

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de procesos tecnológicos e industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa tecnológico de apoyo a la industria



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

PAP 4D08 Programa de Desarrollo Tecnológico para la Sustentabilidad

Ambiental Energética y Alimentaria

**Validación Experimental de Probetas Impresas en 3D para selección de
material de fabricación de prótesis externas de seno**

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ingeniería en Nanotecnología Gisela Yasmin González García

Profesor PAP: Dra. Gabriela Porras Quevedo; M.I.M. Fermín Castro Aragón

Tlaquepaque, Jalisco, julio de 2022

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	0
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	0
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	1
1.2 Caracterización de la organización.....	3
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	4
1.4. Planeación de alternativa(s).....	4
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora	9
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	12
1.7. Bibliografía y otros recursos	18
1.8. Anexos generales.....	18
2. Productos	24
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	25
3.1 Sensibilización ante las realidades	25
3.2 Aprendizajes logrados	25

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El presente PAP, es parte de un proyecto iniciado en el semestre de Primavera 2020. En el periodo de Verano 2022 en el Programa de Desarrollo Tecnológico para la Sustentabilidad Ambiental, Energética y Alimentaria se trabajó en la realización de ensayos de tensión y dureza a probetas de materiales TPU, ABS y PLA. Esto, con la finalidad de elegir el material adecuado para la fabricación de una prótesis externa de seno. Para lograr este propósito se plantearon tres objetivos específicos: Realizar una revisión en la literatura acerca de las propiedades mecánicas de los materiales TPU, ABS y PLA y de las pruebas de evaluación mecánica, establecer parámetros de pruebas mecánicas de los polímeros, realizar ensayos de tensión y dureza en probetas fabricadas por impresión 3D de los materiales TPU, ABS y PLA e interpretar de las gráficas obtenidas el comportamiento mecánico de los polímeros.

Para lo anteriormente mencionado, se realizaron ensayos de dureza Rockwell en cinco probetas, cuyos valores obtenidos se consideraron como no concluyentes. Posteriormente, se realizaron los ensayos de tensión, de los cuales se obtuvieron datos significativos para el cumplimiento del objetivo general.

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos de tensión se definió el material óptimo para la fabricación de la prótesis externa de seno.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

Este proyecto se desarrolla dentro del Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales bajo la supervisión del profesor Fermín Castro y de la Dra. Gabriela Quevedo.

Objetivo general:

Realizar una comparativa en las propiedades mecánicas del TPU, ABS y PLA a partir de pruebas mecánicas de deformación y dureza, para el desarrollo de una prótesis externa de seno.

Objetivos específicos:

- Realizar una revisión en la literatura acerca de las propiedades mecánicas de los materiales y de las pruebas de evaluación mecánica.
- Establecer parámetros de pruebas mecánicas de los polímeros.
- Realizar ensayos de tensión, dureza y fatiga en probetas fabricadas por impresión 3D de los materiales TPU, ABS y PLA.
- Interpretar de las gráficas obtenidas el comportamiento mecánico de los polímeros TPU, ABS y PLA.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

El cáncer de mama es una de las enfermedades que mayor afectan a las mujeres en el mundo y las pacientes son cada vez más jóvenes[5]. La mayoría de las mujeres que han sido sometidas a una mastectomía utilizan una prótesis mamaria. Si bien más del 50% de las mujeres usan prótesis mamarias de peso completo, el resto utiliza prótesis más livianas o incluso prótesis caseras de algodón o arroz [6].

La historia de las prótesis externas de seno comienza en el siglo XIX. En ese momento estaban hechas de goma y su diseño consistía en almohadillas de goma llenas de aire recubiertas de algodón. Los diseños más nuevos, como el de Laura Wolfe en 1904, se separaron del diseño lleno de aire, que era propenso a las perforaciones, a favor del relleno de plumas y seda. Las mastectomías se conocen desde el año 1861 y desde entonces las mujeres han [8].

Existen razones importantes para considerar el uso de una prótesis externa de seno. Según Anishya, et al. cuando el seno es removido existe un desbalance de peso, lo que puede causar

problemas de curvatura en la columna. Después de una mastectomía la salud psicológica de la mujer se puede ver afectada negativamente, por lo que una prótesis puede ayudar a recuperar la confianza en si misma pues mejorar la apariencia física de la mujer.

Existen diferentes tipos de prótesis externas de seno, las cuales se distinguen por la forma, tamaños y materiales utilizados. En cuanto a los materiales disponibles en el mercado actualmente se encuentran el gel de silicona, prótesis de espuma, prótesis de propileno y fibra sintética[8.].

Para hacer una correcta elección del material se deben realizar pruebas a los materiales poliméricos para obtener información sobre ciertas características. Las herramientas que nos ayudarán a obtener información sobre sus propiedades mecánicas son la máquina universal y el durometro. La máquina universal de ensayos tiene como función principal verificar la resistencia mediante ensayos de tracción o compresión, de los cuales podemos evaluar propiedades como elasticidad o esfuerzo obteniendo una gráfica de esfuerzo-deformación; el esfuerzo en el eje y se mide en MPa (Megapascuales) mientras que la-deformación en el eje x se mide en mm. Por otro lado, tenemos el durometro que nos permite medir la dureza de los materiales, en el cual se puede trabajar con diferente métodos como Brinell, Vickers, Shore y unos de los más usados Rockwell. En la Figura 1 y Figura 2 se muestran imágenes de un durometro y de una máquina universal de ensayos respectivamente.



Figura 1. Durómetro [16]



Figura 2. Máquina universal de ensayos [15]

1.2 Caracterización de la organización

El PAP de Desarrollo Tecnológico para la Sustentabilidad Ambiental, Energética y Alimentaria tiene como objetivo contribuir en la formación de ingenieros para el desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de recursos y beneficio de la humanidad.

El desarrollo de una prótesis externa de seno es un proyecto que se ha estado desarrollando desde el periodo de Primavera 2020 con alumnos de carreras como Mecánica y Nanotecnología del ITESO con diferentes enfoques. El objetivo principal de este proyecto es determinar los parámetros que caracterizan el comportamiento mecánico de los materiales con la finalidad de seleccionar un material para el desarrollo de una prótesis externa de seno. Se llevarán a cabo ensayos de tensión mediante una máquina universal de tensión y pruebas de dureza mediante un durómetro en las instalaciones del Departamento de Procesos Industriales en el edificio I dentro del ITESO.

La investigación y los trabajos realizados dentro de este proyecto durante el periodo de verano 2022 son llevados a cabo por la alumna Gisela González con seguimientos semanales por los profesores Fermín Castro Aragón, Gabriela Porras Quevedo y Blanca Valdivia.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

El cancer de mama es de las principales causas de muerte entre las mujeres alrededor del mundo. La mastectomía es la cirugía que involucra la extirpación total del seno. La prótesis externa de seno se usa como una alternativa a la cirugía de reconstrucción mamaria con el propósito de imitar la apariencia del seno, mejorar la simetría, mejorar la confianza en una misma, proteger la postura y prevenir problemas de espalda[8].

Comúnmente, las prótesis externas de seno son hechas a base de polímeros, sin embargo, no se ha trabajado lo suficiente para definir que propiedades en una prótesis externa de seno que puedan causar un impacto positivo en la calidad de vida de las mujeres que han sido sometidas a una mastectomía. Por tal motivo, es importante la selección adecuada del material para su posible implementación en el futuro. Algunos de los factores que influyen en la satisfacción con prótesis de seno son la comodidad, apariencia y costo.

Se propone realizar pruebas con los polímeros ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido poliláctico) y TPU (Poliuretano termoplástico) para evaluar sus propiedades físicas y que puedan ser compatibles con los requerimientos de la mujer. Esto se garantiza con el estudio comparación de diferentes materiales.

1.4. Planeación de alternativa(s)

En este proyecto se utiliza una maquina de ensayos universal y un durometro para realizar pruebas mecánicas en diferentes materiales como el ABS, PLA , TPU y se realiza una comparativa de los resultados experimentales obtenidos. Para la impresión de probetas se utiliza filamento PLA de la marca 3D solutech de 1.75 mm, para las probetas de ABS

filamento ABS se utiliza la misma marca que el PLA y para las probetas de TPU se utiliza filamento TPU de la marca NinjaTek 85A. Se consultan normas como guía para ensayos de dureza y tracción de plásticos.

Norma ASTM D638

La norma consultada para los ensayos de tensión es la ASTM D638 debido a que está diseñada para obtener datos de las pruebas de tracción para el control de materiales plásticos. Esta prueba se realiza en una prensa universal Lloyd con capacidad de 500 kg. Algunas de las principales propiedades que se evaluaron mediante este procedimiento son la resistencia a la tracción, módulo de tracción, alargamiento y la razón de poisson.

Dentro de esta norma, existen cuatro tipos de muestras de acuerdo a los materiales utilizados. La muestra seleccionada para nuestras pruebas de tensión es la tipo IV, la cual se utiliza cuando el material es rígido, semirígido o no rígidos. En la Figura 3 y 4 se pueden observar el esquema de probetas de tipo IV y sus dimensiones para el ensayo de tracción.

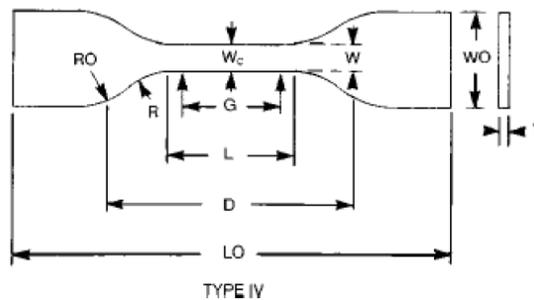


Figura 3. Esquema de probetas tipo IV para ensayo de tracción según norma ASTM D638-

03 [21]

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, T , mm [in.] ^A					Tolerances
	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl	4 [0.16] or under		
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	± 0.5 [± 0.02] ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	± 0.5 [± 0.02] ^C
WO —Width overall, min ^G	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	—	+ 6.4 [+ 0.25]
WCO —Width overall, min ^H	—	—	—	—	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]
LO —Length overall, min ^{I,J}	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]
G —Gage length ^K	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	—	7.62 [0.300]	± 0.25 [± 0.010] ^C
G_0 —Gage length ^L	—	—	—	25 [1.00]	—	± 0.13 [± 0.005]
D —Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	85 [2.5] ^J	25.4 [1.0]	± 5 [± 0.2]
R —Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	± 1 [± 0.04] ^C
RO —Outer radius (Type IV)	—	—	—	25 [1.00]	—	± 1 [± 0.04]

Figura 4. Dimensiones de los tipos de probeta para ensayo de tracción según norma ASTM D638-03 [21]

También, la norma señala que se deben realizar por lo mneos cinco ensayos para cada material. Es importante tomar en cuenta que se deben rechazar probetas que tengan algún defecto. Para determinar la velocidad se recurre a la tabla de la Figura 5.

Classification ^B	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min [in./min]	Nominal Strain ^C Rate at Start of Test, mm/mm·min [in./in.·min]
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 [0.2] \pm 25 %	0.1
		50 [2] \pm 10 %	1
		500 [20] \pm 10 %	10
	IV	5 [0.2] \pm 25 %	0.15
		50 [2] \pm 10 %	1.5
		500 [20] \pm 10 %	15
		1 [0.05] \pm 25 %	0.1
Nonrigid	III	10 [0.5] \pm 25 %	1
		100 [5] \pm 25 %	10
		50 [2] \pm 10 %	1
	IV	500 [20] \pm 10 %	10
		50 [2] \pm 10 %	1.5
		500 [20] \pm 10 %	15

^A Select the lowest speed that produces rupture in 1/2 to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).

^B See Terminology D 883 for definitions.

^C The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

Figura 5. Velocidad según el tipo de probeta, según norma ASTM D638-03 [21]

Para iniciar con las pruebas, se comienza con la medición del ancho y espesor de la probeta. Colocamos la probeta entre las mordazas y se señala en el programa la velocidad de ensayo y carga. Después se comienza con el ensayo. La mordaza comienza a estirar la probeta a

velocidad constante hasta que ocurre la ruptura y se comienza con la toma de datos y la obtención de la gráfica.

Norma ASTM D 785

Para los ensayos de dureza se toma en cuenta la norma ASTM D 785 en la que se determinan diferentes escalas de dureza Rockwell para plásticos. En el método Rockwell se mide la profundidad de penetración con una carga preestablecida.

En la Tabla 1 se pueden observar los parámetros básicos de cada material que se investigaron antes de realizar las pruebas experimentales.

Tabla 1. Parámetros básicos del TPU, ABS y PLA ([2], [18 - 20])

Características	TPU	ABS	PLA
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible 	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico opaco • Resistente a golpes • Resistente al desgaste • Se disuelve en acetona • No resistente a radiación UV 	<ul style="list-style-type: none"> • Hecho de materiales vegetales • Uso para suministros médicos <ul style="list-style-type: none"> • Corta vida útil
Físicas			
Temperatura de fusión	216°C	210 a 270°C	205 – 230°C
Densidad	1.18 – 1.21 g/cm ³	1.02 – 1.08 g/cm ³	1.23 – 1.25 g/cm ³
Mecánicas			
Dureza	85 Shore A	Brinell: HB90 – HB150 Rockwell R, 13.0 – 122 Valor promedio: 108	Rockwell: HR70 – HR90
Resistencia a la tracción	26 MPa	35 – 50 MPa	57.8 MPa
Módulo de Young (Módulo elástico longitudinal)	0.0285 – 0.0398 GPa 39.8 MPa	0.778 – 6.10 GPa Valor promedio: 2.30 2300 MPa	1280 MPa
Razón de Poisson	0.48 – 0.495	0.360 – 0.380 Valor promedio: 0.364	0.36

En la Tabla 2 se presenta el plan de trabajo para efectuar el proyecto. Se muestra las actividades realizadas, los recursos utilizados y el tiempo requerido para lograr las actividades, así como la semana en la que se realizó cada actividad. Este plan de acción tiene la intención de disponer del tiempo para cumplir con los objetivos establecidos.

Tabla 2. Cronograma de actividades previstas para la realización del proyecto

Actividad	Recursos	Tiempo (días)	Mayo			Junio			Julio	
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Planeación										
Lectura para entender el contexto	TP	3								
Investigación de propiedades mecánicas de los tres polímeros	TP, AF, AG	3								
Investigar Normas para ensayos de tensión	TP	3								
Investigar máquina universal de ensayos	TP	2								
Investigar durometro	TP	1								
Pruebas de dureza	DM	1								
Pruebas de tensión	ME	2								

En la tabla 3 se muestra el significado de las abreviaturas utilizadas para referir los recursos necesarios de cada actividad planteada.

Tabla 3. Significado de las abreviaturas utilizadas para identificar los recursos utilizados en el cronograma de actividades

Recursos utilizados	
Abreviatura	Significado
TP	Trabajo Personal
AF	Asesoría M.I.M. Fermín Castro
AG	Asesoría Dra. Gabriela Porras
DM	Durómetro
ME	Máquina universal de ensayos

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Ensayo de propiedades mecánicas para polímeros ABS, TPU Y PLA

Para realizar la prueba de tensión para los polímeros se utilizó la prensa Lloyds para pruebas de tensión, flexión y elongación con capacidad de 500 kg (Observar Figura 3). Se cumplió con el equipo de seguridad requerido el cual consistía en bata de laboratorio, botas y lentes de protección. Antes de comenzar a operar la máquina se verificó que la máquina estuviera libre de cualquier elemento que pudiera afectar su funcionamiento o desempeño a la prueba a realizar.



Figura 3. Prensa Universal Lloyds con capacidad de 500 kg

Se requirieron cinco probetas de cada tipo de polímero (ABS, TPU y PLA). Siguiendo la norma ASTM D638, se empleó la probeta tipo IV, con un espesor de 3.4 mm y una longitud de 115 mm.

Se comenzó abriendo las mordazas y se colocó la probeta para ser sujeta. Se procedió a aplicar una velocidad de 5 mm/min para las probetas de ABS y PLA de acuerdo a lo señalado en el tipo de espécimen IV de la tabla de designaciones para la velocidad de prueba de la Norma ASTM D638. La velocidad aplicada se debe a que ambos son materiales rígidos (tienen un módulo elástico mayor a 700 MPa). En el caso del TPU, la velocidad cambió a 50 mm/min por ser un material no rígido (Módulo elástico menor a 70 MPa).

Se inició la máquina y la celda de carga comenzó a aplicar una fuerza de tensión. Se obtuvo la curva esfuerzo-deformación.

Se procedió a calcular la resistencia a la tensión, valores de elongación, módulo de Young (Módulo elástico) y la razón de Poisson. A continuación se presentan las fórmulas para las diferentes propiedades.

- Resistencia a la tensión.

$$s = \frac{P}{a} \quad (1)$$

$P =$ *Máxima fuerza (N)*

$a =$ *área de la sección transversal (m²)*

- Alargamiento

$$E\%_0 = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad (2)$$

$l_f =$ *Longitud al fallo (mm)*

$l_0 =$ *Longitud inicial (mm)*

- Módulo de Young (Módulo de elasticidad)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

$\sigma =$ *Tensión uniaxial (Pa)*

$\varepsilon =$ *Deformación*

- Razón de Poisson

$$\mu = \frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_a} \quad (5)$$

$\varepsilon_T =$ *deformación transversal*

$\varepsilon_a =$ *deformación axial (longitudinal)*

Prueba de dureza para polímeros (ABS, TPU Y PLA)

La herramienta utilizada para medir la dureza fue el durómetro electrónico *Mitutoyo HR-522/522L* (Observar Figura 4). Este durometro trabaja con las escalas Rockwell y Brinell. Se empleó la escala Rockwell debido a que es de las más comunes.



Figura 4 . Durómetro *Mitutoyo HR-522/522L*

Se comenzó la prueba calibrando el durómetro, para ello se requirió de un bloque patrón. Con base en la tabla de escalas de dureza Rockwell de la norma ASTM D785, elegimos la escala R para medir la dureza del ABS, TPU y PLA. Se seleccionó el indentador bola de 12.70 mm (1/2 in) debido a la escala seleccionada y se colocó en el durómetro fijo. Se colocó primeramente la probeta de ABS en la mesa y se subió la plataforma. El equipo realiza una precarga de 98.07 N(10 kg), para después seleccionar la carga de 588.4 N (60 kg), se mantiene la carga durante 10 s. El equipo nos marcó el valor de la dureza en la pantalla. Se hicieron cinco pruebas para cada polímero mediante el mismo procedimiento.

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Se llevó a cabo las pruebas de dureza pertinentes para cada polímero. Debido a que los materiales con los que trabajamos son blandos, se utilizó el indentador bola de 1/16 (1.588 mm), el cual corresponde a la escala F y utiliza una fuerza total de 588.4 N (60 Kg).

En la Tabla 4 se observan los resultados obtenidos del ABS, los cuales fueron valores que

En cambio, los valores de dureza que se obtuvieron del PLA (Tabla 5) son valores negativos, por lo que quedan fuera de la escala. Esto se debe a que el equipo, método o escala no es el adecuado para el tipo de material empleado.

Tabla 4. Resultados de dureza obtenidos del ABS escala HRF

ABS					
Escala	N°Probeta	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
HRF	1	58	58.5	57.8	58.1
HRF	2	56.9	94.4	88.4	79.9
HRF	3	93.5	101	103	99.166667
HRF	4	96	93.8	94.9	94.9
HRF	5	97.1	96.2	96.8	96.7

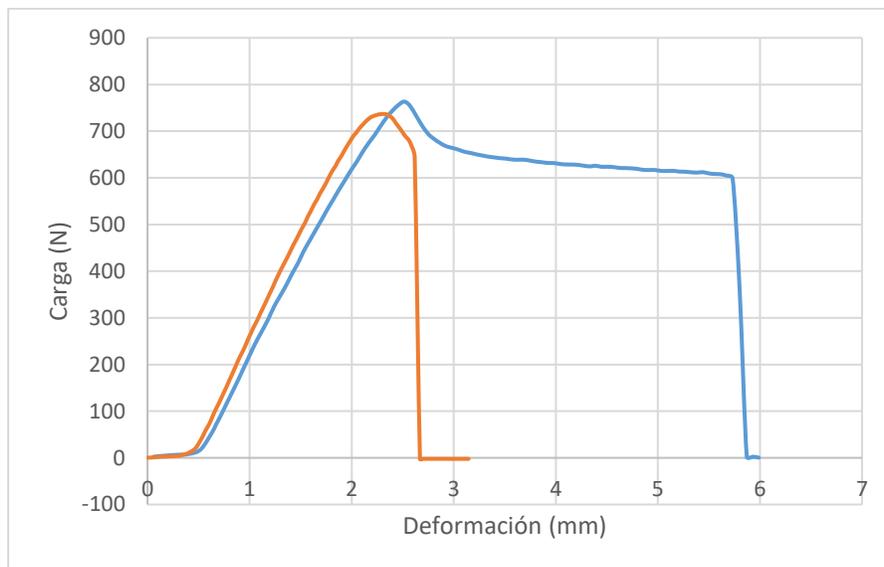
Tabla 5 . Resultados de dureza obtenidos del PLA escala HRF

PLA				
Escala	N°Probeta	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
HRF	1	-112.6	-114.7	-112.3
HRF	2	-121.1	-131.5	-126.9
HRF	3	-94.9	-128	-135.1
HRF	4	-116.6	-108.5	-122.9
HRF	5	-115.2	-124.8	-112

En cuanto al TPU, no se logró obtener ningún resultado debido a que el durometro no marcaba ningún valor, por lo que se considera que el equipo o método no era el correcto para el material analizado. Se considera que el equipo sólo es adecuado para la medición de metales y no materiales más blandos. Por lo tanto, las pruebas de dureza se consideran no concluyentes.

De los datos obtenidos al realizar los seis ensayos de tensión se realizaron sus respectivas gráficas para su análisis. Para obtener el valor del módulo de elasticidad de cada material se obtuvo el valor máximo del limite elástico.

Si observamos la Gráfica 1 nos damos cuenta de que el ABS, tuvo poca deformación pero resistió una carga por arriba de los 700 N. En la Gráfica 2, podemos observar que la carga soportada por el PLA fue menor que la del ABS y de igual manera la deformación fue mínima. En cambio si observamos la Gráfica 3 que explica el comportamiento del TPU, no se alcanzó la carga máxima pero es evidente que la deformación fue mayor que la de los polímeros anteriores. Por lo tanto, el comportamiento del TPU es más elástico que el del PLA y el ABS.

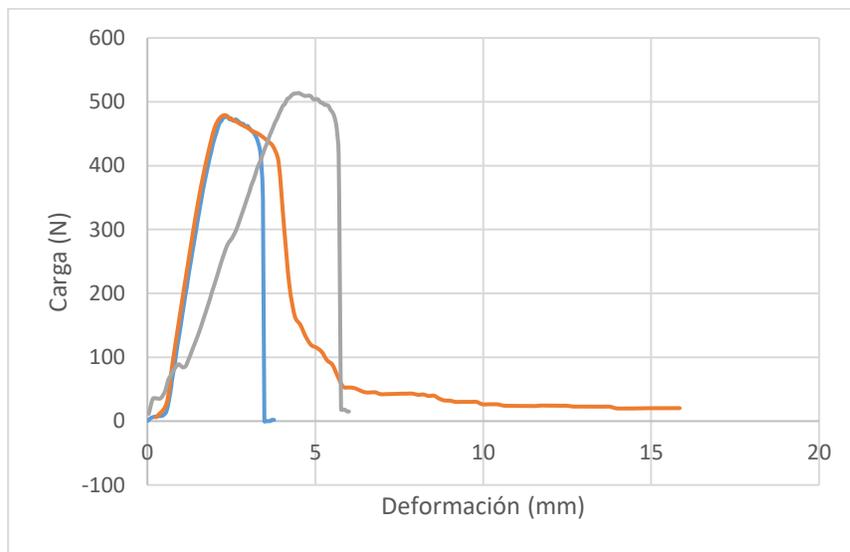


Gráfica 1. Gráfica Fuerza vs Deformación de ABS

Tabla 5. Resultados obtenidos de pruebas mecánicas ABS

Parámetros	Probeta 1	Probeta 2
Lo (mm)	115	115
Lf (mm)	115.21	116.53
Fmax (N)	763.33	736.76

Esfuerzo máximo (MPa)	34.016	32.832
Alargamiento (mm)	0.21	1.53
Deformación unitaria	0.002	0.013
Módulo de elasticidad (MPa)	18628.08	2467.80
Ley de Hooke (MPa)	34.02	32.08
Razón de Poisson	0.18	0.18

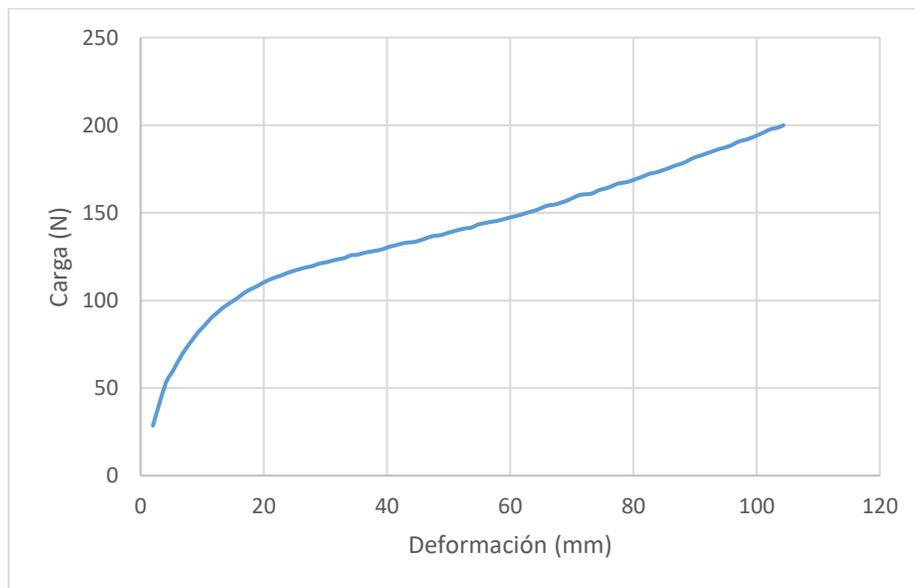


Gráfica 2. Gráfica Fuerza vs Deformación de PLA

Tabla 6. Resultados obtenidos de pruebas mecánicas PLA

Parámetros	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Lo (mm)	115	115	115
Lf (mm)	116.64	118.82	116.74

Fmax (N)	472.4	479.06	513.82
Esfuerzo máximo (MPa)	21.052	21.348	22.898
Alargamiento (mm)	1.64	3.82	1.74
Deformación unitaria	0.014	0.033	0.015
Módulo de elasticidad (MPa)	1476.19	642.69	1513.43
Ley de Hooke (MPa)	21.05	21.35	22.90
Razón de Poisson	0.18	0.18	0.18



Gráfica 3. Gráfica Fuerza vs Deformación de TPU

Tabla 7. Resultados obtenidos de pruebas mecánicas TPU

Parámetros	Probeta 1
Lo (mm)	115
Lf (mm)	123.8
Fmax (N)	113.01
Esfuerzo máximo (MPa)	5.036
Alargamiento (mm)	8.8
Deformación unitaria	0.077
Módulo de elasticidad (MPa)	65.81
Ley de Hooke (MPa)	5.04
Razón de Poisson	0.13

Entre mayor sea el módulo de elasticidad, el material será más rígido y entre menor sea el módulo de elasticidad el material será más dúctil. El módulo de elasticidad más alto de los tres materiales fue el del ABS debido a que soporto más carga y el de mayor deformación fue el TPU.

Lo que buscamos es que el material no sea rígido para el producto final. Por lo tanto, podemos decir que el material con mejores propiedades mecánicas para la función que le queremos dar es el TPU.

1.7. Bibliografía y otros recursos

[1] Cruz, P., Hernandez, F. J., Zuñiga, M., Rodríguez, J. M., Figueroa, R., Vertiz, A., & Pineda, Z. (2018). A biomimetic approach for designing a full external breast prosthesis: post-mastectomy. *Applied Sciences*, 8(3), 357.

[2] Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. *Advanced drug delivery reviews*, 107, 367-392.

[3] Glaus, S. W., & Carlson, G. W. (2009). Long-Term Role of External Breast Prostheses After Total Mastectomy. *The breast journal*, 15(4), 385-393.

[4] Hojan, K., Manikowska, F., Chen, B. P. J., & Lin, C. C. (2016). The influence of an external breast prosthesis on the posture of women after mastectomy. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 29(2), 337-342.

[5*] Liang, Y. N., & Xu, B. (2015). Factors influencing utilization and satisfaction with external breast prosthesis in patients with mastectomy: A systematic review. *International Journal of Nursing Sciences*, 2(2), 218-224.

- [6/] Hojan, K., & Manikowska, F. (2017). Can the Weight of an external breast prosthesis influence trunk biomechanics during functional movement in postmastectomy women?. *BioMed Research International*, 2017.
- [7] Hojan, K. (2020). Does the weight of an external breast prosthesis play an important role for women who undergone mastectomy?. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 25(4), 574-578.
- [8.] Anishya, A., & Appavu, S. (2021). External breast prosthesis for post mastectomy women. *Asian Journal of Nursing Education and Research*, 11(3), 427-430.
- [9] McGhee, D. E., Mikilewicz, K. L., & Steele, J. R. (2020). Effect of external breast prosthesis mass on bra strap loading and discomfort in women with a unilateral mastectomy. *Clinical Biomechanics*, 73, 86-91.
- [10] Montejo Maillo, B., Blaya San, A., Armisen Bobo, P., Montero Moreno, M. ^a. E., Blaya Haro, F., & Juanes, J. A. (2020, October). Methodology of custom design and manufacturing of 3D external breast prostheses*. In *Eighth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 450-457).
- [11] Peters, W. J. (1981). The mechanical properties of breast prostheses. *Annals of Plastic Surgery*, 6(3), 179-181.
- [12] Ramírez, E. A., Corona, I., Aragón, F. C., Alemón, B., & Ramírez, Y. (2020, October). Computational Design of External Breast Prosthesis According to Physical Properties of Elastomeric Materials. In *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica* (Vol. 7, No. 1, pp. 493-500).

- [13] Schubert, D. W., Kaschta, J., Horch, R. E., Walter, B. L., & Daenicke, J. (2014). On the failure of silicone breast implants: new insights by mapping the mechanical properties of implant shells. *Polymer international*, 63(2), 172-178.
- [14] Serna, L., & Albán, F. (2003). Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. *Ingeniería y competitividad*, 5(1), 16-26.
- [15] Sosa Díaz, J. C. (2018). *Análisis y determinación de propiedades a tracción de productos fabricados de material fundido ABS utilizando una impresora 3D* (Bachelor's thesis).
- [16] Techlabsystems. ASTM D638. <https://www.metrotec.es/normas/astm/astm-d638/>
- [17] ZwickRoell. Ensayos de dureza en materiales plásticos. <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/ensayos-de-dureza/>
- [18] Accesorios para impresión. [Impresoras 3D y consumibles – todo para trabajo con impresión 3D \(3dlaboratorio.es\)](http://3dlaboratorio.es)
- [19] MatWeb. Material Property Data. <https://www.matweb.com/>
- [20] Ninjaflex 3D Printer Filament (85A) <https://ninjatek.com/shop/ninjaflex/>
- [21] ASTM International. (2012). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies* (pp. 1-3). West Conshohocken, Estados Unidos.

<https://forward-am.com/>

1.8. Anexos generales

NinjaFlex® 3D Printing Filament

Flexible Polyurethane Material for FDM Printers

NinjaFlex flexible filament leads the industry with superior flexibility and longevity compared to non-polyurethane materials. Its consistency in diameter and ovality (roundness) outpaces other polyurethane materials. Made from a specially formulated thermoplastic polyurethane (TPU) material, this patented technology contains a low-tack, easy-to-feed texture. The result is uniquely flexible, strong prints ideal for direct-drive extruders.

General Properties	Test Method	Imperial	Metric
Specific Gravity	ASTM D792	1.19 g/cc	1.19 g/cc
Moisture Absorption - 24 hours	ASTM D570	0.22 %	0.22 %

Mechanical Properties	Test Method	Imperial	Metric
Tensile Strength, Yield	ASTM D638	580 psi	4 Mpa
Tensile Strength, Ultimate	ASTM D638	3,700 psi	26 Mpa
Tensile Modulus	ASTM D638	1,800 psi	12 Mpa
Elongation at Yield	ASTM D638	65%	65%
Elongation at Break	ASTM D638	660%	660%
Toughness (integrated stress-strain curve; calculated stress x strain)	ASTM D638	12,000 in-lbF/in ³	82.7 m ³ N/m ³ x 10 ⁶
Hardness	ASTM D2240	85 Shore A	85 Shore A
Impact Strength (notched Izod, 23C)	ASTM D256	2.0 ft.lbf/in ²	4.2 kJ/m ²
Abrasion Resistance (mass loss, 10,000 cycles)	ASTM D4060	0.08 g	0.08 g

Thermal Properties	Test Method	Imperial	Metric
Melting Point (via Differential Scanning Calorimeter)	DSC	420° F	216° C
Glass Transition (T _g)	DSC	-31° F	-35° C
Heat Deflection Temperature (HDT) @ 10.75psi/ 0.07 MPa	ASTM D648	140° F	60° C
Heat Deflection Temperature (HDT) @ 66psi/ 0.45 MPa	ASTM D648	111° F	44° C

NinjaTek filament is capable of being printed by a variety of printers in a variety of configurations. This specification sheet gives results as they pertain to the defined test standard and specimen details. Different slicing and/or printing configurations, test conditions, ambient environments, etc. may result in different results.

Impact Strength and Heat Deflection Temperature results were both provided by an accredited university testing laboratory. Specific Gravity and Hardness are innate characteristics of the material. Moisture Absorption, values associated with the Tensile Strength tests, Melting Point and Glass Transition data were prepared by Fenner Drives, Inc.

NinjaTek makes no warranties of any type, express or implied, including, but not limited to, the warranty of fitness for a particular application.

Test Specimen Details (by ASTM Test Number)

All printed specimens were created using the TAZ5 printer 0.75mm nozzle. For ASTM D638 tests, the extrusion multiplier is 1.05.

Specific Gravity (D792): Results determined by nature of material.

Moisture (D570): 30g of filament tested in moisture analyzer evaluated at 120°C until the mass change is < 0.005% over 1 minute.

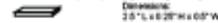
Tensile (D638): Dogbone Style IV, 100% fil, diagonal line fil. Dimensions: 5mm thick. See drawing for other dimensions.



Hardness (D2240): Solid testing block.



Impact (D256): Un-notched test specimen, notch added post print by testing facility.



Abrasion (D4060): Rectangular block sized to fit labor abrasion.



HDT (D648): Bar shape.



Ficha técnica

Ultrafuse ABS

Fecha de revisión: 19.11.2019

Versión: 5.2

Información general

Componentes

Filamento de acrilonitrilo butadieno estireno para modelado por deposición fundida.

Descripción del producto

El ABS es el segundo material más usado en el campo de la impresión 3D. Es resistente, flexible y presenta una gran resistencia al calor. El ABS es uno de los plásticos preferidos para aplicaciones técnicas y profesionales. Este material puede suavizarse con acetona. Para imprimir correctamente con ABS, necesitará una cama de impresión caliente. El filamento se encuentra disponible en 9 colores.

Presentación comercial y almacenamiento

El filamento Ultrafuse ABS debe almacenarse en su envase hermético original, en un lugar limpio y seco, a una temperatura entre 15 y 25 °C. Una vez almacenado, el producto tendrá una vida útil mínima de 12 meses si se respetan las condiciones recomendadas de almacenamiento.

Seguridad del producto

Recomendaciones: Procese los materiales en una sala bien ventilada o use sistemas profesionales de extracción de aire. Para obtener información adicional en más detalle, consulte la ficha de datos de seguridad del producto.

Aviso

La información contenida en el presente documento se basa en nuestro conocimiento y nuestra experiencia actuales. Debido a los numerosos factores que pueden afectar al procesamiento y la aplicación de nuestro producto, la presente información no exime a los responsables del procesamiento de la obligación de llevar a cabo sus propias investigaciones y pruebas; asimismo, tampoco implica ningún tipo de garantía en relación con propiedades específicas o con la idoneidad del producto para un determinado fin. Las descripciones, los esquemas, las fotografías, los datos, las proporciones, los pesos, etc., incluidos en el presente documento pueden sufrir cambios sin previo aviso y no deben considerarse como elementos contractuales que garanticen una determinada calidad del producto. El receptor de nuestros productos es el responsable de asegurarse de que se respeten las leyes de propiedad intelectual y el resto de disposiciones legales aplicables.

Ficha técnica

Ultrafuse PLA

Fecha de revisión: 29.12.2020

Versión: 4.4

Información general

Componentes

Filamento de ácido poliláctico para modelado por deposición fundida.

Descripción del producto

El PLA es uno de los materiales más usados en la impresión 3D. BASF 3DPS dispone de PLA en una amplia gama de colores. Su aspecto brillante atrae con frecuencia a quienes imprimen modelos para exhibición o artículos para el hogar. Su origen vegetal es apreciado por muchas personas. Correctamente enfriado, el PLA ofrece una alta velocidad de impresión y bordes muy definidos. Si a ello le sumamos la baja deformabilidad del modelo impreso, resulta un plástico muy popular para impresoras domésticas, aficionados a la impresión 3D, creación de prototipos y centros educativos.

Presentación comercial y almacenamiento

El filamento Ultrafuse PLA debe almacenarse en su envase hermético original, en un lugar limpio y seco, a una temperatura entre 15 y 25 °C. Una vez almacenado, el producto tendrá una vida útil mínima de 12 meses si se respetan las condiciones recomendadas de almacenamiento.

Seguridad del producto

Recomendaciones: Procese los materiales en una sala bien ventilada o use sistemas profesionales de extracción de aire. Para obtener información adicional en más detalle, consulte la ficha de datos de seguridad del producto.

Aviso

La información contenida en el presente documento se basa en nuestro conocimiento y nuestra experiencia actuales. Debido a los numerosos factores que pueden afectar al procesamiento y la aplicación de nuestro producto, la presente información no exime a los responsables del procesamiento de la obligación de llevar a cabo sus propias investigaciones y pruebas; asimismo, tampoco implica ningún tipo de garantía en relación con propiedades específicas o con la idoneidad del producto para un determinado fin. Las descripciones, los esquemas, las fotografías, los datos, las proporciones, los pesos, etc., incluidos en el presente documento pueden sufrir cambios sin previo aviso y no deben considerarse como elementos contractuales que garanticen una determinada calidad del producto. El receptor de nuestros productos es el responsable de asegurarse de que se respeten las leyes de propiedad intelectual y el resto de disposiciones legales aplicables.

2. Productos

Nombre y código del PAP	4D08 Programa de Desarrollo Tecnológico para la Sustentabilidad Ambiental, Energética y Alimentaria
-------------------------	---

Nombre del proyecto	Validación xperimental de Probetas Impresas en 3D para selección de material de fabricación de prótesis externas de seno
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Reporte de ensayos de tensión, dureza y fatiga en probetas fabricadas por impresión 3D de los materiales TPU, ABS y PLA para la selección del material adecuado para la fabricación de prótesis externas de seno.
Autores:	Gisela Yasmin González García

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Durante la investigación del proyecto se hizo consciencia acerca del contexto que viven las mujeres después de la realización de una mastectomía. Después de la cirugía, las mujeres se enfrentan a problemas de salud física y psicológica. Por esta razón es importante considerar la implementación de nuevos productos o mejoras en los productos que ya existen para mejorar la calidad de vida de las mujeres sometidas a una mastectomía.

3.2 Aprendizajes logrados

Durante este proyecto se desarrolló la capacidad de organización y de estructuración del proyecto. Conforme investigaba me daba cuenta de que había demasiada información acerca del tema, así que poco a poco fui organizando para darle forma al proyecto. Se requirió de la investigación para poder interpretar los datos obtenidos en los ensayos de propiedades mecánicas.