

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
MECATRÓNICA

“PRUEBA DE CONCEPTO PARA SISTEMAS DE ELECTRÓNICA FLEXIBLE USANDO IMPRESIÓN 3D”

AUTORA: BALSECA CIFUENTES, ANGIE LUCIANA

DIRECTOR: ING. LARA PADILLA, HERNÁN VINICIO

31-08- 2023

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





Antecedentes y justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo futuro

CONTENIDO

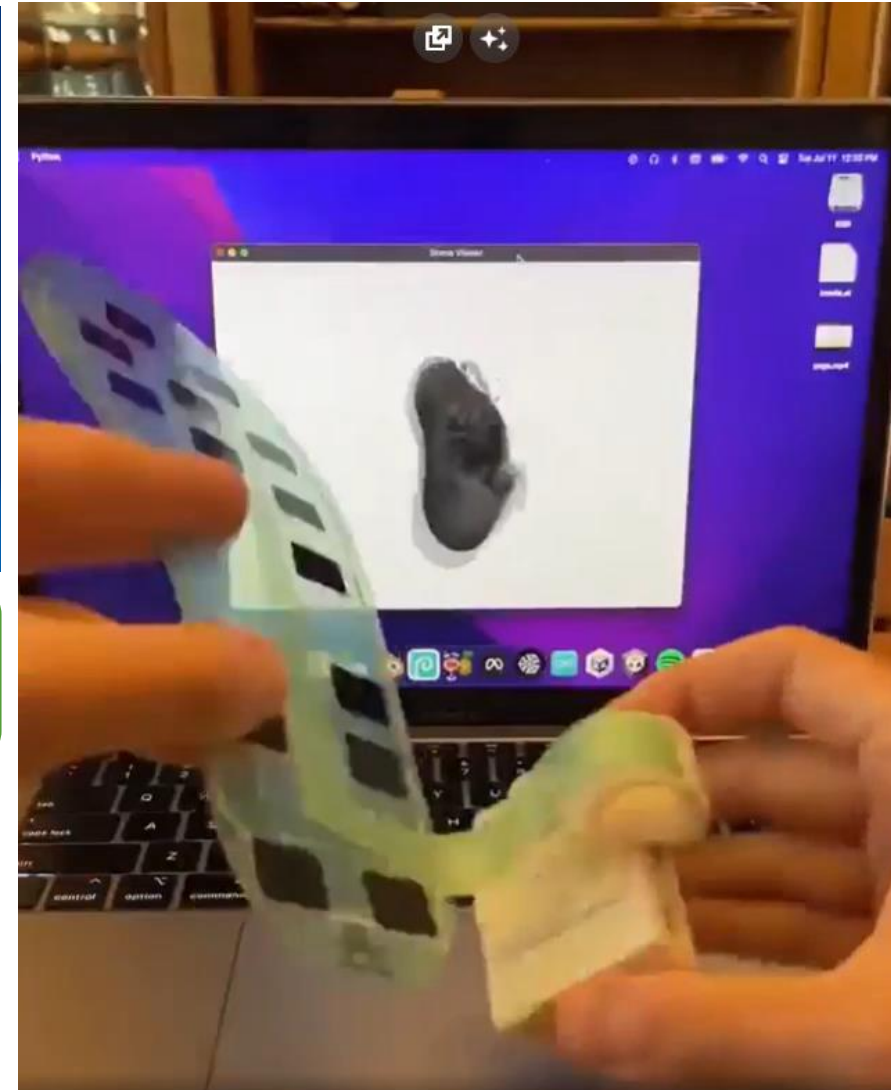
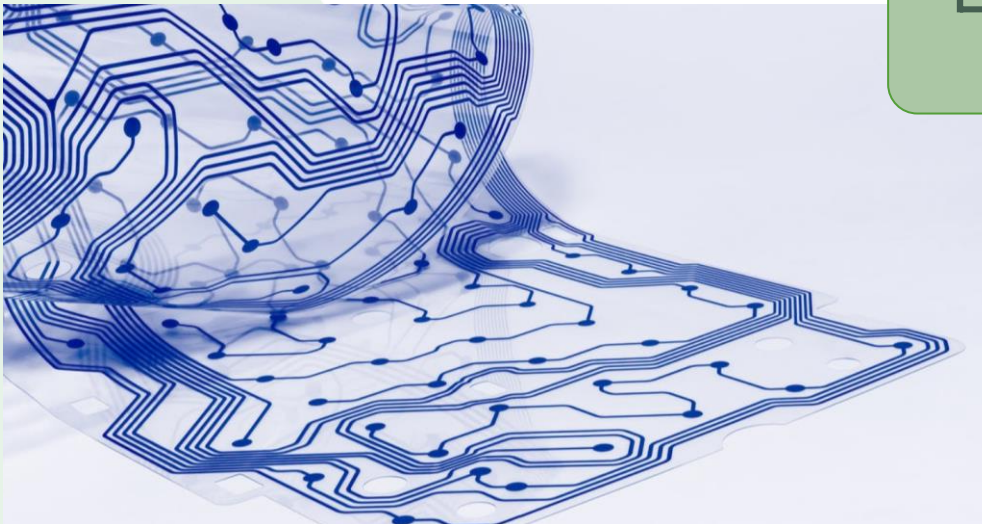


Antecedentes y justificación

Manufactura
Aditiva



Electrónica
flexible



(De Falchi, s. f.; Formlabs, s. f.)

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la
literatura

Metodología

Resultados y
discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Alcance

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

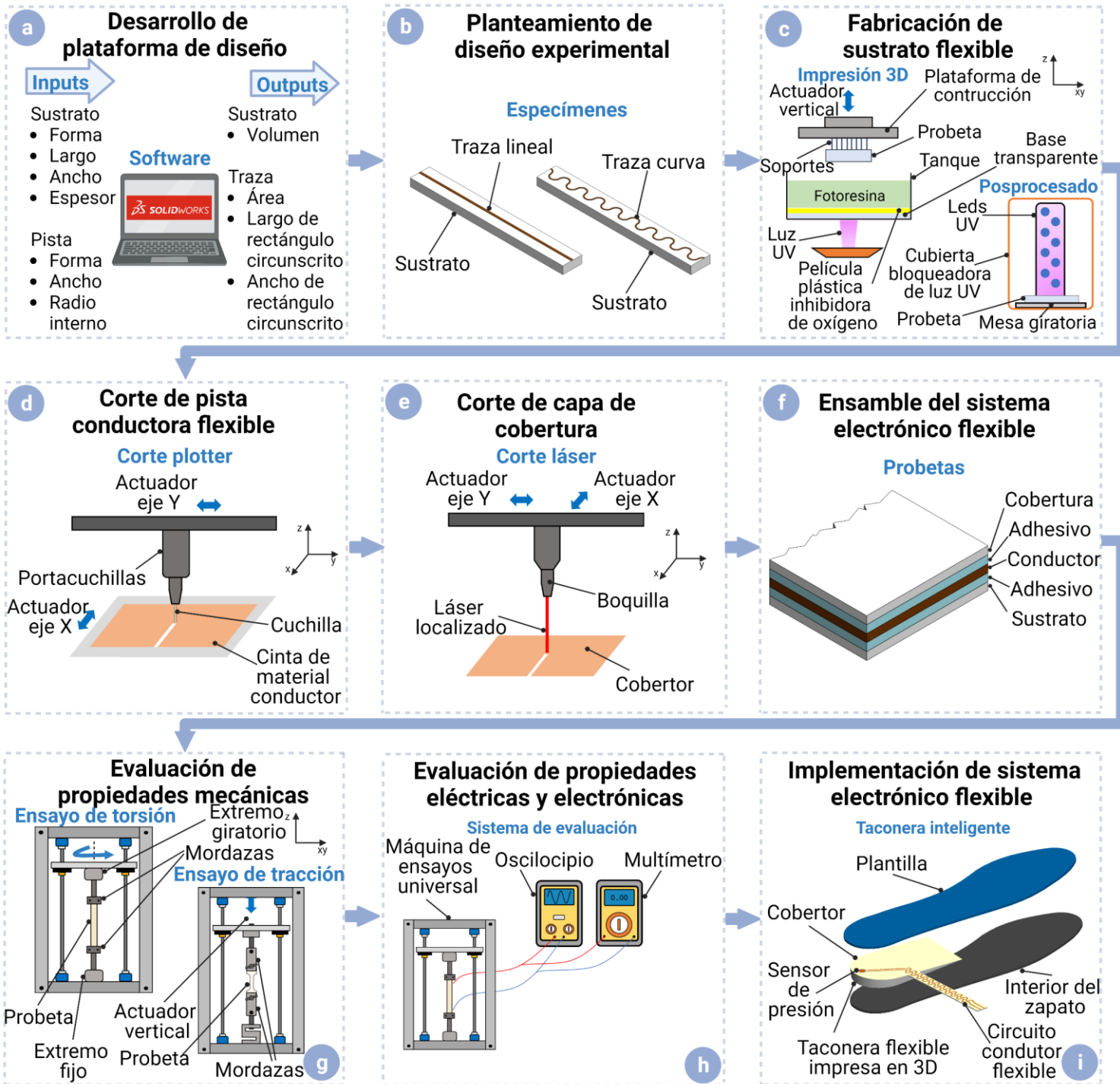
Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro





Objetivos

ESPECÍFICO 1

Desarrollar una plataforma de diseño para estructuras flexibles.

ESPECÍFICO 2

Evaluar las propiedades mecánicas asociadas al estiramiento y doblado.

GENERAL

Desarrollar una prueba de concepto para sistemas de electrónica flexible usando impresión 3D.

ESPECÍFICO 3

Evaluar las propiedades eléctricas y electrónicas del sistema.

ESPECÍFICO 4

Implementar el sistema electrónico flexible en una aplicación industrial.

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Prueba de concepto

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro





Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

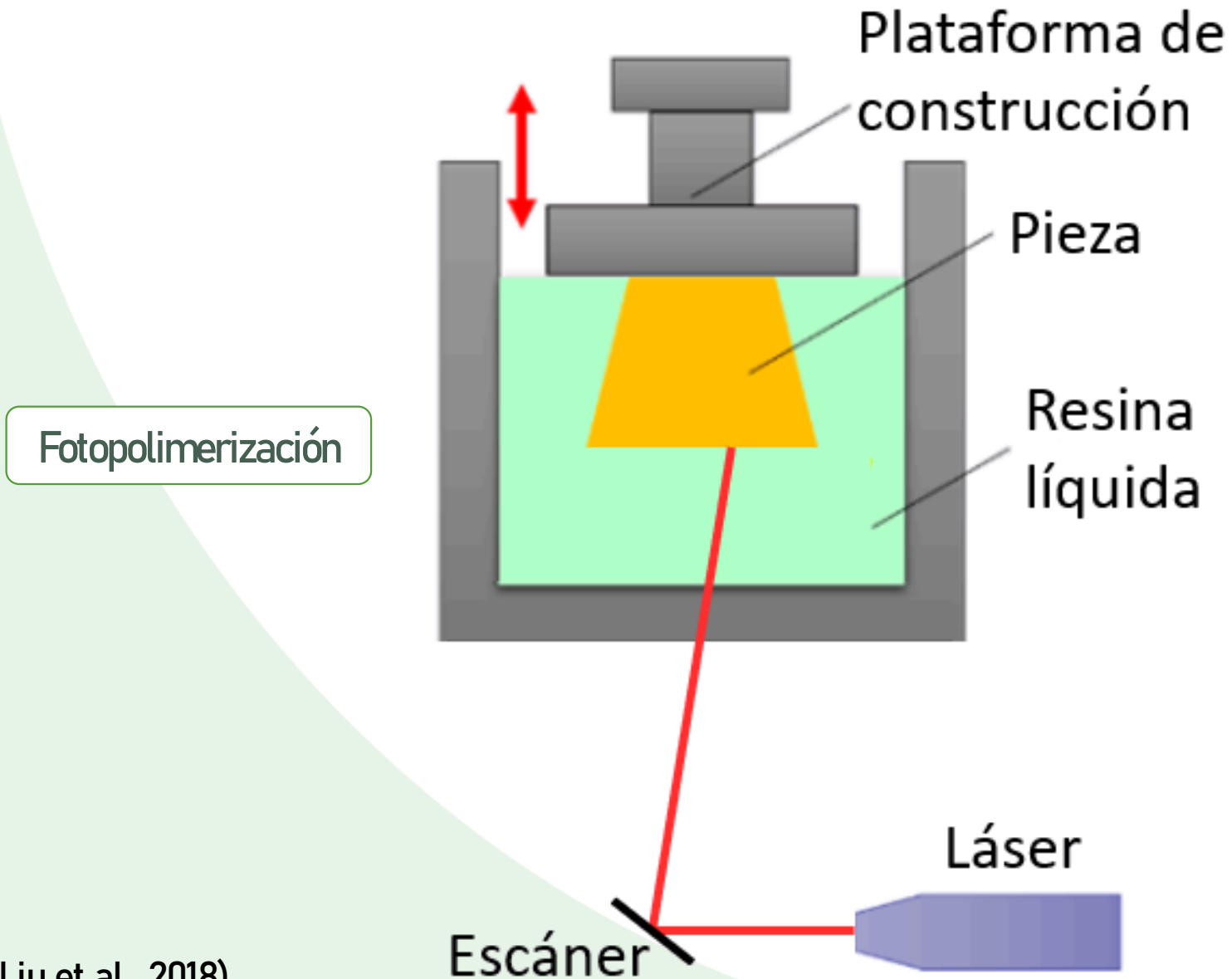
Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

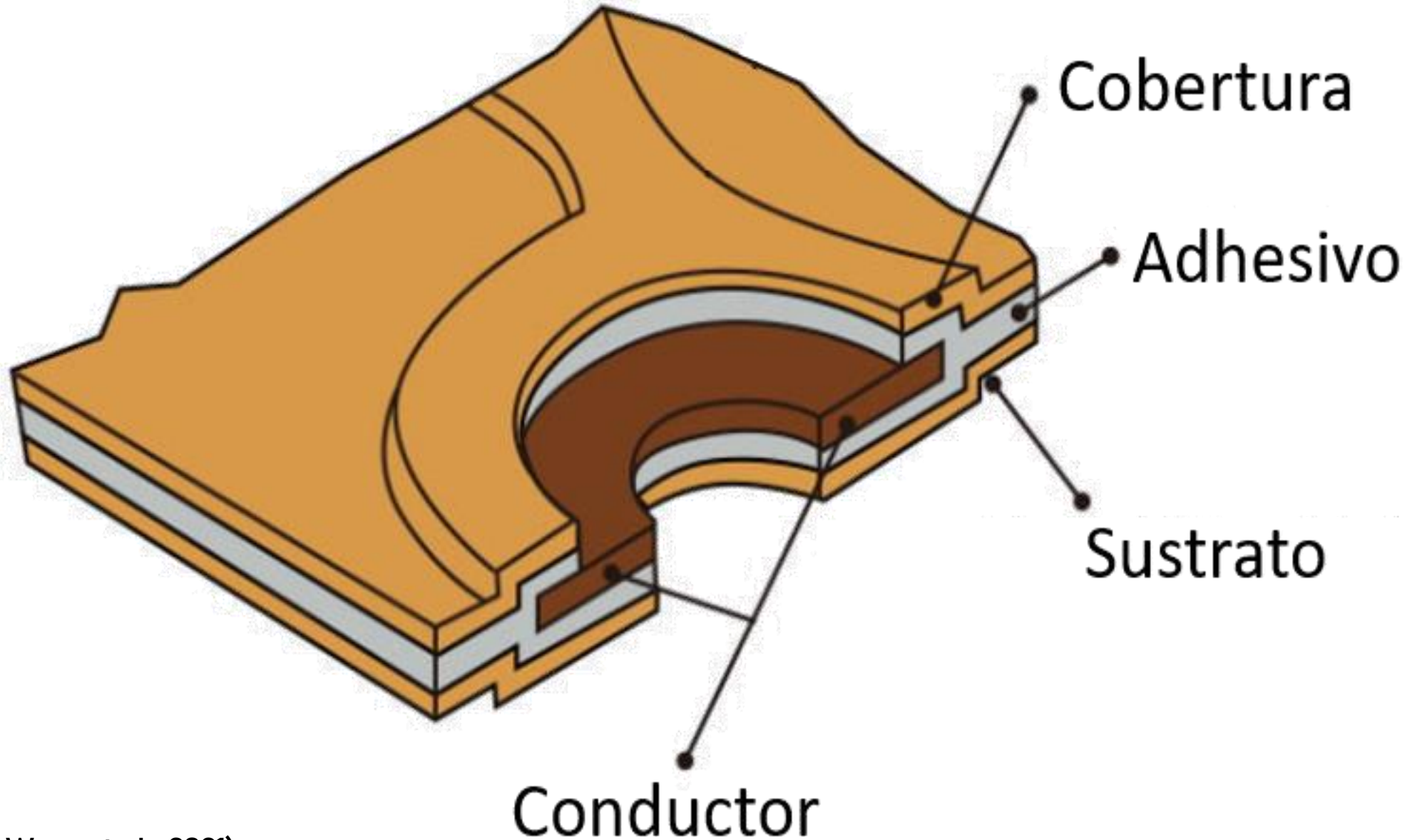
Estereolitografía (SLA)



(C. Liu et al., 2018)



Electrónica flexible



(Z. Wang et al., 2021)

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Ensayos de caracterización mecánica

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

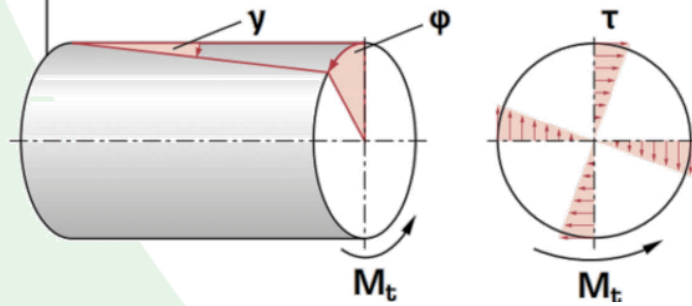
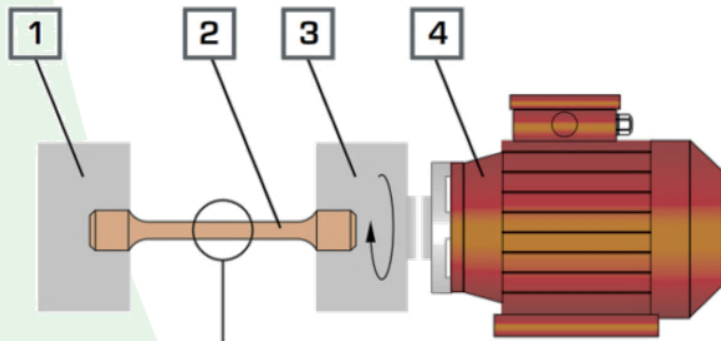
Metodología

Resultados y discusión

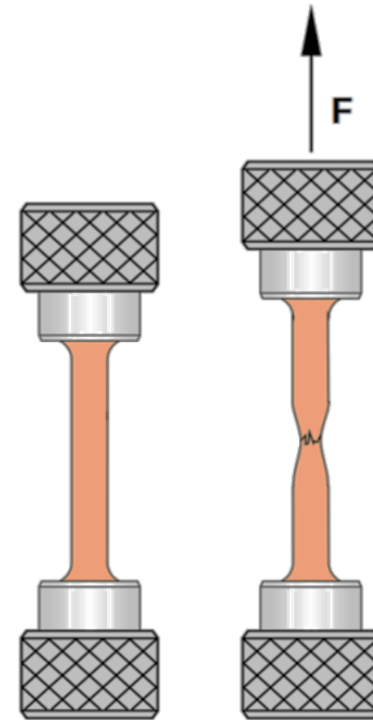
Conclusiones

Recomendaciones

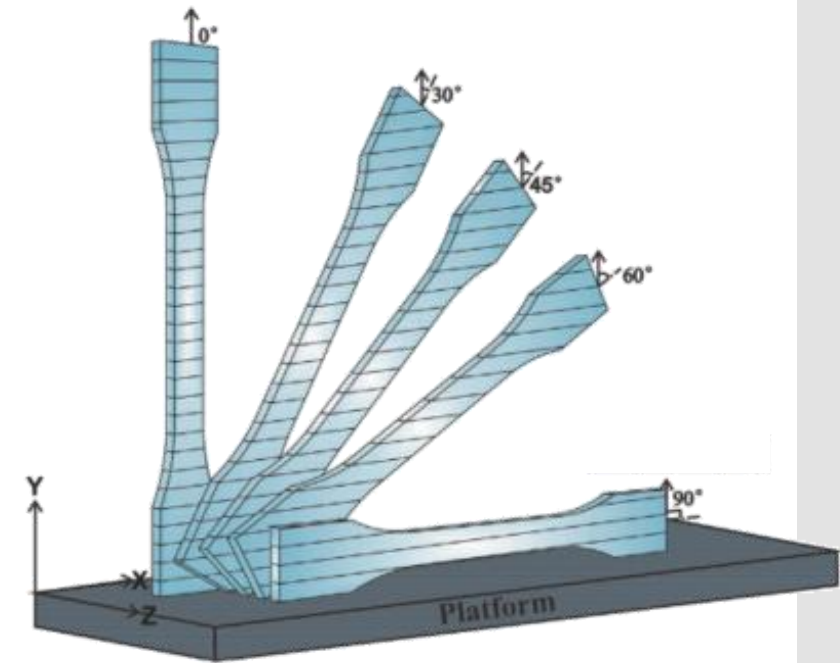
Trabajo Futuro



Ensayos de torsión



Ensayos de tracción



Anisotropía

(Zou et al., 2016)
(Hamburg, s. f.)



Caracterización eléctrica y electrónica

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

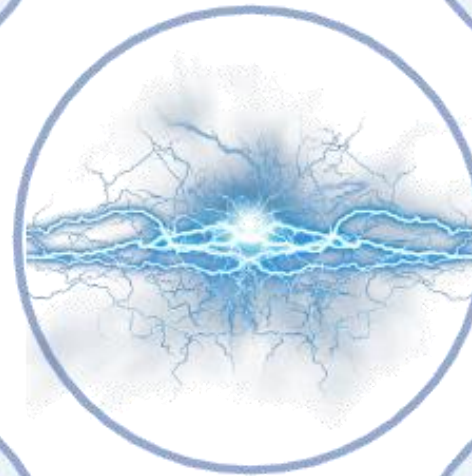
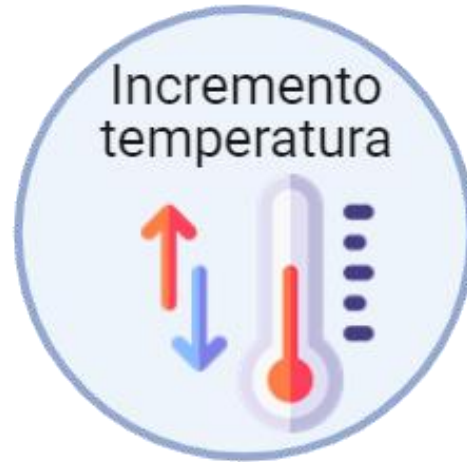
Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro





Antecedentes y
Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la
literatura

Metodología

Resultados y
discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

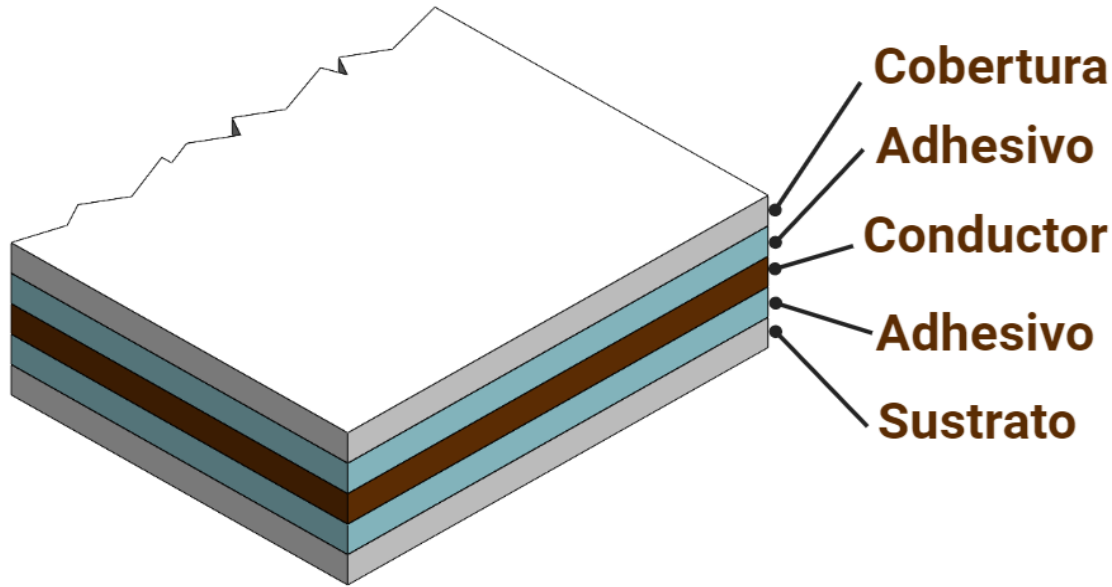
Plantillas inteligentes



(Xu et al., 2012)



Desarrollo de plataforma de diseño para estructuras flexibles



Sustrato

	SLA	FDM
Tolerancia dimensional (mm)	0.1	0.5
Información	Escasa	Abundante



	50 A	80A
Alargamiento a la rotura (%)	160	120

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

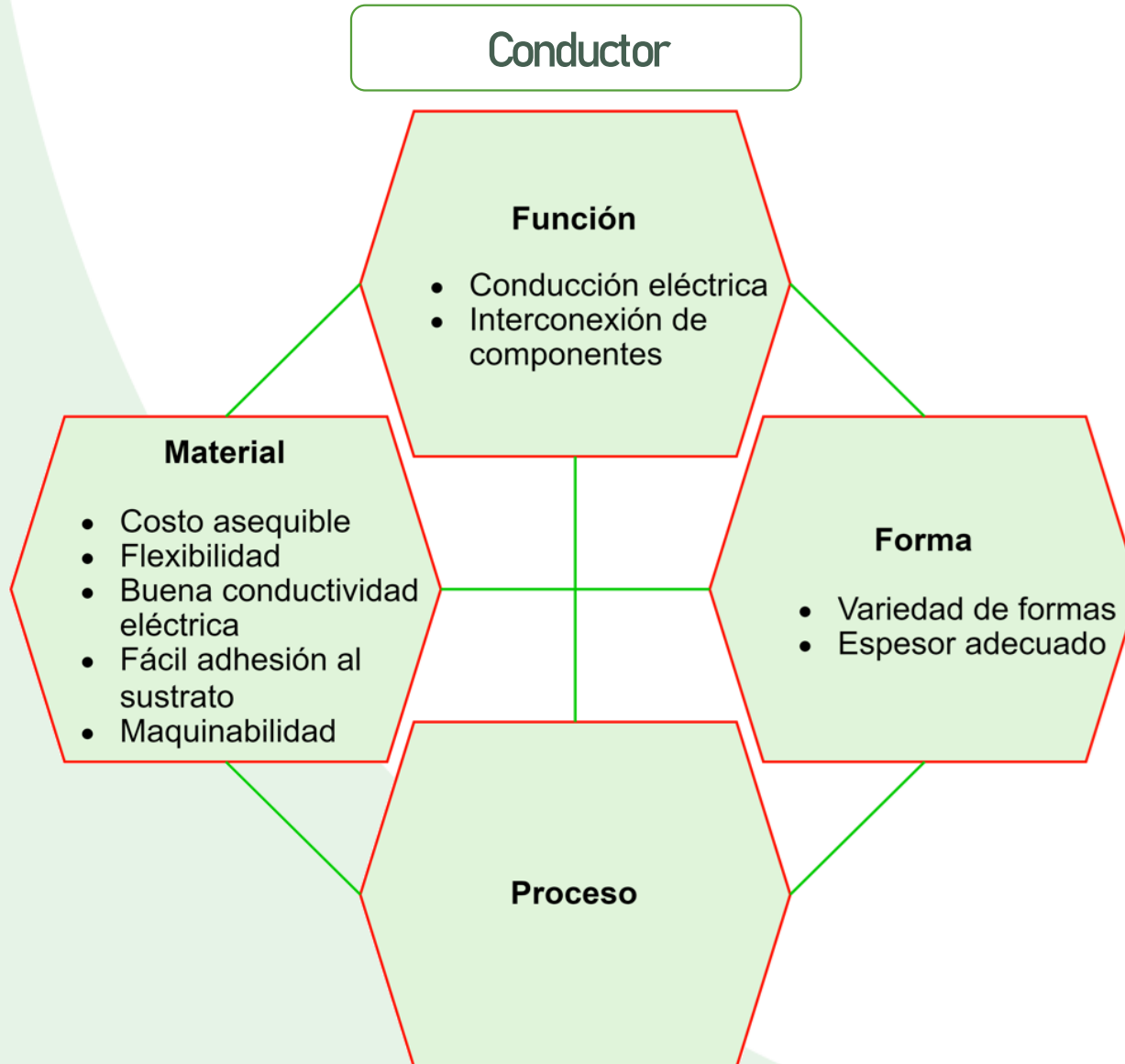
Recomendaciones

Trabajo Futuro



Desarrollo de plataforma de diseño para estructuras flexibles

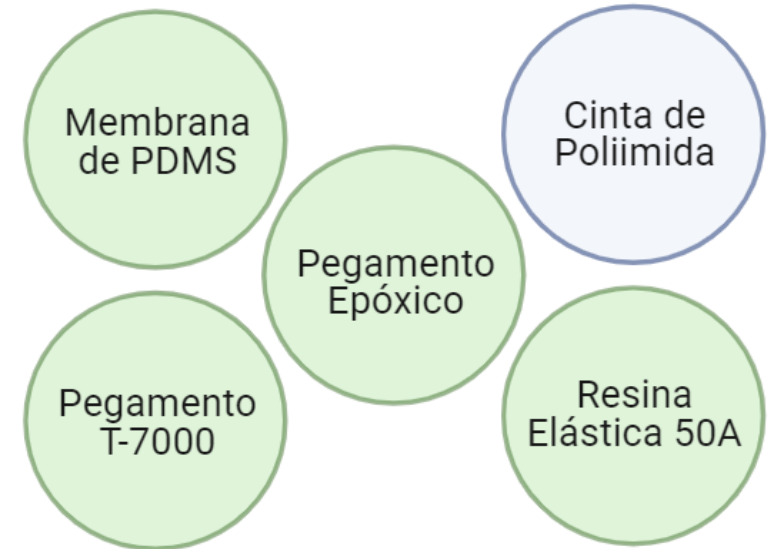
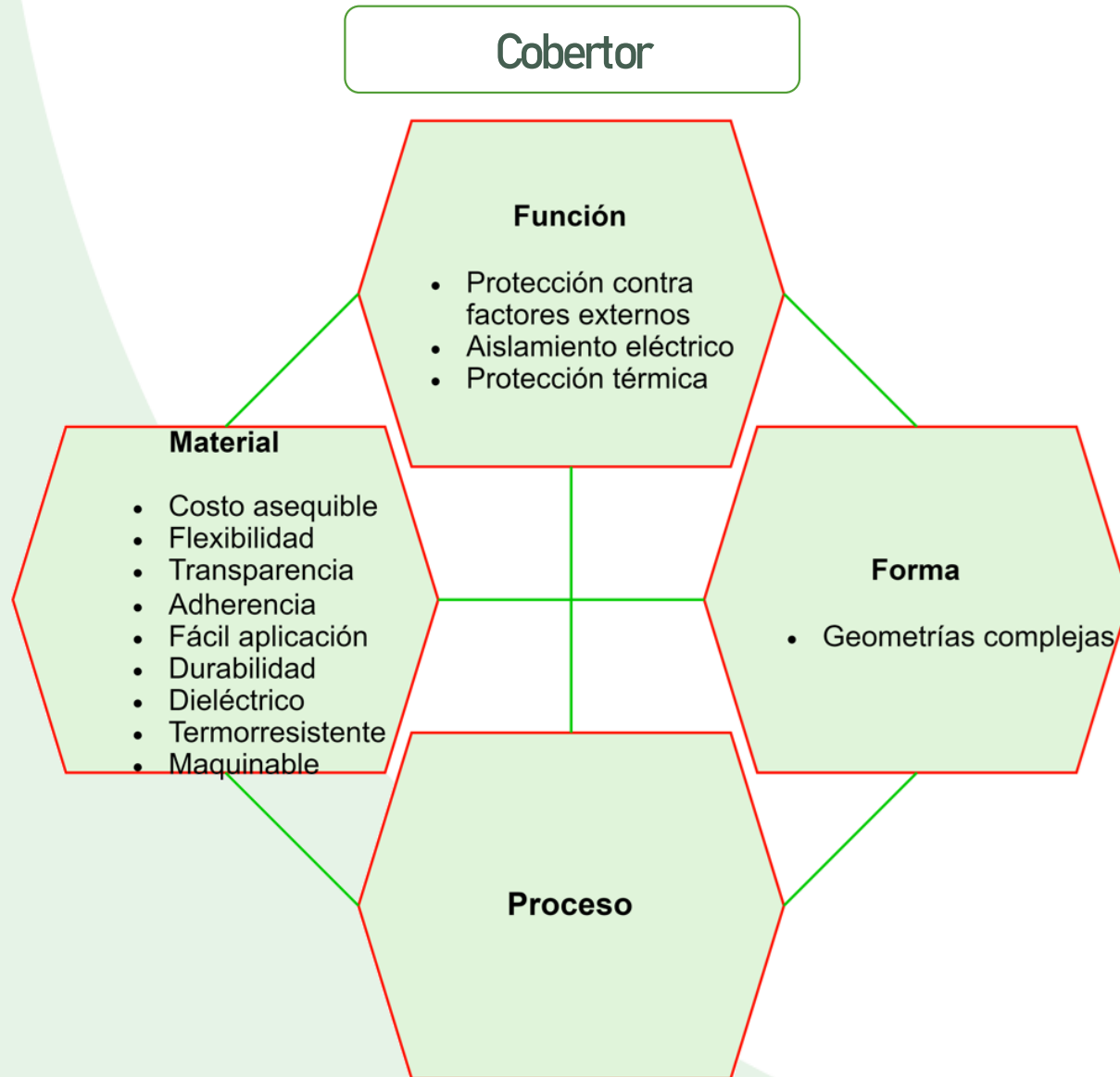
- Antecedentes y Justificación
- Alcance
- Objetivos
- Revisión de la literatura
- Metodología**
- Resultados y discusión
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajo Futuro



Criteria	Weight (%)
Costo asequible	10
Flexibilidad	30
Facilidad de adhesión	30
Maquinabilidad trazas	30



Desarrollo de plataforma de diseño para estructuras flexibles



Criteria	Weight (%)
Costo asequible	5
Transparencia	5
Flexibilidad	20
Termorresistente	20
Adherencia	25
Fácil aplicación	25

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Desarrollo de plataforma de diseño para estructuras flexibles

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

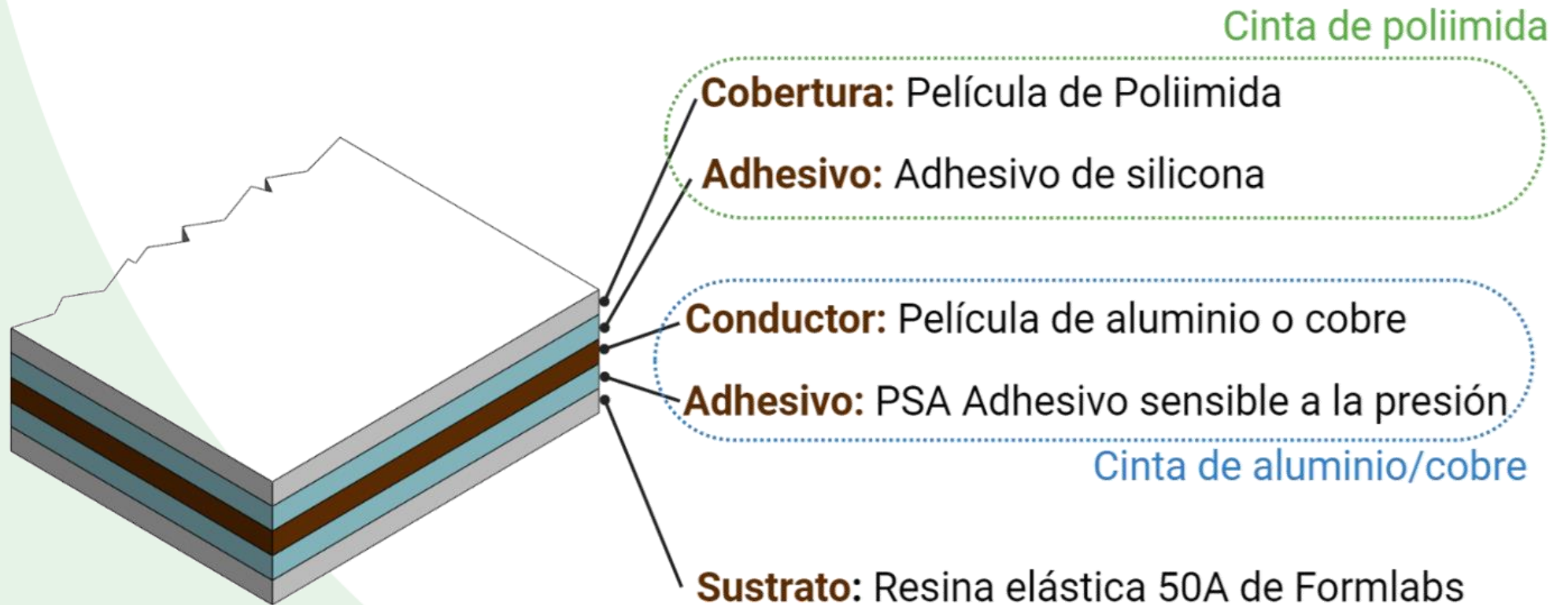
Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro





Desarrollo de plataforma de diseño para estructuras flexibles

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

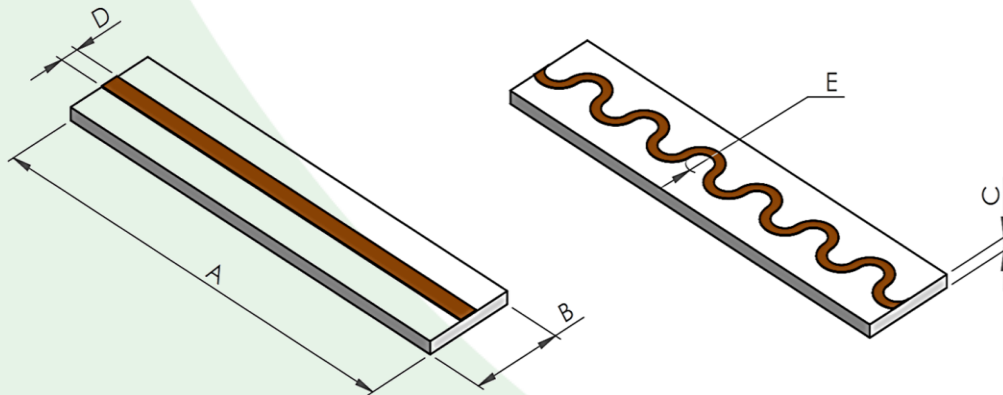
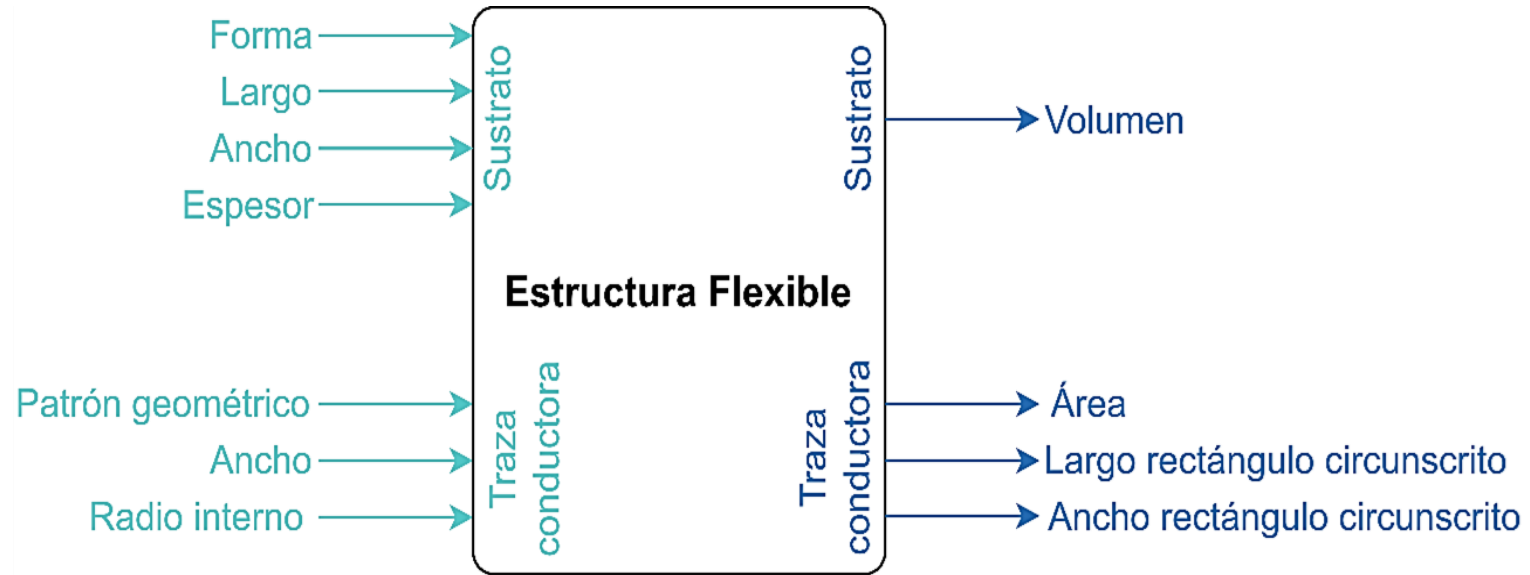
Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

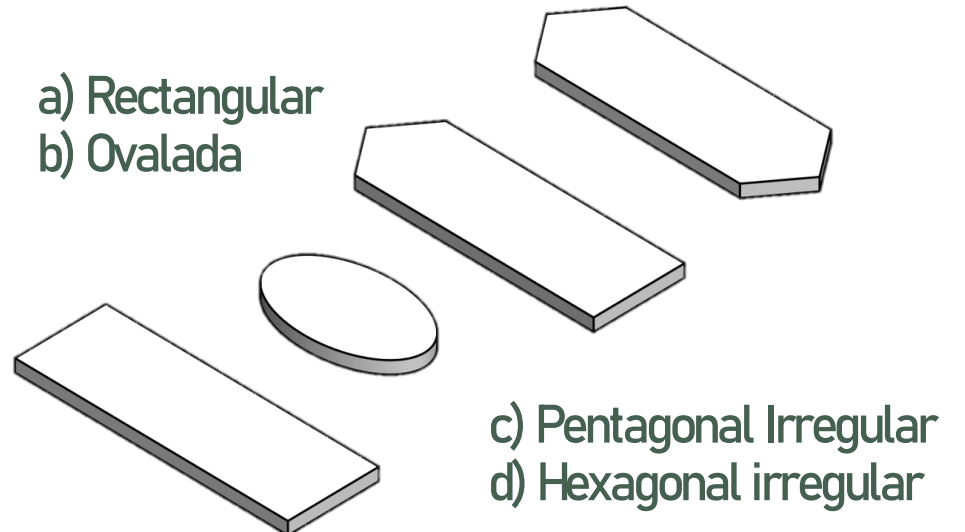
Recomendaciones

Trabajo Futuro



A: Largo sustrato
B: Ancho sustrato

C: Espesor sustrato
D: Ancho traza
E: Radio interno traza





Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

$$W = \frac{A}{t \cdot 1.378}$$

A: Sección transversal [mils²]

t: Espesor de la traza [oz/ft²]

W: Ancho de la traza [mils]

Material	Parámetro	Valor	Unidad
Cobre	Corriente máxima	1	A
	Espesor de la traza	0.025	mm
	Ancho de traza	1.09	mm
Aluminio	Corriente máxima	1	A
	Espesor de la traza	0.041	mm
	Ancho de traza	1.11	mm

$$A = \left(\frac{I}{k \cdot \Delta T^b} \right)^{\frac{1}{c}}$$

$$k = \begin{cases} 0.024 & \text{pista interna} \\ 0.048 & \text{pista externa} \end{cases}$$

$$b = 0.44$$

$$c = 0.725$$

A: Sección transversal [mils²]

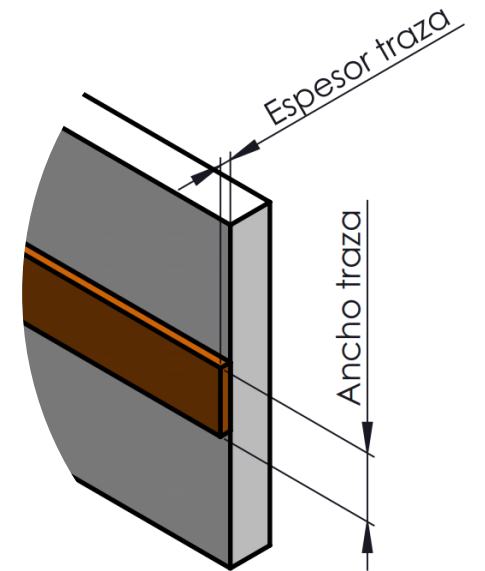
I: Corriente máxima [A]

ΔT: Máximo aumento de temperatura [°C]

k: Constante de ajuste de curva (IPC2221)

b = 0.44: Constante de ajuste de curva de (IPC2221)

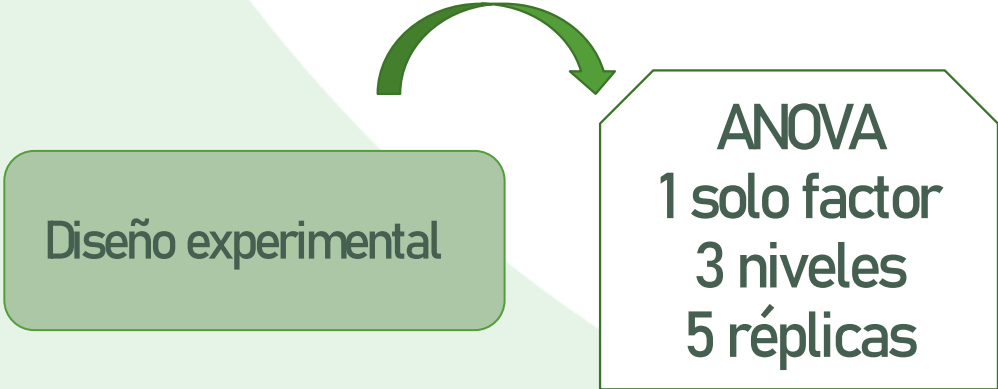
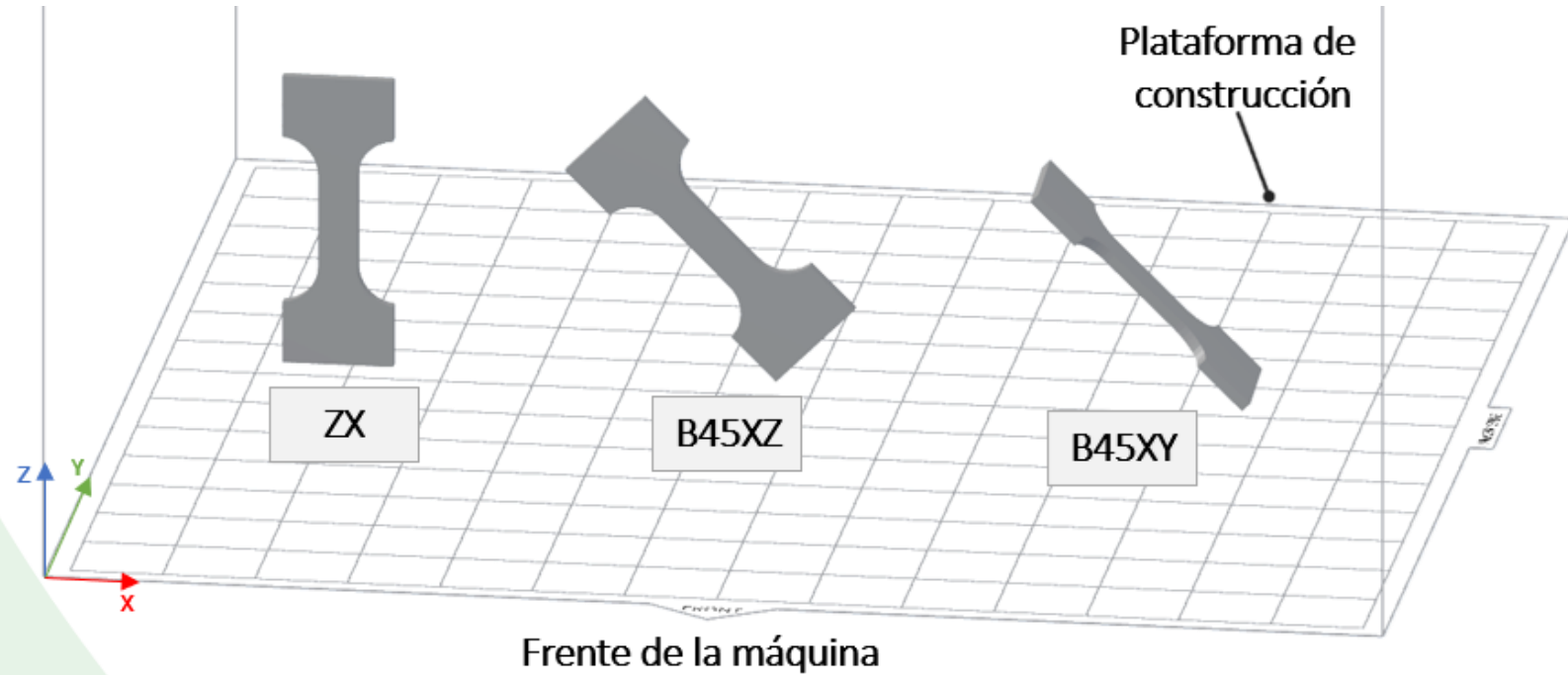
c = 0.725: Constante de ajuste de curva de (IPC2221)





Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Sustrato - Diseño Experimental



Factor	Niveles		
	1	2	3
Orientación	ZX	B45XZ	B45XY

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

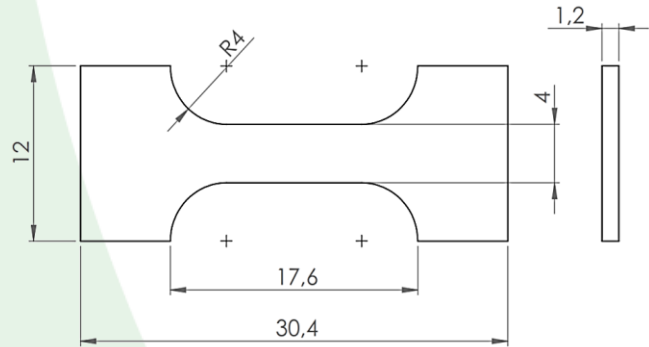
Recomendaciones

Trabajo Futuro

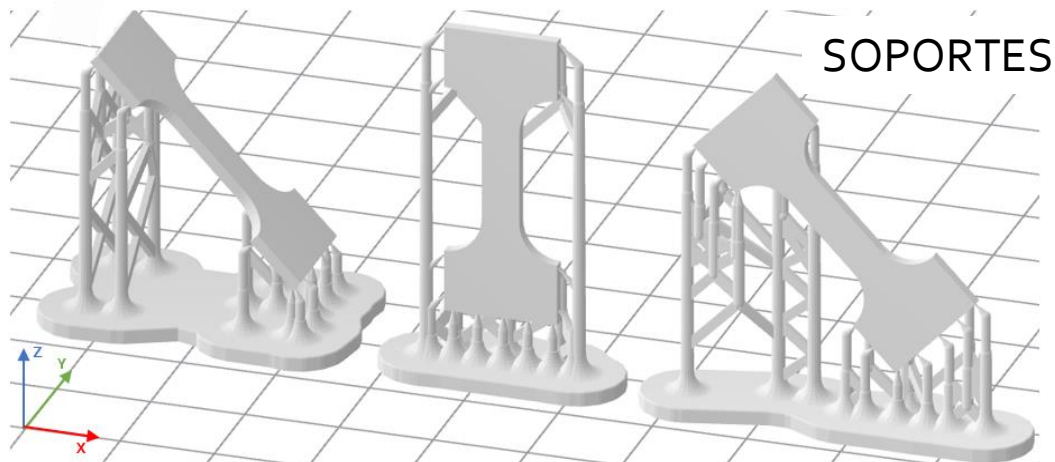
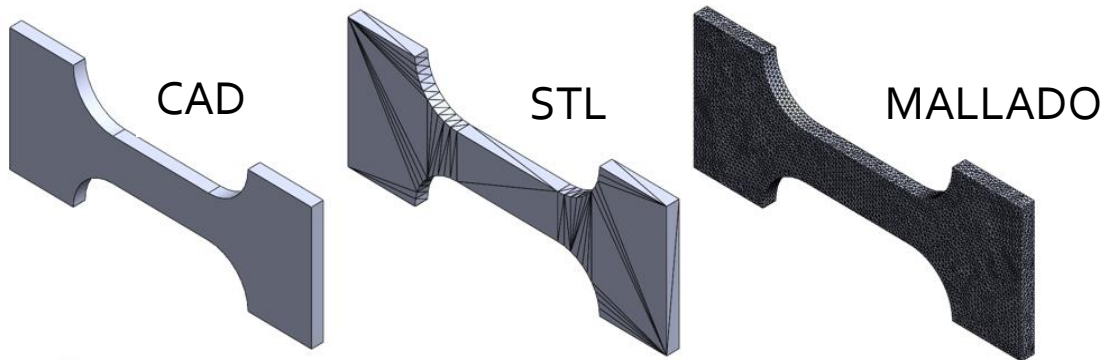


Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Sustrato – Preprocesado



Nota: Escalado 20%
de ASTM D1708-18,
medidas en
milímetros.



Sustrato – Impresión de probetas



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la
literatura

Metodología

Resultados y
discusión

Conclusiones

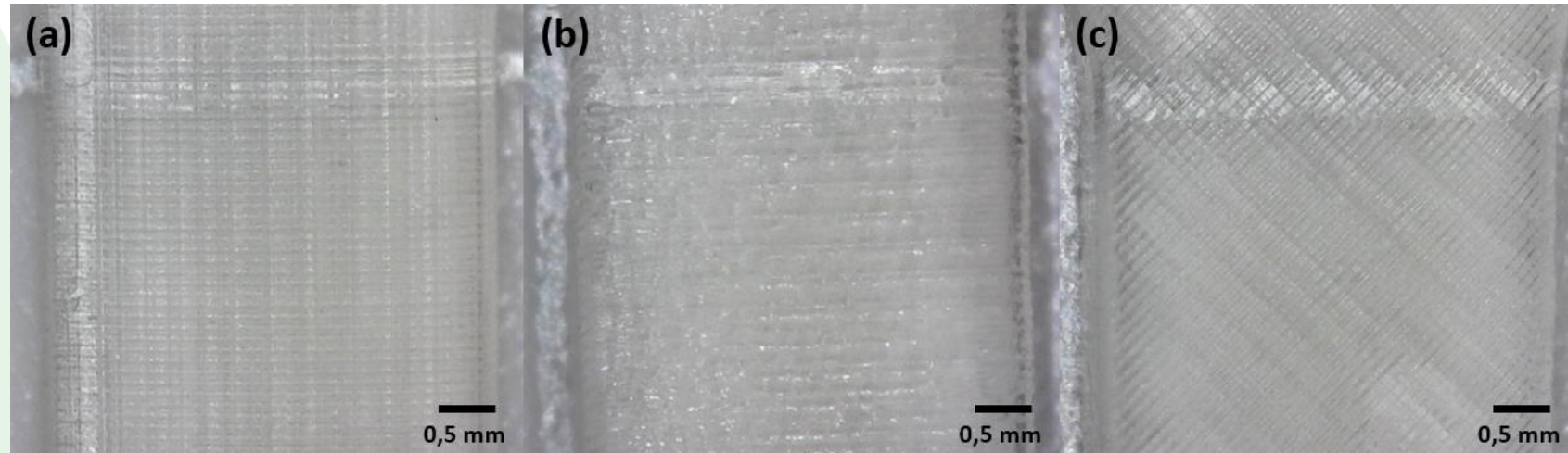
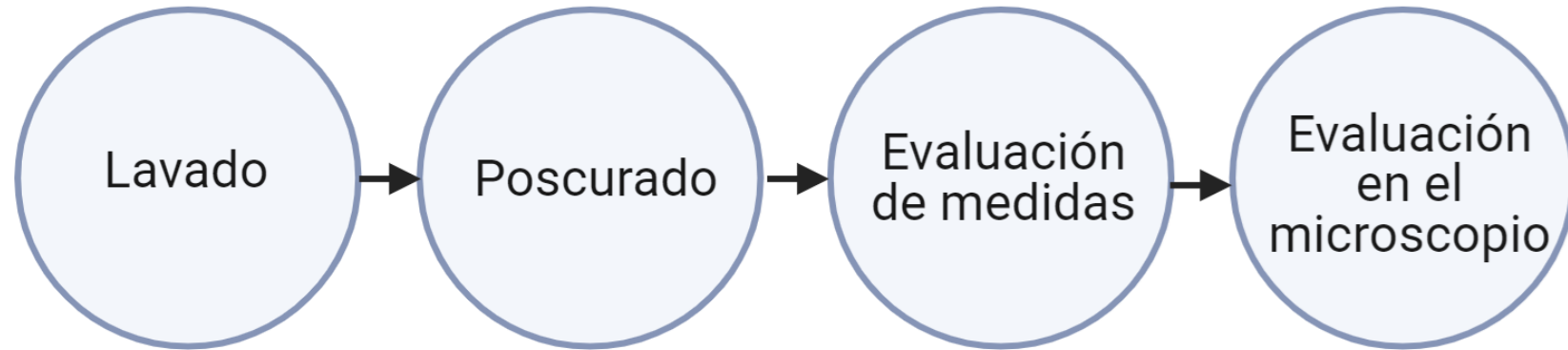
Recomendaciones

Trabajo Futuro



Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Sustrato - Posprocesado



- a) Orientación ZX
- b) Orientación B45XY
- c) Orientación B45XZ

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

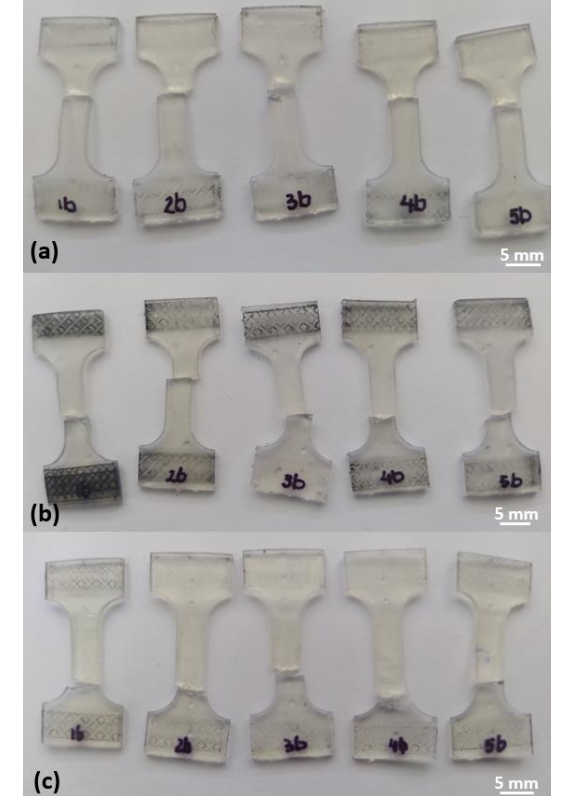
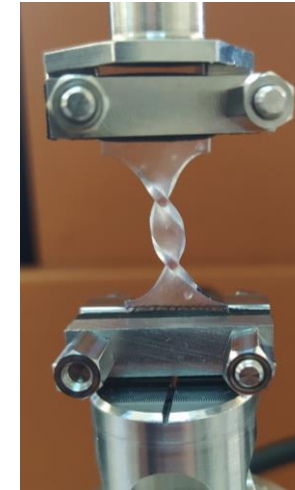
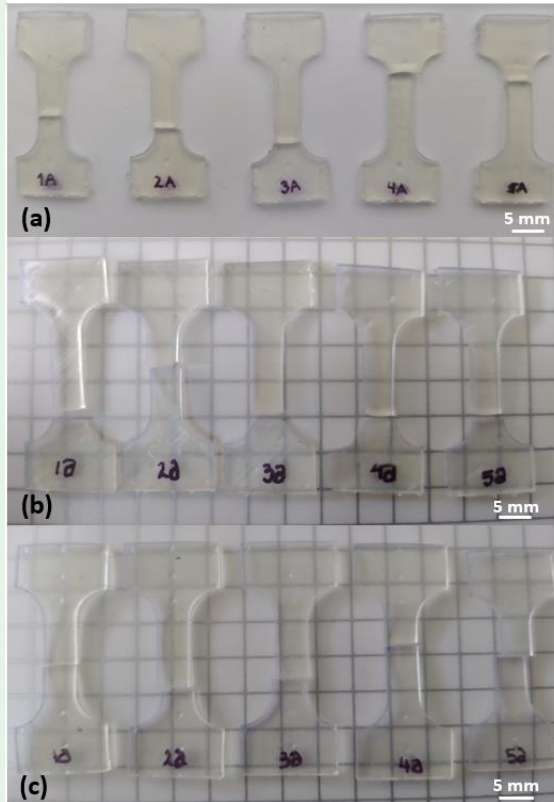
Recomendaciones

Trabajo Futuro

Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Tracción

Torsión



- a) Orientación ZX
- b) Orientación B45XZ
- c) Orientación B45XY

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad lineal constante	250	$\mu\text{m/s}$
Torque de ajuste de las mordazas	7.5	cN.m
Mordazas de caucho	No	
Temperatura ambiente	19.8	$^{\circ}\text{C}$

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad lineal constante	0.4	rad/s
Torque de ajuste de las mordazas	5	cN.m
Mordazas de caucho	Si	
Temperatura ambiente	19.8	$^{\circ}\text{C}$

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Cinta de aluminio / cobre – Manufactura de probetas

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

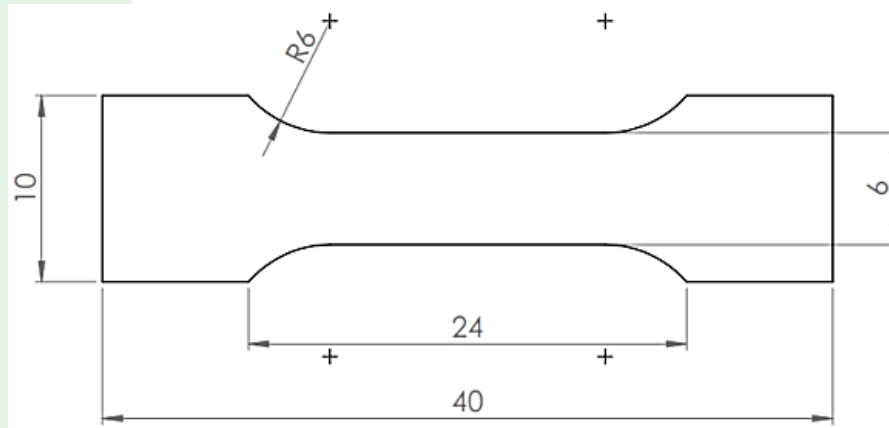
Metodología

Resultados y discusión

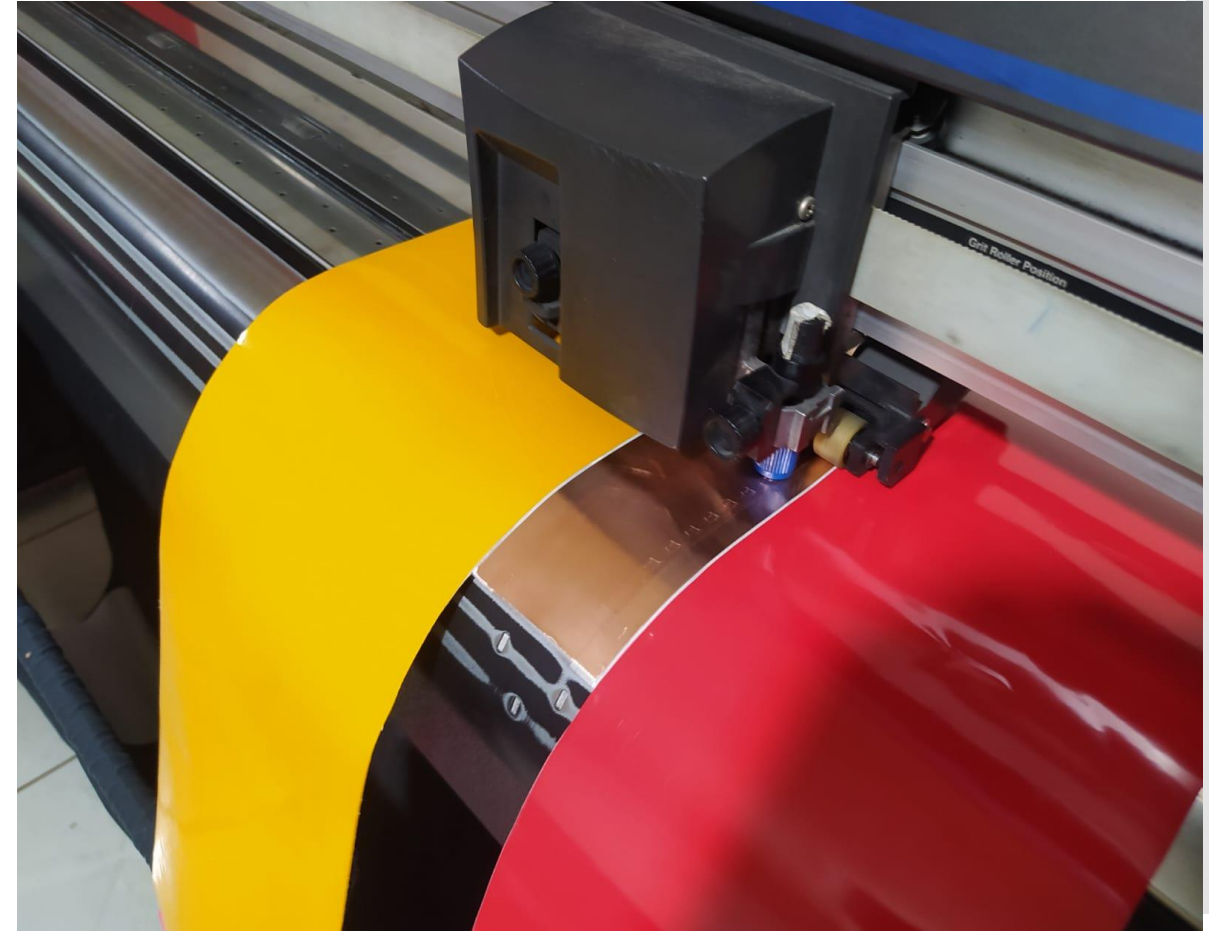
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

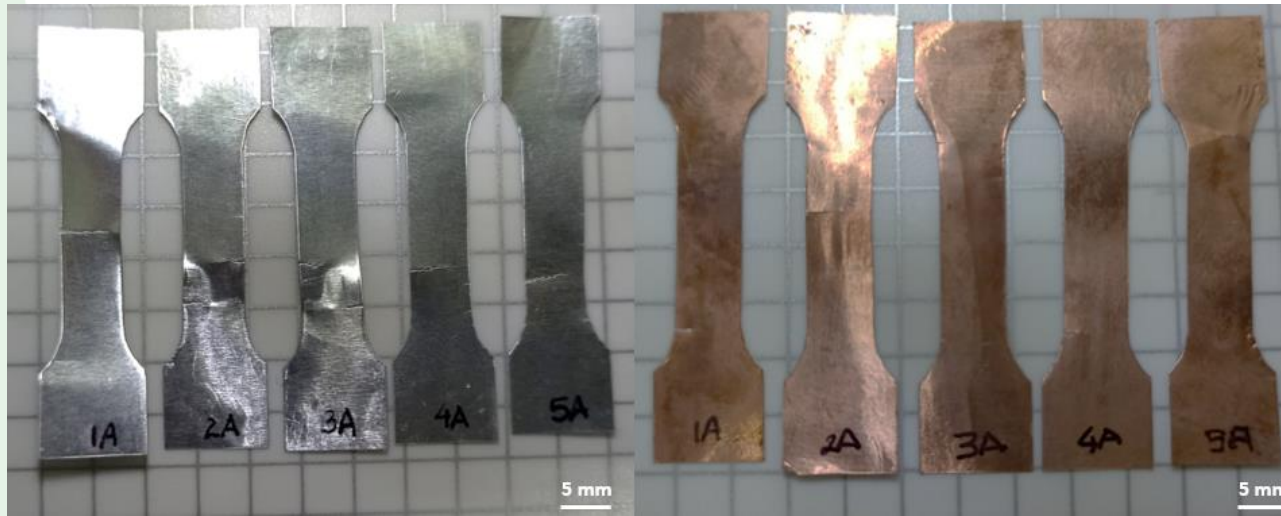


Nota: ASTM E8/E8M-13, medidas en milímetros.



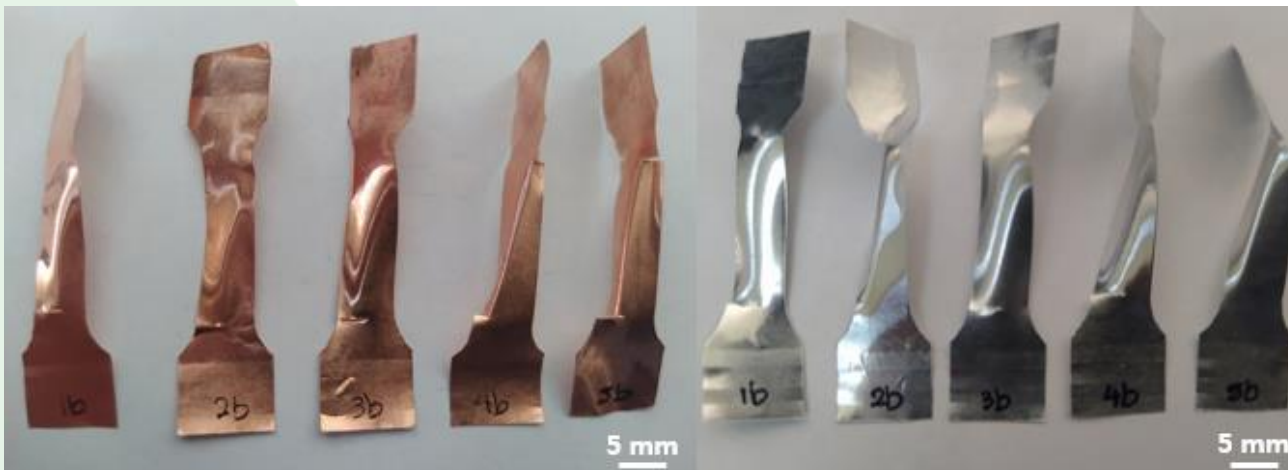
Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Cinta de aluminio / cobre – Ensayos mecánicos



Tracción

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad lineal constante	5	$\mu\text{m/s}$
Torque de ajuste de las mordazas	15	cN.m
Temperatura ambiente	20.1	$^{\circ}\text{C}$



Torsión

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad angular	0.03	rad/s
Torque de ajuste de las mordazas	20	cN.m
Temperatura ambiente	19.8	$^{\circ}\text{C}$

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Cinta de poliimida – Manufactura de probetas

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

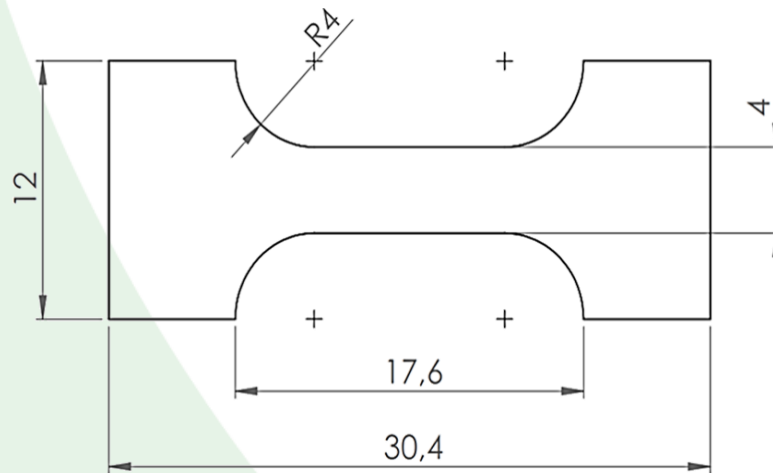
Metodología

Resultados y discusión

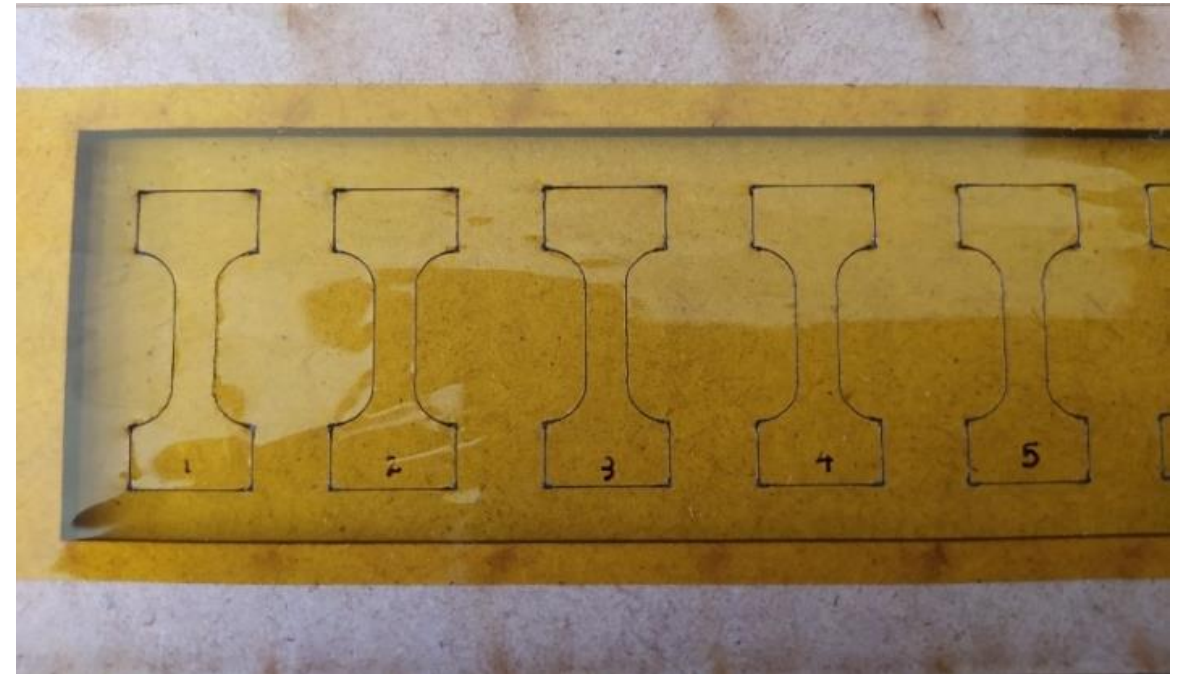
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Nota: Escalado 20% de ASTM D1708-18,
medidas en milímetros.



Sistema electrónico flexible y caracterización de sus partes

Cinta de poliimida – Ensayos mecánicos



Tracción

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad lineal constante	25	$\mu\text{m/s}$
Torque de ajuste de las mordazas	25	cN.m
Temperatura ambiente	19.7	$^{\circ}\text{C}$



Torsión

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad angular	0.03	rad/s
Torque de ajuste de las mordazas	30	cN.m
Temperatura ambiente	19.8	$^{\circ}\text{C}$

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Evaluación de propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

Diseño experimental

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

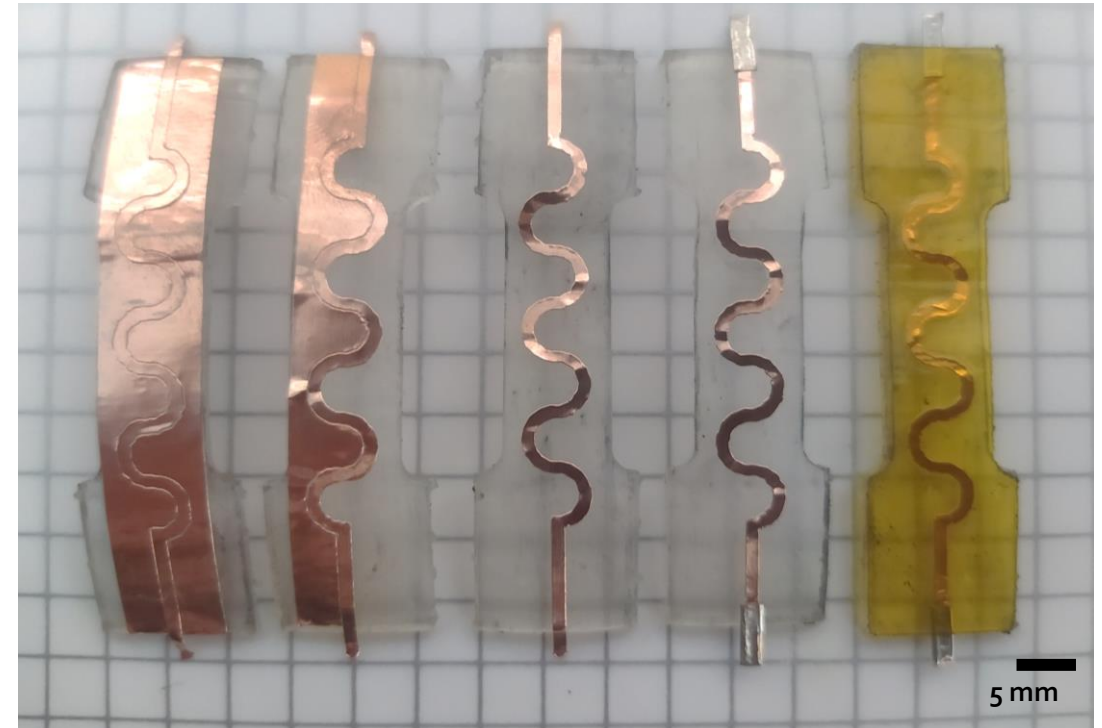
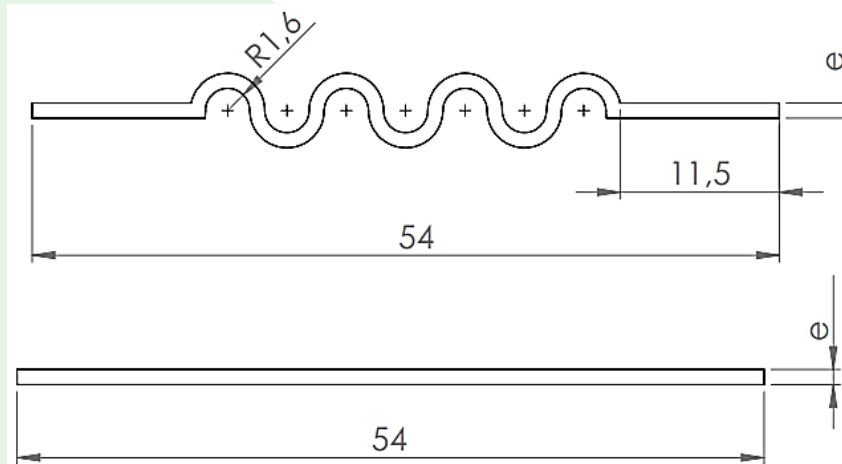
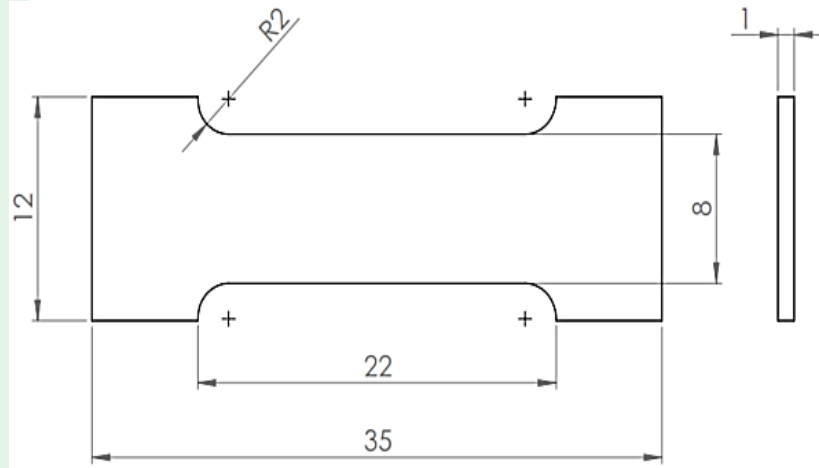


Factor	Niveles	
	1	2
Patrón geométrico	Lineal	Curva
Material de traza conductora	Cinta de aluminio	Cinta de cobre



Evaluación de propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

Diseño, fabricación y ensamble de probetas



Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

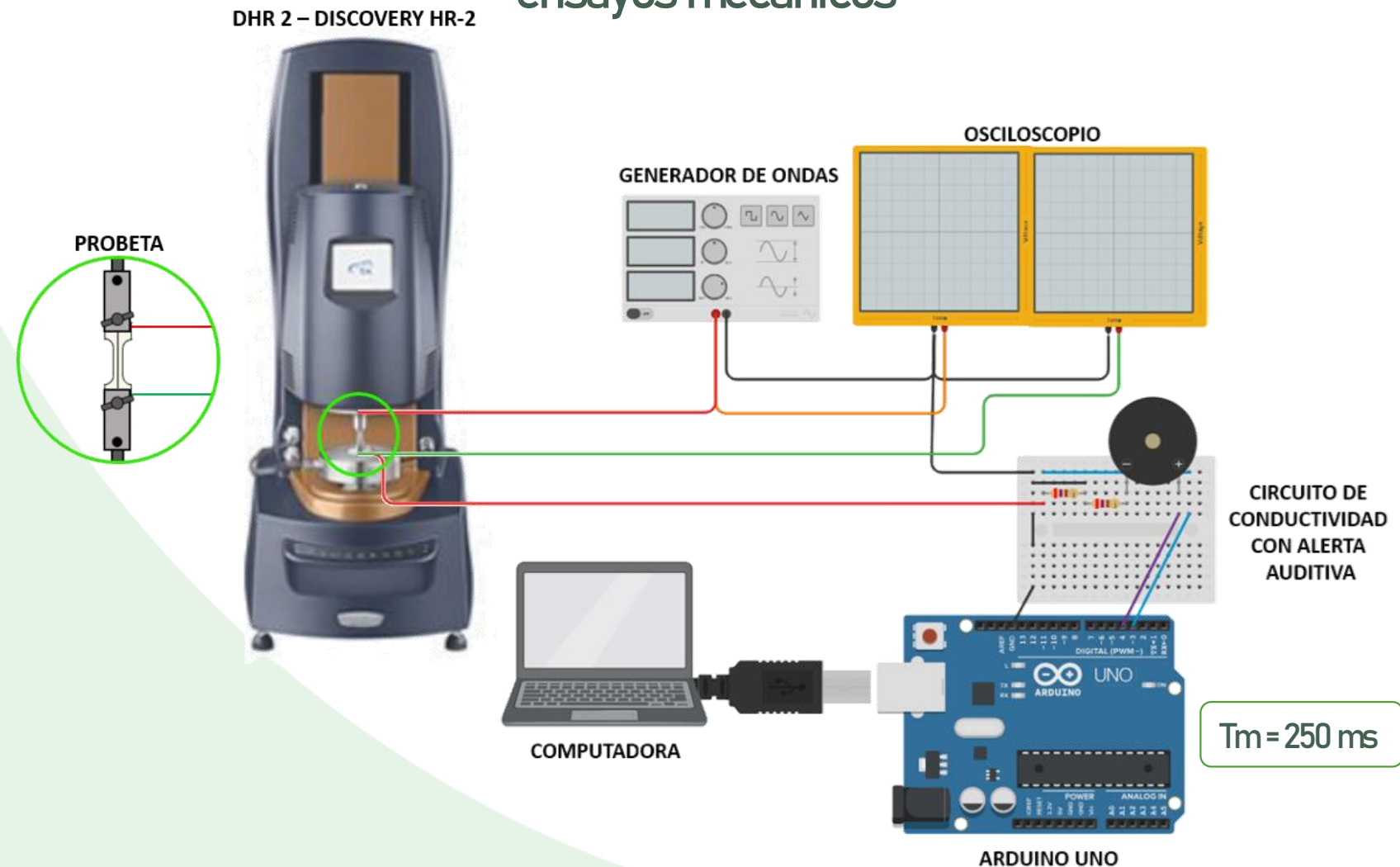
Recomendaciones

Trabajo Futuro



Evaluación de propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

Monitoreo de conductividad eléctrica y atenuación durante ensayos mecánicos



Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

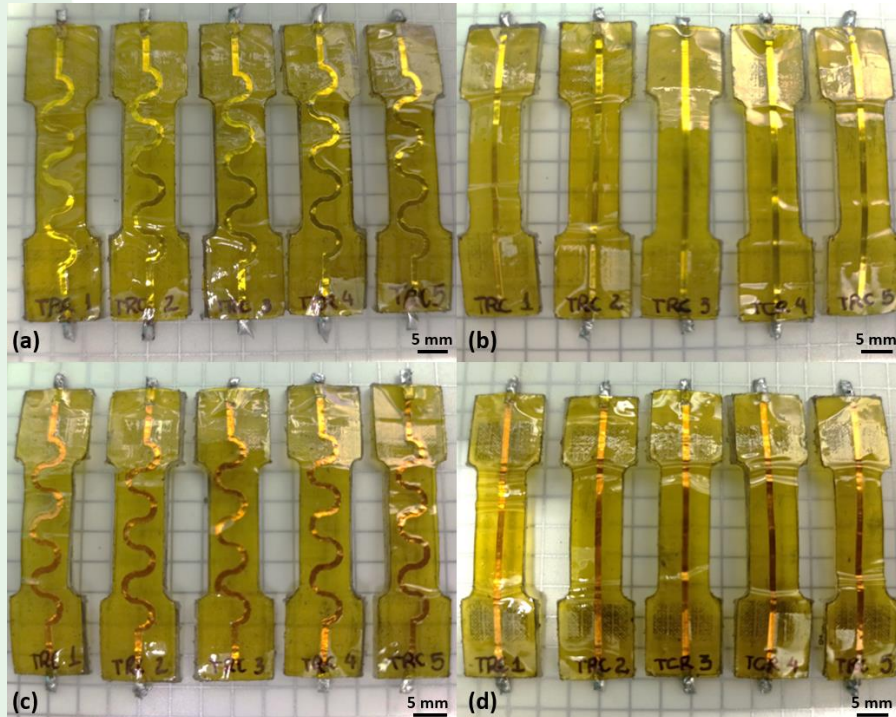
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Evaluación de propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

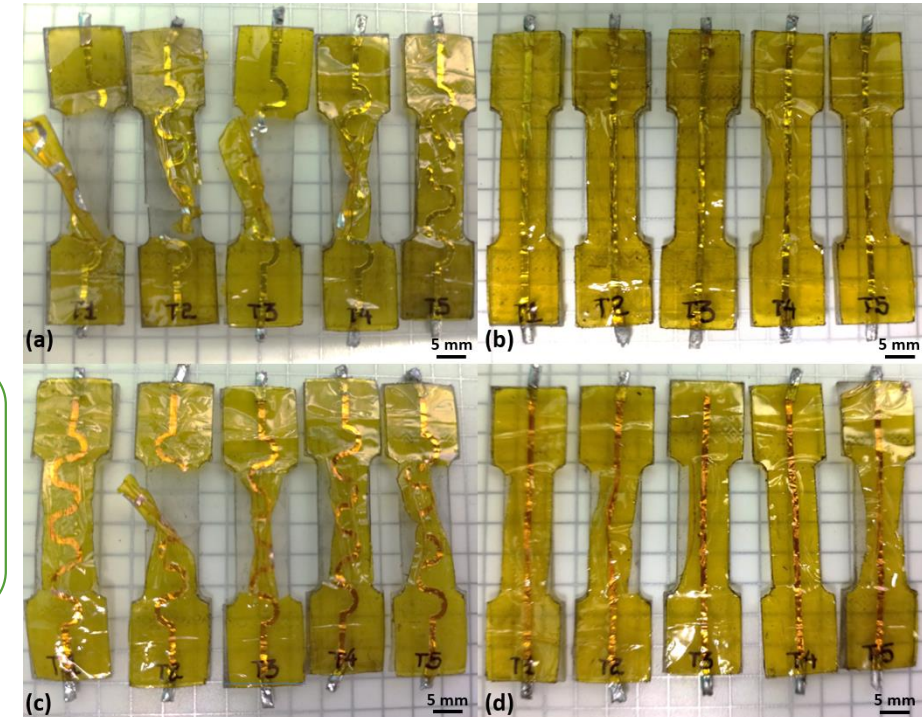
Tracción



a) Curvo aluminio
b) Lineal aluminio
c) Curvo cobre
d) Lineal Cobre

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad lineal constante	30	$\mu\text{m/s}$
Torque de ajuste de las mordazas	10	cN.m
Mordazas de caucho	No	
Temperatura ambiente	20.5	$^{\circ}\text{C}$

Torsión



Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad lineal constante	0.25	rad/s
Torque de ajuste de las mordazas	10	cN.m
Mordazas de caucho	Si	
Temperatura ambiente	19.8	$^{\circ}\text{C}$

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Evaluación de propiedades eléctricas y electrónicas

Verificación de conductividad eléctrica



Microscopio electrónico de barrido (Incluye detector EDS)

Análisis microestructural



Microscopio metalúrgico

Material	No. Reactivo ASTM E407
Cobre	40
Aluminio	3

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Evaluación de propiedades eléctricas y electrónicas

Diseño, fabricación y ensamble de probetas

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

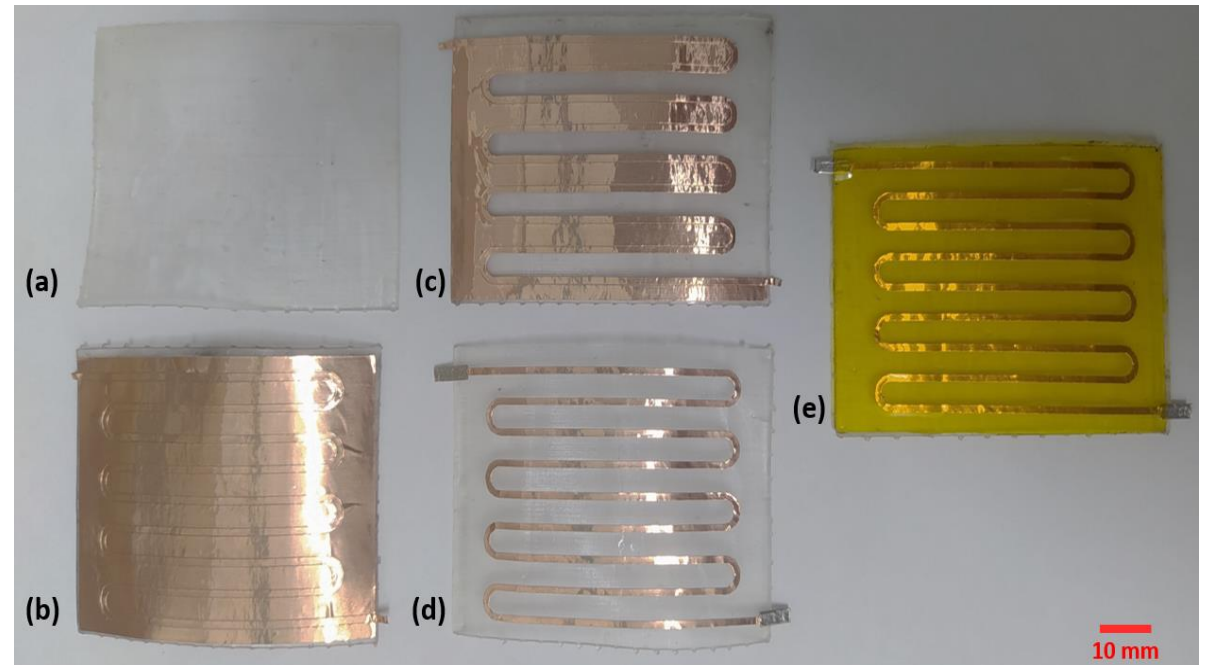
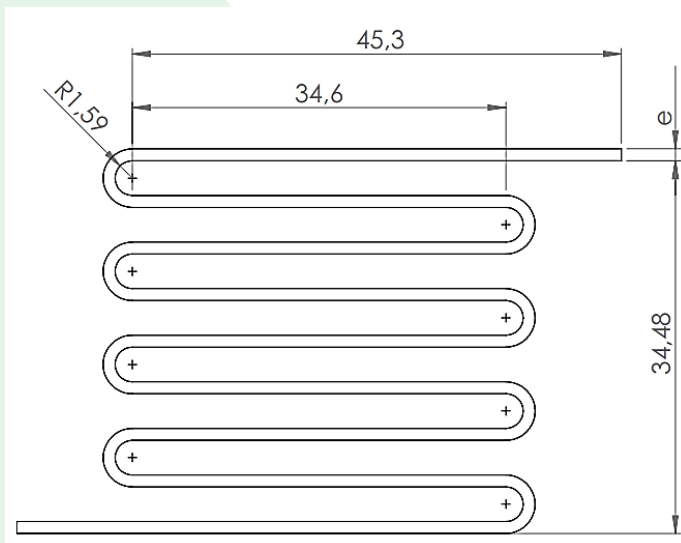
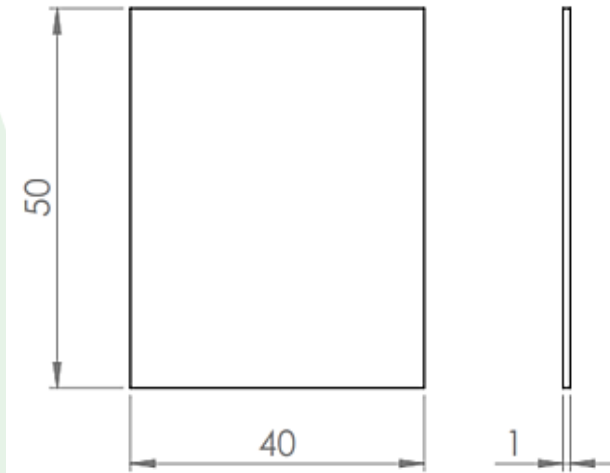
Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro





Evaluación de propiedades eléctricas y electrónicas

Incremento de temperatura en funcionamiento normal

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

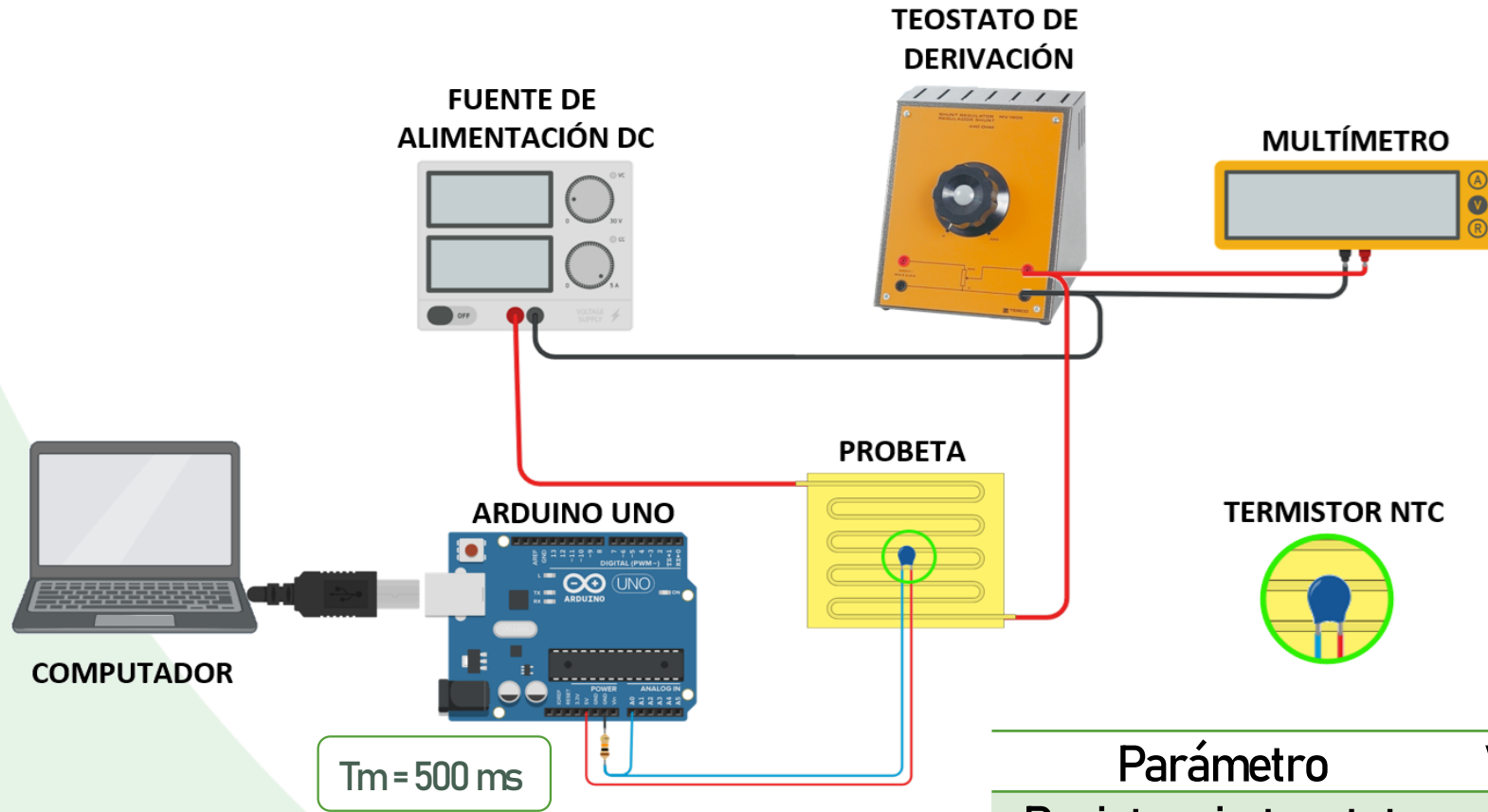
Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Parámetro	Valor	Unidad
Resistencia teostato	11.77	Ω
Amperaje	1.02	A
Voltaje	12.01	V
Tiempo ensayo	8	min
Tiempo de muestreo	500	ms



Evaluación de propiedades eléctricas y electrónicas

Voltaje máximo de operación

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

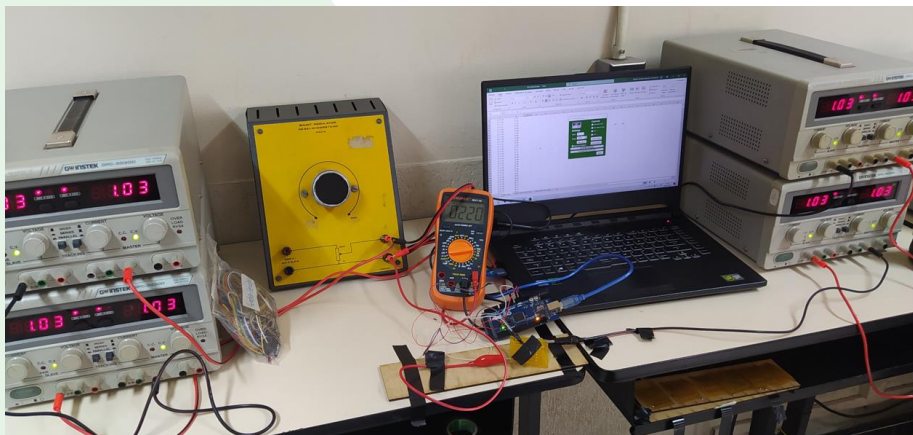
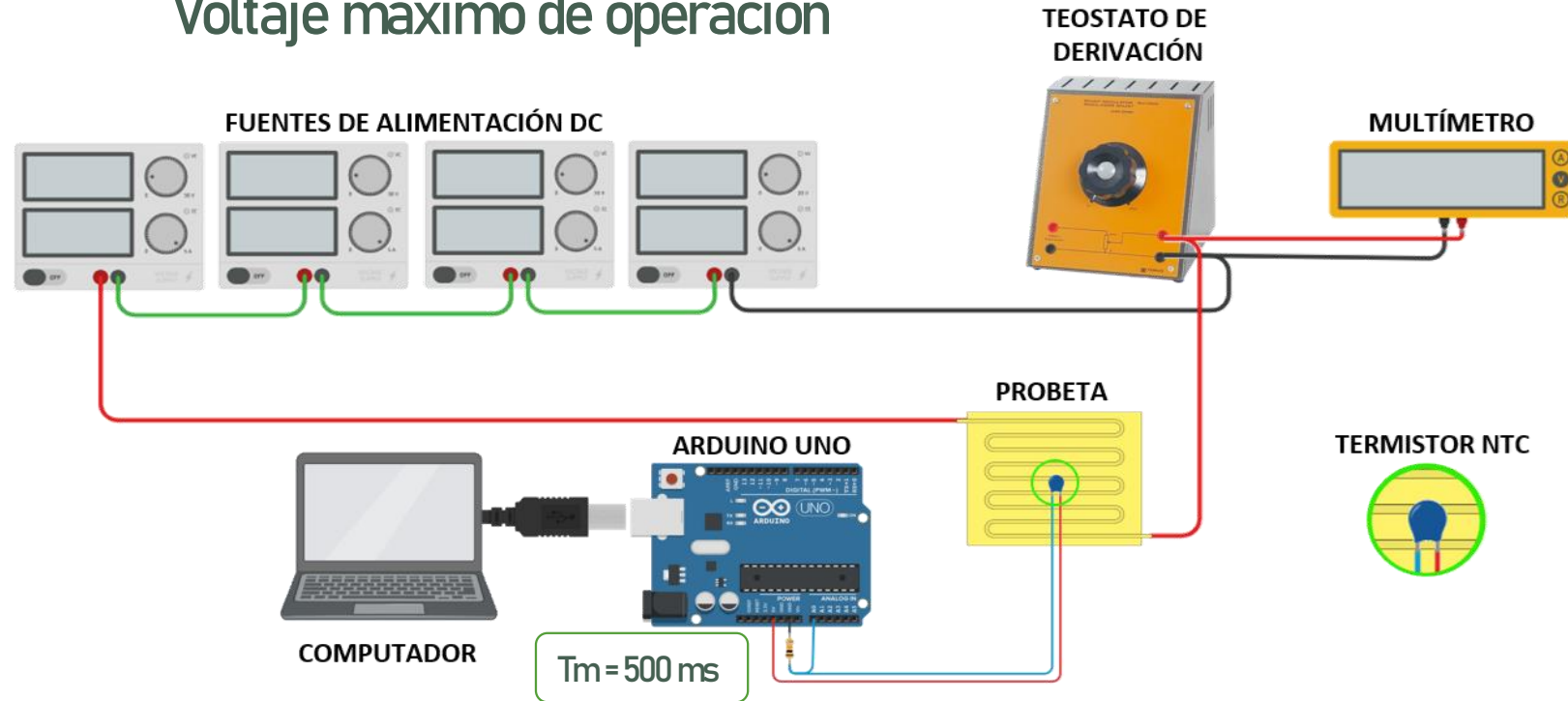
Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

5 réplicas



Parámetro	Valor	Unidad
Resistencia teostato	213	Ω
Amperaje	1.03	A
Voltaje	220	V
Tiempo ensayo	8.5	mins
Tiempo de muestreo	500	ms



Implementación de un sistema electrónico flexible en una aplicación industrial

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

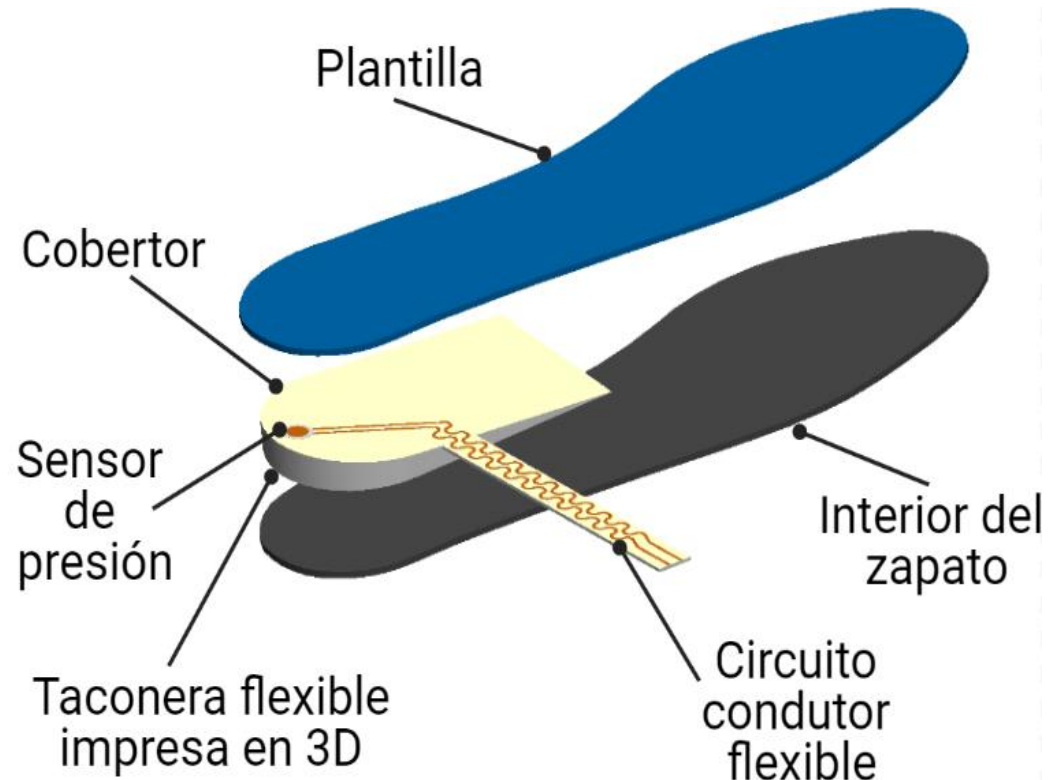
Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Taconera inteligente





Implementación de un sistema electrónico flexible en una aplicación industrial

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

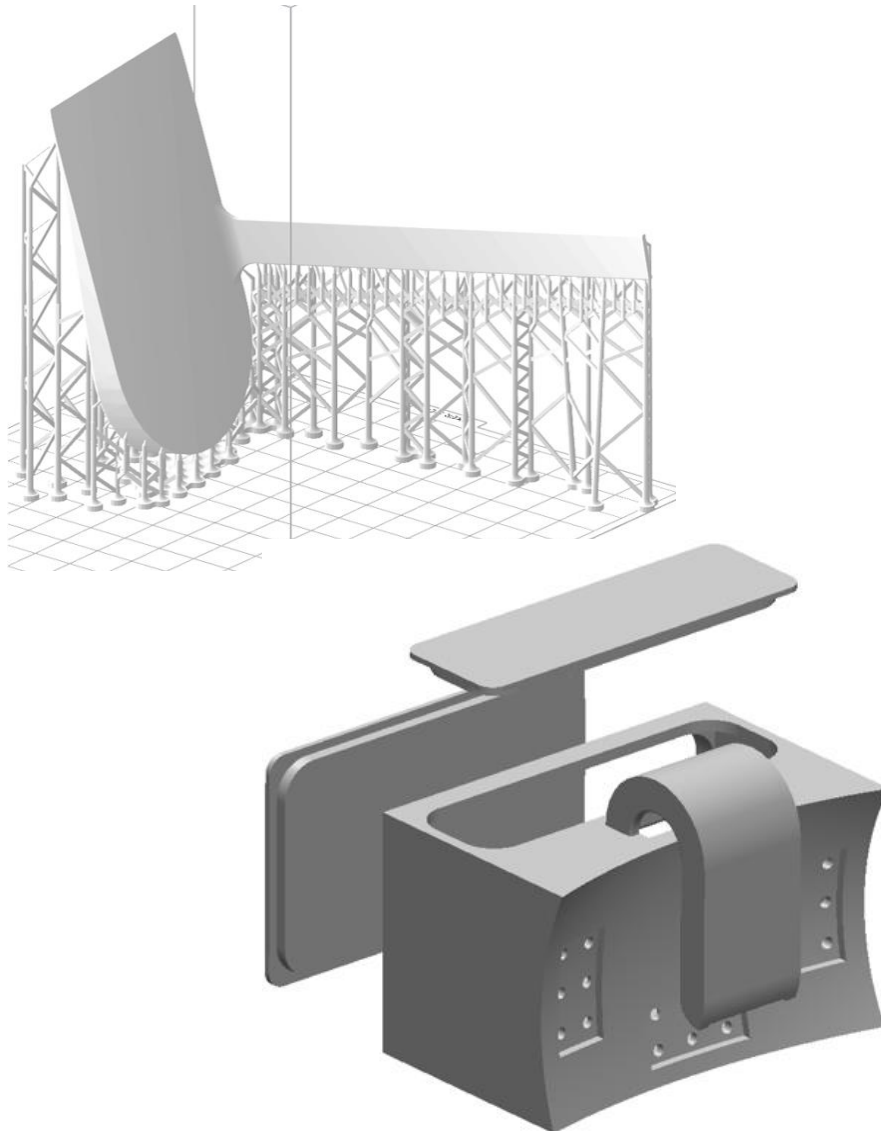
Resultados y discusión

Conclusiones

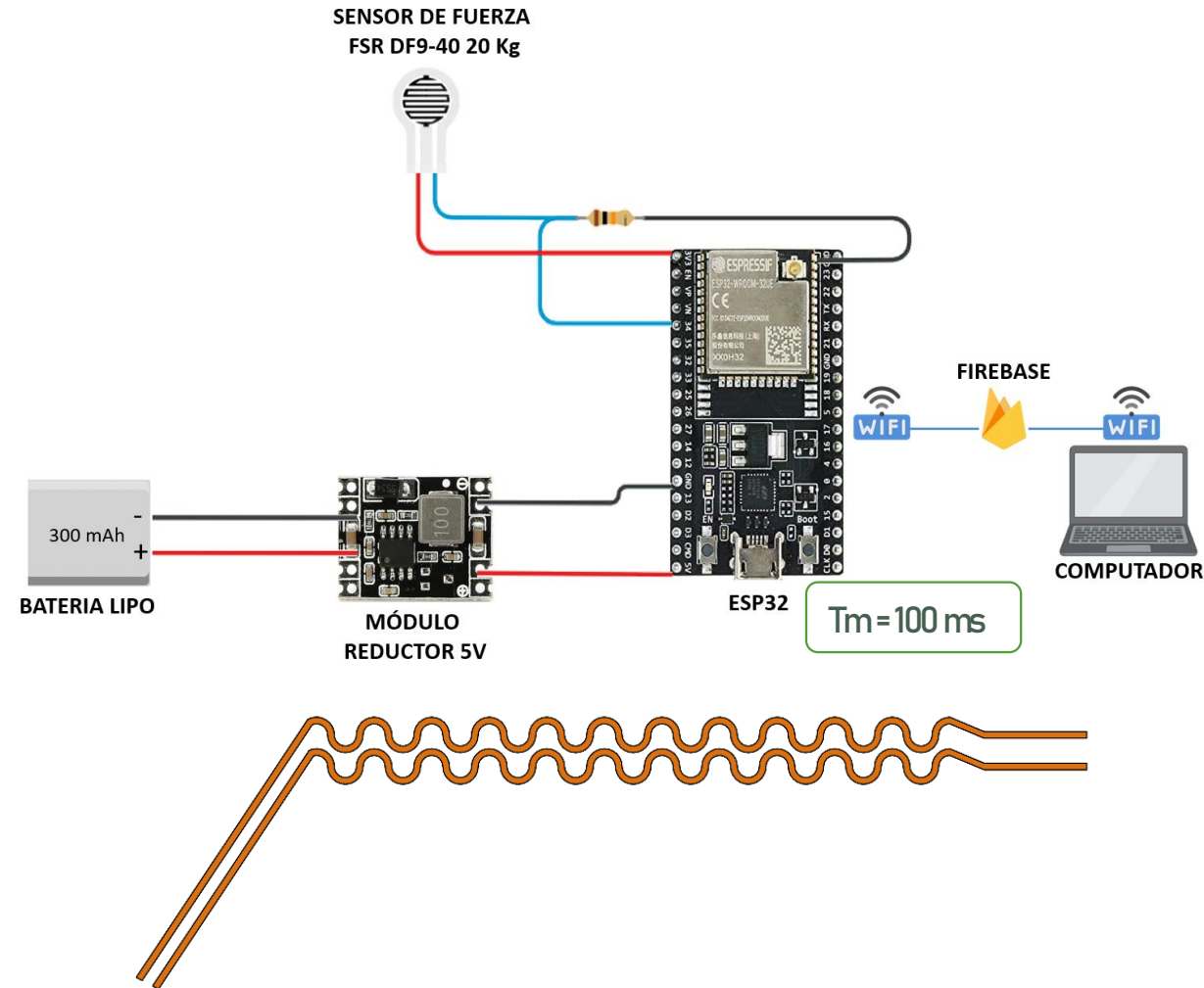
Recomendaciones

Trabajo Futuro

Diseño mecánico



Diseño eléctrico





Implementación de un sistema electrónico flexible en una aplicación industrial

Prototipo ensamblado



Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Caracterización del sustrato

Ensayo de tracción

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

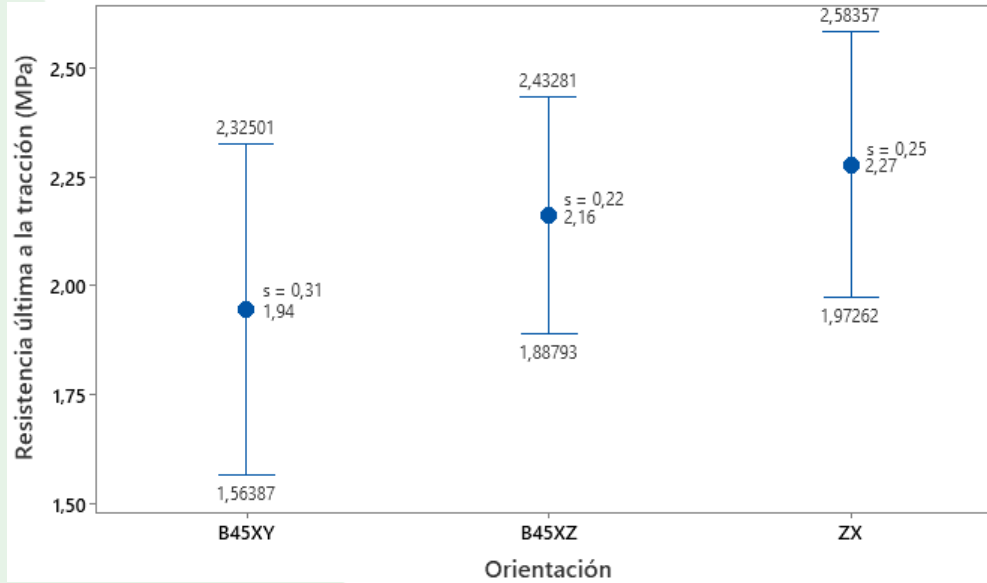
Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

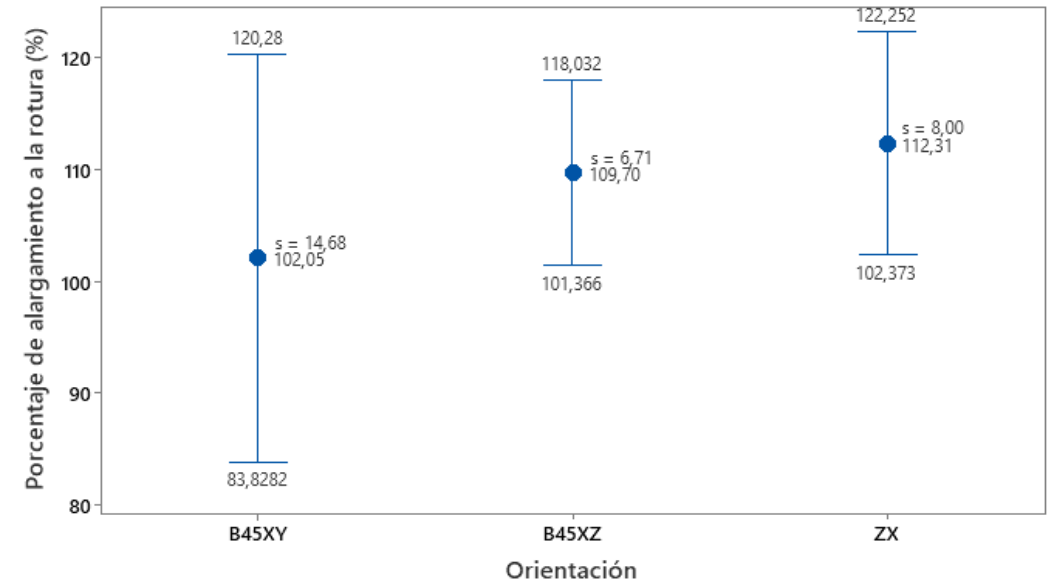
Resistencia última a la tracción



ANOVA

$$p (0.163) > \alpha (0.05)$$

Porcentaje de alargamiento a la rotura



ANOVA

$$p (0.305) > \alpha (0.05)$$

Todas las medias son iguales.



Caracterización del sustrato

Resina elástica 50A

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

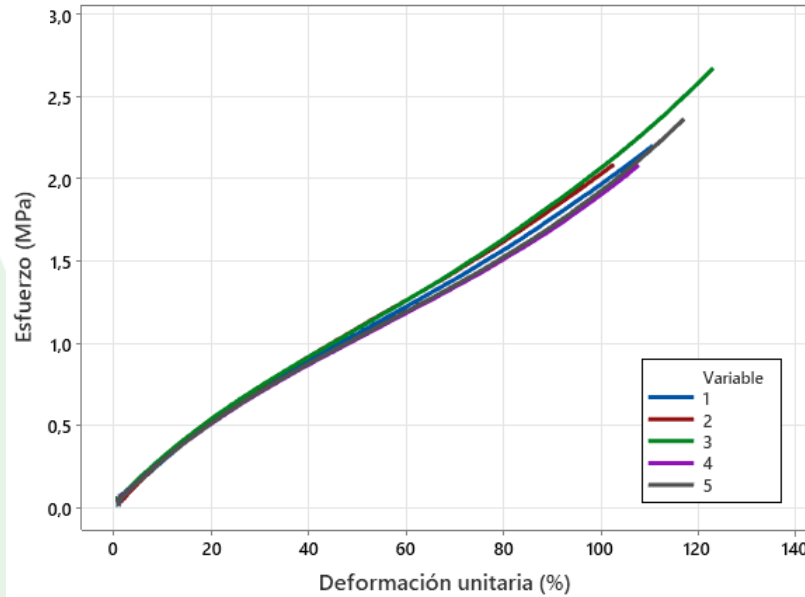
Metodología

Resultados y discusión

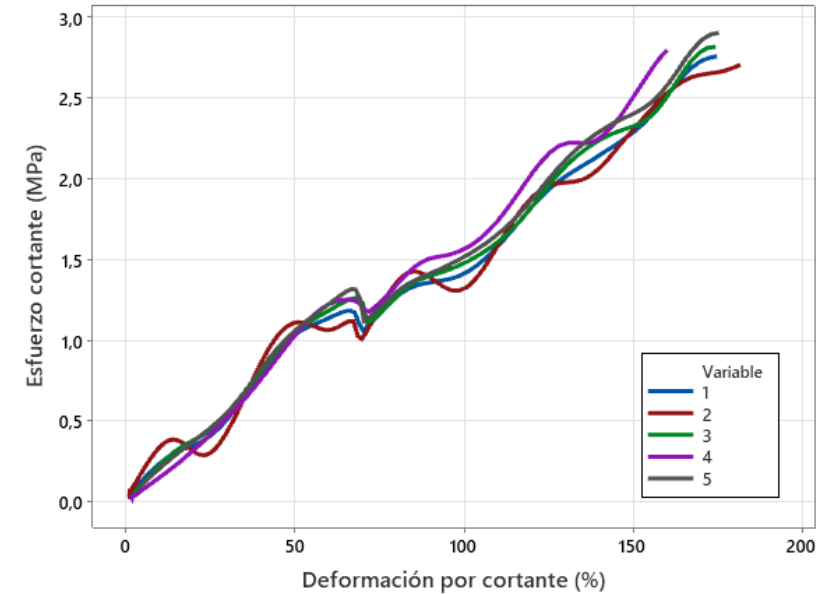
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Esfuerzo vs Deformación unitaria



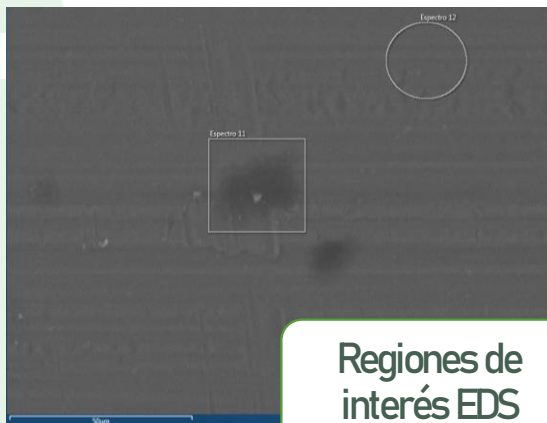
Esfuerzo cortante vs Deformación por cortante

Ensayo	Propiedad	Valor
Tracción	Resistencia última a la tracción [MPa]	2.27 ± 0.25
	Porcentaje de alargamiento a la rotura [%]	112.31 ± 8.00
Torsión	Resistencia al corte [MPa]	2.80 ± 0.07
	Deformación por cortante [%]	173.28 ± 7.93

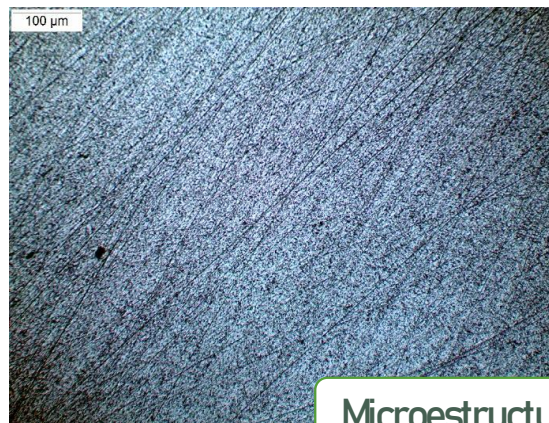


Caracterización del conductor

Cinta de aluminio comercial



Regiones de interés EDS

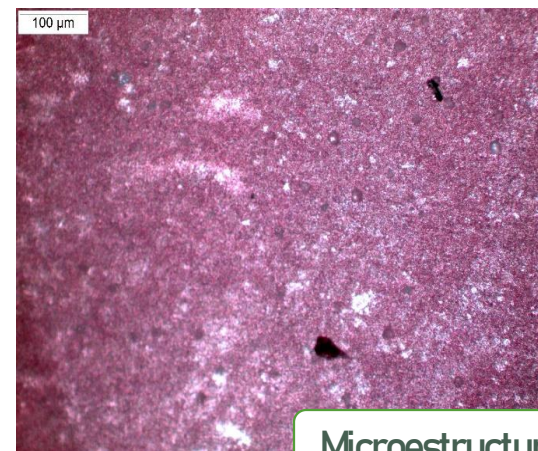


Microestructura

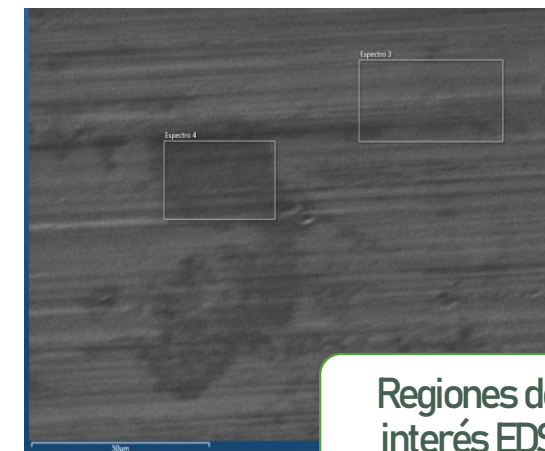
Elemento	Porcentaje (%)	
	Espectro 11	Espectro 12
Aluminio	92.9	99.1
Oxígeno	4.4	-
Silicio	1.3	-
Hierro	1.4	0.9

Cinta de cobre comercial

Elemento	Porcentaje (%)	
	Espectro 3	Espectro 4
Cobre	100	94.1
Oxígeno	0	5.9



Microestructura



Regiones de interés EDS

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

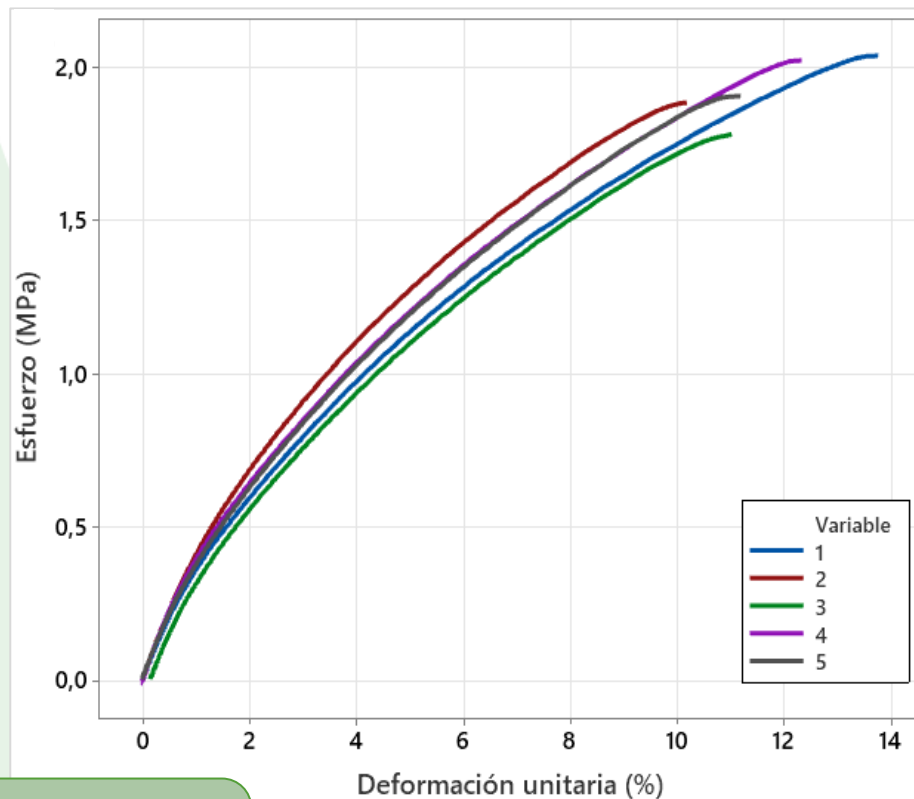
Recomendaciones

Trabajo Futuro

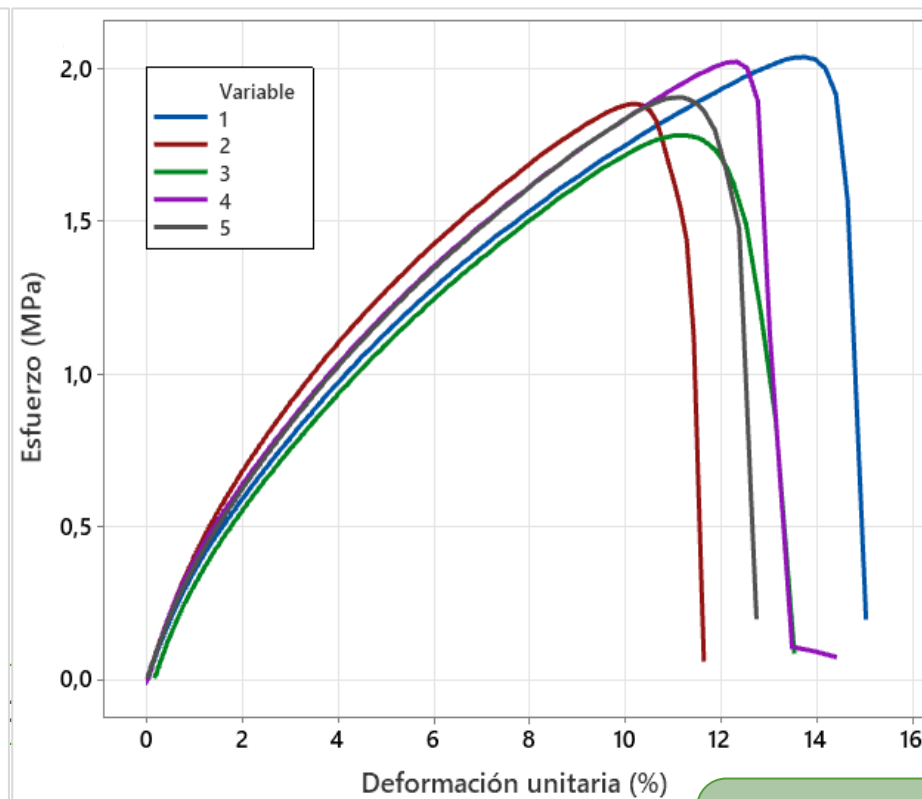


Evaluación de las propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

Ensayo de tracción



Fallo
mecánico



Fallo
electrónico

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Evaluación de las propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

Ensayo de tracción

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

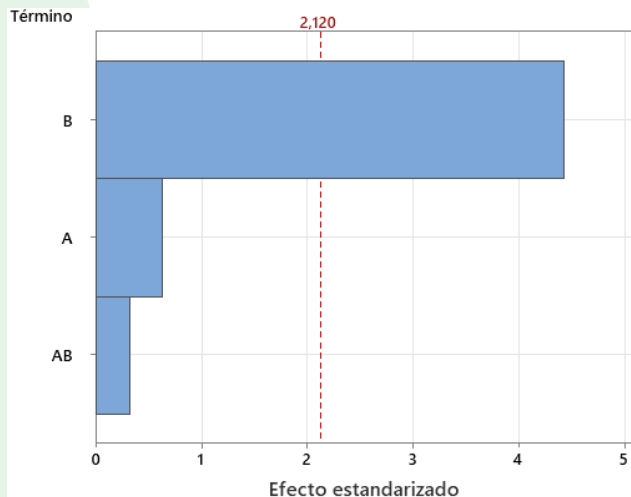
Metodología

Resultados y discusión

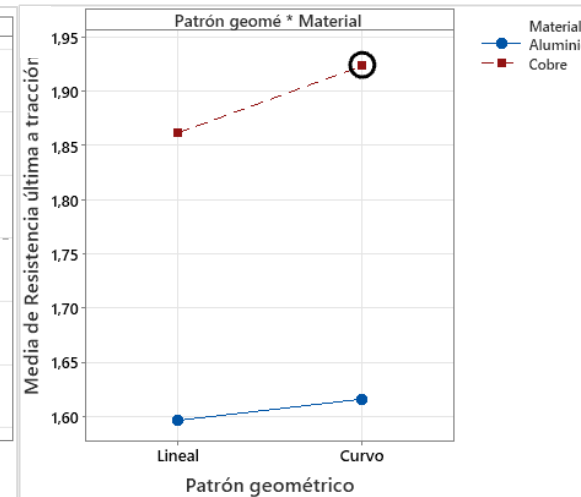
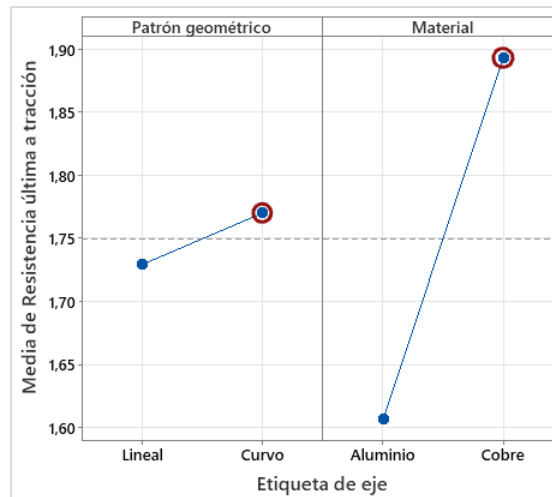
Conclusiones

Recomendaciones

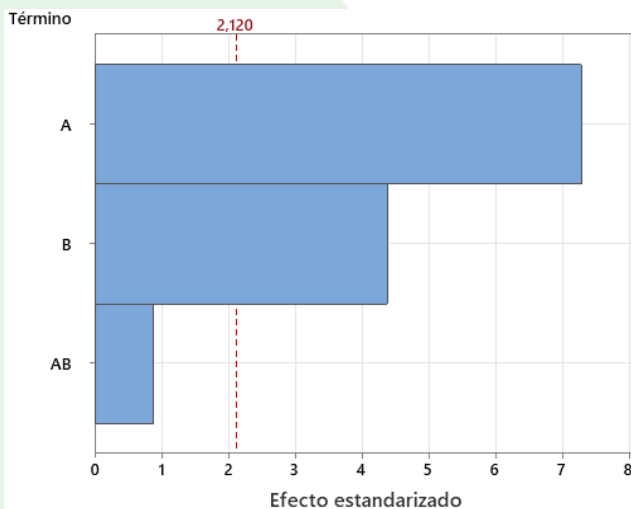
Trabajo Futuro



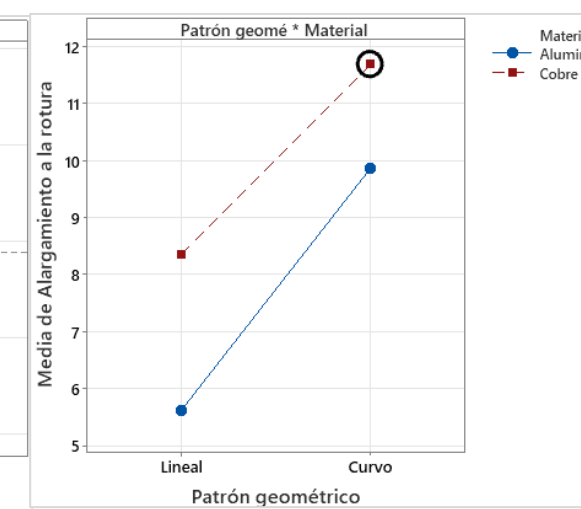
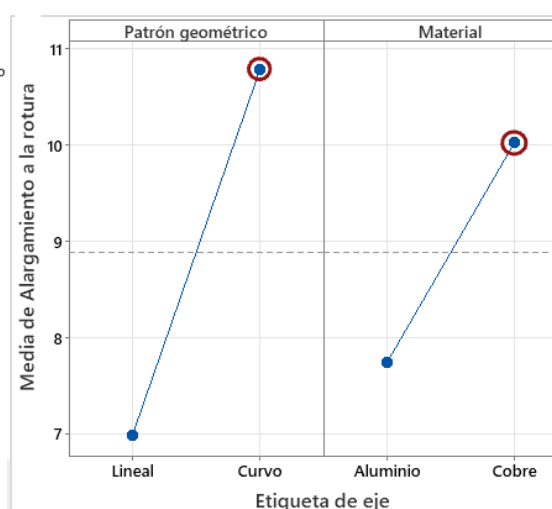
Factor A Nombre Patrón geométrico
Factor B Material



Resistencia última a la tracción



Factor A Nombre Patrón geométrico
Factor B Material



Porcentaje de alargamiento a la rotura



Evaluación de las propiedades mecánicas asociadas al doblado y estiramiento

Caracterización sistema electrónico flexible

Materiales de fibra
continua y alineada

Ley de mezclas

Resistencia última a la tracción = 1.978 [MPa]

Error = 2.9 [%]

Ensayo	Propiedad	Valor
Tracción	Resistencia última a la tracción [MPa]	1.92 ± 0.11
	Porcentaje de alargamiento a la rotura [%]	11.69 ± 1.38
Torsión	Resistencia al corte [GPa]	3.62 ± 0.38
	Deformación por cortante [%]	17.67 ± 2.73

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la
literatura

Metodología

Resultados y
discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

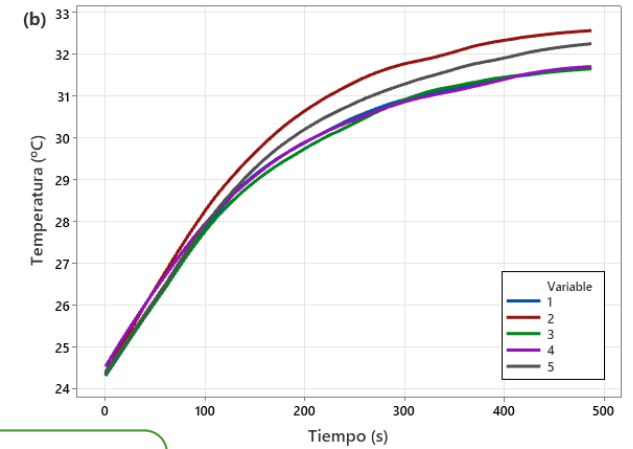
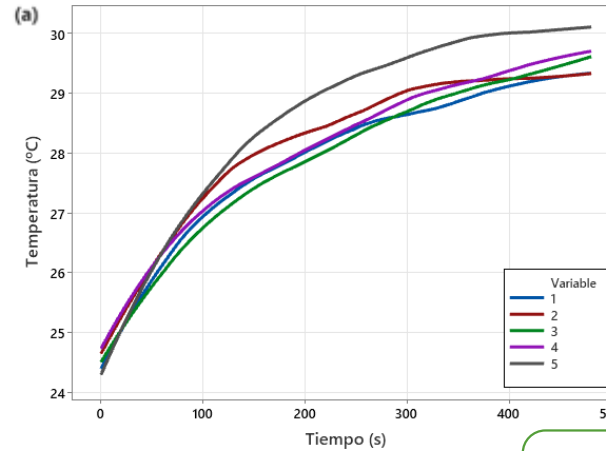


Evaluación de las propiedades eléctricas y electrónicas del sistema

Atenuación: No hubo reducción en la magnitud de onda

Incremento en temperatura

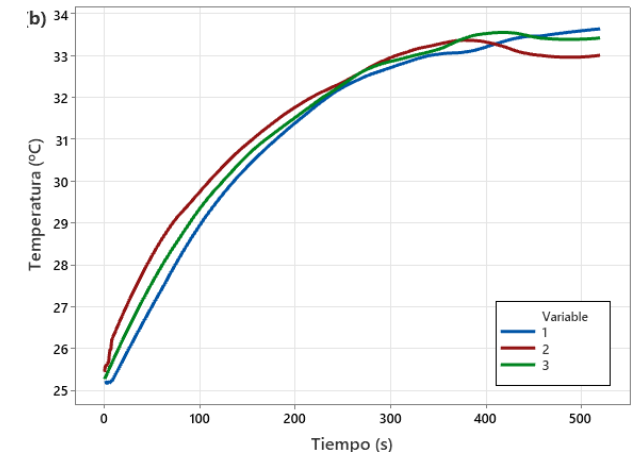
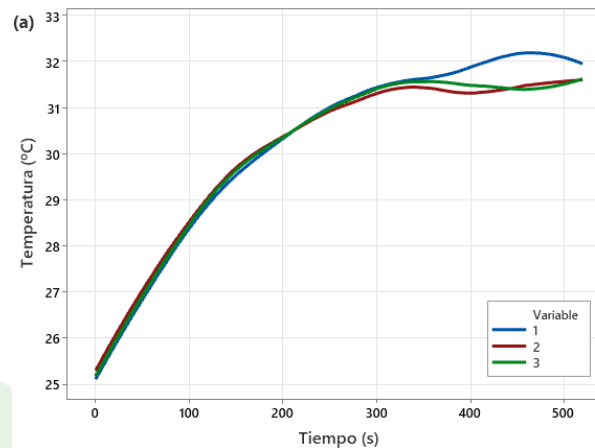
Material	Incremento temperatura	Unidades
Aluminio	5.11 ± 0.40	°C
Cobre	7.61 ± 0.38	°C



a) Aluminio
b) Cobre

Voltaje máximo de funcionamiento

Material	Incremento temperatura	Unidades
Aluminio	6.57 ± 0.32	°C
Cobre	8.29 ± 0.31	°C



Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro



Implementación de un sistema electrónico flexible en una aplicación industrial

Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

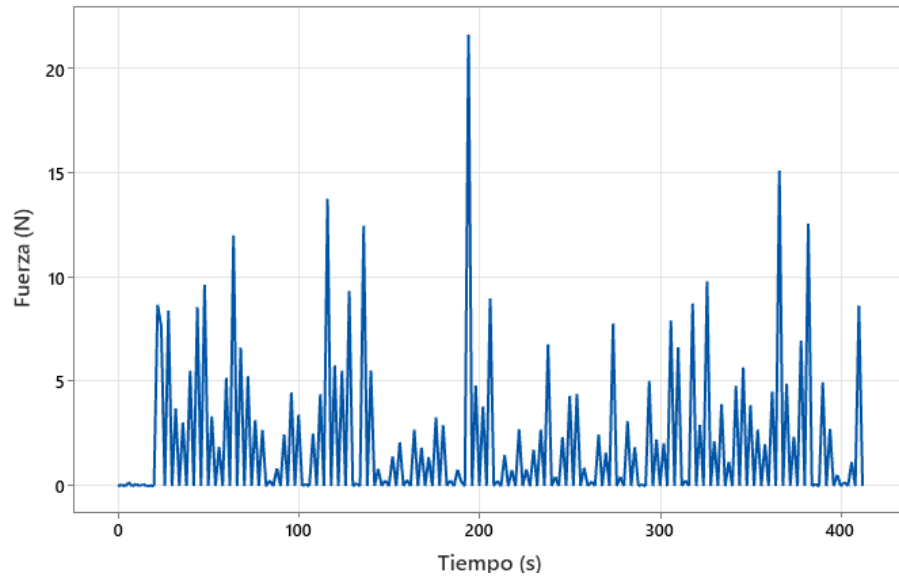
Resultados y discusión

Conclusiones

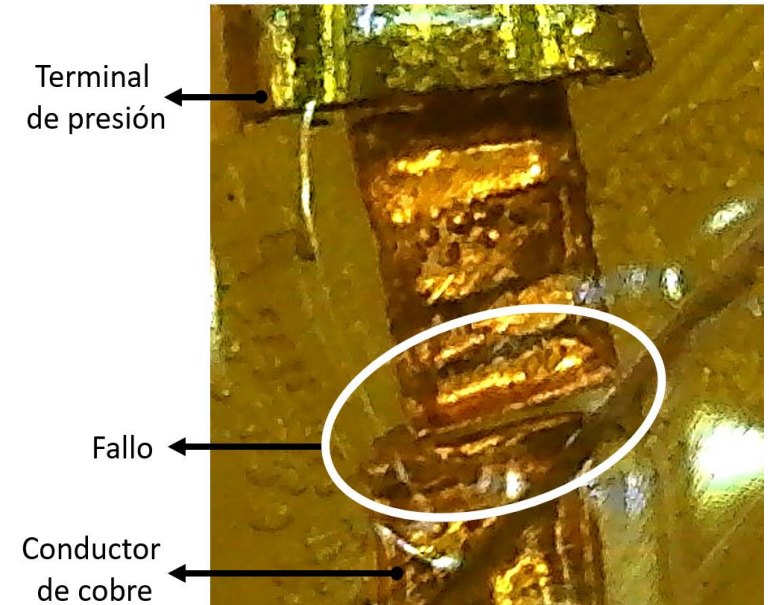
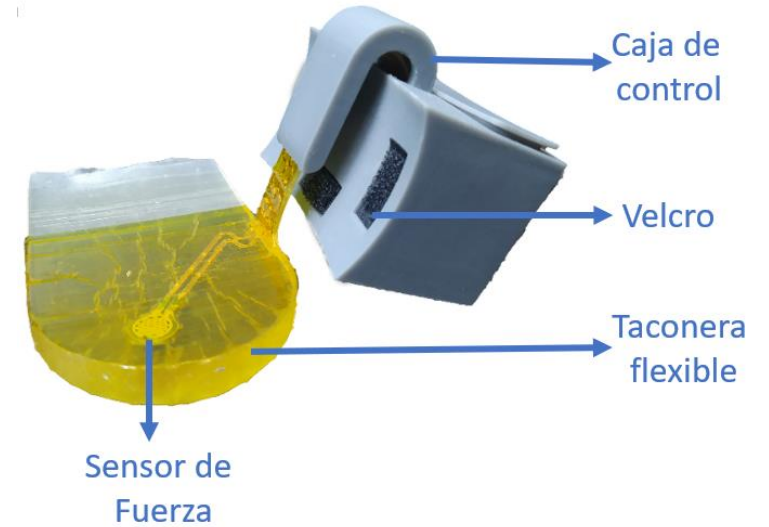
Recomendaciones

Trabajo Futuro

Fuerza vs Tiempo



Parámetro	Valor	Unidades
Tiempo	6.33	min
Fuerza máxima	21.62	N





ECUADOR

Antecedentes y
Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la
literatura

Metodología

Resultados y
discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Conclusiones

- Un sistema electrónico flexible usando impresión 3D constituye un producto que aporta un nuevo enfoque a aplicaciones industriales y cotidianas.
- La plataforma de diseño facilita el diseño paramétrico y dimensionamiento del sistema acorde a requerimientos específicos.
- El material cobre y el patrón geométrico curvo maximizan las propiedades mecánicas del sistema electrónico flexible.
- El sistema no genera atenuación, es altamente conductivo y en funcionamiento normal la traza de cobre incrementa en mayor medida su temperatura respecto al aluminio.
- La taconera inteligente recopiló información de la marcha del usuario al someterse a caminata, trote, corrida y saltos. Sufrió un fallo en la unión del sensor con el conductor. El generar un pliegue del conductor en esta zona mejoraría considerablemente al sistema.



Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

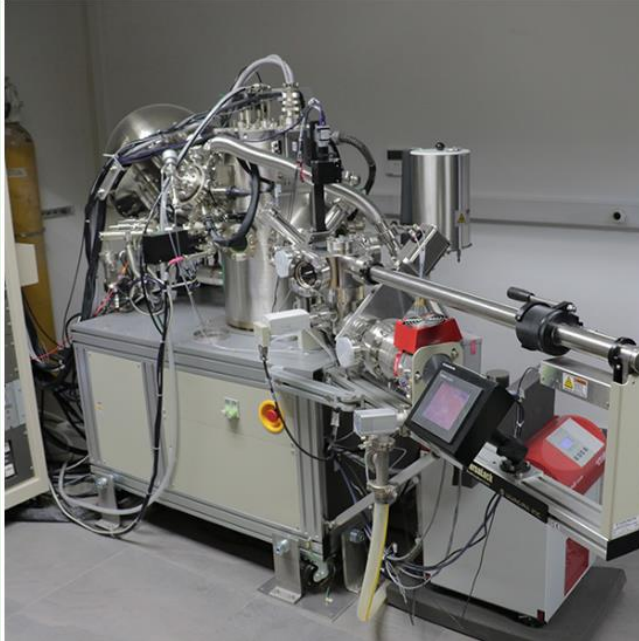
Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Recomendaciones



Investigar acerca de equipos y laboratorios de universidad local y aledañas



Calibración y mantenimiento periódico de equipos



Control en el posprocesado – Cernido

(Mugast, s. f.; Yachay TECH, s. f.; ZwickRoell, s. f.)



Antecedentes y Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la literatura

Metodología

Resultados y discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Trabajo Futuro



- Impedancia durante ensayos mecánicos
- Conductividad eléctrica



- Flexión
- Burst Pressure

Caracterización más amplia



Fusionar la impresión 3D con la electrónica orgánica

(Klauk, 2006; Nevett, 2016)



GRACIAS POR SU ATENCIÓN

BALSECA CIFUENTES ANGIE LUCIANA
albalseca@espe.edu.ec
agosto - 2023



Antecedentes y
Justificación

Alcance

Objetivos

Revisión de la
literatura

Metodología

Resultados y
discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajo Futuro

Referencias

Formlabs. (s. f.). Familia de resinas: Flexible y Elastic. Formlabs. <https://formlabs.com/es/materials/flexible-elastic/>

Hamburg, G. (s. f.). Métodos de ensayos mecánicos. <https://n9.cl/qtt5yo>

Klauk, H. (2006). Organic Electronics: Materials, Manufacturing, and Applications. John Wiley & Sons.

Liu, C., Huang, N., Xu, F., Tong, J., Chen, Z., Gui, X., Fu, Y., & Lao, C. (2018). 3D printing technologies for flexible tactile sensors toward wearable electronics and electronic skin. *Polymers*, 10(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym10060629>

Mugast. (s. f.). Mugast Embudo de Impresora 3D Plegable Filtro de Resina Facil de Limpiar para Todas Las Botellas de Cuello Ancho de 15 mm: Amazon.com.mx: Hogar y Cocina. Recuperado 29 de agosto de 2023, de <https://arcus-www.amazon.com.mx/Mugast-Impresora-Plegable-Limpiar-Botellas/dp/Bo7RKQJCO7>

Nevett, J. (2016, diciembre 14). New robot hand responsive to touch can 'FEEL PAIN like humans'. *Dailystar.Co.Uk*. <https://www.dailystar.co.uk/news/latest-news/soft-robot-hand-human-touch-17081346>

Xu, W., Huang, M.-C., Amini, N., Liu, J. J., He, L., & Sarrafzadeh, M. (2012). Smart insole: A wearable system for gait analysis. *Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 1-4. <https://doi.org/10.1145/2413097.2413120>

Yachay TECH. (s. f.). Laboratorios de Física – Yachay Tech. Recuperado 29 de agosto de 2023, de <https://www.yachaytech.edu.ec/lab-fisica/>

Zou, R., Xia, Y., Liu, S., Hu, P., Hou, W., Hu, Q., & Shan, C. (2016). Isotropic and anisotropic elasticity and yielding of 3D printed material. *Composites Part B: Engineering*, 99, 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.009>

ZwickRoell. (s. f.). Calibración de máquinas y equipos de ensayos de materiales. Calibración de máquinas y equipos de ensayos de materiales. Recuperado 29 de agosto de 2023, de <https://www.zwickroell.com/es/servicios/calibracion/>