estadísticos a 30 minutos .....	31
Tabla 13: Análisis estadísticos a 30 minutos resina estándar .....	33
Tabla 14: Análisis estadístico resina Tough sin curado.....	34
Tabla 15: Resultados obtenidos resina Tough sin curado.....	36
Tabla 16: Análisis estadísticos .....	37
Tabla 17: Análisis de muestras 60 minutos.....	38
Tabla 18: Análisis estadísticos .....	39
Tabla 19: Análisis de muestras Tough 120 minutos .....	40
Tabla 20: Valores extrapolados 60 y 120 min. (estándar) .....	42
Tabla 21: Interpolación de desgaste a 15 y 30 min. (Tough).....	46
Tabla 22: Comparación Estándar vs Tough sin curado. ....	47
Tabla 23: Comparación Estándar Vs Tough curado 15 min. ....	48
Tabla 24: Comparación Estándar Vs Tough curado 30 min. ....	48
Tabla 25: Comparación Estándar Vs Tough curado 60 min. ....	49
Tabla 26: Comparación Estándar Vs Tough curado 120 min.....	50
Tabla 27: Cálculos resina Estándar sin curado .....	53
Tabla 28: Datos de dureza estándar sin curado .....	55
Tabla 29: Datos estadísticos obtenidos a 15 minutos.....	55
Tabla 30: Datos estadísticos muestra curado a 15 min. Resina Estándar .....	56
Tabla 31: Datos estadísticos obtenidos a 30 minutos de curado.....	57
Tabla 32: Datos estadísticos muestra curado a 30 minutos resina estándar.....	58

Tabla 33: Datos estadísticos muestra sin curado resina Tough.....	60
Tabla 34: Datos obtenidos resina Tough sin curado .....	61
Tabla 35: Datos estadísticos muestra curado a 60 minutos.....	62
Tabla 36: Datos resultantes resina Tough curado a 60 minutos.....	63
Tabla 37: Datos estadísticos muestra curado a 120 minutos.....	63
Tabla 38: Datos estadísticos resina Tough curado a 120 minutos .....	65
Tabla 39: extrapolación resina Estándar 60 y 120 min. ....	67
Tabla 40: Interpolación resina Tough 15 y 30 min. ....	70
Tabla 41: Comparación de dureza Estándar vs Tough sin curado .....	71
Tabla 42: Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 15min. ....	72
Tabla 43: Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 30 min. ....	73
Tabla 44: Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 60min. ....	73
Tabla 45: Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 120 min. ....	74
Tabla 46: Resumen ensayos de Desgaste.....	77
Tabla 47: Media del Desgaste Resina Tough y Estandar.....	77
Tabla 48: Resumen ensayos de dureza shore tipo D.....	79
Tabla 49: Media de las durezas Resina Tough y Estandar.....	80
Tabla 50: Datos t-student [15].....	90
Tabla 51 Equipos Utilizados en el Ensayo de Desgaste .....	91
Tabla 52 Equipo Taber y Accesorios .....	92
Tabla 53: Desgaste Tough y Estandar.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de impresión 3D [2] .....	5
Figura 2: Impresión 3D FMD [2].....	5
Figura 3: Impresión por SLA [3] .....	6
Figura 4: Impresión por SLS [5].....	7
Figura 5: Software cura [5] .....	11
Figura 6: Software slic3r [6] .....	12
Figura 7: Dureza de bola [9] .....	13
Figura 8: Análisis de dureza [11].....	14
Figura 9: Curva de dureza del material [11] .....	15
Figura 10: Ejemplos de impresión 3D [11].....	16
Figura 11: Relación entre tenacidad a la fractura y resistencia al desgaste abrasivo en diferentes materiales cerámicos y polímeros [11].....	17
Figura 12: Desgaste abrasivo a) de los cuerpos b) tres cuerpos [12].....	18
Figura 13: Curva de la campana de Gauss sin curado resina estándar.....	27
Figura 14: Curva de la campana de Gauss a 15 minutos .....	30
Figura 15: Curva de la campana de Gauss a 30 minutos .....	32
Figura 16: Curva de la campana de Gauss Resina Tough sin curado .....	35
Figura 17: Curva de la campana de Gauss Resina Tough 60 min .....	37
Figura 18: Curva de la campana de Gauss Resina Tough 120 min .....	40
Figura 19: Ecuación de la pendiente, desgaste vs tiempo (estándar).....	41
Figura 20: Desgaste Resina Estándar .....	43
Figura 21: Porcentaje desgaste resina estándar .....	43
Figura 22: Ecuación de la pendiente del desgaste vs tiempo de curado (Tough) .....	44
Figura 23: Desgaste Resina Tough .....	46
Figura 24: Porcentaje Desgaste Resina Tough.....	47
Figura 25: Comparación de desgaste sin curado Tough Vs Estándar .....	47
Figura 26: Comparación de desgaste a 15 minutos Estándar vs Tough.....	48
Figura 27: Comparación del desgaste a 30 minutos Estándar vs Tough.....	49
Figura 28: Comparación del desgaste a 60 minutos Estándar vs Tough.....	49
Figura 29: Comparación del desgaste a 120 minutos Estándar vs Tough.....	50
Figura 30: Prueba de dureza.....	51
Figura 31: Campana de gauss resina estándar (sin curado) .....	55

Figura 32: Campana de Gauss curado a 15 min resina estándar.....	56
Figura 33: Campana de Gauss resina Estándar curado a 30 min.....	58
Figura 34: Campana de Gauss resina Tough sin curado.....	61
Figura 35: Campana de Gauss resina Tough curado a 60 min.....	63
Figura 36: Campana de Gauss resina Tough curado a 120 min.....	64
Figura 37: Pendiente de la recta dureza Shore tipo D vs tiempo de Curado.....	65
Figura 38: Dureza Shore tipo D vs Tiempo de Curado resina Estándar.....	67
Figura 39: Porcentaje dureza Shore resina Estándar.....	67
Figura 40: Ecuación de la recta Dureza Shore D vs T. Curado.....	68
Figura 41: Dureza Shore D vs T. Curado resina Tough.....	70
Figura 42: Porcentaje dureza Shore D vs T. Curado resina Tough.....	71
Figura 43: Resina Estándar Vs Resina Tough (dureza sin curado).....	72
Figura 44: Dureza Estándar Vs Resina Tough a 15 min de curado.....	72
Figura 45: Dureza Tough Vs Estándar a 30 min de curado.....	73
Figura 46: Dureza Tough Vs. Estándar a 60 min de curado.....	74
Figura 47: Dureza Estándar Vs Tough a 120 min de curado.....	74
Figura 48: Distribución T-student.....	77
Figura 49: Distribución T-student calculado desgaste.....	79
Figura 50: Distribución T-student calculado.....	81
Figura 51: Durómetro Shore D.....	94
Figura 52: Porcentaje de dureza alcanzado en la dureza Estándar.....	94
Figura 53: Porcentaje de dureza alcanzado en la dureza Tough.....	95

## RESUMEN

El presente trabajo experimental se focalizó en el estudio de las propiedades de dureza y desgaste, obtenidas de un componente termoplástico mediante la aplicación de la técnica aditiva de impresión 3d SLA.

Las probetas se obtuvieron mediante la aplicación de un rayo láser de alta potencia a fin de endurecer la resina líquida para formar los elementos tridimensionales deseados, es decir las probetas tipo I y Tipo II, mismas que son utilizadas en los ensayos de Dureza y desgaste respectivamente.

Para la elaboración de estas muestras se tomó en cuenta dos tipos de componentes, resina estándar y resina Ingenieril Tough con el objetivo de realizar una comparación simultanea entre estos, después del proceso de estereolitografía.

En la determinación del peso se utilizó una balanza analítica digital de milésimas de gramos en precisión STX 223 OHAUS recomendada por la norma ISO 9352 de desgaste por muela abrasiva, los datos sobre desgaste se lo obtuvieron en la Maquina Taber Type Abrasion tester con las muelas abrasivas H22.

El ensayo de Dureza se lo realizó mediante la utilización del Durómetro Shore D y la norma ASTM D2240 en el Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato.

## **ABSTRACT**

The present experimental work was focused on the study of the properties obtained from a thermoplastic component obtained by applying the additive technique of 3D printing SLA.

The specimens were obtained by applying a high-power laser beam in order to harden the liquid resin to form the desired three-dimensional elements, that is, Type I and Type II specimens, which are used in Hardness and wear tests respectively.

For the elaboration of these samples, two types of components were taken into account, standard resin and Ingenieril Tough resin with the aim of making a simultaneous comparison between them after the stereolithographic process.

In determining the weight, a digital analytical balance of thousandths of grams in precision STX 223 OHAUS recommended by the ISO 9352 standard of abrasive wheel wear was used; the data on wear was carried out in the Taber Type Abrasion tester with the abrasive wheels H22.

The Hardness test was performed using the Shore D Durometer and the ASTM D2240 standard in the Laboratory of the Technical University of Ambato.

## **CAPÍTULO I – MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Antecedentes Investigativos**

El desarrollo de nuevos materiales y potenciación de sus propiedades en los últimos años abierto las puertas a un sin número de posibilidades para las diferentes áreas de la ingeniería.

Los antecedentes investigativos del presente proyecto se tomarán de las investigaciones realizadas por autores que precedieron a este tipo de investigaciones tales como:

En Chile, Vukasovic [1], en su tesis de grado “Caracterización de probetas de termoplásticos fabricadas mediante impresión 3d”, en la carrera de ingeniería mecánica en la Universidad Católica de Chile, del año 2018, señala que la generación de elementos por adición de capas genera propiedades mecánicas dependientes de su impresión, es decir que sus propiedades se ven influenciadas por el tipo de elemento a imprimir, el material a utilizar y la posición en la que va a ser impresa, por lo que sus características y propiedades no han sido del todo esclarecidas [1]

El objetivo de esa tesis fue el determinar las propiedades de elasticidad y de elementos 3d en ABS y PLA, en orientación ortogonal, utilizando una impresora de bajo costo y realizando probetas en orientación horizontal y vertical, a fin de realizar ensayos de tracción, compresión y flexión, dando como resultado que las pruebas realizadas a tracción mostró el peor desempeño mecánico y las de compresión no tenía mucha diferencia en sus Módulos de Young por la posición de impresión [1].

Ecuador, Molina J [2]. En su tesis previa al grado de Magíster en Ingeniería Mecánica en la Escuela Politécnica Nacional con tema “Caracterización de materiales termoplásticos de ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PLA-SEMI

RÍGIDO impresos en 3D con 5 mallados internos diferentes” del año 2016, indica que los mallados internos se realizaron figuras geométricas como por ejemplo, la del triángulo para el estudio de las propiedades mecánicas del ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PLA (ácido poliláctico) obtenidas por medio de impresión 3D [2].

Para la caracterización del material se realizaron ensayos a tracción y flexión según normas ASTM D 638-14 y ASTM D 790-10, con lo cual se concluyó que en tracción el mejor mallado es el cuadrado y en flexión el mejor mallado resulto ser circular, que fue determinado por una microscopia de las probetas en la zona de fractura, siendo registrado en tablas comparativas que agrupan las diversas propiedades de los elementos como son módulo de elasticidad, tracción, flexión, datos de la impresión, peso de las probetas tiempo y material de impresión [2].

Ecuador, Urresta C. en su tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico de la facultad de ingeniería en Ciencia Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, bajo el Tema “Caracterización de las Propiedades Mecánicas de los materiales impresos mediante la Técnica de Impresión 3D Fused Deposition Modeling (FDM) señala que el principal objetivo de su investigación fue el determinar las características mecánicas de impresión 3D con materiales ABS Y PLA para lo cual estas probetas fueron sometidas a un ensayo de tracción y flexión, para la realización de las probetas utilizó el software libre “ultimate cura”, con la utilización de las normas ASTM D790 y ASTM D 638 fabricando 30 probetas con diferentes configuraciones y realizando una simulación con Solid Works para realizar un porcentaje de error con respecto al experimento dando como resultado un mejor desempeño en las probetas que fueron realizadas con el ácido poliláctico [3].

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Analizar la dureza, resistencia al desgaste de componentes termoplásticos, obtenidos a partir de la resina ingeniería-tough y resina standard en orientación paralela, mediante la aplicación de la técnica aditiva para impresión 3d (SLA).

### 1.2.2 Objetivos específicos.

- **Determinar los parámetros de manufactura 3d.**

Para impresiones en manufactura 3d se debe tomar en cuenta el equipo para la impresión, considerando el tipo de onda y el tipo de radiación UV emitida, calidad en el acabado, tipo de resina, el software a utilizar, proceso de curado, utilización de la probeta, etc.

- **Establecer el tipo de probeta aplicable para la realización de los ensayos de dureza y resistencia al desgaste.**

Los ensayos a realizar con las probetas estarán basados en normas estándar

ASTM D 2240

ASTM D 1044 - ISO 9352

- **Determinar los parámetros necesarios para la realización de los diferentes ensayos.**

En la determinación de los parámetros para los ensayos tomaremos en cuenta los equipos disponibles como el equipo Taber para la realización del ensayo de desgaste, el durómetro e indentador disponible además de la utilización de las normas de desgaste y resistencia a la fatiga.

- **Realización de las pruebas.**

Las pruebas de dureza y resistencia a la fatiga se las realizará en la facultad de ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

- **Análisis y tabulación de los resultados obtenidos**

Una vez realizadas las pruebas se podrán comparar y analizar los resultados obtenidos mediante la utilización de la estadística en donde la media aritmética, la desviación estándar servirá para la obtención de la dureza y resistencia al desgaste de las respectivas probetas.

### **1.3 Hipótesis**

¿La resina de Ingeniería Tough en orientación paralela tendrá el mismo rango de resistencia al desgaste y dureza que la resina Estándar en orientación paralela, obtenidas de la Técnica aditiva para impresión 3D (SLA)?

#### **1.3.1 Variable Dependiente**

Propiedades Termoplásticas de la resina Ingenieril Tough y resina Estándar.

#### **1.3.2 Variable Independiente**

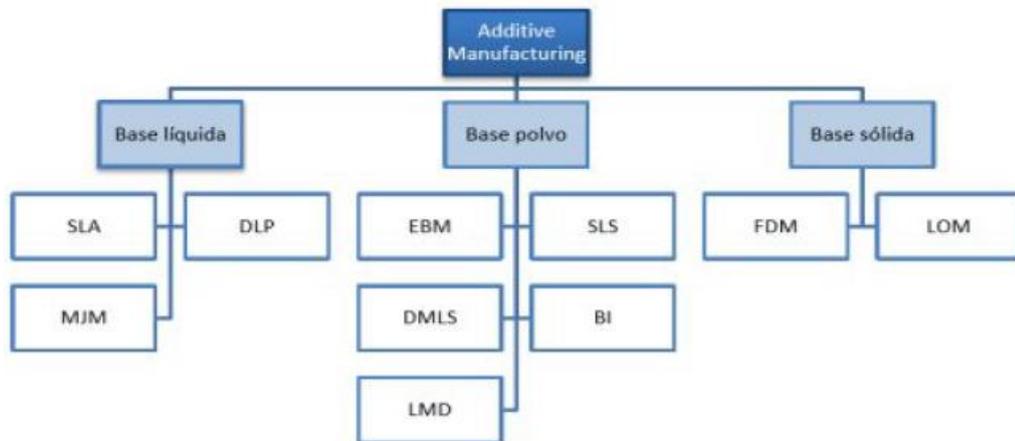
Técnica Aditiva para impresión 3D (SLA) en orientación paralela.

### **1.4 Marco Teórico**

#### **1.4.1 Impresión 3D**

Esta técnica de impresión fue desarrollada en 1983 por Hideo Kodama quien creó polímeros fotoendurecibles de ahí ha ido mejorando esta técnica de impresión de objetos, conocida también como manufactura por adición 3D, hoy existen diversos modelos de equipos de impresión que crean objetos físicos colocando un material por capas con base en un modelo digital. Estos modelos son desarrollados en un software Cad Cam, lo que produce que el hardware y los materiales de resina trabajen simultáneamente [4].

Existen un gran número de tecnologías disponibles diferenciándose principalmente en la manera en la cual realizan sus procesos de impresión 3d ya sea fundiendo su material por capas, SLS o moldeando por deposición fundida FDM también se lo realiza depositando materiales líquidos que luego son solidificados en la figura 1, se presenta un esquema de los métodos de manufactura [4].



**Figura 1:** Esquema de impresión 3D [2]

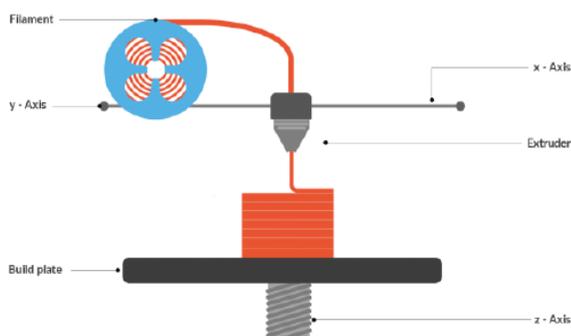
## 1.4.2 Tecnologías de fabricación 3D

Existen tres tipos principales de impresión 3D que son base líquida (resinas), base polvo (material en polvo) y base sólida (filamentos) cada una con sus respectivas propiedades poliméricas [4].

### 1.4.2.1 Base sólida

**Fusión Deposition Modeling (FDM)** O Tecnología de deposición de material plástico, este método es utilizado con plásticos ABS o PLA [4].

Este modelado se realiza alimentado la impresora con un rollo de este material, el cual al pasar por el extrusor del equipo se calienta, derrite y es depositado capa a capa formando el objeto. Luego de ello se debe esperar a que el material se enfríe y pueda ser manipulado como indica en la figura 2 [3].

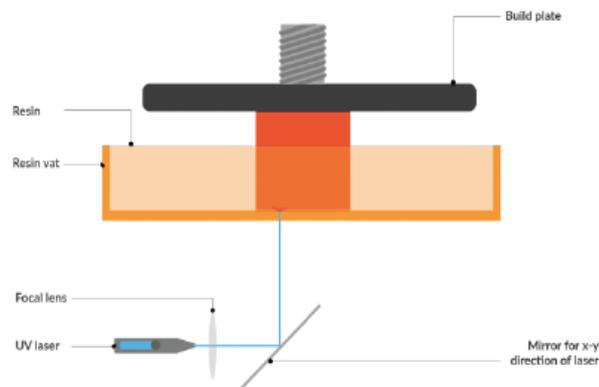


**Figura 2:** Impresión 3D FMD [2]

### 1.4.2.2 Base líquida

#### Estereolitografía (SLA)

La figura 3, presenta esta tecnología que se basa en el uso de un haz de láser, se moldea el objeto capa a capa, pero implica el uso de un baño de resina fotocurable. En este caso, el objeto moldeado con resina líquida se cura mediante el láser de luz ultravioleta [3].

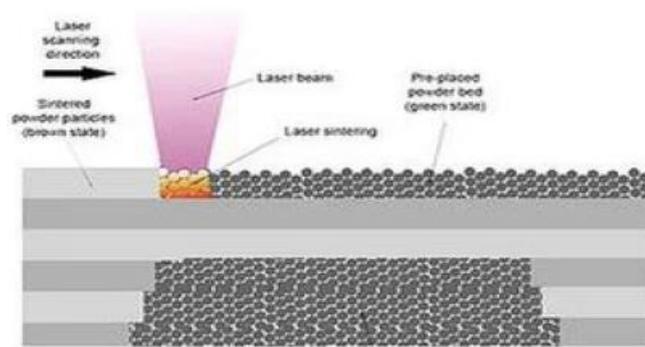


**Figura 3:** Impresión por SLA [3]

### 1.4.2.3 Base polvo

#### Selective Laser Sintering (SLS)

O Sinterización Selectiva Láser, es similar a SLA, pero para el moldeo se pueden usar diversos insumos en polvo como materiales metálicos y cerámicos, nylon, entre otros. En este caso, el láser funde el material y lo solidifica tal como se representa en la figura [5].



**Figura 4:** Impresión por SLS [5]

#### 1.4.2.4 Otros

Según la categorización de la ASTM se cuenta con 7 categorías diferentes:

- Extrusión de material.
- Fusión del lecho de polvo
- Fotopolimerización de cuba
- Chorro de material
- Chorro de aglomerante
- Laminado
- Depósito de energía dirigido

#### 1.4.3 Materiales

Los materiales utilizados en la fabricación aditiva o Additive Manufacturing (AM) aparte de los metales y cerámicos, se presta una especial atención a los polímeros puesto que tienen características atractivas para el modelado como la versatilidad, adaptabilidad sintética, elasticidad, resistencia, densidad, etc. [5].

Entre los materiales más utilizados para impresión se encuentran:

##### 1.4.3.1 ABS

El acrilonitrilo butadieno estireno es uno de los termoplásticos más usados en la impresión 3D. No es biodegradable, pero es muy tenaz, duro y rígido, con resistencia química y la abrasión, pero que sufre con la exposición a rayos UV. Es soluble en acetona y su densidad es de 1,05 g/cm<sup>3</sup> [5].

## **PROPIEDADES DEL ABS**

- Dureza: Alta flexibilidad: media
- Durabilidad: Alta.
- Dificultad de uso: Media.
- Temperatura de impresión 210 °C – 250 °C.
- Temperatura de la cama de impresión 80 °C – 110 °C.
- Contracción/deformación: Considerable.
- Soluble: En ésteres, cetonas y acetona.

### **1.4.3.2 PLA**

El ácido poliláctico es otro de los filamentos más usados en la impresión 3D. Es biodegradable y normalmente se obtiene de almidón de maíz, por lo que al derretirse huele casi a comida y puede usarse para recipientes de comida [5].

La textura de las piezas no queda tan suave como con el ABS, pero sí más brillantes y las esquinas salen mejor. Su densidad es de entre 1,2 y 1,4 g/cm<sup>3</sup> [5].

## **PROPIEDADES DEL PLA**

- Dureza: Alta
- Flexibilidad: Baja
- Durabilidad: Media.
- Dificultad de uso: Baja.
- Temperatura de impresión 180 °C – 230 °C.
- Temperatura de la cama de impresión: 20 °C – 60 °C (aunque no necesaria).
- Contracción/deformación: Mínima.
- Soluble: No.

### **1.4.3.3 PETG**

El tereftalato de polietileno es uno de los materiales más usados para las botellas y otro tipo de envases. Su principal propiedad es su capacidad de cristalización, generando piezas transparentes [5]

Es una variante del PET. La ‘G’ viene de “glicolizado” que hace que el filamento 3D sea más translúcido, y, sobre todo, más fácil de usar que el PET convencional. Es por esta razón que el PETG se ve a menudo como un término medio entre el ABS y el PLA. Es más flexible y duradero que el PLA y más fácil de extruir que el ABS [5].

#### **PROPIEDADES DEL PETG**

- Dureza: Alta
- Flexibilidad: Media
- Durabilidad: Alta.
- Dificultad de uso: Baja.
- Temperatura de impresión 220 °C – 250 °C.
- Temperatura de la cama de impresión 50 °C – 75 °C.
- Contracción/deformación: Mínima.
- Soluble: No.

### **1.4.3.4 NAILON**

El nailon, una conocida familia de polímeros sintéticos utilizados por muchas industrias. En comparación con la mayoría de los filamentos para impresoras 3D, el nailon es el mejor en términos de dureza, flexibilidad y durabilidad [5].

#### **PROPIEDADES DEL NAILON**

- Dureza: Alta
- Flexibilidad: Alta
- Durabilidad: Alta.
- Dificultad de uso: Media.

- Temperatura de impresión 240 °C – 260 °C.
- Temperatura de la cama de impresión 70 °C – 100 °C.
- Contracción/deformación: Considerable.
- Soluble: No.

#### **1.4.3.5 POLICARBONATO**

El policarbonato (PC), además de ser el filamento de mayor dureza, es extremadamente duradero y resistente a los golpes y al calor [6].

También es transparente y es por eso e utiliza para cristales a prueba de balas, máscaras de buceo y pantallas de dispositivos electrónicos [6].

#### **PROPIEDADES DEL POLICARBONATO**

- Dureza: Muy alta
- Flexibilidad: Media
- Durabilidad: Muy alta.
- Dificultad de uso: Media.
- Temperatura de impresión 270 °C – 310 °C.
- Temperatura de la cama de impresión 90 °C – 110 °C.
- Contracción/deformación: Considerable.
- Soluble: No.

#### **1.4.3.6 TPE**

Los elastómeros termoplásticos (TPE) son esencialmente plásticos con propiedades elásticas, lo que los hace extremadamente flexibles y duraderos. Debido a esto, se encuentran en piezas de automóviles, electrodomésticos y equipos médicos [6].

#### **PROPIEDADES DEL TPE**

- Dureza: Media

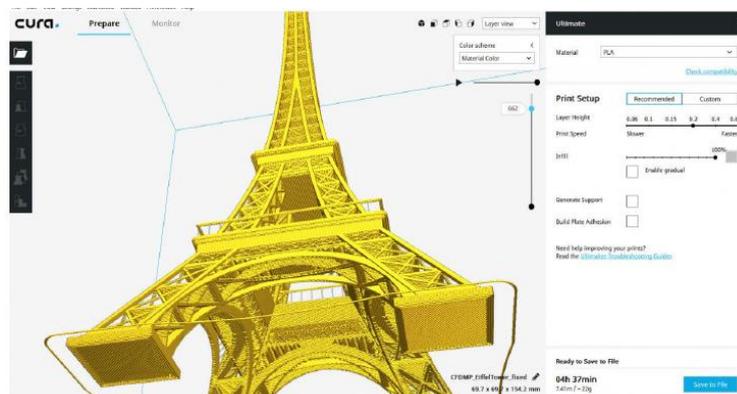
- Flexibilidad: Muy alta
- Durabilidad: Muy alta.
- Dificultad de uso: Media.
- Temperatura de impresión 210 °C – 230 °C.
- Temperatura de la cama de impresión: 30 °C – 60 °C (aunque no necesaria).
- Contracción/deformación: Mínima.
- Soluble: No.

## 1.4.4 Software

### 1.4.4.1 CURA

Cura es el programa de corte de referencia para todas las impresoras Ultimaker, pero también se puede usar con la mayoría de impresoras 3D. Es de código abierto y se le pueden añadir complementos [6].

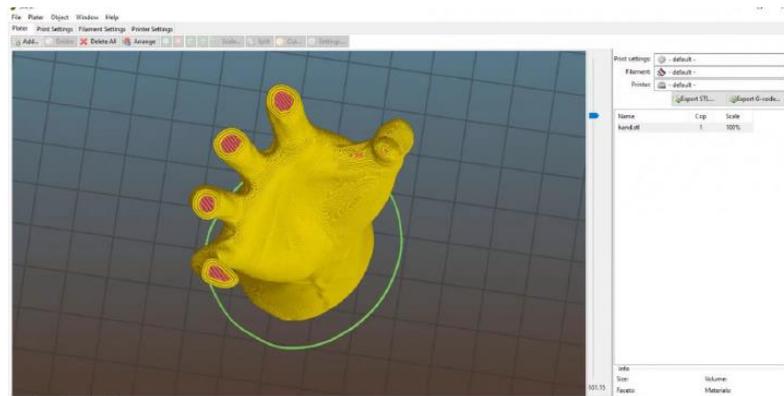
La perfecta integración de CAD con productos como programas CADs demuestra que el programa de corte 3D vale la pena para aplicaciones profesionales, pero también resulta simple y accesible para la gran mayoría de usuarios no profesionales, en la figura 5 se presenta un modelo de un programa cura que sirve para impresión 3D es fácil u muy versátil para preparar impresiones por ello es usado en varias partes del mundo [7].



**Figura 5:** Software cura [5]

#### 1.4.4.2 Slic3r

Slic3r es un programa que de igual manera sirve para imprimir mediante corte de código abierto conocido por añadir características de nivel avanzado que no se encuentran en otras herramientas, en la figura 6 se presenta la pantalla del programa donde se visualiza una mano a ser impresa en 3D [7].



**Figura 6:** Software slic3r [6]

#### 1.4.5 Dureza

La dureza es el grado de oposición que tiene un elemento plástico para ser penetrado o rayado por otro material, para determinar la dureza que tiene cierto elemento, se requiere de métodos específicos y estándares de referencia, como la utilización del durómetro para ensayo de penetración de un indentador que depende del tipo de punta y el rango de carga a usar, teniendo en cuenta los métodos de prueba de polímeros y cauchos [8].

Las medidas de dureza son a menudo para determinar el grado de resistencia al rayado, a la abrasión el grado relativo del curado siendo usado la determinación de la dureza en los polímeros como control de calidad [8].

El determinar la dureza de un polímero es un tanto complicado ya que el material tiene elasticidad lo que produce el efecto de recuperación elástica [8].

Entre los elementos más usados para la determinación de la dureza se tienen:

### 1.4.6 Dureza de bola

La dureza de bola se determina como indica la figura 7 mediante impacto sin embargo no incluye el efecto de recuperación elástica del material para la determinación de su dureza [9]

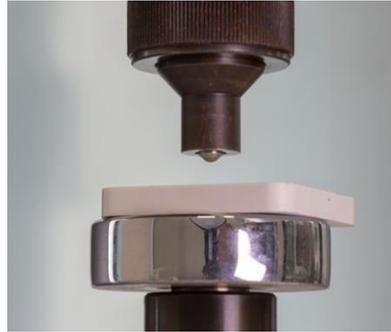


Figura 7: Dureza de bola [9]

#### 1.4.6.1 ISO 2039-1

Esta prueba ISO para ensayo de dureza consiste en la presión de una bola pulida sobre una superficie elastómera, en donde transcurrido 30 segundos se procede a determinar la profundidad de la huella. Calculando el resultado arrojado de la carga aplicada en Newton sobre el área de la superficie impresa se obtiene valores típicos para plásticos de ingeniería y se indican en la tabla 1 [10].

Tabla 1: Dureza de algunos materiales [10]

MATERIAL POLIMERO	VALORES TÍPICOS
Plásticos de ingeniería relativamente blandos	$100 = \frac{N}{mm^2}$
Plásticos de ingeniería relativamente rígidos	$150 = \frac{N}{mm^2}$

#### 1.4.7 Dureza Rockwell

Esta dureza se la determina teniendo en cuenta la recuperación elástica del polímero.

### 1.4.7.1 ASTM D785

Esta norma está relacionada directamente con la dureza de indentación que se trata de la utilización de una bola pulida presionada sobre la cara del polímero a ser ensayada, la carga que se aplica en el ensayo es alternada, es decir primero se aplica una carga menor, seguido de una carga mayor y por último se repite la misma carga menor, determinando así la penetración total del indentador aumentando el rigor de la prueba de R a M obtenido los valores presentes en la tabla 2 en escala de dureza Rockwell [10].

**Tabla 2:** Escalas de dureza Rockwell [10]

<b>MATERIAL POLIMERO</b>	<b>RANGO DE DUREZA</b>
Termofijos Rígidos	M100 – M120
Termoplásticos de Ingeniería	R110 – R120

### 1.4.8 Dureza Shore.

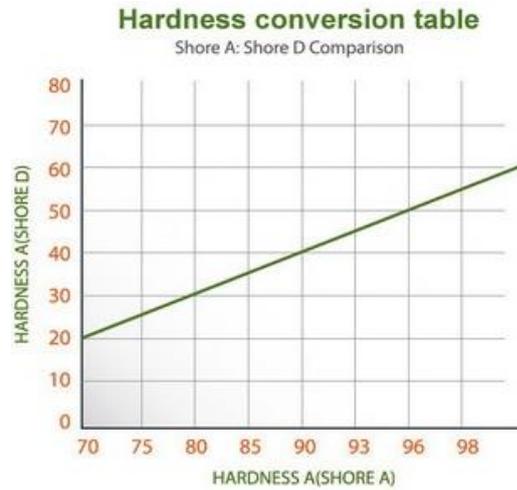
La dureza Shore es la más utilizada para medir la dureza de polímeros, cauchos y elastómeros, se lo realiza de forma directa con el indentador sin tomar en cuenta el efecto de recuperación elástica del polímero ensayado tal como indica la figura 8.



**Figura 8:** Análisis de dureza [11].

El caucho sólido tiene una dureza de un rango aproximado de 20 shore A en suavidad extrema y 98 shore A en dureza extrema esta dureza se indica en la figura 9 donde nos

da rangos de dureza D vs dureza A que sirven para determinar el comportamiento de varios materiales [11].



**Figura 9:** Curva de dureza del material [11]

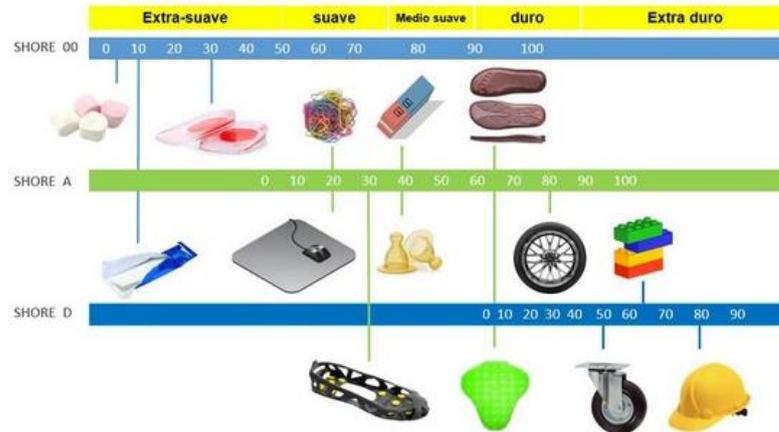
Las escalas más comunes son A y D, en donde la medición se la realiza mientras la carga está siendo aplicada sobre el elemento a medir. El cuerpo del indentador es un cono para shore A y C, siendo aplanado a 0,79mm, mientras que en shore D lo es para 0,1mm. El peso aplicado es menor en Shore A determinando así que los valores de dureza están relacionados con el módulo de elasticidad de los materiales plásticos de esta manera en la tabla se presenta las escalas disponibles de dureza Shore para varios materiales que son los más comunes en el mercado de la impresión 3D [11].

**Tabla 3:** Escalas disponibles de short [11]

<b>ESCALA SHORT</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>
SHORT A	Gomas blandas, ceras y cueros.
SHORT B	Escala intermedia.
SHORT C	Gomas y plásticos de dureza media, yeso y escayola.
SHORT D	Gomas y plásticos duros.
SHORT DO	Bobinas textiles de alta densidad.
SHORT O	Bobinas densidad media.
SHORT OO	Goma – espuma, esponjas y bobina textiles de baja densidad.

De acuerdo a la escala de dureza Short se clasifican en extra- suave, suave, medio suave duro y extra- duro los principales usos que se le da a este tipo de durezas se

presentan en la figura 10, donde se detalla según la dureza el tipo de material y aplicación en varias piezas de productos existentes en el mercado [11].



**Figura 10:** Ejemplos de impresión 3D [11].

### 1.4.8.1 Normas

Las normas más utilizadas para determinación de la dureza en los diferentes polímeros, plásticos y cauchos son:

ISO 868, DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 7619-1, ISO 21509, JIS K 6301, NFT 51109 y BS 903 parte A26.

### 1.4.8.2 ASTM 2240

La medición de la dureza del polímero por lo general se lo realiza utilizando la norma ASTM 2240, la cual hace referencia a la utilización de la dureza shore con sus respectivos instrumentos de medición, mismo que van desde la A hasta D para materiales poliméricos de espumado suave a polímeros con confección de vidrio.

En la escala shore A. El “0” determina que es un polímero sumamente suave, mientras que el “100” determina que el compuesto polimérico presenta propiedades de dureza muy altas esto se evidencia en la tabla 4.

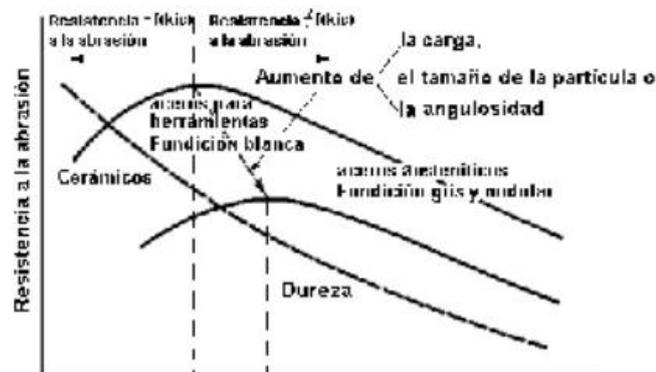
**Tabla 4:** Dureza de polímeros [11].

Material Polimérico	Escala Shore (A)
Liga de hule	35
Banda de rodadura de neumático	35

En la escala shore D. se encuentran los materiales termofijos y termoplástico cayendo en una escala entre 40 y 90. No existe una relación simple entre este método de prueba [11].

### 1.4.9 Desgaste

El desgaste de un material depende del contacto que este tenga con otra superficie y produzcan fricción entre sí, y este depende de varios factores como la dureza de sus superficies, la carga que actúa entre las superficies, etc. [11]



**Figura 11:** Relación entre tenacidad a la fractura y resistencia al desgaste abrasivo en diferentes materiales cerámicos y polímeros [11].

### 1.4.10 Tipos de desgaste

#### 1.4.10.1 Desgaste por fatiga

Este tipo de fatiga se produce debido al desgaste que se localiza en las áreas de contacto ya que producen tensiones y carencia de tensión en la misma superficie de contacto, lo que genera la aparición y crecimiento de grietas en dicho espacio, junto con este tipo de desgaste se puede producir el desgaste por delaminación en donde el cizallamiento se produce entre las superficies de contacto por la dureza de los diferentes materiales en donde el material más blando es desgastado por las asperezas

de un material más duro, como consecuencia se produce la desfragmentación de elemento de mayor tamaño [12].

#### 1.4.10.2 Desgaste por fricción.

Este tipo de desgaste se presenta debido a pequeños movimientos oscilatorios entre dos superficies en contacto y este a su vez produce desprendimiento de pequeños fragmentos que ocasionan que el material pierda ajuste entre las superficies de contacto, así como su presión y sujeción siendo el resultado un desajuste y por ende movimientos de vibración que podrían derivar en una convulsión del conjunto como muestra la figura 12 en a y b casos que se presenta en los desgastes por fricción [12].

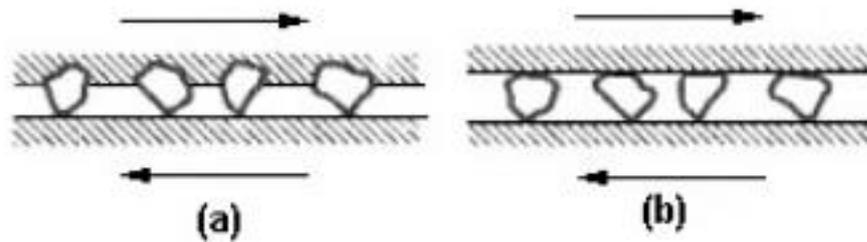


Figura 12: Desgaste abrasivo a) de los cuerpos b) tres cuerpos [12].

#### 1.4.10.3 Desgaste por transferencia

Este tipo de desgaste pertenece a los de desgaste interfacial ya que se produce mediante una película de transferencia sólida o líquida debido al contacto deslizante entre polímero - metal, polímero - cerámica, polímero - polímero. Este tipo de transferencia se realiza de polímero a metal, de polímero a cerámica [13]

En el caso de polímero a polímero varios parámetros influyen en la transferencia de película y en su proceso de desgaste posteriores. Estas características son:

- Esesor
- Estabilidad de película.
- Cohesión entre sus capas.
- Fuerza de adhesión entre sus superficies de contacto.
- Reactividad química.

- f. Rugosidad de la película.
- g. Control deslizante de la superficie.
- h. La estructura del polímero
  - Cristalinidad.
  - Flexibilidad.
  - Presencia de grupos o cadenas colgantes.
- i. Condiciones de deslizamiento.
  - Temperatura.
  - Carga normal.
  - Velocidad.
  - Atmósfera.
  - Presencia de rellenos

#### **1.4.10.4 Desgaste Químico**

En el desgaste químico se produce una reacción química que puede ser una oxidación, degradación, hidrólisis que conlleva a una disminución del elemento [13].

Este desgaste puede producirse en el material mismo, entre los cuerpos en contacto o en el material que se encuentre en un ambiente circundante [13].

## **CAPÍTULO II - METODOLOGÍA**

### **2.1 Materiales**

### **2.2 Recursos**

El presente estudio contará con la participación de diversos elementos que son necesarios para la realización de la investigación, los recursos humanos, institucionales, económicos, etc. Sobresalen, Donde el factor humano es un punto clave en la elaboración de las probetas, ensayos, análisis, revisión de resultados y de los procedimientos a seguir. Así como la utilización de normas tales como la ASTM D 2240, que hace referencia a las pruebas de dureza realizadas en polímeros, la ISO 9352 con la que se puede evaluar el desgaste obtenido a través de un cierto número de ciclos determinando su potencia y presión.

#### **2.2.1.1 Recurso Humano**

En el proyecto se verán involucrados diversos personajes que permitirán el progreso del trabajo de investigación tales como:

- **Tutor del proyecto**

La participación en el proyecto del tutor de área como cabeza, permite el cumplimiento y desarrollo de la investigación en forma ordenada y calificada.

- **Estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica.**

Participa activamente en el estudio, análisis y procesos enfocados a la obtención de resultados de la investigación.

#### **2.2.1.2 Recursos Institucionales**

**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**

La colaboración de la facultad de ingeniería civil y mecánica en especial de la carrera de ingeniería mecánica mediante la utilización de sus instalaciones como laboratorios, equipos, textos, etc. Son un punto muy importante para la obtención de información.

### 2.2.1.3 Recursos Económicos

El presente proyecto se contará con los siguientes recursos económicos que se reparten entre la adquisición de las resinas de ingeniería Tough, resina estándar, impresión de las probetas en el equipo Form labs 2 SLA, curado en el equipo Form Cure, adquisición de las normas ASTM D 2240, ISO D 1044 para la realización de los diferentes ensayos de medición de dureza, tracción y desgaste respectivamente, realización de los ensayos antes mencionados, copias, pasajes y material extra, etc.

A continuación, una tabla representativa de los costos estimados en la elaboración del proyecto de investigación.

**Tabla 5:** Materiales y precios

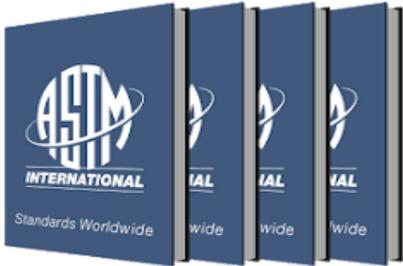
<b>MATERIALES</b>	<b>Costo U.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Sub-Total</b>
Resina	\$ 180,00	1	\$ 180,00
Probetas	\$ 1070,00	1	\$ 1070,00
Pruebas	\$ 320,00	1	\$ 320,00
Copias	\$ 30,00	1	\$ 30,00
Transporte	\$ 15,00	1	\$ 40,00
Normas	\$ 190,00	1	\$ 190,00
material extra	\$ 85,00	1	\$ 85,00
		total	\$ 1.915,00

Fuente: Autor.

### 2.2.1.4 Materiales y equipos usados

También los materiales y equipos más usados se detallan a continuación en la tabla 6 de acuerdo al uso y aplicación en la impresión 3D.

**Tabla 6:** Materiales utilizados en impresión 3D

	
<p>Resina Ingenieril Tough</p>	<p>Resina Standard</p>
	
<p>Equipo para medición de dureza</p>	<p>Equipo para medición de la resistencia a la fatiga</p>
	
<p>Normas ASTM D2240 ISO 9352</p>	<p>Extras. Hojas Copias Impresiones, etc</p>

Fuente: Autor.

### 2.3 Métodos

El presente proyecto se basa en la utilización de procesos y modelos realizados con resina o material tough para realizar elementos usados en diversas áreas industriales [14].

Este proceso, conocido como SLA (estereolitografía), utiliza el principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensible a los rayos UV. Esto se solidifica mediante el paso de un láser capa por capa, dotando con esto de mayor calidad a los modelos hechos con esta tecnología [14].

## **Modalidad básica de la investigación**

### **2.3.1 Experimental**

Realización de una serie de experimentos con el fin de obtener una referencia con los resultados obtenidos para aplicaciones en cualquier campo de la ingeniería.

### **2.3.2 Cuantitativa**

Es aplicable este tipo de investigación debido a que los datos obtenidos en su mayoría serán de carácter numérico. Este tipo de datos contribuirán a la determinación de propiedades del material obtenido.

## **CAPÍTULO III - RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Análisis y discusión de los resultados**

Los datos obtenidos en la presente investigación se obtuvieron mediante la realización de ensayos en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Estos ensayos corresponden a pruebas de: dureza mediante la aplicación de la norma ASTM D2240 y desgaste en la máquina Taber mediante la aplicación de la norma ISO 9352.

La información resultante se recopiló en fichas Técnicas, mismas que son muy útiles para la compresión y análisis final. Los equipos utilizados para tales procedimientos están Estandarizados según su respectiva norma de referencia, lo que nos proporciona resultados fiables al momento de su realización.

### **3.2 Ensayo de desgaste**

El ensayo de desgaste se lo realizó en una Taber Type Abration Tester, según la ISO 9352, utilizando unas piedras de desgaste H22, para materiales elastoméricos, resinas y plásticos con características de composición vitrificada.

La toma de datos relativos antes de realizar el proceso de desgaste se lo realizó en una balanza analítica OHAUS MODELO STX223 con capacidad de medición de 0,001 gr

Los equipos utilizados para la medición de desgaste fueron calibrados antes de su uso con pesos estandarizados por la empresa Tecnipeso Cia. Ltda.

Equipos para la medición de desgaste.

**Tabla 7:** Equipos Estandarizados para medición de Desgaste.

	
<p>TABER TYPE TESTER</p>	<p>OHAUS MODELO STX223</p>
	
<p>MUELAS ABRASIVAS H22</p>	<p>PESAS DE CALIBRACIÓN</p>

**Fuente:** Autor.

Todos los equipos cumplen con las especificaciones recomendadas para ensayos de desgaste en polímeros de baja acción aplicable a probetas moldeadas, componentes y productos terminados. Es decir, por inyección de probetas de materiales termoplásticos.

### 3.2.1 Ficha de registro de Datos Técnicos Resina Estándar

### 3.2.2 Ficha de registro de la probeta Resina Standard tipo II sin curar

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA ESTANDAR FICHA #1			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	20 de Octubre - 10 de Noviembre 2020		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
REGISTRO DE MEDICIONES (SIN CURADO)			
Probeta	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Desgaste (gr)
1	44.513	43.354	1.159
2	43.163	43.098	0.065
3	43.713	43.622	0.091
4	44.191	44.069	0.122
5	44.407	44.253	0.154
Promedio (sin curado)	43.997	43.679	0.318
GRÁFICO			
			

En la tabla 8 se presenta varios cálculos de la combinación de resina estándar sin curado estos datos se calculan de 5 muestras tomadas sin ningún tiempo o tipo de curado.

**Tabla 8:** Cálculos resina Estándar sin curado

muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1,159	0,841	0,707
1	0,065	-0,253	0,064
1	0,092	-0,226	0,051
1	0,122	-0,196	0,039
1	0,154	-0,164	0,027
5	1,592		0,888

**Fuente:** Autor.

**Dónde:**

$x$  = variable

$\bar{x}$  = Media aritmética

$x_i$  = Numero de observaciones  $i$  de la variable  $x$

N = número de observaciones

$\sigma_x^2$  = Varianza

$\sigma_x$  = Desviación Estándar

### Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Ecuación 1

$$\bar{x} = \frac{1.159 + 0.065 + 0.092 + 0.122 + 0.154}{5}$$

$$\bar{x} = 0.318$$

### Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{0.888}{5 - 1}$$

$$\sigma_x^2 = 0.222$$

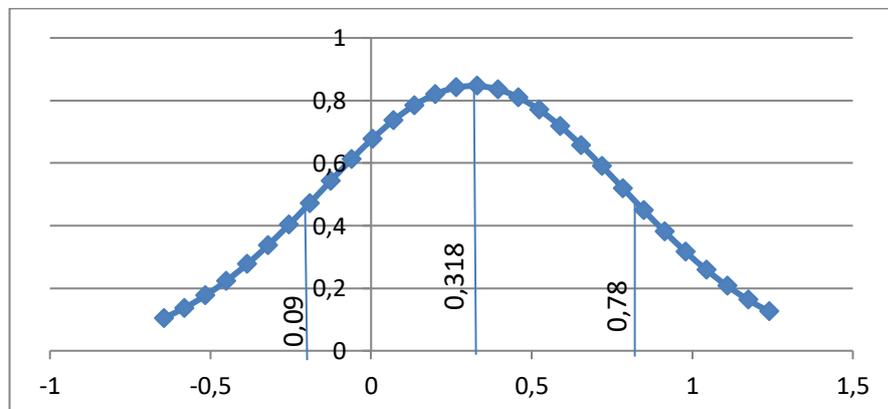
### Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{0.222}$$

$$\sigma_x = 0.471$$

Mediante los cálculos obtenidos se compara con la campana de Gauss figura 13 obteniendo valores del comportamiento de la variable de la muestra sin curado.



**Figura 13:** Curva de la campana de Gauss sin curado resina estándar

**Fuente:** Autor.

En la tabla 9 se presenta los valores obtenidos del análisis de la media, varianza y desviación estándar acuerdo al número de muestras tomadas.

**Tabla 9:** Valores de las muestras tomadas resina estándar sin curado

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	0,318
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,222
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,471
valor máximo	1,159
valor mínimo	0,065

Fuente: Autor

### 3.2.3 Ficha de registro de la probeta Resina Standard tipo II con un curado de 15 minutos

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA ESTANDAR FICHA #2</p> 			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	28 de Noviembre - 01 de Diciembre 2020		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DE MEDICIONES (15 MINUTOS DE CURADO)</b>			
<b>Probeta</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
1	45,914	45,761	0,153
2	44,409	44,193	0,216
3	45,031	44,811	0,220
4	44,165	43,983	0,182
5	45,196	44,991	0,205
Promedio (15 minutos curado)	44,943	44,748	0,195
<b>GRÁFICO</b>			
			

En la tabla 10 se establece los valores estadísticos de las muestras obtenidas en el curado a 15 minutos.

**Tabla 10:** Tabla de Cálculos resina estándar 15 minutos curados

muestra	xi	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$
1	0,153	-0,042	0,002
1	0,216	0,021	0,000
1	0,220	0,025	0,001
1	0,182	-0,013	0,000
1	0,205	0,010	0,000
5	0,976		0,003

**Fuente:** Autor.

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{0.153 + 0.216 + 0.220 + 0.182 + 0.205}{5}$$

$$\bar{x} = 0.195$$

Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{0.003}{5 - 1}$$

$$\sigma_x^2 = 0.001$$

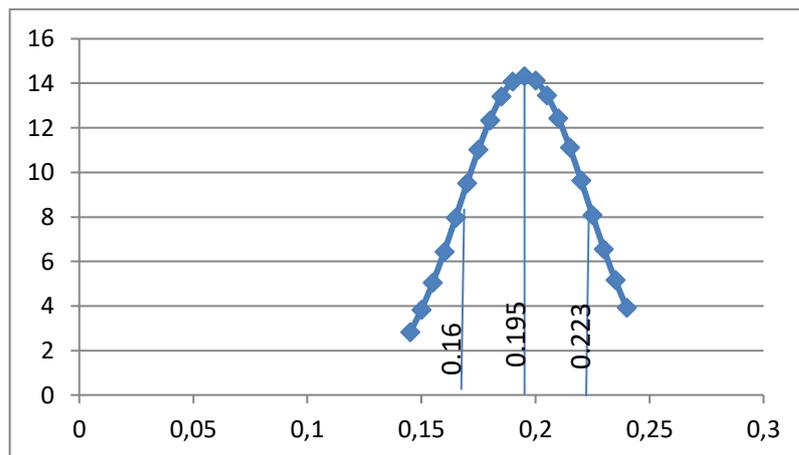
Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{0.001}$$

$$\sigma_x = 0.028$$

La campana de gauss en la figura 14 presenta los valores obtenidos manteniendo un rango estadístico que va de acuerdo con los parámetros obtenidos durante el proceso de curado.



**Figura 14:** Curva de la campana de Gauss a 15 minutos

**Fuente:** Autor.

La siguiente tabla 11 indica los valores estadísticos resultantes del curado durante el tiempo de 15 minutos, estos datos sirven para comparar con la campana de Gauss y determinar la homogeneidad de las muestras de una manera más confiable.

**Tabla 11:** Resultados de curado a 15 minutos resina estándar

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	0,195
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,001
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,028
valor máximo	0,22
valor mínimo	0,153

**Fuente:** Autor.

### 3.2.4 Ficha de registro de la probeta Resina Standard tipo II con un curado de 30 minutos.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA ESTANDAR FICHA #3			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	01 - 15 de Diciembre 2020		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DE MEDICIONES (30 MINUTOS DE CURADO)</b>			
<b>Probeta</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
1	44,072	43,882	0,190
2	44,303	44,083	0,220
3	43,861	43,724	0,137
4	43,958	43,799	0,159
5	44,216	44,015	0,201
Promedio (30 minutos curado)	44,082	43,901	0,181
<b>GRÁFICO</b>			
			

El análisis estadístico en el tiempo de curado a 30 minutos se representa en la tabla 12, estos valores sirven para obtener la campana de Gauss y evidencia el comportamiento de las variables de las muestras tomadas que servirán para obtener los valores reales de desgaste de los ensayos.

**Tabla 12:** Análisis estadísticos a 30 minutos

muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	0,19	0,009	0,000
1	0,22	0,039	0,001
1	0,137	-0,044	0,002
1	0,159	-0,022	0,001
1	0,201	0,020	0,000
5	0,907		0,004

**Fuente:** Autor.

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{0.190 + 0.220 + 0.137 + 0.159 + 0.201}{5}$$
$$\bar{x} = 0.181$$

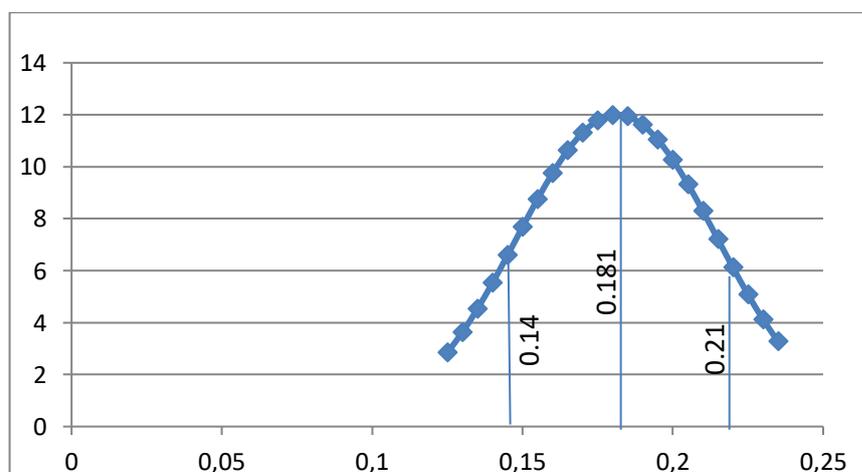
Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma_x^2 = \frac{0.043}{5 - 1}$$
$$\sigma_x^2 = 0.001$$

Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$
$$\sigma_x = \sqrt{0.001}$$
$$\sigma_x = 0.033$$

Con la tendencia de la campana de Gauss a 30 minutos se obtiene el comportamiento de las muestras obtenidas. Los valores más comunes aparecen en el centro de la campana y los menos frecuente en los extremos.



**Figura 15:** Curva de la campana de Gauss a 30 minutos

**Fuente:** Autor.

Con los datos de la resina Estándar a 30 minutos de curado se analizan la media, varianza, desviación, estándar, los valores máximos y mínimos del número de muestras obtenido durante el tiempo de curado de las probetas del material presentado en la tabla 13.

**Tabla 13:** Análisis estadísticos a 30 minutos resina estándar

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	0,181
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,001
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,033
valor máximo	0,22
valor mínimo	0,137

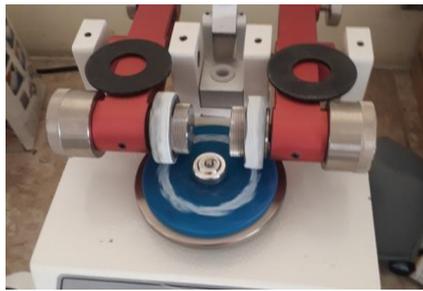
Fuente: Autor.

### 3.2.5 Ficha de registro de Datos Técnicos resina Tough

Los datos de la resina Tough en la siguiente tabla son utilizados tanto como para la elaboración de las probetas como para la realización del análisis de desgaste en los diferentes tiempos de curado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RECINA TOUGH 	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	20 de octubre 2020
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema
<b>PARAMETROS DEL MATERIAL A ENSAYAR</b>	
<b>MATERIAL</b>	Resina Tough
<b>ORIENTACION</b>	Paralela
<b>TIPO DE IMPRESIÓN</b>	Formato tipo #2
<b>TIPO DE CURADO</b>	From Cure
<b>TIEMPO DE CURADO</b>	sin curado- 60 minutos - 120 minutos
<b>EQUIPO UTILIZADO</b>	Form Labs Form2
<b>SOFTWARE</b>	Cad Cam
<b>LIMPIEZA</b>	alcohol Isopropílico (Form Wash)
<b>PARAMETROS DE MEDICIÓN</b>	
<b>NORMA</b>	ISO 9352
<b>CARGA</b>	3,114 (N)
<b>NUMEROS DE CICLOS</b>	1000
<b>VELOCIDAD DE GIRO</b>	72 (rpm)
<b>TIPO DE PIEDRA DE ENSAYO</b>	H22 elástico composicion vitrificado

### 3.2.6 Ficha de registro de la probeta Resina de Ingeniería Tough tipo II sin curar

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA TOUGH FICHA #1			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	15 - 22 de Diciembre 2020		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DE MEDICIONES (SIN CURADO)</b>			
<b>Probeta</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
1	48,099	48,092	0,007
2	41,862	41,734	0,128
3	41,594	41,481	0,113
4	48,566	48,479	0,087
5	48,520	48,418	0,102
Promedio (sin curado)	45,728	45,641	0,087
<b>GRÁFICO</b>			
			

Para el análisis de la campana de Gauss se toma en cuenta los datos obtenidos en las muestras de curado del material y que se presentan en la tabla 14.

**Tabla 14:** Análisis estadístico resina Tough sin curado

muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	0,007	-0,080	0,006
1	0,128	0,041	0,002
1	0,113	0,026	0,001
1	0,087	0,000	0,000
1	0,102	0,015	0,000
5	0,437		0,009

**Fuente:** Autor.

Teniendo en cuenta el desgaste, el número de muestras se procede a realizar el cálculo de la varianza y la desviación estándar.

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{0.007 + 0.128 + 0.113 + 0.087 + 0.102}{5}$$

$$\bar{x} = 0.087$$

Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{0.009}{5 - 1} = 0.002$$

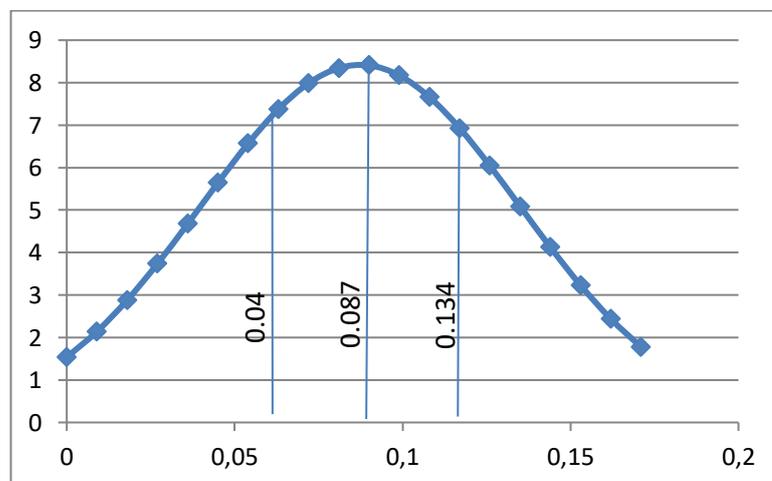
Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{0.002}$$

$$\sigma_x = 0.047$$

De igual manera se observa los datos obtenidos en la campana de Gauss donde presenta la dispersión de los valores obtenidos y la tendencia de los valores de las muestras de las probetas.



**Figura 16:** Curva de la campana de Gauss Resina Tough sin curado  
**Fuente:** Autor.

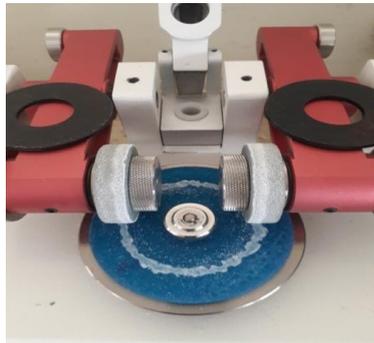
Del resultado de los análisis de la media, desviación estándar se obtienen los diferentes resultados como se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15:** Resultados obtenidos resina Tough sin curado

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	0,087
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,002
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,047
valor máximo	0,128
valor mínimo	0,007

Fuente: Autor.

### 3.2.7 Ficha de registro de la probeta Resina de Ingeniería Tough tipo II con un curado de 60 minutos

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA TOUGH FICHA #2		
	<b>DATOS INFORMATIVOS</b>		
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	22 de Diciembre 2020		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DE MEDICIONES (60 MINUTOS DE CURADO)</b>			
<b>Probeta</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
1	48,742	48,673	0,069
2	48,677	48,649	0,028
3	48,164	48,124	0,040
4	48,109	48,051	0,058
5	48,534	48,462	0,072
Promedio (60 minutos)	48,445	48,392	0,053
<b>GRÁFICO</b>			
			

Con los valores de las muestras se evalúa los datos para comparar con la campana de Gauss y obtener valores de la tendencia de los datos obtenidos.

**Tabla 16: Análisis estadísticos**

muestra	xi	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$
1	0,069	0,016	0,000
1	0,028	-0,025	0,001
1	0,040	-0,013	0,000
1	0,058	0,005	0,000
1	0,072	0,019	0,000
5	0,267		0,001

**Fuente:** Autor.

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{0.069 + 0.028 + 0.04 + 0.058 + 0.072}{5} = 0.053$$

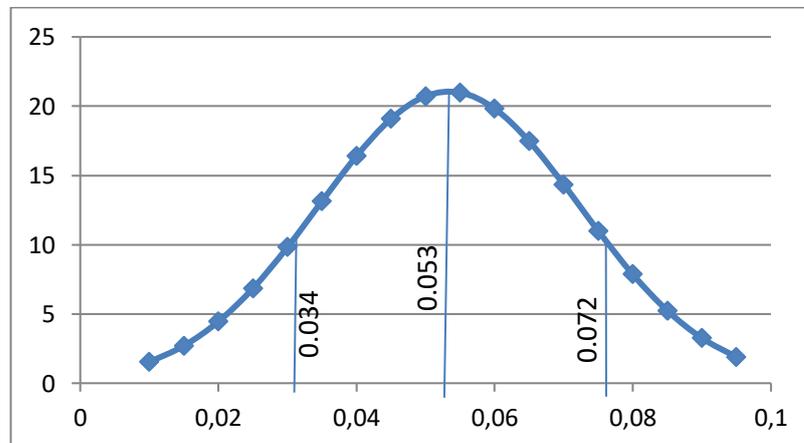
Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma_x^2 = \frac{0.001}{5 - 1} = 0.0004$$

Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$
$$\sigma_x = \sqrt{0.0004}$$
$$\sigma_x = 0.019$$

Los valores de la campana de Gauss se presentan en la tabla 16.



**Figura 17:** Curva de la campana de Gauss Resina Tough 60 min

**Fuente:** Autor.

En la tabla 17 se indica los datos estadísticos de las muestras de curado del material.

**Tabla 17:** Análisis de muestras 60 minutos

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	0,053
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,0004
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,019
valor máximo	0,072
valor mínimo	0,028

Fuente: Autor.

### 3.2.8 Ficha de registro de la probeta Resina de Ingeniería Tough tipo II con un curado de 120 minutos.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA TOUGH FICHA #3			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	22 de Diciembre 202 al 12 de Enero 2021		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DE MEDICIONES (120 MINUTOS DE CURADO)</b>			
<b>Probeta</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
1	47.167	47.117	0.05
2	47.371	47.341	0.03
3	48.19	48.141	0.049
4	46.519	46.484	0.035
5	47.923	47.881	0.042
Promedio (120 minutos)	47.434	47.393	0.041
<b>GRÁFICO</b>			
			

En la tabla 18 se indica los datos estadísticos de las muestras de curado del material.

**Tabla 18:** Análisis estadísticos

muestra	xi	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$
1	0,05	0,009	0,00008
1	0,03	-0,011	0,00013
1	0,049	0,008	0,00006
1	0,035	-0,006	0,00004
1	0,042	0,001	0,00000
5	0,206		0,00030

**Fuente:** Autor.

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{0.050 + 0.030 + 0.049 + 0.035 + 0.042}{5}$$
$$\bar{x} = 0.041$$

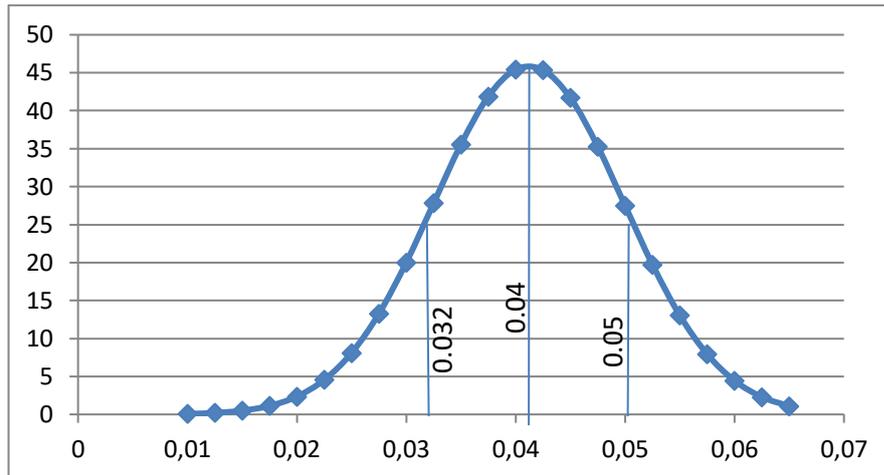
Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma_x^2 = \frac{0.0003}{5 - 1}$$
$$\sigma_x^2 = 0.00008$$

Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$
$$\sigma_x = \sqrt{0.00008}$$
$$\sigma_x = 0.009$$

En la campana de gauss de la figura 18 las muestras de las probetas con curado a 120 minutos con Resina Tough son más compactos de esta manera se presenta la distribución normal de un grupo de probetas.



**Figura 18:** Curva de la campana de Gauss Resina Tough 120 min  
**Fuente:** Autor.

En resumen, los datos estadísticos se presentan en la tabla 19, en base al número de probetas.

**Tabla 19:** Análisis de muestras Tough 120 minutos

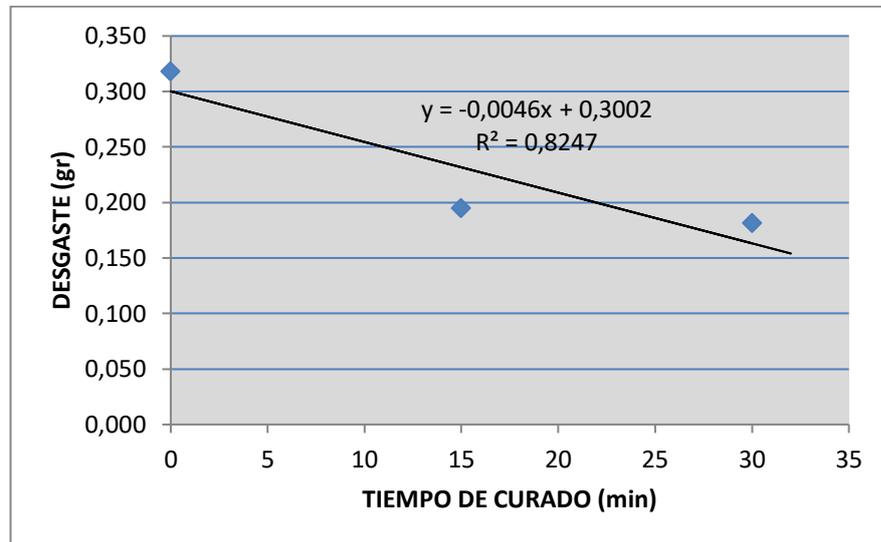
Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	0,041
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,00008
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,009
valor máximo	0,05
valor mínimo	0,03

**Fuente:** Autor.

### 3.2.9 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA ESTÁNDAR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA ESTANDAR FICHA #4 			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	10 de Noviembre 2020		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DEL PROMEDIO MEDICIONES RESINA ESTANDAR</b>			
<b>Promedio</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
Sin Curado	43,997	43,679	0,318
Curado 15 minutos	44,943	44,748	0,1952
Curado 30 minutos	44,082	43,901	0,181

En la figura 19 la comparación de datos desgaste vs tiempo de curado presenta la tendencia de la pendiente de los datos obtenidos de curado y ensayo de los materiales, es importante obtener el valor de la tendencia de la pendiente para obtener el mejor tiempo de curado del material en la interpolación y la extrapolación de los datos.



**Figura 19:** Ecuación de la pendiente, desgaste vs tiempo (estándar)

**Fuente:** Autor.

### 3.2.10 EXTRAPOLACIÓN DE DATOS RESINA ESTÁNDAR

Para la determinación del tiempo de curado de 60 y 120 minutos de la resina Estándar, se procede a realizar una extrapolación haciendo referencia a los datos obtenidos en laboratorio.

#### Tabla de extrapolación resina Estándar

Las coordenadas son representadas por (X) en el tiempo de curado y (Y) en el desgaste producido.

**Dada la ecuación de la recta**

$$y = m(x) + b$$

Ecuación 2

Dónde:

y = variable a calcular

m = pendiente

x = variable propuesta

b = intercepto

Cálculo del desgaste para un tiempo de curado de 60 minutos

$$y = -0,00457x + 0,30017$$

$$y = -0,00457(60) + 0,30017$$

$$y = 0.0259$$

Cálculo del desgaste para un tiempo de curado de 120 minutos

$$y = -0,00457x + 0,30017$$

$$y = -0,00457(120) + 0,30017$$

$$y = -0.248$$

Dado que en (Y) el valor calculado es -0.248 para 120 minutos de curado. Esto indica que el desgaste producido en la resina estándar a 72 revoluciones en 1000 ciclos no tendría mayor efecto de desgaste.

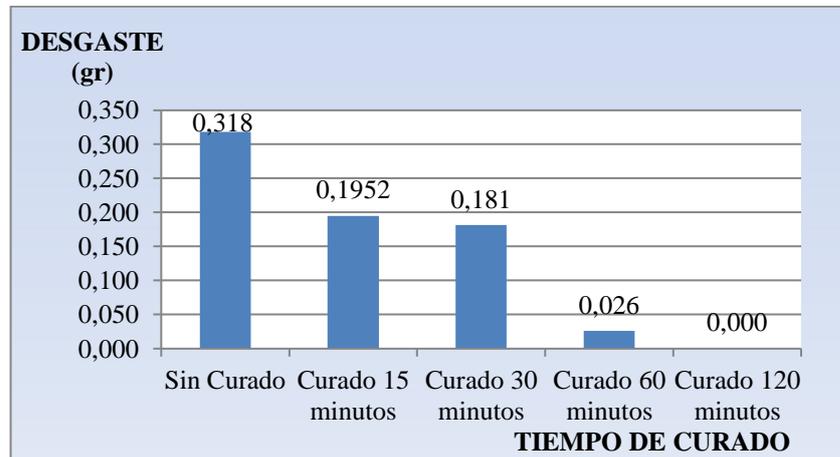
La tabla 20 indica los valores de 60 y 120 minutos extrapolados obtenidos de los experimentos realizados en laboratorio con la resina estándar.

**Tabla 20:** Valores extrapolados 60 y 120 min. (estándar)

<b>Tiempo de curado (min.)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
<b>0</b>	0,318
<b>15</b>	0,195
<b>30</b>	0,181
<b>60</b>	0,026
<b>120</b>	0,000

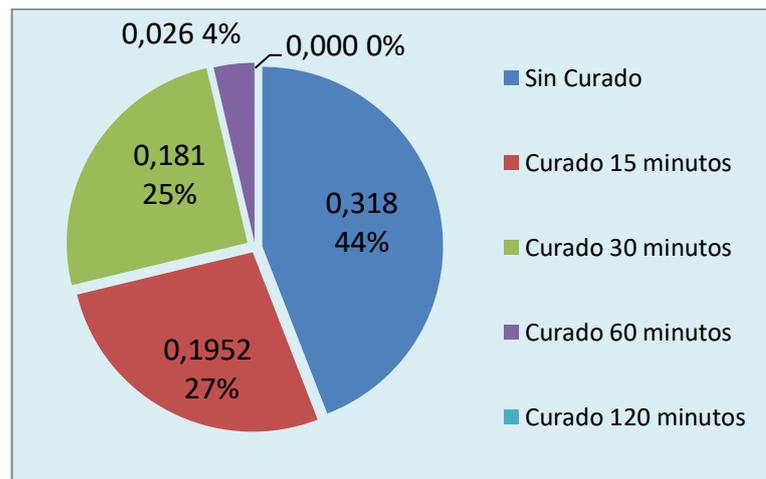
**Fuente:** Autor.

La figura 20 muestra los valores de desgaste a diferentes tiempos de curados donde se evidencia claramente que a menor tiempo de curado el desgaste de la resina estándar es elevado, pues el valor más alto de la grafica es de 0,318 gramos en el tiempo cero de curado del material.



**Figura 20:** Desgaste Resina Estándar  
Fuente: Autor.

También se evaluó el porcentaje de desgaste de la resina estándar, obteniendo como resultado un 44 % de deterioro en el tiempo cero, es decir sin curado del material. Siendo este el valor más elevado y demostrando que se reduce su consumo conforme aumenta el tiempo de tratado de las probetas, los demás valores se presentan en la figura 21.

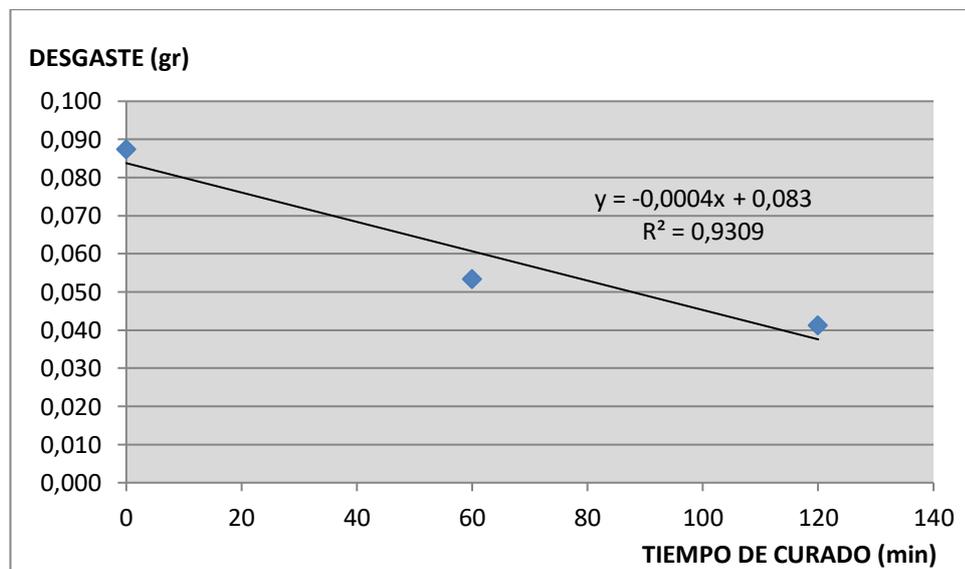


**Figura 21:** Porcentaje desgaste resina estándar  
Fuente: Autor.

### 3.2.11 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA TOUGH

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA TOUGH FICHA #4			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental		
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	20 DE ENERO 2021		
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema		
<b>REGISTRO DEL PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA TOUGH</b>			
<b>Promedio</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
Sin Curado	45.728	45.641	0.087
Curado 60 minutos	48.445	48.392	0.053
Curado 120 minutos	47.434	47.393	0.041

Seguidamente se evalúa el desgaste que sufre el material con la resina Tough a los 15 y 30 minutos de curado del material estos valores se presentan en la figura 22.



**Figura 22:** Ecuación de la pendiente del desgaste vs tiempo de curado (Tough)

**Fuente:** Autor.

### 3.2.12 INTERPOLACIÓN DE DATOS RESINA TOUGH

Para la determinación del tiempo de curado de 15 y 30 minutos de la resina Tough, se procede a realizar una interpolación haciendo referencia a los datos obtenidos en los ensayos de 0, 60 y 120 minutos.

## **Interpolación resina Tough**

Las coordenadas son representadas por (X) en el tiempo de curado y (Y) en el desgaste producido.

### **Dada la ecuación de la recta**

$$y = m(x) + b$$

Dónde:

y = variable a calcular

m = pendiente

x = variable propuesta

b = intercepto

### **Cálculo del desgaste para un tiempo de curado de 15 minutos**

$$y = -0,000383x + 0,0833$$

$$y = -0,000383(15) + 0,0833$$

$$y = 0.0776$$

### **Cálculo del desgaste para un tiempo de curado de 30 minutos**

$$y = -0,000383x + 0,0833$$

$$y = -0,000383(30) + 0,0833$$

$$y = 0.0718$$

Una vez realizada la interpolación en la resina Tough se obtuvo como resultado los valores para 15 minutos 0.0776 y para 30 minutos 0.0718 esto se asemejaría a lo que se obtendría en los mismos tiempos a 72 revoluciones en 1000 ciclos de desgaste.

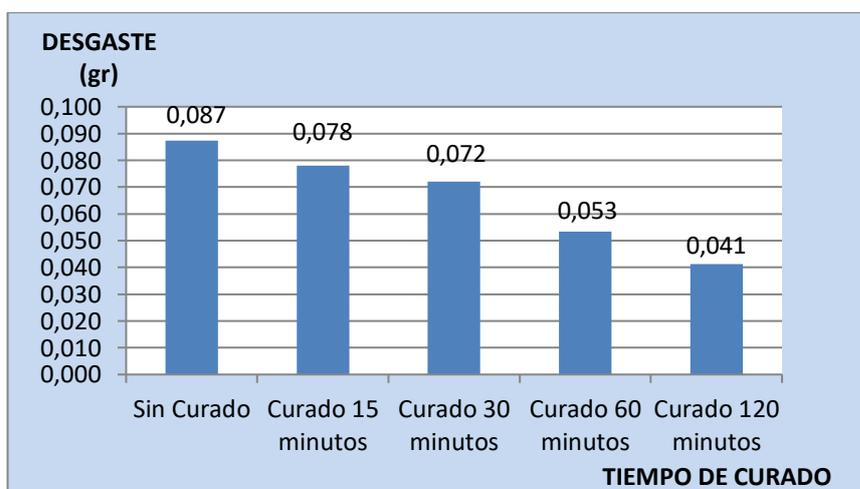
A continuación, la tabla 21 muestra los valores resultantes de desgaste que se obtuvieron en los diferentes tiempos de desgaste en el equipo Taber.

**Tabla 21: Interpolación de desgaste a 15 y 30 min. (Tough)**

<b>Tiempo (min.)</b>	<b>Desgaste (gr)</b>
0	0,087
15	0,078
30	0,072
60	0,053
120	0,041

**Fuente:** Autor.

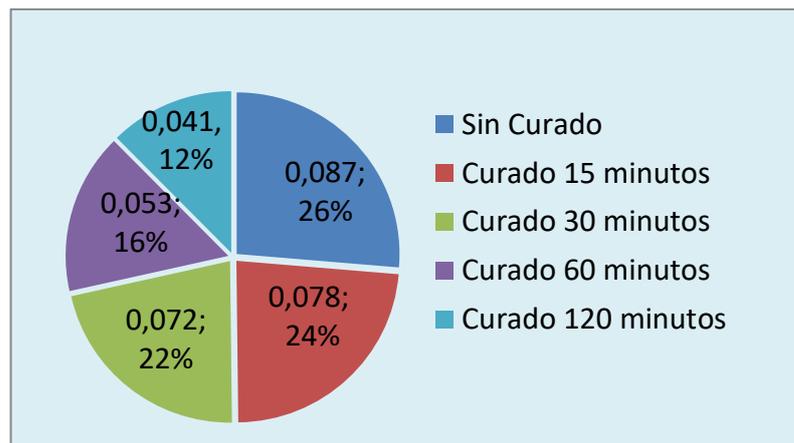
En la figura 23. Se presenta datos de desgaste del material en los diferentes tiempos de análisis. Aquí se evidencia un desgaste más homogéneo, sin embargo, el ensayo del material sin curado es el más alto de todos debido a las propiedades de elasticidad que posee la resina Tough, que al ser endurecidos por el curado se evidencia un desgaste prominencial del material.



**Figura 23:** Desgaste Resina Tough

**Fuente:** Autor.

En el porcentaje representado en la figura 24, es más notorio observar el comportamiento del material en sus diferentes tiempos de curado a 72 rpm, en un ambiente controlado y a temperatura ambiente, pudiendo observar gráficamente que a mayor tiempo de curado es menor desgaste del material.



**Figura 24:** Porcentaje Desgaste Resina Tough  
**Fuente:** Autor.

### 3.2.13 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

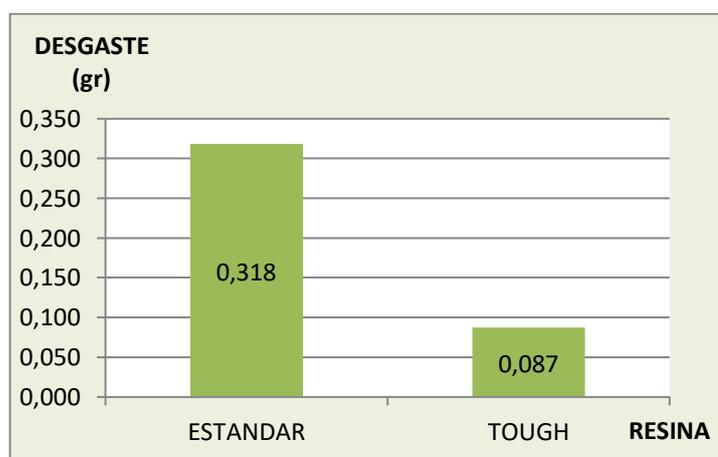
La tabla 22 presenta un análisis entre resinas Tough y estándar para los tiempos de curado 0, 15, 30, 60, 120.

**Tabla 22:** Comparación Estándar vs Tough sin curado.

TIPO DE RESINA	DESGASTE
ESTANDAR	0.318
TOUGH	0.087

**Fuente:** Autor.

Es evidente que la resina que mayor desgaste sufre en el análisis sin curado es la resina estándar esto se evidencia en la figura 25.



**Figura 25:** Comparación de desgaste sin curado Tough Vs Estándar  
**Fuente:** Autor.

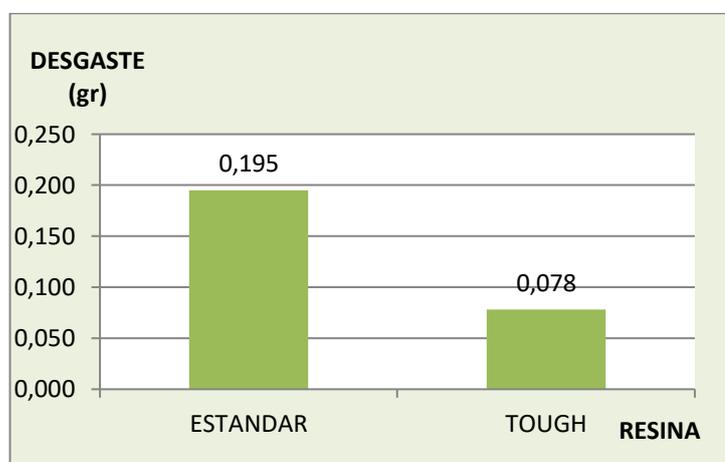
A continuación, la tabla 23 presenta el tiempo de curado a 15 minutos.

**Tabla 23:** Comparación Estándar Vs Tough curado 15 min.

TIPO DE RESINA	DESGASTE
ESTANDAR	0.195
TOUGH	0.078

Fuente: Autor.

En la figura 26 al comparar los valores obtenidos por cada resina se mantiene la tendencia de la resina estándar es la que más desgaste sufre durante el ensayo del material.



**Figura 26:** Comparación de desgaste a 15 minutos Estándar vs Tough

Fuente: Autor.

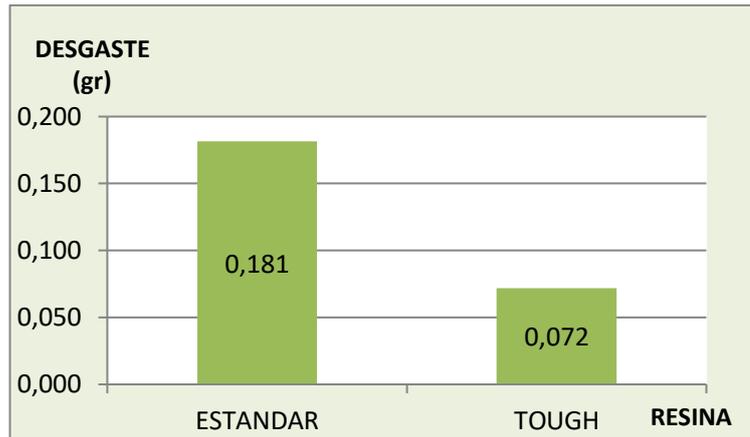
La tabla 24 en el tiempo de 30 minutos muestra los valores comparativos del desgaste que sufre el material.

**Tabla 24:** Comparación Estándar Vs Tough curado 30 min.

TIPO DE RESINA	DESGASTE
ESTANDAR	0.181
TOUGH	0.072

Fuente: Autor.

En el tiempo de 30 minutos la resina estándar duplica el desgaste en comparación con la resina Tough estos valores se evidencian en la figura 27.



**Figura 27:** Comparación del desgaste a 30 minutos Estándar vs Tough  
**Fuente:** Autor.

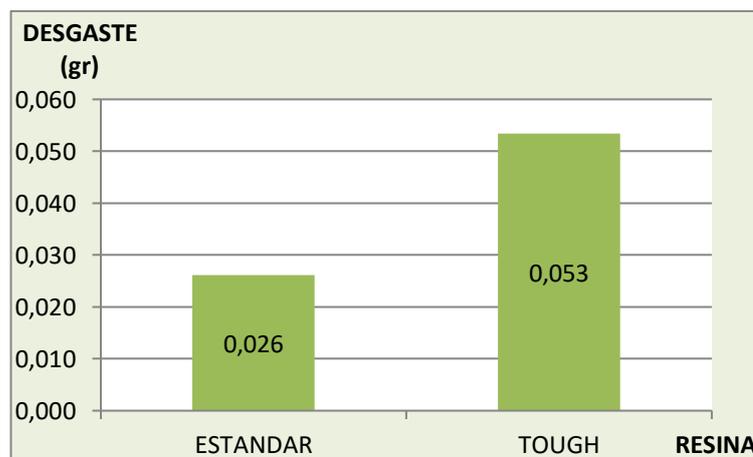
En la tabla 25 se presenta los valores de los desgastes de las probetas de las resinas en un tiempo de 60 minutos.

**Tabla 25:** Comparación Estándar Vs Tough curado 60 min.

TIPO DE RESINA	DESgaste
ESTANDAR	0.026
TOUGH	0.053

**Fuente:** Autor.

En la figura 28 el desgaste del material de las diferentes resinas cambia de forma directa indicando que a 60 minutos la resina Tough sufre el doble de desgaste que la resina estándar, esto demuestra que a mayor tiempo de curado la resina estándar gana resistencia y dureza en comparación con la Tough.



**Figura 28:** Comparación del desgaste a 60 minutos Estándar vs Tough  
**Fuente:** Autor.

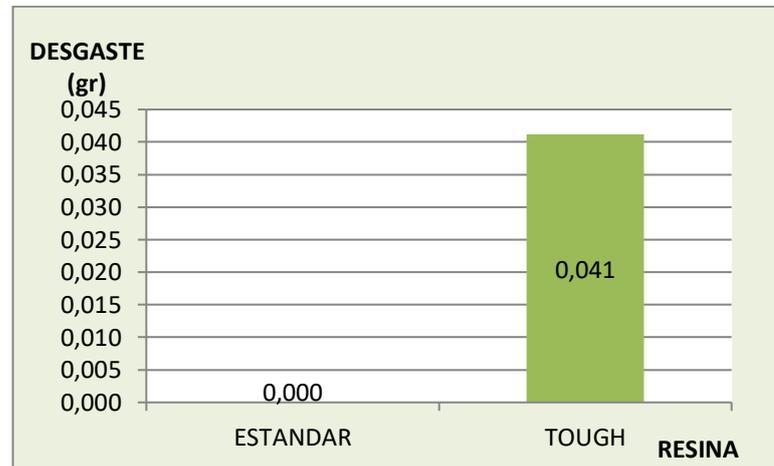
También se compara los valores de desgaste a 120 minutos de curado estos valores se presentan en la tabla 26.

**Tabla 26:** Comparación Estándar Vs Tough curado 120 min

TIPO DE RESINA	DESGASTE
ESTANDAR	0.000
TOUGH	0.041

Fuente: Autor.

El desgaste de la resina en el tiempo de 120 minutos demuestra que la resina Tough se desgasta de forma elevada, mientras que la resina estándar se endurece al punto de tener valores muy cercanos a cero esto se indica en la figura 29.



**Figura 29:** Comparación del desgaste a 120 minutos Estándar vs Tough

Fuente: Autor.

### 3.3 Ensayo de dureza

El ensayo de dureza se lo realizó en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Para lo cual se basó en la norma ASTM D 2240 que es utilizada para gomas y plásticos duros.

Según esta normativa se procedió a realizar 5 tomas de dureza en diferentes posiciones por cada elemento cuidando el no exponer las muestras de las resinas estándar y Tough a condiciones ambientales que sean desfavorables.

Mediante el uso de fichas técnicas se ordenó los resultados obtenidos de acuerdo al tipo de resina, para la resina estándar de orientación paralela tipo I se lo registró en la

ficha Técnica 3.3.1 hasta 3.3.5. Mientras que las resinas de Ingeniería tipo Tough, se los registró en las Fichas Técnicas 3.3.6 a 3.3.10.

Una vez registrada y analizada los datos en las fichas se procede a realizar los promedios tanto de la resina estándar como Tough, para poder realizar tanto la interpolación como extrapolación de los datos faltantes en los 15, 30, 60 y 120 minutos respectivamente.

La comparación de los resultados obtenidos entre las resinas a diferentes tiempos de curado se lo registra en la ficha técnica 3.3.15 con la cual se puede realizar la respectiva comprobación de la hipótesis, conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

Los equipos utilizados conllevan su respectiva calibración según la norma ASTM 2240 a fin de obtener un resultado óptimo.



**Figura 30:** Prueba de dureza  
**Fuente:** Autor.

**3.3.1 Ficha de registro de datos técnicos de la dureza Shore tipo D tomados en la resina estándar tipo I**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA RECINA ESTANDAR 	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	20 de Octubre 2020
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato
<b>ELABORADO POR</b>	Laboratorista
<b>PARAMETROS DEL MATERIAL A ENSAYAR</b>	
<b>MATERIAL</b>	Resina Estandar
<b>ORIENTACION</b>	Paralela
<b>TIPO DE IMPRESIÓN</b>	Formato tipo #1
<b>TIPO DE CURADO</b>	From Cure
<b>TIEMPO DE CURADO</b>	Sin Curar- 15 minutos- 30 minutos
<b>EQUIPO UTILIZADO</b>	Form Labs Form2
<b>SOFTWARE</b>	Cad Cam
<b>LIMPIEZA</b>	alcohol Isopropílico (Form Wash)
<b>PARAMETROS DE MEDICIÓN</b>	
<b>NORMA</b>	ASTM D2240
<b>TIPO</b>	DUREZA SHORE D

### 3.3.2 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I Orientación Paralela.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA DATOS INFORMATIVOS 			
TIPO DE ESTUDIO	Experimental		
FECHA DE EJECUCIÓN	20 de Octubre 2020		
LUGAR DE ESTUDIO	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
ELABORADO POR	Laboratorista		
NÚMERO DE ENSAYOS	ORIENTACION PARALELA STANDARD		
	SIN CURAR	CURADO 15 MINUTOS	CURADO 30 MINUTOS
	DUREZA SHORE D	DUREZA SHORE D	DUREZA SHORE D
1	83,5	88	89
2	84,5	88,5	88
3	84	87,5	88,5
4	83	87,5	89
5	83,5	88,5	88
PROMEDIO	83,7	88	88,5
DESV. ESTANDAR	0,570	0,500	0,500

### 3.3.3 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I. Sin Curar

Se determina los datos de la dureza obtenida de cinco muestras, para ello se toma datos sin curado del material es decir de tiempo cero.

**Tabla 27:** Cálculos resina Estándar sin curado

Muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	83,5	-0,2	0,04
1	84,5	0,8	0,64
1	84	0,3	0,09
1	83	-0,7	0,49
1	83,5	-0,2	0,04
5	418,500		1,300

Fuente: Autor.

Para determinar el nivel de dispersión que presentan las probetas tipo 1 referente a la dureza en resina estándar se procede al cálculo de su varianza y desviación estándar.

**Dónde:**

x = variable

$\bar{x}$  = Media aritmética

$x_i$  = Observaciones numero i de la variable x

N = número de observaciones

$\sigma x^2$  = Varianza

$\sigma x$  = Desviación Estándar

**Media aritmética**

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{83.5 + 84.5 + 84 + 83 + 83.5}{5}$$
$$\bar{x} = 83.7$$

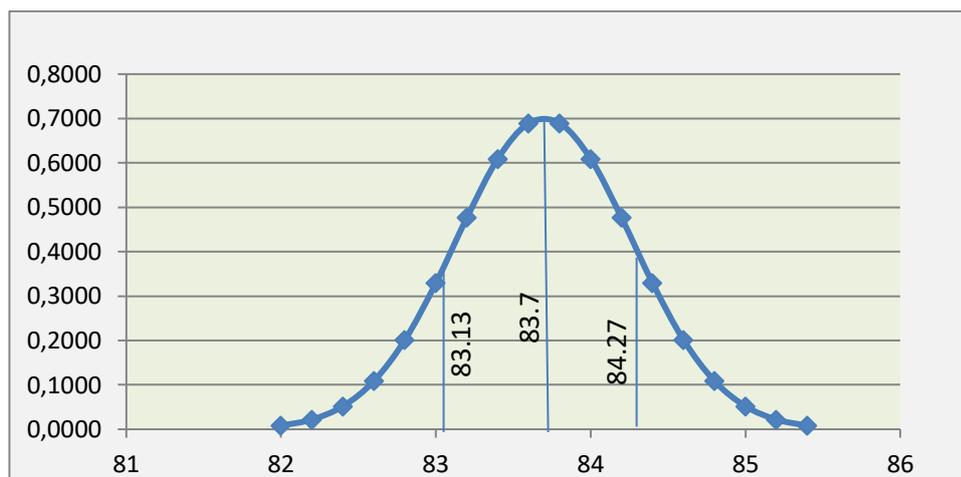
**Varianza.**

$$\sigma x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma x^2 = \frac{1.30}{5 - 1}$$
$$\sigma x^2 = 0.325$$

**Desviación estándar**

$$\sigma x = \sqrt{\sigma x^2}$$
$$\sigma x = \sqrt{0.325}$$
$$\sigma x = 0.57$$

Los datos de distribución de la campana de Gauss estándar sin curado muestran la dispersión de los datos que servirán para obtener la tendencia de la dureza del material.



**Figura 31:** Campana de Gauss resina estándar (sin curado)

**Fuente:** Autor.

Los datos de la tabla 28 presentan los valores estadísticos que se obtuvieron de las muestras de la probeta a 15 minutos de curado

**Tabla 28:** Datos de dureza estándar sin curado

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	83,700
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,325
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,570
valor máximo	84,5
valor mínimo	83

**Fuente:** Autor.

### 3.3.4 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I. Curado 15 minutos

La tabla 29 indica los datos de la dureza Shore D de la resina estándar en un tiempo estimado de 15 minutos.

**Tabla 29:** Datos estadísticos obtenidos a 15 minutos

muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	88	0,000	0
1	88,5	0,500	0,25
1	87,5	-0,500	0,25
1	87,5	-0,500	0,25
1	88,5	0,500	0,25
5	440,000		1,000

**Fuente:** Autor.

Cálculo de la media, varianza y desviación estándar para un curado de 15 minutos.

### Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{88 + 88.5 + 87.5 + 87.5 + 88.5}{5}$$
$$\bar{x} = 88$$

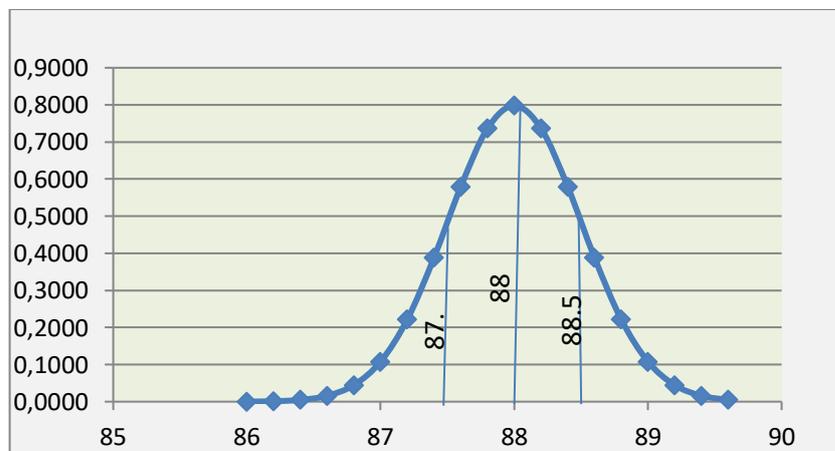
### Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma_x^2 = \frac{1}{5 - 1}$$
$$\sigma_x^2 = 0.25$$

### Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$
$$\sigma_x = \sqrt{0.25}$$
$$\sigma_x = 0.5$$

Los datos de dispersión de la campana de Gauss en el tiempo de curado se presentan en la figura 32.



**Figura 32:** Campana de Gauss curado a 15 min resina estándar

**Fuente:** Autor.

**Tabla 30:** Datos estadísticos muestra curado a 15 min. Resina Estándar

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	88,00
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,250
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0,500
valor máximo	88,50
valor mínimo	87,50

Fuente: Autor.

### 3.3.5 Ficha de registro de Dureza Shore D resina estándar tipo I. Curado 30 minutos

Los datos estadísticos obtenidos en los ensayos se presentan en la tabla 31, con estos datos podemos obtener la campana de gauss y observar el comportamiento de la distribución de datos obtenidos.

**Tabla 31:** Datos estadísticos obtenidos a 30 minutos de curado

muestra	xi	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$
1	89	0,500	0,25
1	88	-0,500	0,25
1	88,5	0,000	0
1	89	0,500	0,25
1	88	-0,500	0,25
5	442,500		1,000

Fuente: Autor.

#### Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{89 + 88 + 88,5 + 89 + 88}{5}$$

$$\bar{x} = 88,5$$

#### Varianza.

$$\sigma x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$\sigma x^2 = \frac{1}{5 - 1}$$

$$\sigma x^2 = 0.25$$

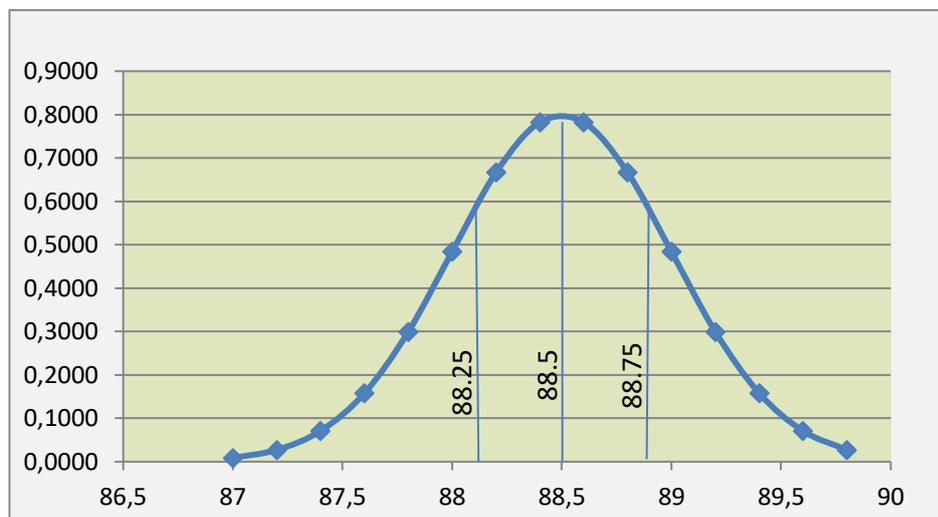
### Desviación estándar

$$\sigma x = \sqrt{\sigma x^2}$$

$$\sigma x = \sqrt{0.25}$$

$$\sigma x = 0.5$$

La distribución de datos se presenta en la campana de Gauss de la figura 33 en donde se la representa para una desviación estándar de 0.5 en el tiempo de 30 minutos de curado del material.



**Figura 33:** Campana de Gauss resina Estándar curado a 30 min

**Fuente:** Autor.

Se indica los valores del ensayo en la tabla 32 a un tiempo de 30 minutos.

**Tabla 32:** Datos estadísticos muestra curado a 30 minutos resina estándar

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	88,500
Varianza ( $\sigma^2$ )	0,250
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0,500
valor máximo	89
valor mínimo	88

**Fuente:** Autor.

### 3.3.6 Ficha de registro Datos Técnicos de Dureza Shore D Resina Tough

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA RECINA TOUGH 	
DATOS INFORMATIVOS	
TIPO DE ESTUDIO	Experimental
FECHA DE EJECUCIÓN	20 de Octubre 2020
LUGAR DE ESTUDIO	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato
ELABORADO POR	Laboratorista
PARAMETROS DEL MATERIAL A ENSAYAR	
MATERIAL	Resina Tough
ORIENTACION	Paralela
TIPO DE IMPRESIÓN	Formato tipo #1
TIPO DE CURADO	From Cure
TIEMPO DE CURADO	Sin Curar- 60 minutos- 120 minutos
EQUIPO UTILIZADO	Form Labs Form2
SOFTWARE	Cad Cam
LIMPIEZA	alcohol Isopropílico (Form Wash)
PARAMETROS DE MEDICIÓN	
NORMA	ASTM D2240
TIPO	DUREZA SHORE D

### 3.3.7 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Orientación Paralela

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA 			
DATOS INFORMATIVOS			
TIPO DE ESTUDIO	Experimental		
FECHA DE EJECUCIÓN	20 de Octubre 2020		
LUGAR DE ESTUDIO	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato		
ELABORADO POR	Laboratorista		
NÚMERO DE ENSAYOS	ORIENTACION PARALELA TOUGH		
	SIN CURAR	CURADO 60 MINUTOS	CURADO 120 MINUTOS
	DUREZA SHORE D	DUREZA SHORE D	DUREZA SHORE D
1	40.5	74	84.5
2	41	73	85
3	40.5	73.5	85
4	41.5	74	85.5
5	42	73.5	86
PROMEDIO	41.1	73.6	85.2
DESV. ESTANDAR	0.652	0.418	0.570

### 3.3.8 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Sin Curar

La tabla 33 presenta los datos de la muestra de Dureza para la resina Tough sin Curar.

**Tabla 33:** Datos estadísticos muestra sin curado resina Tough

Muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	40.5	-0.600	0.36
1	41	-0.100	0.01
1	40.5	-0.600	0.36
1	41.5	0.400	0.16
1	42	0.900	0.81
5	205.500		1.700

Fuente: Autor.

Para determinar la homogeneidad de los resultados obtenidos de los ensayos de dureza, se procede a realizar el cálculo de la media aritmética, varianza y desviación estándar para una muestra de resina Tough sin curado.

#### Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{40.5 + 41 + 40.5 + 41.5 + 42}{5}$$
$$\bar{x} = 41.1$$

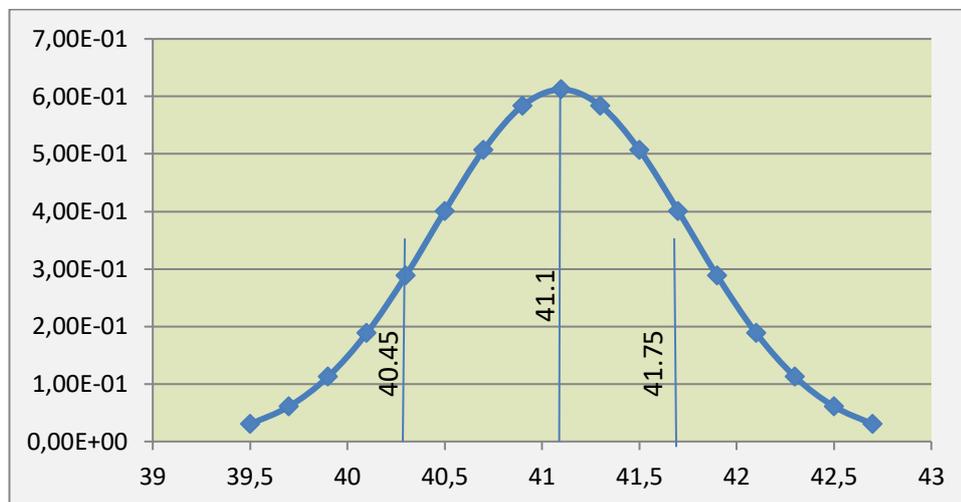
#### Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma_x^2 = \frac{1.7}{5 - 1}$$
$$\sigma_x^2 = 0.425$$

#### Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$
$$\sigma_x = \sqrt{0.425}$$
$$\sigma_x = 0.652$$

La campana de Gauss muestra la distribución de los datos obtenidos sin curado del material con una desviación estándar de 0.652 y un valor máximo de 42 y un mínimo de 40.5.



**Figura 34:** Campana de Gauss resina Tough sin curado  
**Fuente:** Autor.

En la tabla 34 se presenta los valores obtenidos de las muestras sin curado del material.

**Tabla 34:** Datos obtenidos resina Tough sin curado

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	41.100
Varianza ( $\sigma^2$ )	0.425
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0.652
valor máximo	42
valor mínimo	40.5

**Fuente:** Autor.

### 3.3.9 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Curado 60 min.

La tabla 35 contiene los valores de dureza para la resina Tough tipo 1 con un curado de 60 min de 5 muestras tomadas según la norma.

**Tabla 35:** Datos estadísticos muestra curado a 60 minutos

Muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	74	0.400	0.16
1	73	-0.600	0.36
1	73.5	-0.100	0.01
1	74	0.400	0.16
1	73.5	-0.100	0.01
5	368.000		0.700

**Fuente:** Autor.

Con los datos obtenido en laboratorio se calcula la media aritmética, la varianza y la desviación estándar, a fin de relacionar la homogeneidad de las probetas de dureza para un curado de 60 minutos.

### Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$
$$\bar{x} = \frac{74 + 73 + 73.5 + 74 + 73.5}{5}$$
$$\bar{x} = 73.6$$

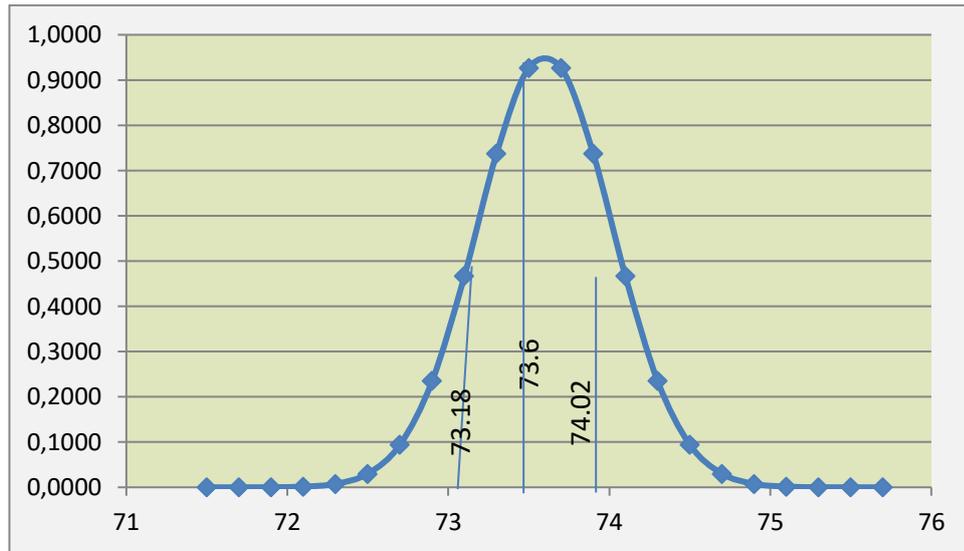
### Varianza.

$$\sigma x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma x^2 = \frac{0.7}{5 - 1}$$
$$\sigma x^2 = 0.17$$

### Desviación estándar

$$\sigma x = \sqrt{\sigma x^2}$$
$$\sigma x = \sqrt{0.175}$$
$$\sigma x = 0.418$$

La campana de Gauss del tiempo de curado a 60 minutos se presenta en la figura 35, estos datos sirven para entender cómo se distribuye los valores obtenidos de las muestras de cada ensayo.



**Figura 35:** Campana de Gauss resina Tough curado a 60 min

**Fuente:** Autor.

Se determina los datos estadísticos de las muestras de la resina Tough a 60 minutos en la tabla 36.

**Tabla 36:** Datos resultantes resina Tough curado a 60 minutos

Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	73.600
Varianza ( $\sigma^2$ )	0.175
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0.418
valor máximo	74
valor mínimo	73

**Fuente:** Autor.

### 3.3.10 Ficha de registro de Dureza Shore D Resina Tough tipo I Curado 120 min.

Se presenta en la tabla 37 los datos de la ficha de registro de Dureza Shore D para 120 minutos, tomados en laboratorio de un total de 5 muestras.

**Tabla 37:** Datos estadísticos muestra curado a 120 minutos

Muestra	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	84.5	-0.700	0.49
1	85	-0.200	0.04
1	85	-0.200	0.04
1	85.5	0.300	0.09
1	86	0.800	0.64
5	426.000		1.300

**Fuente:** Autor.

Se procede a calcular la media, varianza y desviación estándar de las muestras a fin de determinar sus características a 120 minutos de curado.

### Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{84.5 + 85 + 85 + 85.5 + 86}{5}$$

$$\bar{x} = 85.2$$

### Varianza.

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

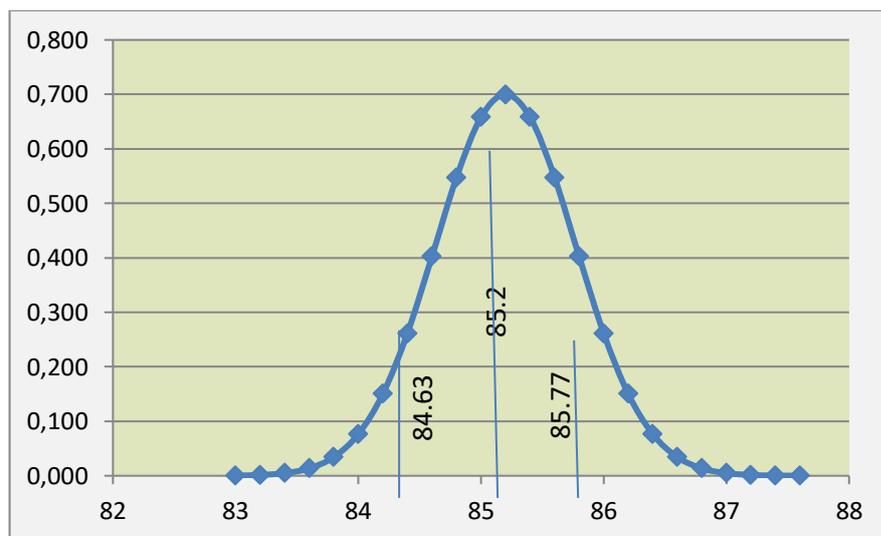
$$\sigma_x^2 = \frac{1.3}{5 - 1} = 0.325$$

### Desviación estándar

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{0.325} = 0.57$$

También se grafica la campana de Gauss con una desviación estándar de 0.57 en un tiempo de 120 minutos, observando su comportamiento y dispersión.



**Figura 36:** Campana de Gauss resina Tough curado a 120 min

**Fuente:** Autor.

Los datos arrojados del estudio de la resina en un tiempo de curado de 120 minutos permiten realizar un análisis más explicativo del comportamiento del material.

**Tabla 38:** Datos estadísticos resina Tough curado a 120 minutos

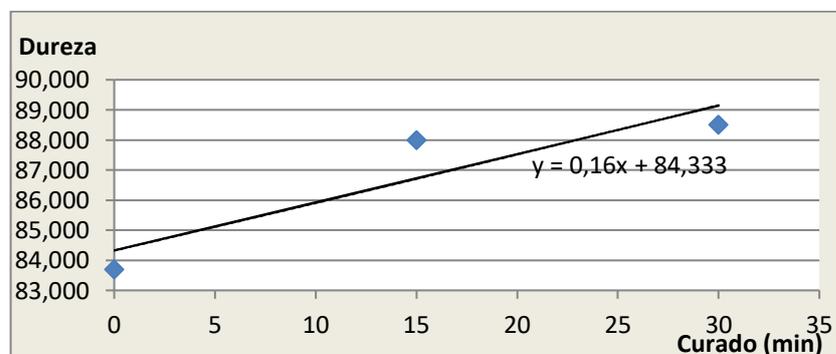
Número de muestra (n)	5
Media ( $\bar{x}$ )	85.200
Varianza ( $\sigma^2$ )	0.325
Desviación estandar ( $\sigma$ )	0.570
valor máximo	86
valor mínimo	84.5

Fuente: Autor.

### 3.3.11 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA ESTANDAR DUREZA SHORE D

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA ESTANDAR 	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	10 de Noviembre 2020
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema
<b>REGISTRO DEL PROMEDIO DE DUREZA RESINA ESTANDAR</b>	
<b>TIEMPO DE CURADO</b>	<b>DUREZA</b>
Sin Curado	83,7
Curado 15 minutos	88
Curado 30 minutos	88,5

Con los datos obtenidos de la dureza se procede a determinar la pendiente de la recta como se indica en la figura 37.



**Figura 37:** Pendiente de la recta dureza Shore tipo D vs tiempo de Curado

Fuente: Autor.

### 3.3.12 EXTRAPOLACIÓN DE DUREZA RESINA ESTÁNDAR

Para determinar dureza obtenida a los 60 y 120 minutos de curado en la resina Estándar, se realiza una extrapolación teniendo como base los datos de tiempo de curado de 0, 15 y 30 minutos.

#### Tabla de extrapolación resina Estándar.

Las coordenadas son representadas por (X) en el tiempo de curado en minutos y (Y) de dureza representada en la escala Shore D.

#### Dada la ecuación de la recta

$$y = m(x) + b$$

Dónde:

y = variable a calcular

m = pendiente

x = variable propuesta

b = intercepto

Cálculo de la Dureza para un tiempo de curado de 60 minutos

$$y = 0,16x + 84,333$$

$$y = 0,16(60) + 84,333$$

$$y = 93,93$$

Cálculo de la Dureza para un tiempo de curado de 120 minutos

$$y = 0,16x + 84,333$$

$$y = 0,16(120) + 84,333$$

$$y = 103,53$$

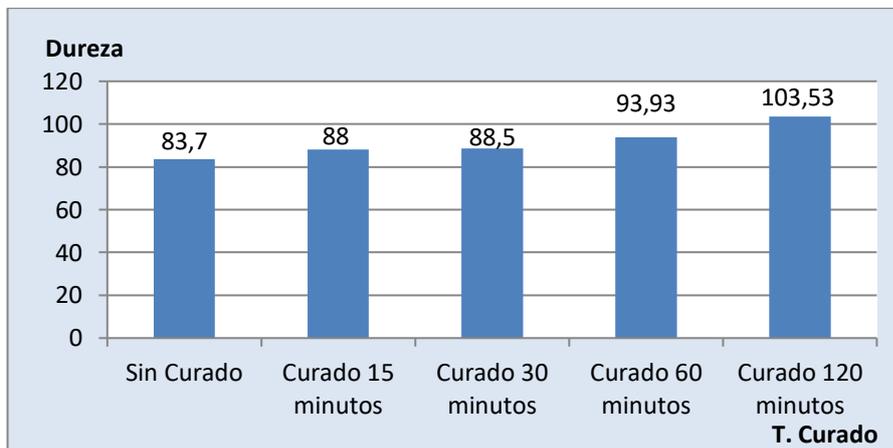
La tabla 39 presenta los valores de dureza promedio generada con los valores de 60 y 120 minutos

**Tabla 39:** extrapolación resina Estándar 60 y 120 min.

TIEMPO	DUREZA SHORE D
0	83.700
15	88.000
30	88.500
60	93.930
120	103.530

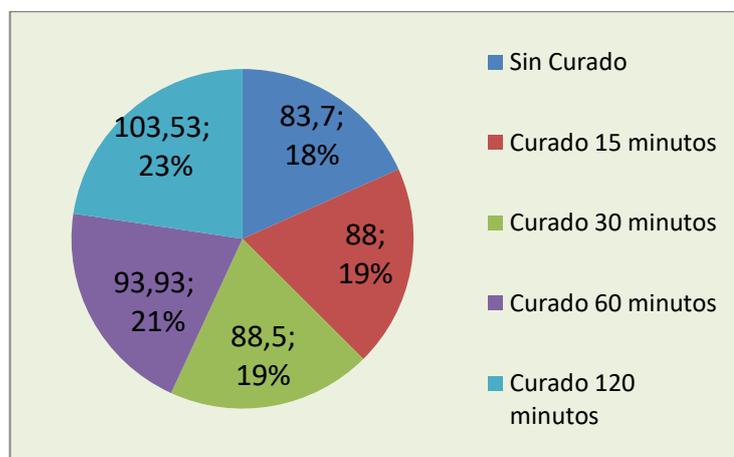
Fuente: Autor.

La figura 38 indica valores de la dureza en comparación con el tiempo de curado del material.



**Figura 38:** Dureza Shore tipo D vs Tiempo de Curado resina Estándar  
Fuente: Autor.

El porcentaje de dureza se presenta en la siguiente figura.

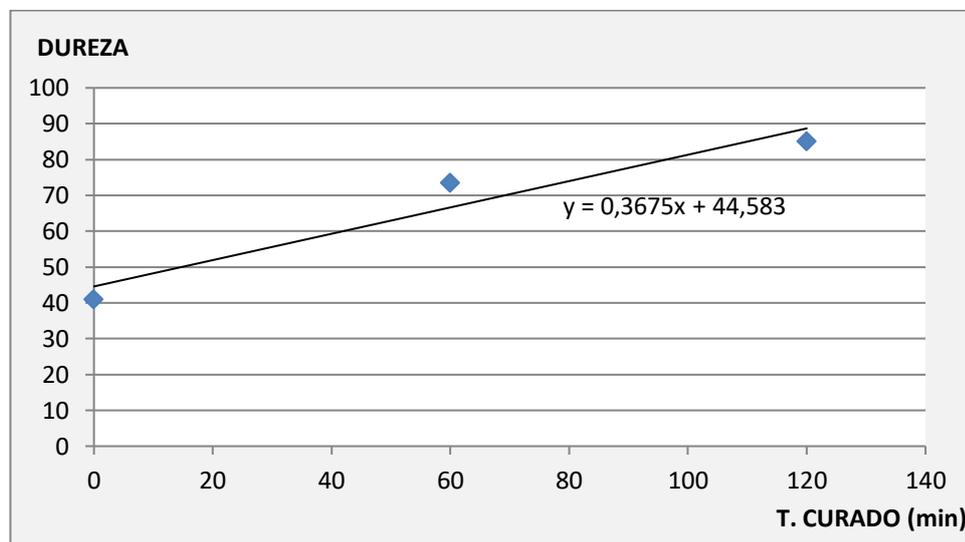


**Figura 39:** Porcentaje dureza Shore resina Estándar  
Fuente: Autor.

### 3.3.13 PROMEDIO DE MEDICIONES RESINA TOUGH

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DESGASTE RESINA TOUGH 	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	Experimental
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	10 de Noviembre 2020
<b>LUGAR DE ESTUDIO</b>	Laboratorio Universidad Técnica de Ambato
<b>ELABORADO POR</b>	Darío Yumbolema
<b>REGISTRO DEL PROMEDIO DE DUREZA RESINA TOUGH</b>	
<b>TIEMPO DE CURADO (minutos)</b>	<b>DUREZA SHORE D</b>
0	41.1
60	73.6
120	85.2

En la figura 40 también se compara los resultados de dureza, obteniendo la recta que define la tendencia de los ensayos por tal razón es importante realizar el cálculo de la pendiente.



**Figura 40:** Ecuación de la recta Dureza Shore D vs T. Curado  
**Fuente:** Autor.

### 3.3.14 INTERPOLACIÓN DE DATOS RESINA TOUGH

Para la determinación de la dureza en los tiempos de curado de 15 y 30 minutos de la resina Tough, se procede a realizar una interpolación de datos tomando como base los tiempos de 60y 120 minutos analizados en el laboratorio.

#### **Interpolación resina Tough.**

Las coordenadas son representadas por (X) en el tiempo de curado y (Y) en la dureza Shore D.

#### **Dada la ecuación de la recta**

$$y = m(x) + b$$

Dónde:

y = variable a calcular

m = pendiente

x = variable propuesta

b = intercepto

#### **Cálculo del desgaste para un tiempo de curado de 15 minutos**

$$y = 0,3675x + 44,583$$

$$y = 0,3675(15) + 44.583$$

$$y = 50.096$$

#### **Cálculo del desgaste para un tiempo de curado de 30 minutos**

$$y = 0,3675x + 44,583$$

$$y = 0,3675(30) + 44.583$$

$$y = 55.608$$

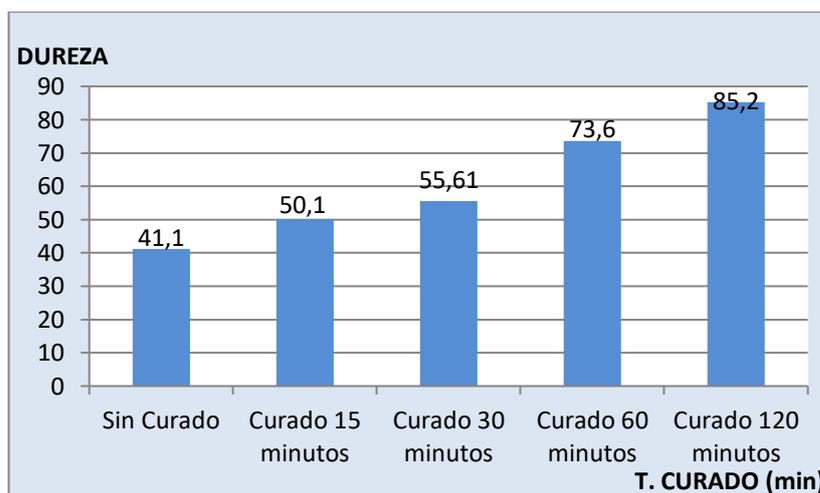
La tabla 40 presenta los valores promedios de dureza generada con los valores de 15 y 30 minutos de curado.

**Tabla 40:** Interpolación resina Tough 15 y 30 min.

<b>TIEMPO</b>	<b>DUREZA SHORE D</b>
<b>0</b>	41.1
<b>15</b>	50.1
<b>30</b>	55.61
<b>60</b>	73.6
<b>120</b>	85.2

**Fuente:** Autor.

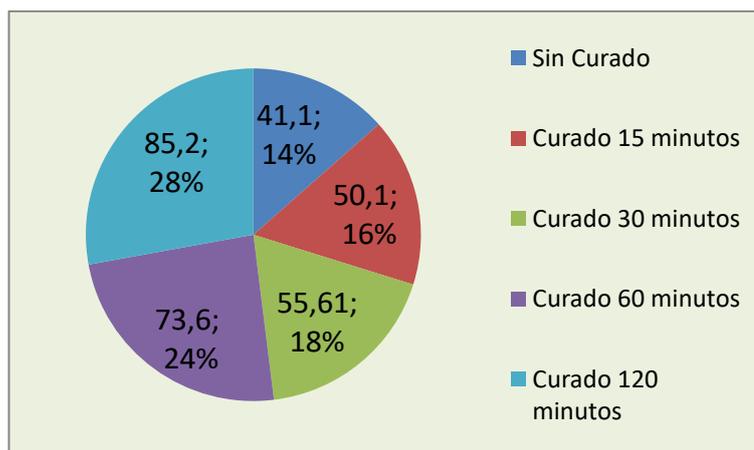
En la figura 41 se comparan los resultados obtenidos de dureza en la resina tough donde la mayor dureza se produce en el tiempo de 120 minutos.



**Figura 41:** Dureza Shore D vs T. Curado resina Tough

**Fuente:** Autor.

El porcentaje de curado del material evidencia que muy homogéneo en todos los tiempos de análisis sin embargo el que mejor comportamiento presenta es el tiempo de 120 minutos



**Figura 42:** Porcentaje dureza Shore D vs T. Curado resina Tough  
**Fuente:** Autor.

### 3.3.15 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Análisis entre resinas Tough y estándar para los tiempos de curado 0, 15, 30, 60 y 120 minutos respectivamente.

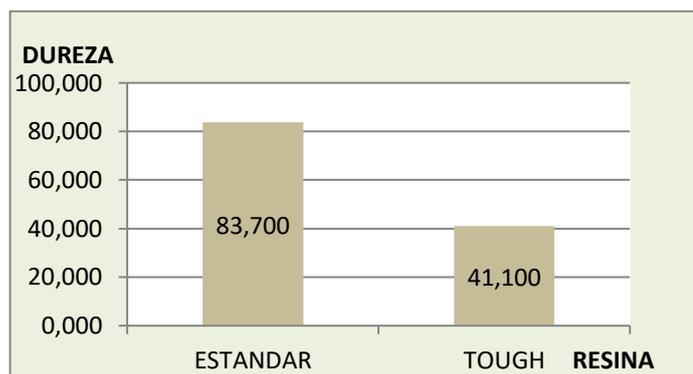
Se muestran en la tabla 41 la comparación entre resinas para un tiempo de curado de 0 minutos.

**Tabla 41:** Comparación de dureza Estándar vs Tough sin curado

TIPO DE RESINA	DUREZA SHORE D
ESTANDAR	83.700
TOUGH	41.100

**Fuente:** Autor.

Al comparar los datos de dureza sin curado el mejor comportamiento del material lo presenta la resina tough con un desgaste de 41.1 gr, siendo inferior a de la resina estándar que presenta un desgaste de 83.7 gr.



**Figura 43:** Resina Estándar Vs Resina Tough (dureza sin curado)

**Fuente:** Autor.

Gráficamente se puede determinar que la resina estándar presenta un mayor desgaste en comparación con la resina Tough, que debido a su propiedad de elasticidad tuvo un mejor rendimiento al ser analizados con un peso de 356,03 gr o 3 N. en 1000 ciclos a 72 rpm.

#### **Análisis comparativo de las resinas en un tiempo de 15 minutos.**

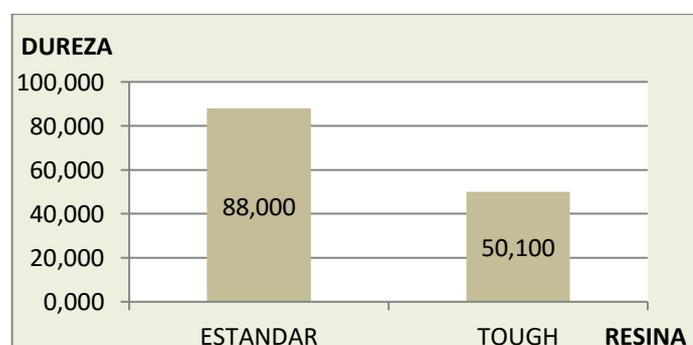
La en la tabla 42. Se presentan los valores obtenidos para su comparación de la interpolación a los 15 minutos de curado tanto en la resina Tough como en la estándar.

**Tabla 42:** Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 15min.

TIPO DE RESINA	DUREZA SHORE D
ESTANDAR	88.000
TOUGH	50.100

**Fuente:** Autor.

En la figura 44 se indica que la resina estándar presenta una dureza de 88 shore D mientras que la resina Tough una dureza de 50,1 shore D en 15 minutos de curado.



**Figura 44:** Dureza Estándar Vs Resina Tough a 15 min de curado

**Fuente:** Autor.

### Análisis comparativo de las resinas en un tiempo de 30 minutos

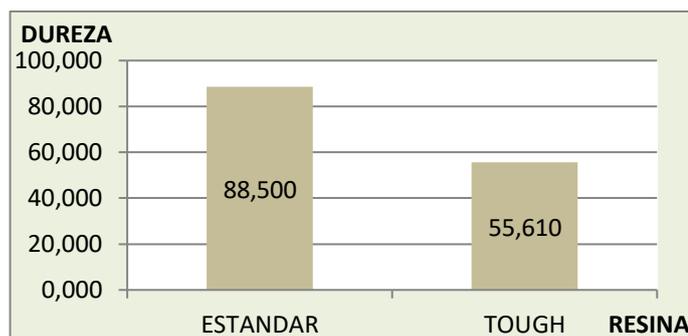
En la tabla 43. Se presentan los valores obtenidos de la interpolación de la resina Tough a 30 minutos. En comparación con la resina estándar al mismo tiempo de curado.

**Tabla 43:** Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 30 min.

TIPO DE RESINA	DUREZA SHORE D
ESTANDAR	88.500
TOUGH	55.610

Fuente: Autor.

Al igual que los anteriores análisis el comportamiento no vario, la resina estándar a los 30 minutos es más dura en comparación con la resina Tough, siendo un 88,5 de dureza shore D para la resina estándar y de 55,61 de dureza Shore D para la resina Tough. Como se muestra en la figura 45.



**Figura 45:** Dureza Tough Vs Estándar a 30 min de curado

Fuente: Autor.

### Análisis comparativo de las resinas en un tiempo de 60 minutos

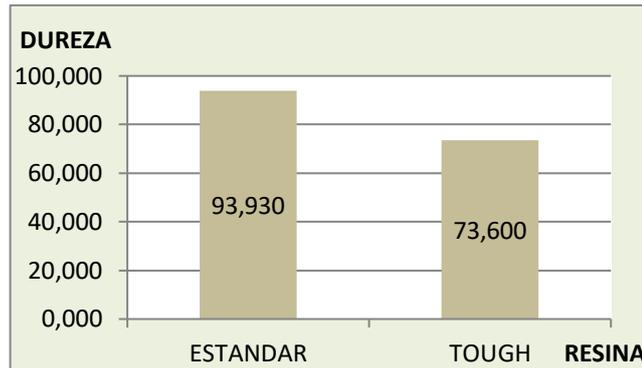
En la tabla 44. Se presenta los valores resultantes de la extrapolación de la resina estándar para un tiempo de 60 minutos, comparados con la dureza de la resina Tough al mismo tiempo.

**Tabla 44:** Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 60min.

TIPO DE RESINA	DUREZA SHORE D
ESTANDAR	93.930
TOUGH	73.600

Fuente: Autor.

La tendencia de dureza shore tipo D en el tiempo de 60 minutos se mantiene de forma que la resina estándar tiene mejor comportamiento con un 93,93 frente a la resina Tough con un 73.6 durante el análisis.



**Figura 46:** Dureza Tough Vs. Estándar a 60 min de curado  
**Fuente:** Autor.

**Análisis comparativo de la resina Tough y Estándar en un tiempo de 120 minutos.**

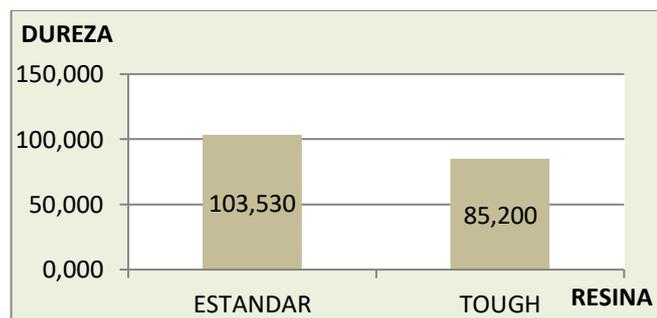
En la tabla 45 se muestran los datos resultantes de la extrapolación de la resina estándar a 120 minutos de curado, frente al resultado del análisis de la resina Tough al mismo tiempo de curado.

**Tabla 45:** Comparación de dureza Estándar vs Tough curado 120 min.

TIPO DE RESINA	DUREZA SHORE D
ESTANDAR	103.530
TOUGH	85.200

**Fuente:** Autor.

En la figura 47 se presenta los rangos comparativos entre resinas, en donde la resina estándar tiene una dureza de 103.53 mientras que la resina Tough presenta una dureza de 85.2.



**Figura 47:** Dureza Estándar Vs Tough a 120 min de curado  
**Fuente:** Autor.

La dureza shore D de la resina Estándar supera a la dureza de la resina Tough, pues en todos los ensayos realizados, se mostró un comportamiento superior.

### 3.4 Verificación de hipótesis

#### **Hipótesis:**

¿La resina de Ingeniería Tough en orientación paralela tendrá el mismo rango de resistencia al desgaste y dureza que la resina Estándar en orientación paralela, obtenidas de la Técnica aditiva para impresión 3D (SLA)?

#### **Ho (Hipótesis Nula)**

La resina de Ingeniería Tough en orientación paralela tiene el mismo rango de resistencia al desgaste y dureza que la resina Estándar en orientación paralela, obtenidas de la Técnica aditiva para impresión 3D (SLA).

#### **Ha (Hipótesis Alternativa)**

La resina de Ingeniería Tough en orientación paralela tiene diferente rango de resistencia al desgaste y dureza que la resina Estándar en orientación paralela, obtenidas de la Técnica aditiva para impresión 3D (SLA).

Se comprueba la hipótesis utilizando una prueba bilateral es decir de dos colas, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

Cálculo de la probabilidad, utilizando la ecuación.

$$P = \frac{\alpha}{100}$$

Siendo:

P = probabilidad

$\alpha$  = nivel de significancia

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0,05$$

Como se va realizar la prueba bilateral se divide para dos por lo tanto es:

$$P = 0,025$$

Cálculo de grados de libertad es igual al tamaño de las muestras (número de observaciones independientes) menos 2.

$$gl = (n1 + n2 - 2)$$

gl = grado de libertad

n = número de muestras

$$gl = (5 + 5 - 2)$$

$$gl = 8$$

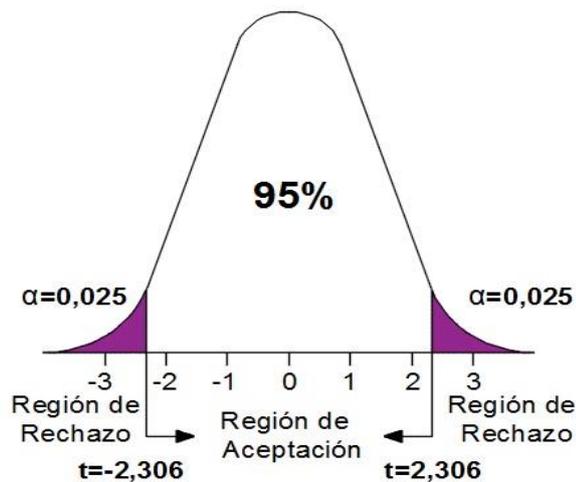
Con los datos calculados del nivel de significancia y Grados de libertad de 0,025 y 8 respectivamente, encontramos el valor de t tabulado (*t<sub>tabla</sub>*), utilizando la tabla de distribución T-Student, que se muestra en el Anexo I Tabla de grados de libertad.

$$t_{\text{tabla}} = 2,306$$

### **Regla de decisión de la hipótesis**

Se acepta la Hipótesis Nula  $H_0$ , si el valor de t calculado se ubica en la región de aceptación dentro del rango de -2.306 a 2.306 que indica el 95% de confianza. Caso contrario, si el valor es mayor o menor al especificado y está fuera del rango, se acepta la hipótesis alternativa  $H_a$ .

La gráfica 48 muestra la campana de Gauss donde se especifica los rangos para nuestro estudio.



**Figura 48:** Distribución T-student  
**Fuente:** Autor.

### **Análisis de Desgaste.**

Se verifica la hipótesis para los análisis de desgaste de los materiales, por lo que se toma los datos comparados con base a los diferentes ensayos realizados con tiempos distintos y varias configuraciones para el estudio del comportamiento del material.

**Tabla 46:** Resumen ensayos de Desgaste

<b>Tiempo de curado (min.)</b>	<b>Desgaste Estándar (gr)</b>	<b>Desgaste Tough (gr)</b>
<b>0</b>	0.318	0.087
<b>15</b>	0.195	0.078
<b>30</b>	0.181	0.072
<b>60</b>	0.026	0.053
<b>120</b>	0.000	0.041

**Fuente:** Autor.

Cálculo de la media y proporciones:

**Tabla 47:** Media del Desgaste Resina Tough y Estandar

Tiempo (min)	X1	X2	$(x1 - \bar{X}1)^2$	$(x2 - \bar{X}2)^2$
Sin curado	0.318	0.087	0.03025744	0.000441
15	0.195	0.078	0.00259556	0.00013456
30	0.181	0.072	0.00136506	3.136E-05
60	0.026	0.053	0.01389727	0.000169
120	0.000	0.041	0.02072256	0.00063504
Suma	0.720	0.332	0.06883789	0.00141096
$\bar{x}$	0.144	0.066		

**Fuente:** Autor.

Cálculo de la varianza utilizando la ecuación siguiente:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{Gl}}$$

Donde:

$S_p$  = varianza

Gl = grados de libertad

$s_{1,2}$  = desviación estándar

$n_{1,2}$  = grupo de muestras

$$S_p = \sqrt{\frac{(5 - 1)(0,1312)^2 + (5 - 1)(0,0188)^2}{8}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{232.709 + 1288.2357}{8}}$$

$$S_p = 0,094$$

Cálculo de la t calculada de la siguiente ecuación

$$t_{cal} = \frac{H}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde:

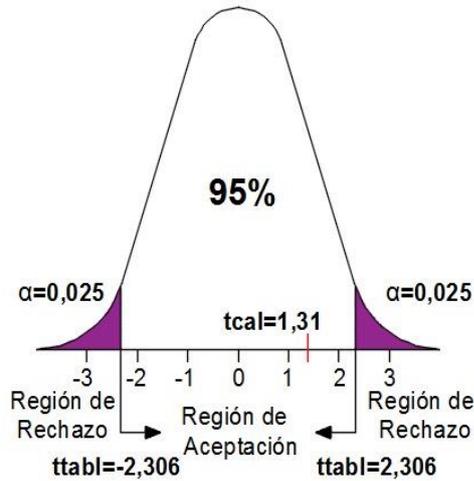
$t_{cal}$  = t calculada

H= diferencia de promedios

$$t_{cal} = \frac{0,0777}{0,094 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$t_{\text{cal}} = 1,31$$

$$t_{\text{cal}} = 1,31 < t_{\text{tabla}} = 2,306$$



**Figura 49:** Distribución T-student calculado desgaste

Analizando los resultados obtenidos en la gráfica de gauss se puede determinar que la resina estándar tiene un comportamiento similar en desgaste a la resina Tough con un nivel de significancia del 5%, por lo que habría que tomar en cuenta sus respectivas características al momento de su uso.

### Análisis de Dureza.

Se verifica la hipótesis para los análisis de dureza de las resinas Tough y Estándar, por lo que se toma los datos comparados, con tiempos distintos y varias configuraciones para el estudio del comportamiento del material.

**Tabla 48:** Resumen ensayos de dureza shore tipo D

Tiempo (min)	Dureza Estándar	Dureza Tough
Sin curado	83.7	41.1
15	88	50.1
30	88.5	55.61
60	93.93	73.6
120	103.53	85.2

Fuente: Autor.

Cálculo de la media y proporciones:

**Tabla 49: Media de las durezas Resina Tough y Estandar**

Tiempo (min)	X1	X2	$(x1 - \bar{X}1)^2$	$(x2 - \bar{X}2)^2$
Sin curado	83.7	41.1	61.340224	400.880484
15	88	50.1	12.475024	121.484484
30	88.5	55.61	9.193024	30.382144
60	93.93	73.6	5.750404	155.700484
120	103.53	85.2	143.952004	579.750084
Suma	457.66	305.61	232.71068	1288.19768
$\bar{x}$	91.532	61.122		

Fuente: Autor.

Cálculo de la varianza utilizando la ecuación siguiente:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{Gl}}$$

Donde:

$S_p$  = varianza

Gl = grados de libertad

$s_{1,2}$  = desviacion estandar

$n_{1,2}$  = grupo de muestras

$$S_p = \sqrt{\frac{(5 - 1)(7,6274)^2 + (5 - 1)(17,946)^2}{8}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{232.709 + 1288.2357}{8}}$$

$$S_p = 13,788$$

Cálculo de la t calculada de la siguiente ecuación

$$t_{\text{cal}} = \frac{H}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde:

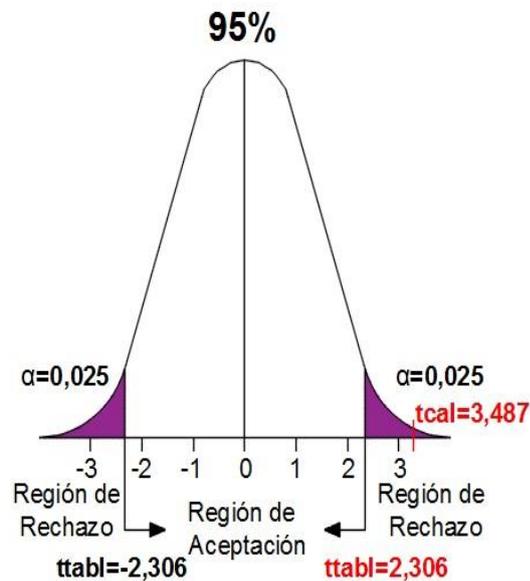
$t_{\text{cal}}$  = t calculada

H= diferencia de promedios

$$t_{\text{cal}} = \frac{30.41}{13,788 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$t_{\text{cal}} = 3,487$$

$$t_{\text{cal}} = 3,487 > t_{\text{tabla}} = 2,306$$



**Figura 50:** Distribución T-student calculado

Como indica la figura 50 se concluye que existe una diferencia de la dureza shore tipo D entre la resina Estándar y la resina Tough con un nivel de confianza del 95%

Dado a los resultados obtenidos de los análisis de desgaste y dureza Shore tipo D de las resinas Estándar y Tough se rechaza hipótesis nula, la cual dice:

La resina de Ingeniería Tough en orientación paralela tiene el mismo rango de resistencia al desgaste y dureza que la resina Estándar en orientación paralela, obtenidas de la Técnica aditiva para impresión 3D (SLA).

Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa que dice.

La resina de Ingeniería Tough en orientación paralela tiene diferente rango de resistencia al desgaste y dureza que la resina Estándar en orientación paralela, obtenidas de la Técnica aditiva para impresión 3D (SLA).

## CAPITULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La resina formlab es ideal para el desarrollo de productos y la creación rápida de prototipos que, en combinación con la tecnología de estereolitografía, estos ofrecen un acabado liso con la oportunidad de obtener piezas más detalladas y propiedades mecánicas moderadas.
- La impresora Form Labs Form 2 trabaja con un software Cad Cam, para trabajo en estereolitografía que permite utilizar una longitud de onda de 405 nm y una radiación post curado de 1.25 mW/cm<sup>2</sup>.
- A diferencia de la resina estándar la resina Tough se puede imprimir con una altura de capa de 50 a 100 micras, proporcionando al elemento impreso menor rigidez y la capacidad de soportar más alargamiento, esto le permite volver a su estado original tras la aplicación de cargas en forma repetitiva a gran velocidad, estas propiedades son comparables al polipropileno.
- El desgaste y dureza de las probetas realizadas de resina estándar y Tough, presentan un comportamiento variado dependiendo del tiempo de exposición ultravioleta (UV) al que fueron expuestos en su tratamiento de curado.
- Al ser conformados los materiales bajo las mismas condiciones y tiempos de curado se obtuvo como resultado que la resina estándar tiene mejor comportamiento, sin embargo, en los tiempos de curado de 120 minutos la resina Tough presenta mejor resistencia, sería importante evaluar en nuevos estudios estas características para diferentes aplicaciones en el campo industrial.

- Sin el proceso de curado UV la resina estándar presenta un desgaste del 44%, frente a un 0.01% a los 120 minutos de curado en 1000 ciclos a 72 rpm.
- Para la resina Tough el desgaste sin el proceso de curado fue de un 26%, mientras que al aplicar un curado de 120 minutos el desgaste se redujo a un 12%.
- Se obtuvo resultados favorables para la dureza estándar donde el promedio fue de 91,53 Shore D superior al promedio de la dureza Tough que alcanzó el promedio de 61.122 Shore D para los tiempos establecidos de curado del material.
- En la resina estándar su mayor dureza la alcanzó a los 60 minutos con 23%, a los 120 minutos su crecimiento en la escala de dureza tan solo subió un 2% más.
- Tanto para la resina estándar como para la resina Tough su mayor dureza se estabiliza a los 60 minutos, mientras se registra un incremento relativamente bajo a partir de este.
- La impresión 3d de resina está suficientemente avanzada para cubrir diversas necesidades, como la elaboración de piezas decorativas, piezas resistentes al desgaste, mayor índice de dureza que un polímero tradicional, mayor elasticidad satisfaciendo pudiendo satisfacer diversas necesidades de la industria.
- La temperatura y el tiempo del curado está en función al módulo de elasticidad. Gracias a las regulaciones provistas por la ASTM, se puede obtener un tiempo y una temperatura adecuada para cada una de las resinas existentes en el mercado

## 4.2 Recomendaciones

- Se debe tratar a las resinas como otro producto químico, por lo que se debe tener precaución y consultar las fichas de datos de seguridad como fuente principal de información para una correcta manipulación del producto.
- Tener en cuenta al momento de diseñar el elemento el material de soporte, ya que este ha de mitigar cualquier tipo de colapso en el modelo durante el proceso de conformación de la pieza.
- Respetar los tiempos de curado del material pues de eso dependerá la confiabilidad de los resultados a diferentes tiempos en un ambiente controlado.
- Al utilizar el equipo From Wash para la limpieza de las probetas, utilizar el alcohol Isopropílico a fin de no dañar los elementos impresos.
- Tener cuidado al momento del post curado con la temperatura, ya que si esta es elevada se corre el riesgo de sufrir una deformación del elemento, por lo general los proveedores detallan el tiempo de curado basándose en las normas ASTM
- Se debe tener mucho cuidado al realizar el ensayo de dureza Shore D de forma directa con el indentador para evitar errores al momento de obtener los datos, realizarlo en una superficie plana.
- Almacenar la resina y las probetas antes y después de la impresión 3D en un lugar seco, fresco y bien ventilado, alejado de fuentes de chispas calor o ignición.

## Referencias Bibliográficas

- [1] T. V. V. Herrero, *CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS DE TERMOPLÁSTICO FABRICADAS MEDIANTE IMPRESIÓN 3D*, Santiago de Chile, 2018.
- [2] J. V. Molina Osejos, *Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes*, Ecuador , 2016.
- [3] C. F. Urresta Pérez, *Caracterización de las propiedades mecánicas de materiales impresos mediante la técnica de impresión 3D fused deposition modeling (FDM)*, Ibarra, 2020.
- [4] G. T. d. I. g. Civil, «Impresión 3D (Historia),» 2015. [En línea]. Available: [https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local\\_repository/documents/17854.pdf](https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf). [Último acceso: 20 Diciembre 2020].
- [5] L. G. Reyes, «Documentary analysis of the advantages of 3D printing,» *Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, Mexico, 2007.
- [6] X. R. Campillo, «Proyecto de Diseño de Piezas Modeladas para la Realización de Prácticas de Laboratorio De La Asignatura De Resistencia De Materiales Y Teoría de Estructuras,» Cataluña, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech, 2018.
- [7] C. S. Corporation, «3D Printing and the Future of Manufacturing.,» 2012. [En línea]. Available: [http://assets1.csc.com/innovation/downloads/LEF\\_20123DPrinting.pdf](http://assets1.csc.com/innovation/downloads/LEF_20123DPrinting.pdf). [Último acceso: 12 Enero 2020].
- [8] D. T. Díaz, «Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos,» *Iconofacto*, vol. 12, nº 18, pp. 118-143, 2016.
- [9] A. B. R. René Jiménez Castillo, «La estereolitografía en la Facultad de Odontología de la UNAM,» *Revista Odontológica Mexicana*, vol. 9, p. 5, 2016.
- [10] N. española, *UNE-EN-ISO 2039*, Valencia, 2015.
- [11] C. J. F. J. G. C. Álvarez C, «Avances en equipamientos (I): La estereolitografía y sus materiales, un paso hacia el futuro,» *Cient Dent*, vol. 3, nº 2, pp. 151 - 156, 2016.
- [12] S. S. RESTREPO, «3Dnatives,» 4 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-directo-de-metal-por-laser-les-explicamos-todo/#!>. [Último acceso: 15 08 2020].
- [13] Ana Trevejo-Bocanegra, Daniel Fernández, Víctor Calderón-Ubaqui, «Estereolitografía: Conceptos básicos,» *Rev. Estomatol Herediana.*, vol. 2, nº 23, pp. 96-100, 2013.
- [14] E. W. L. D. Barker TM, «Accuracy of stereolithographic models,» *AustralasRadiol*, vol. 38, nº 2, pp. 106-11, 1934.

- [15] D. B. Zamora, «Shrillk el perfecto sustituto del plástico,» *Revista química de la Univesidad Pablo de Olavide*, pp. 6-7, 2013.
- [16] A. B. Moral, Mejora de la interfaz de materiales compuestos Cu-C para la evaluación térmica por medio de elementos carburigenos, Madrid, 2016.
- [17] M. P. Herrera, Obtención de materiales compuesto de matriz polimérica formulado incorporando tejidos y no tejidos de fibras naturales, Quito : Politécnica, 2015.
- [18] Bladimir Ramón, Natalia Hernadez, José Ramón Sarasua, «Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de compuestos con nanofibras de carbono (CNF) y nanotubos de carbono de múltiple pared (MWCNT) en una matriz termoplástica de poliéter sulfona (PES),» *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, p. 12, 2013.
- [19] Feng-feng Zhu<sup>1†</sup>, Wei-jiong Chen<sup>1†</sup>, Yong Xu<sup>†</sup>, Chun-lei Gao, Dan-dan Guan, Can-hua Liu, Dong Qian, Shou-Cheng Zhang and Jin-feng Jia, «Epitaxial growth of two-dimensional stanene,» *Nature material*, pp. 1-7, 2015.
- [20] Marlene Andersson, Qiupin Jia, Ana Abella, Xiau-Yeen Lee, Michael Landreh, Pasi Purhonen, Hans Hebert, Maria Tenje, Carol V Robinson, Qing Meng, Gustavo R Plaza, Jan Johansson, Anna Rising, «Biomimetic spinning of artificial spider silk from a chimeric minispidroin,» *Nature Chemical Biology*, pp. 30-35, 3 Marzo 2017.
- [21] R. - . L. - . B. - . D. V. - . Gómez, Estadística para Administración y Economía, Mexico: Pearson Education, 2004.
- [22] M. P. Wic, Diseño de Piezas modeladas con una impresora 3D para la realización de practicas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoria de estructuras, Catalunya: Universidad Politécnica de Cataluña, 2019.
- [23] J. V. M. Osejos, Caracterixación de Materiales Termoplásticos de ABS y PLA Semi-rígidos impresos en 3D con cinco Mallados Internos Diferentes, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [24] N. Fram-Schwartz, «Different Types of Additive Manufacturing,» 2 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/different-types-additive-manufacturing-noah-fram-schwartz>. [Último acceso: 15 Septiembre 2020].
- [25] G. I. R. D. Strucker, «Fabricación Aditiva,» Nabertherm, 17 Enero 2020. [En línea]. Available: [https://www.nabertherm.com/produkte/additivefertigung/additivefertigung\\_spanish.pdf](https://www.nabertherm.com/produkte/additivefertigung/additivefertigung_spanish.pdf). [Último acceso: 15 Septiembre 2020].
- [26] S. Q. Estadounidense, «Polimeros para impresión 3D y fabricación Aditiva personalizada,» ACS Publications, 30 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.7b00074>. [Último acceso: 17 Septiembre 2020].

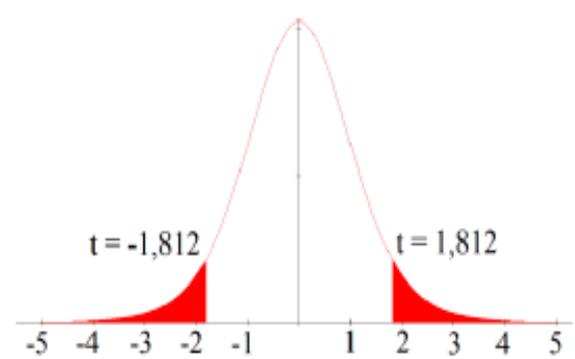
- [27] J. Torres, «Researchgate,» 02 Marzo 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/301598205\\_An\\_approach\\_for\\_mechanical\\_property\\_optimization\\_of\\_fused\\_deposition\\_modeling\\_with\\_polylactic\\_acid\\_via\\_design\\_of\\_experiments](https://www.researchgate.net/publication/301598205_An_approach_for_mechanical_property_optimization_of_fused_deposition_modeling_with_polylactic_acid_via_design_of_experiments). [Último acceso: 18 Septiembre 2020].
- [28] O. A. M. Z. Cole M., An approach for mechanical property optimization of fused deposition modeling with polylactic acid via design of experiments, Florida: Universidad Central de Florida, 2016.
- [29] G. M. S. G. M. M. Lanzotti A., The impact of process parameters on mechanical properties of parts fabricated in PLA with an open-source 3-D printer, Nápoles: Universidad de Nápoles Federico II, 2015.

# **ANEXOS**

ANEXO

Tabla 50: Datos t-student [15]

**TABLA  
DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT**



Ejemplos:  
Para  $n-1 = 10$  grados de libertad  
 $P(t > 1,812) = 0,05$   
 $P(t < -1,812) = 0,05$

$\alpha$ n-1	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	636,6192
2	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3021	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8593	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	<b>1,8125</b>	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370

ANEXO 2

Tabla 51 Equipos Utilizados en el Ensayo de Desgaste

	
<p>EQUIPO DE CALIBRACIÓN</p>	<p>BALANZA ANALÍTICA</p>
	
<p>RESETEO BALANZA</p>	<p>PROCESO DE CALIBRACIÓN</p>

Fuente: Autor

ANEXO 3

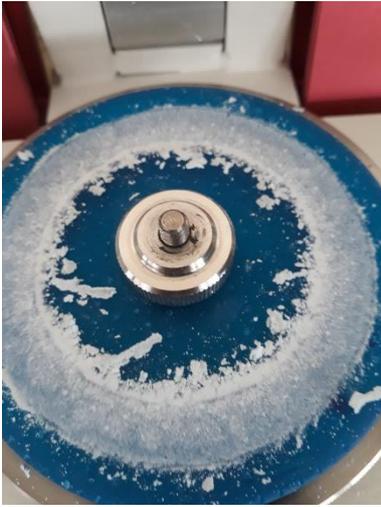
Tabla 52 Equipo Taber y Accesorios

	
<p>Equipo Taber</p>	<p>Accesorio</p>
	
<p>Rueda Abrasiva H-22</p>	<p>Extractor</p>

Fuente: Autor

ANEXO 4

Tabla 53: Desgaste Tough y Estandar

	
<p>Análisis Resina Tough</p>	<p>Análisis Resina Estandar</p>
	
<p>Probeta realizada el desgaste</p>	<p>Medición de Peso</p>

Fuente: Autor

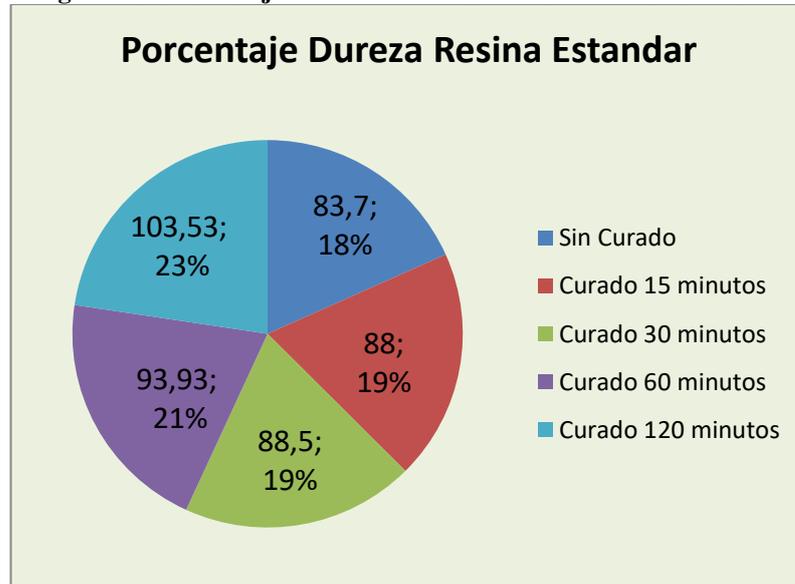
ANEXO 5:

Figura 51: Durómetro Shore D



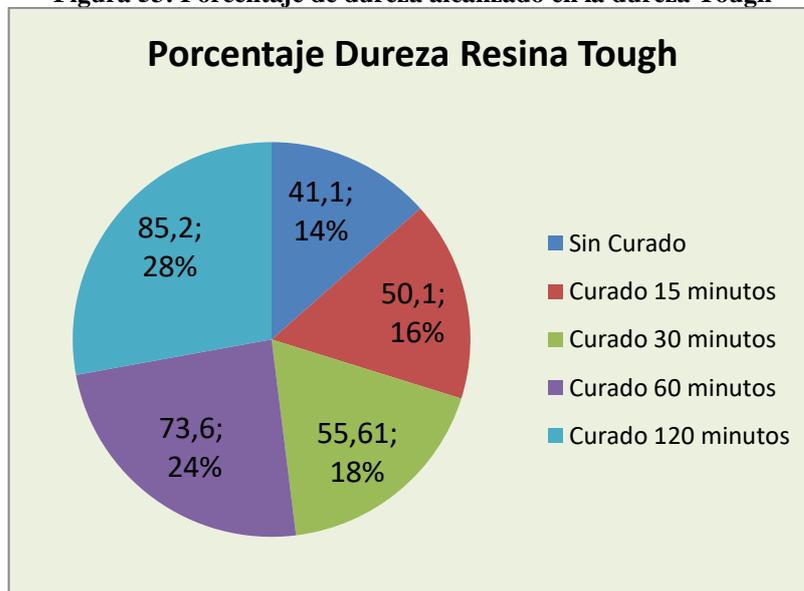
Fuente: Autor

Figura 52: Porcentaje de dureza alcanzado en la dureza Estándar



Fuente: Autor

Figura 53: Porcentaje de dureza alcanzado en la dureza Tough



Fuente: Autor