



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# **INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE RELLENO EN EL COMPORTAMIENTO MECANICO A LA FLEXION DE PIEZAS FABRICADAS EN IMPRESORAS 3D DE BAJO COSTE**

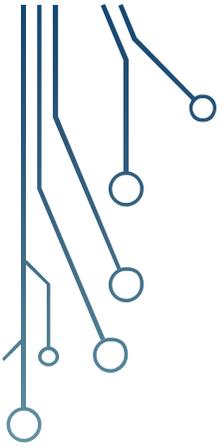
**MASTER EN DISEÑO Y FABRICACION INTEGRADA ASISTIDA POR COMPUTADOR**

Presentado por: Wilson Calle Guamantario

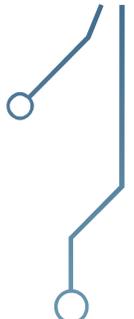
Dirigido por: Andrés Conejero Rodilla  
Santiago Ferrándiz Bou

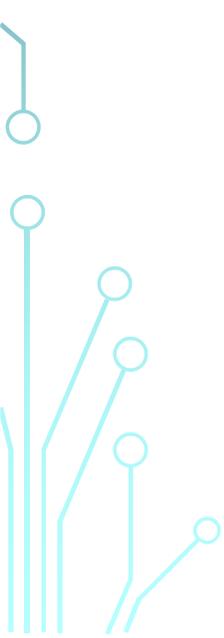


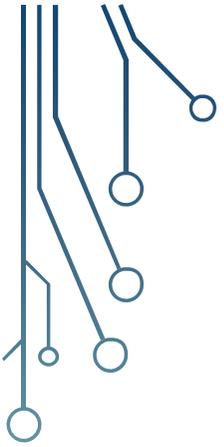
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



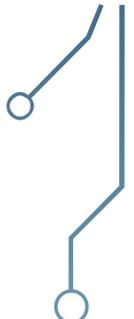
## OBJETIVO GENERAL:



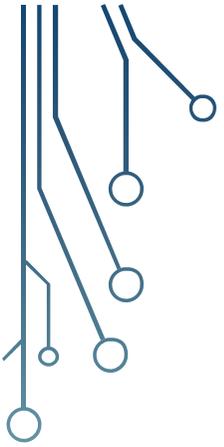
- Conocer la influencia que tienen los parámetros patrón y densidad de relleno en el comportamiento mecánico a la flexión de piezas impresas en 3D con tecnologías de bajo coste (Fused Filament Fabrication).
- 
- 



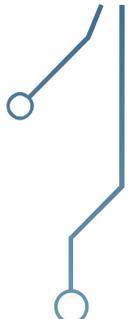
# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

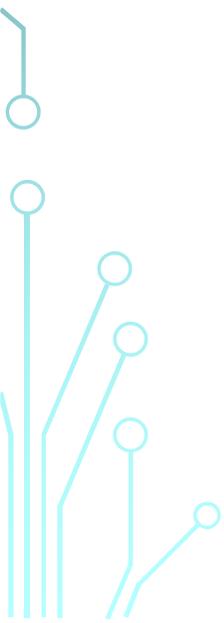


- Conocer las características de los procesos de fabricación aditiva FDM y FFF.
  - Documentar investigaciones relacionadas con el comportamiento mecánico de piezas obtenidas mediante procesos de fabricación aditiva FDM y FFF.
  - Analizar las características de la impresora Prusa i3 utilizada para la fabricación de probetas.
- 
- 



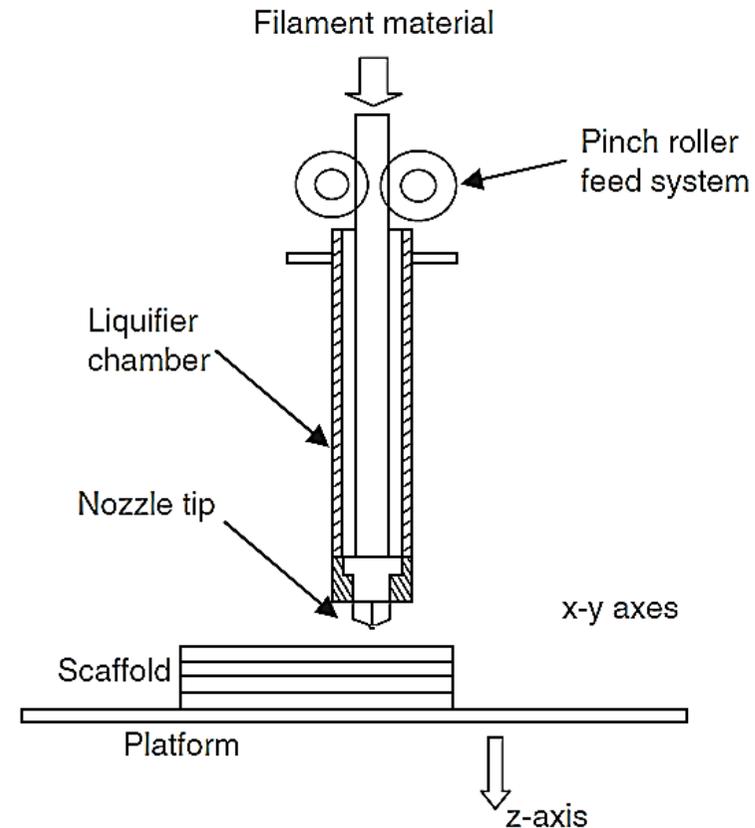
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS



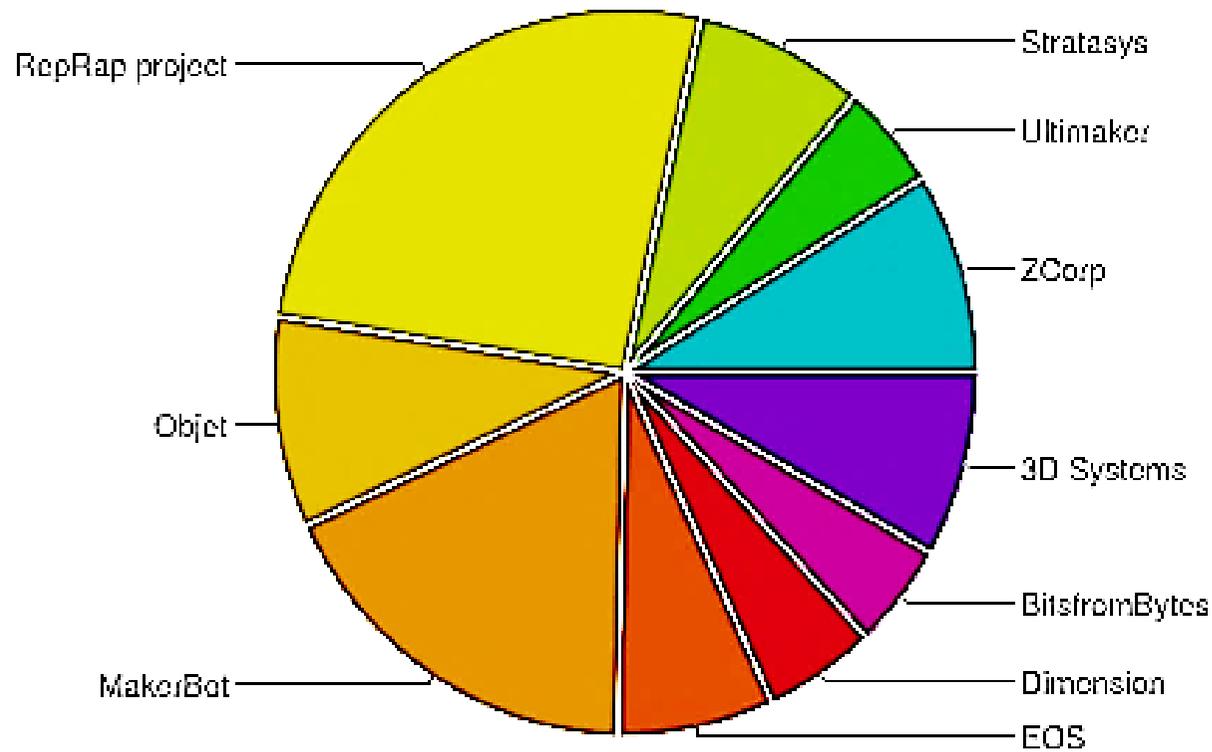
- Seleccionar los parámetros de impresión variables y constantes para fabricar las probetas del estudio.
  - Definir las características dimensionales y geométricas de las probetas fabricadas mediante FFF según las normas pertinentes.
  - Analizar los resultados obtenidos en los ensayos de flexión de las probetas fabricadas por FFF.
- 
- 

# ¿QUÉ ES EL FUSED DEPOSITION MODELING?

- Conocida por sus siglas FDM es producida, desarrollada y patentada por Stratasy, utiliza un calentamiento de la cámara para licuar el termoplástico que se alimenta en el sistema como un filamento que es empujado por un sistema de avance de rodillos y es está también genera la presión de extrusión



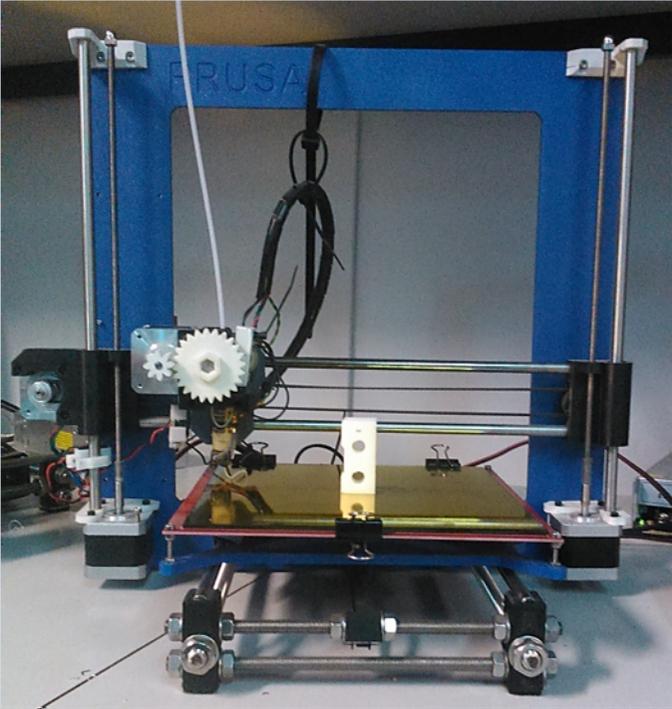
# ¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS FFF?



# RESULTADOS EN INVESTIGACIONES SIMILARES

Tipo de ensayo	Tecnología de fabricación	Material	Resistencia (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Deformación mm/mm
Tracción	FFF	ABS	27,6 – 29,7	1807	0,0212
		PLA	48,5 – 60,4	3368	0,0193
Compresión	FFF	PLA	-	403 – 969	-
Tracción	FDM	ABS	7,6 – 15,9 14,5 – 25,7	1520 840	-
Compresión	FDM	ABS	30,1 – 43,69	382 – 417	-
Flexión	<b>FDM</b>	<b>ABS</b>	<b>18,82 – 64,35</b>	<b>1250 - 1549</b>	-
Impacto Izod	FDM	ABS	1,59 – 2,99 J / cm	-	-
Impacto Charpy	FDM	ABS	0,34 – 0,48 MJ / m <sup>2</sup>	-	-

# IMPRESORA UTILIZADA

Características	Valor	Impresora Prusa i3
Dimensiones de la impresora	x = 440 mm y = 380 mm z = 380 mm	
Desplazamiento en X	x = 200 mm	
Desplazamiento en Y	y = 200 mm	
Altura de impresión Z	z = 200mm	
Firmware	RepRap Marlín	
Extrusores	1	
Diámetro boquilla	0,5 mm	
Diámetro filamento admitido	3 mm	
Material de impresión	ABS PLA	
Temperatura máxima Hotend	240°C	
Controlador	Placa Arduino 2560	

# MATERIAL UTILIZADO

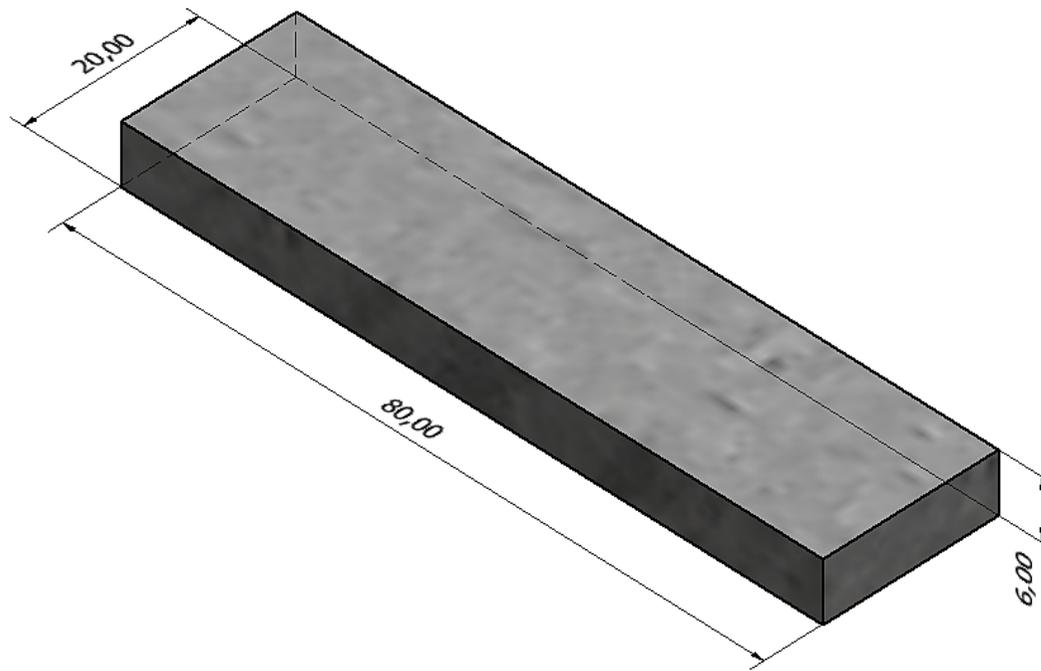
ABS (acrilonitrilo, butadieno y estireno) suministrado en bobinas de 1 kg de filamento de 3 mm de diámetro, aproximadamente 275 m de longitud.

Propiedad	Valor
Densidad	1,5 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusión	180-220 °C
Alargamiento a la rotura	45%
Coef. De fricción	0,5
Modulo de tracción	2,1-2,4 GPa
Resistencia a la tracción	41-45 MPa
Resistencia al impacto Izod	200-400 J/m
Absorción de agua	0,3-0,7% a las 24h



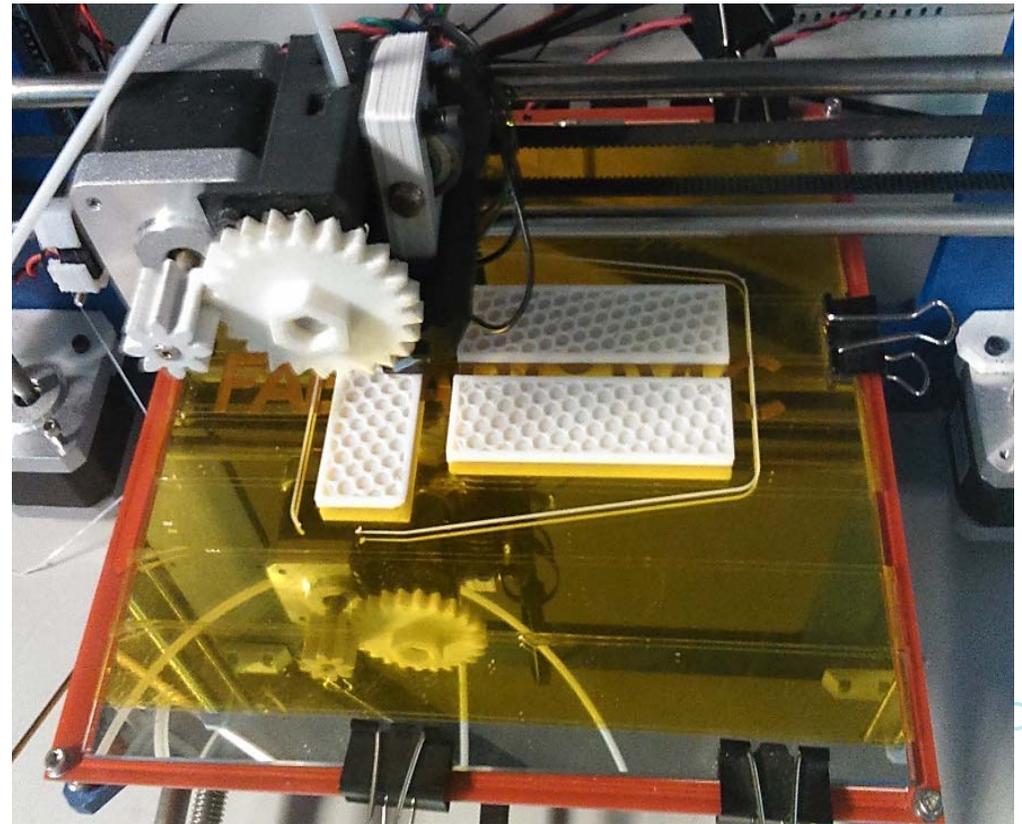
# PROBETAS DE FLEXION

- Adaptación de la norma UNE - EN ISO 178 : 2010 para nuestro estudio.



# DISEÑO DEL EXPERIMENTO

- Condiciones Ambientales de impresión
- Numero de probetas para el ensayo
- Impresión de las muestras



# DISEÑO DEL EXPERIMENTO

- Diseño Factorial de 2 factores.

Variable dependiente: Resistencia a la flexión

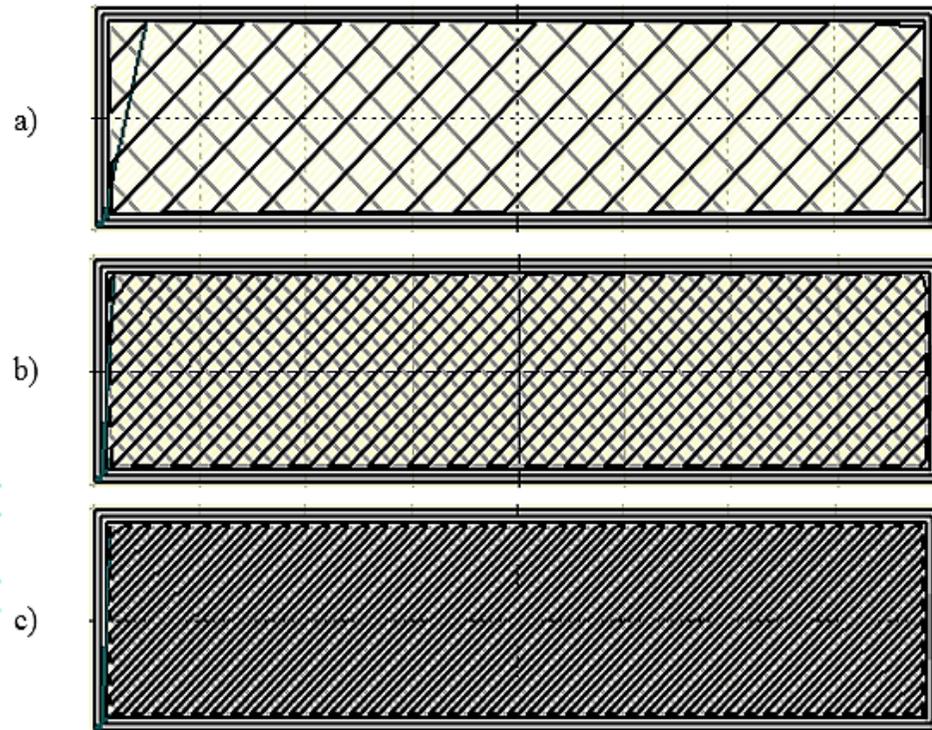
Factores: Densidad de relleno y Patrón de relleno

Número de casos completos: 45

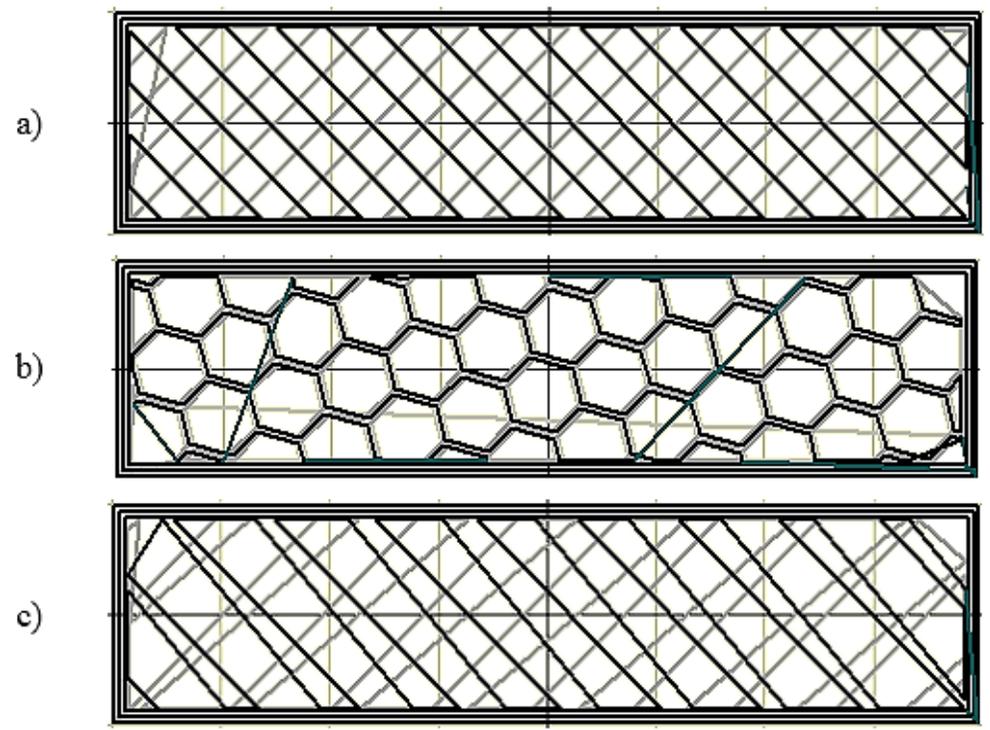
Factores	Niveles		
	-1	0	+1
Densidad de relleno (%)	20	50	100
Patrón de relleno	Line	Honeycomb	Rectilinear

# FACTORES

• Densidad de relleno:



Patrón de relleno:



# ENSAYO DE FLEXION UNE - EN ISO 178 : 2010

El método de ensayo aplicado nos permite determinar las siguientes propiedades:

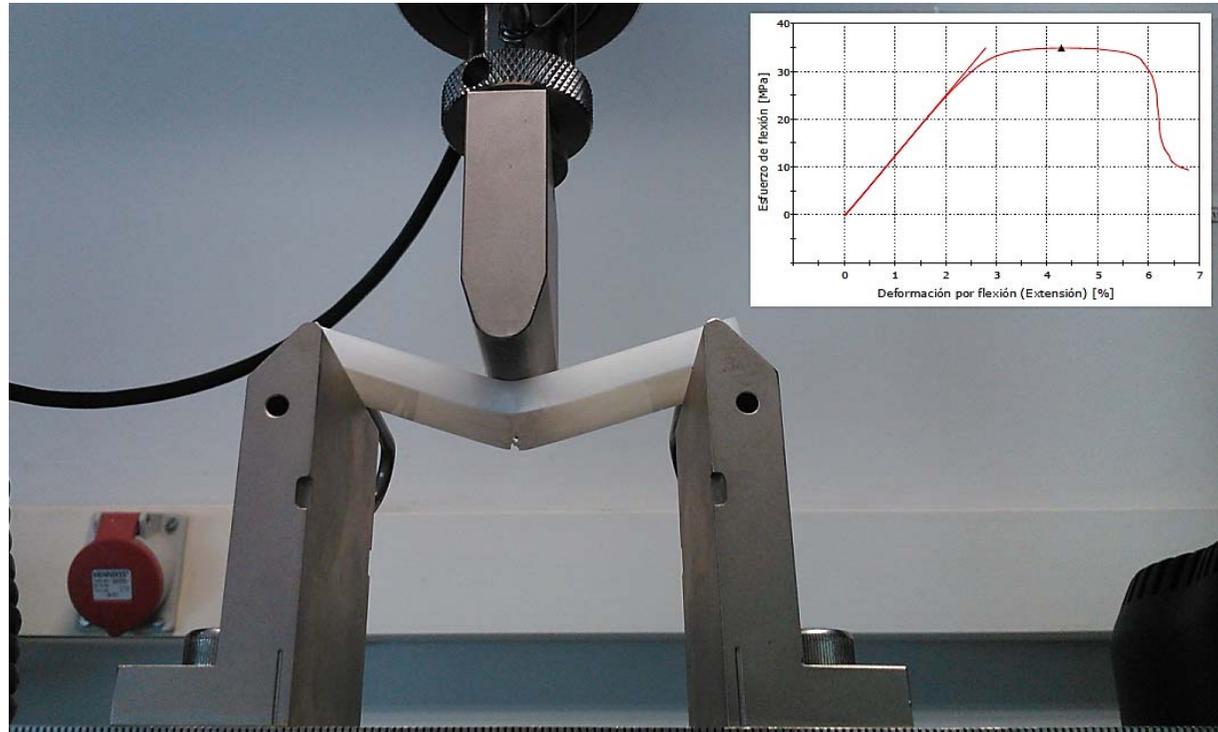
Determinación de la resistencia a la flexión.

Módulo de flexión.

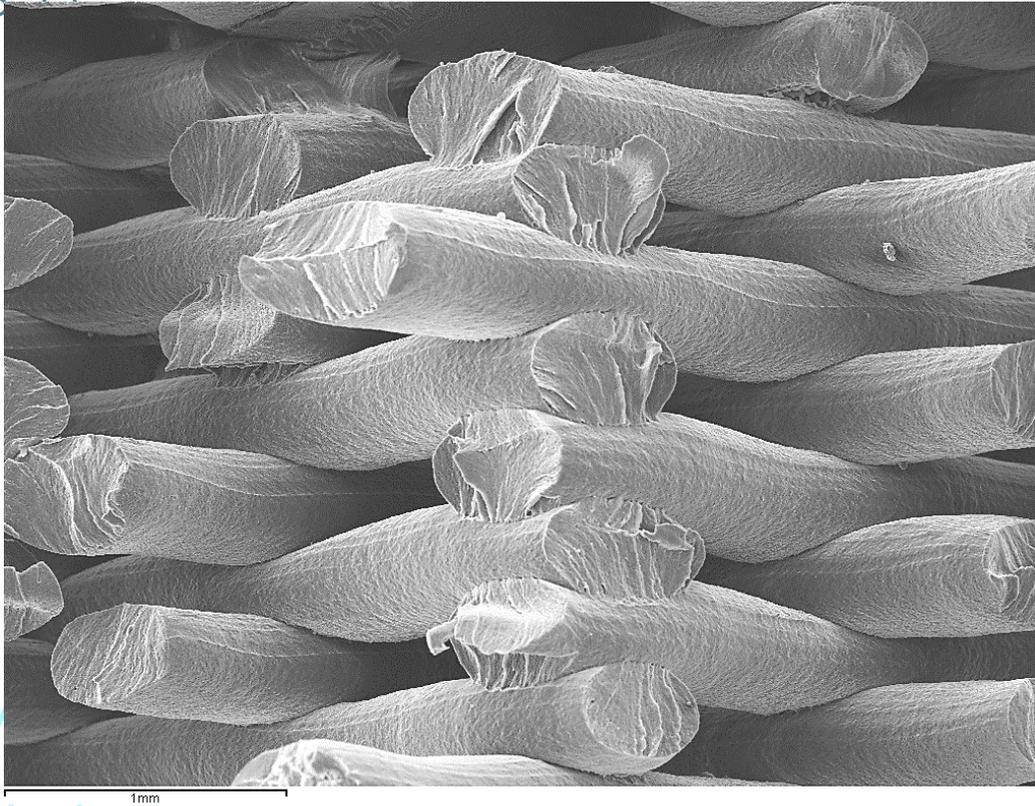
Deformación relacionada con el esfuerzo de flexión.

Velocidad del ensayo: 2mm/min

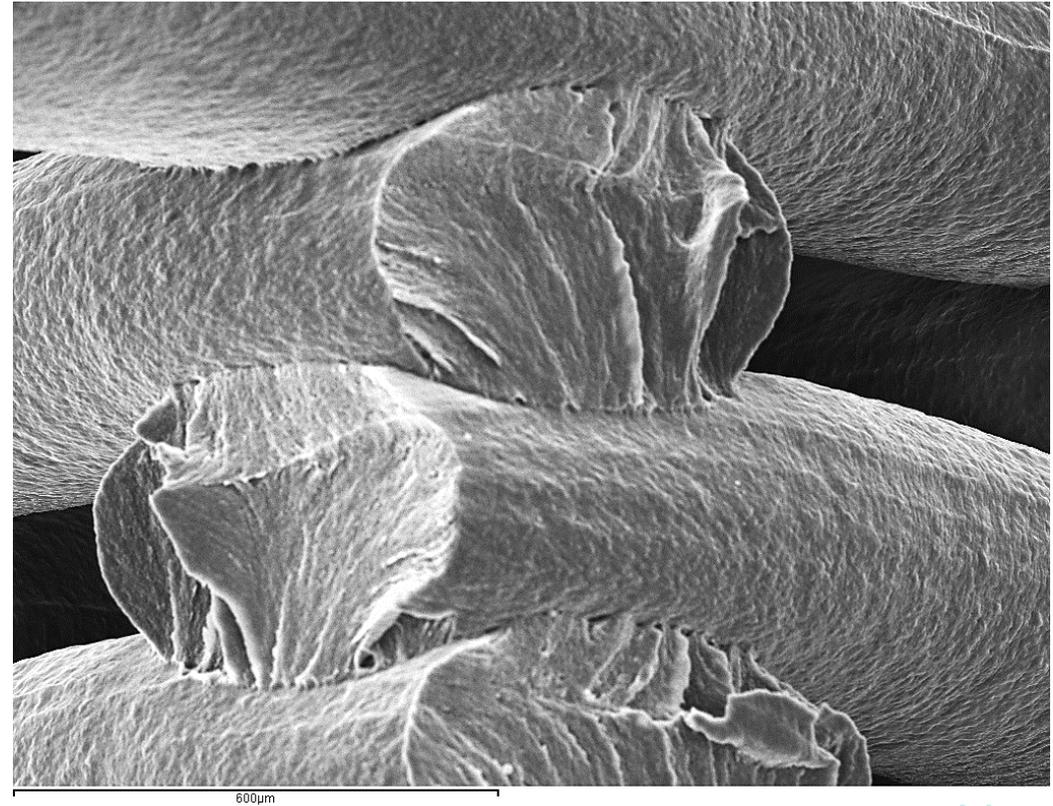
Distancia entre apoyos: 64mm



# MICROGRAFÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

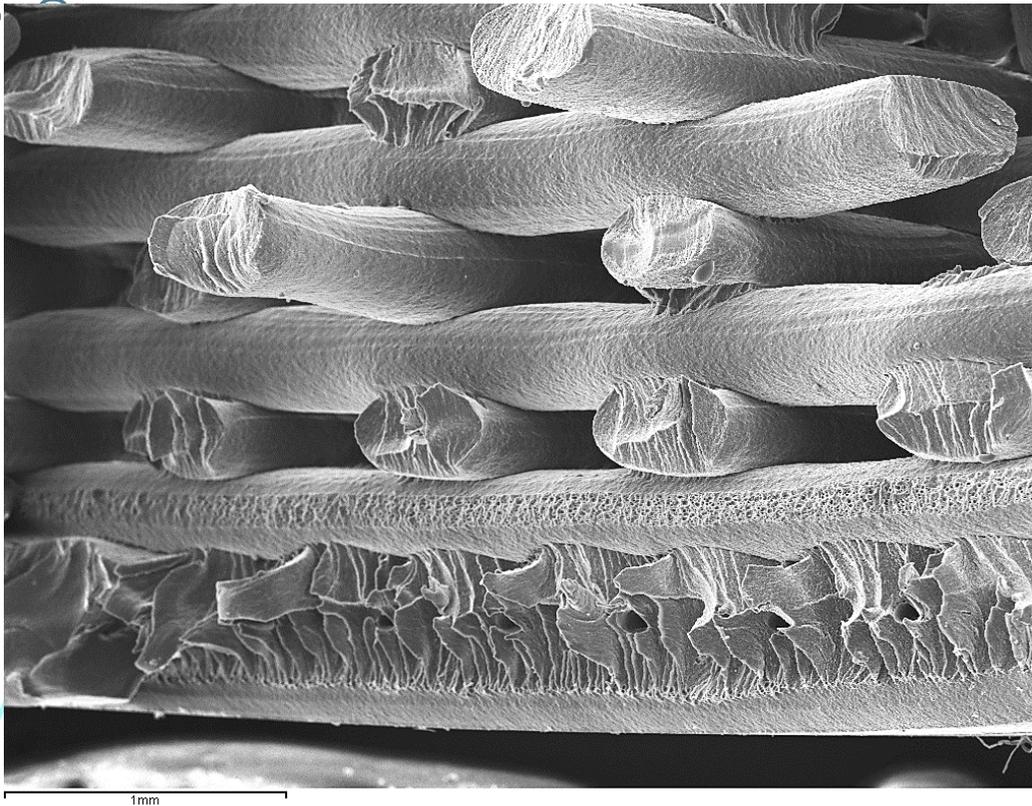


Zona central, probeta Honeycomb 50%, X35

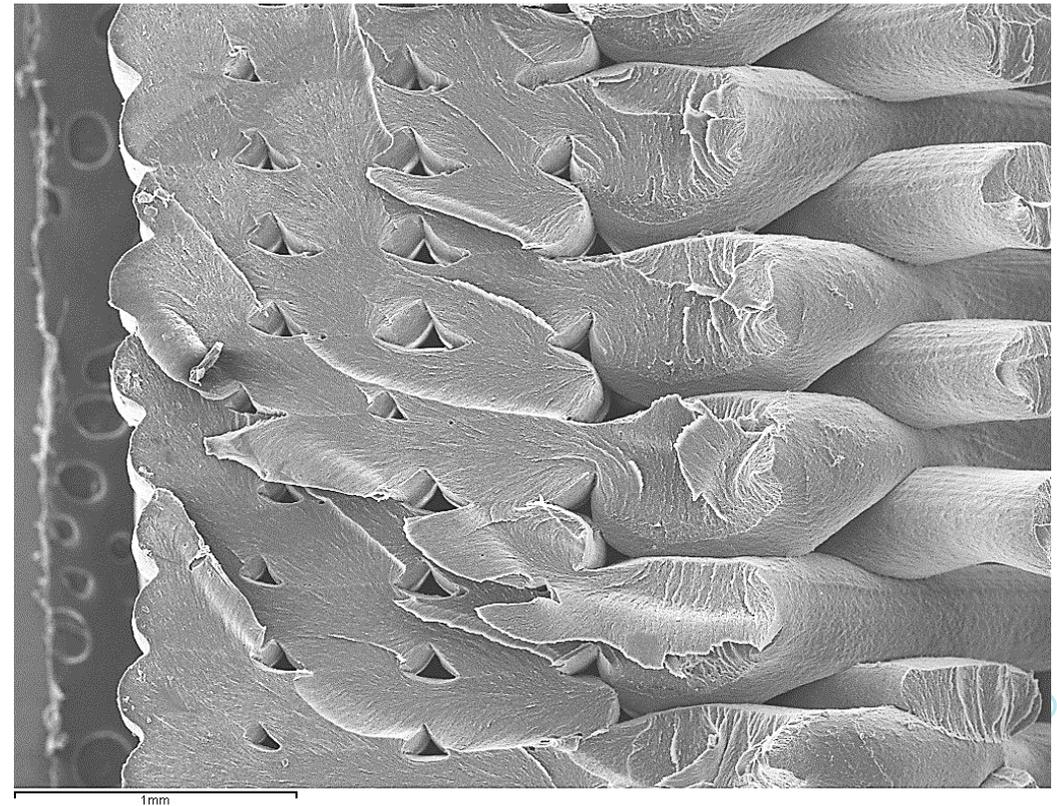


Zona central, probeta Honeycomb 50%, X100

# MICROGRAFÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

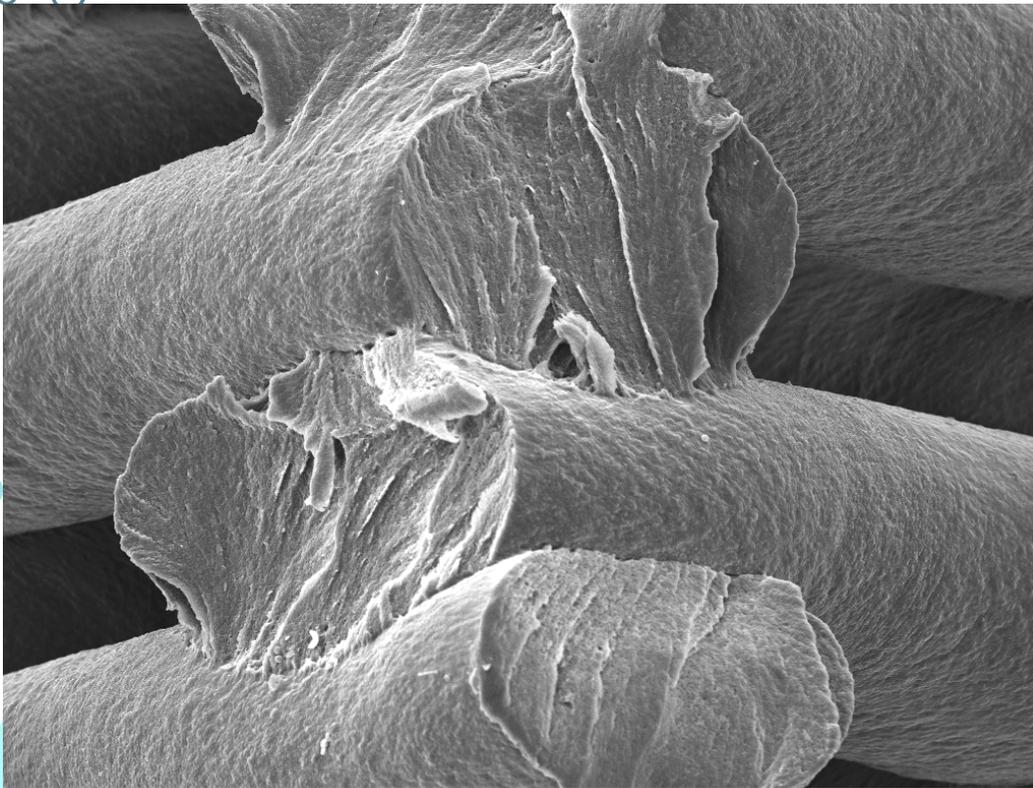


Cara inferior, probeta Honeycomb 50%, X35

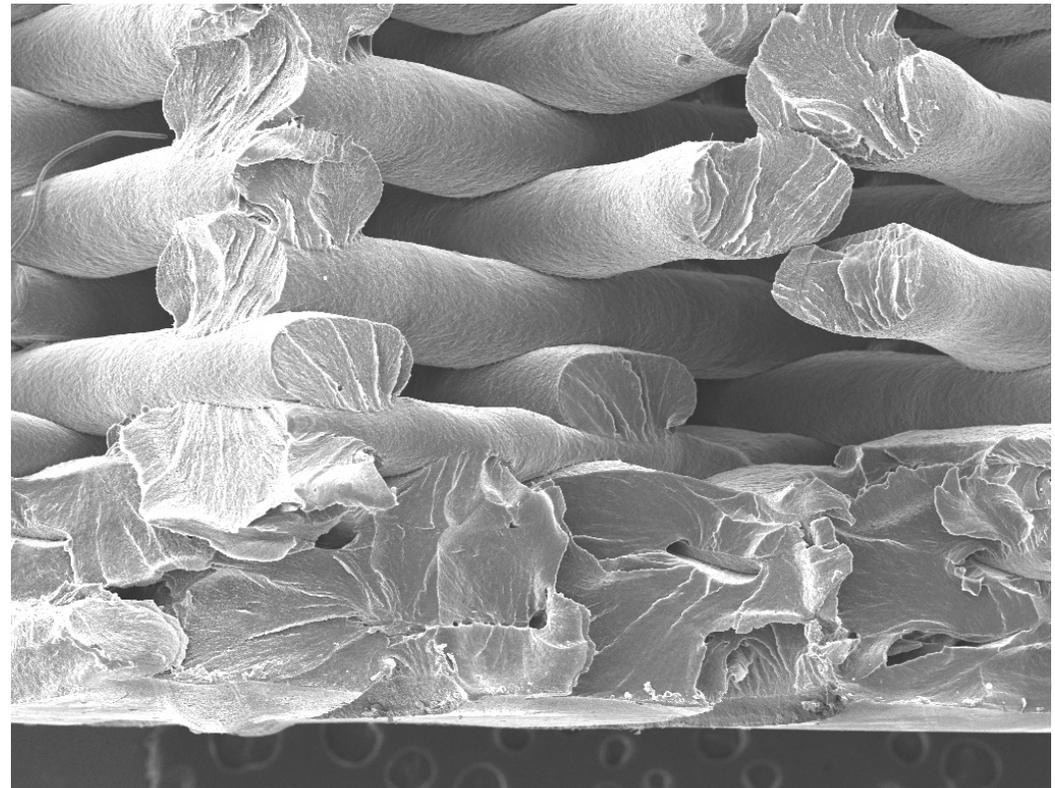


Cara lateral, probeta Honeycomb 50%, X35

# MICROGRAFÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

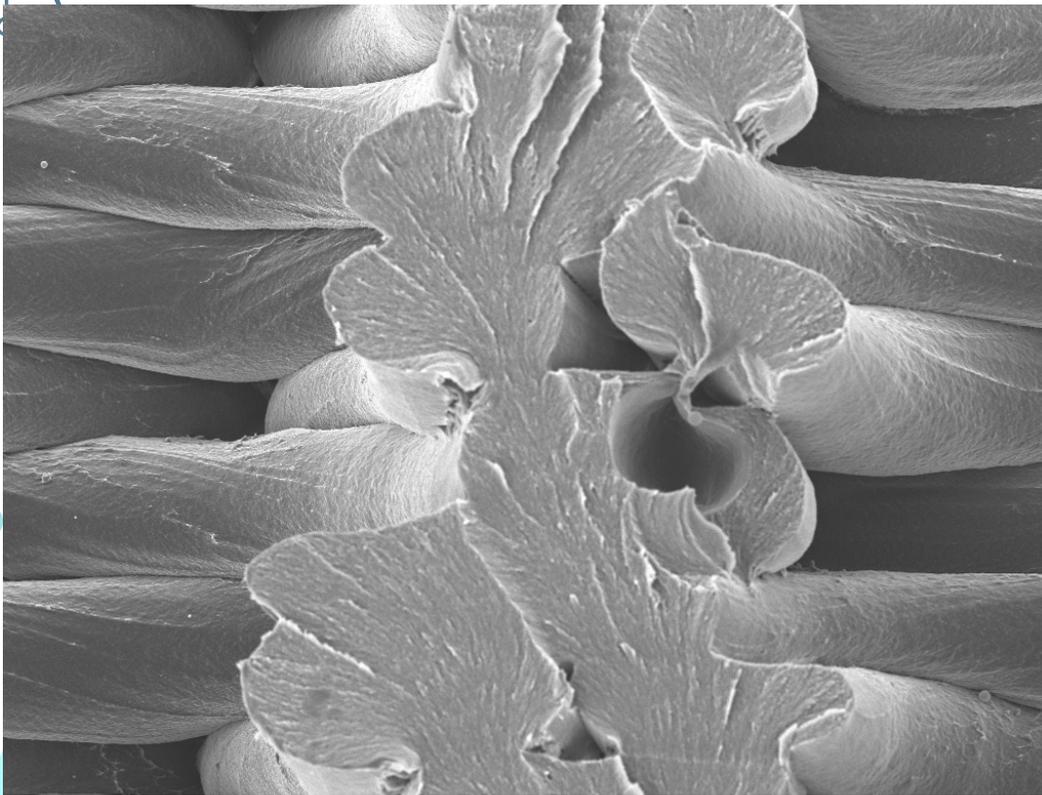


Zona central, probeta Line 50%, X100

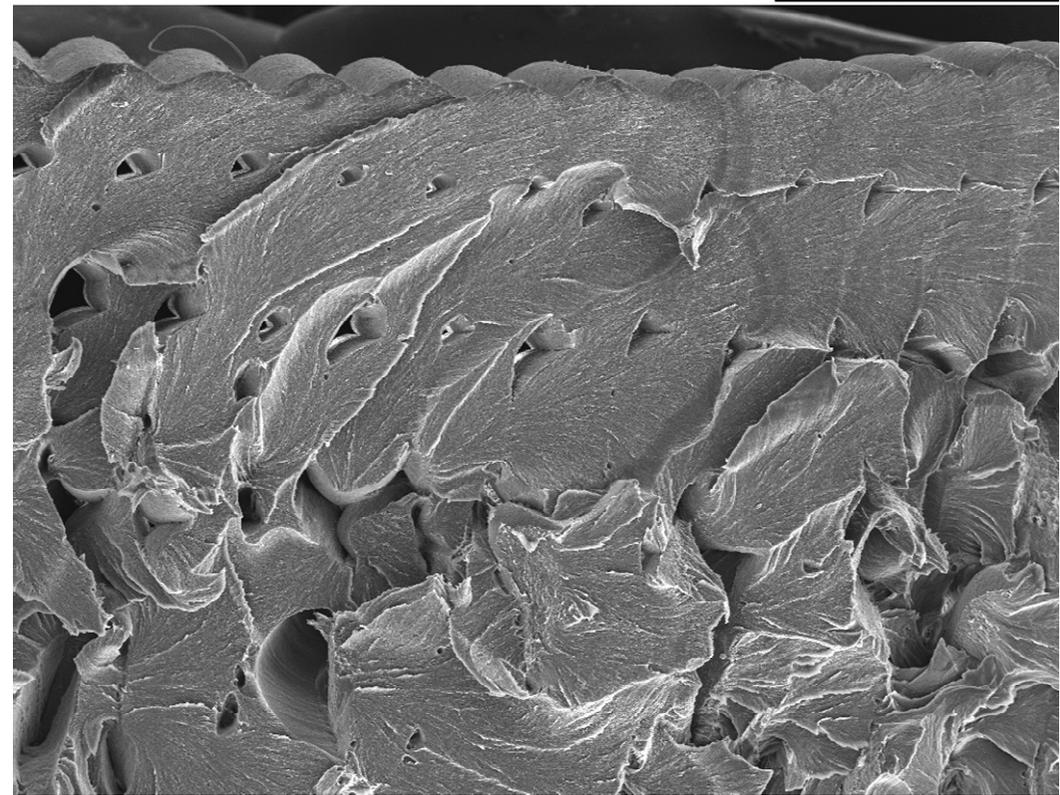


Cara inferior, probeta Line 50%, X35

# MICROGRAFÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO



Zona central, probeta Rectilinear 50%, X50

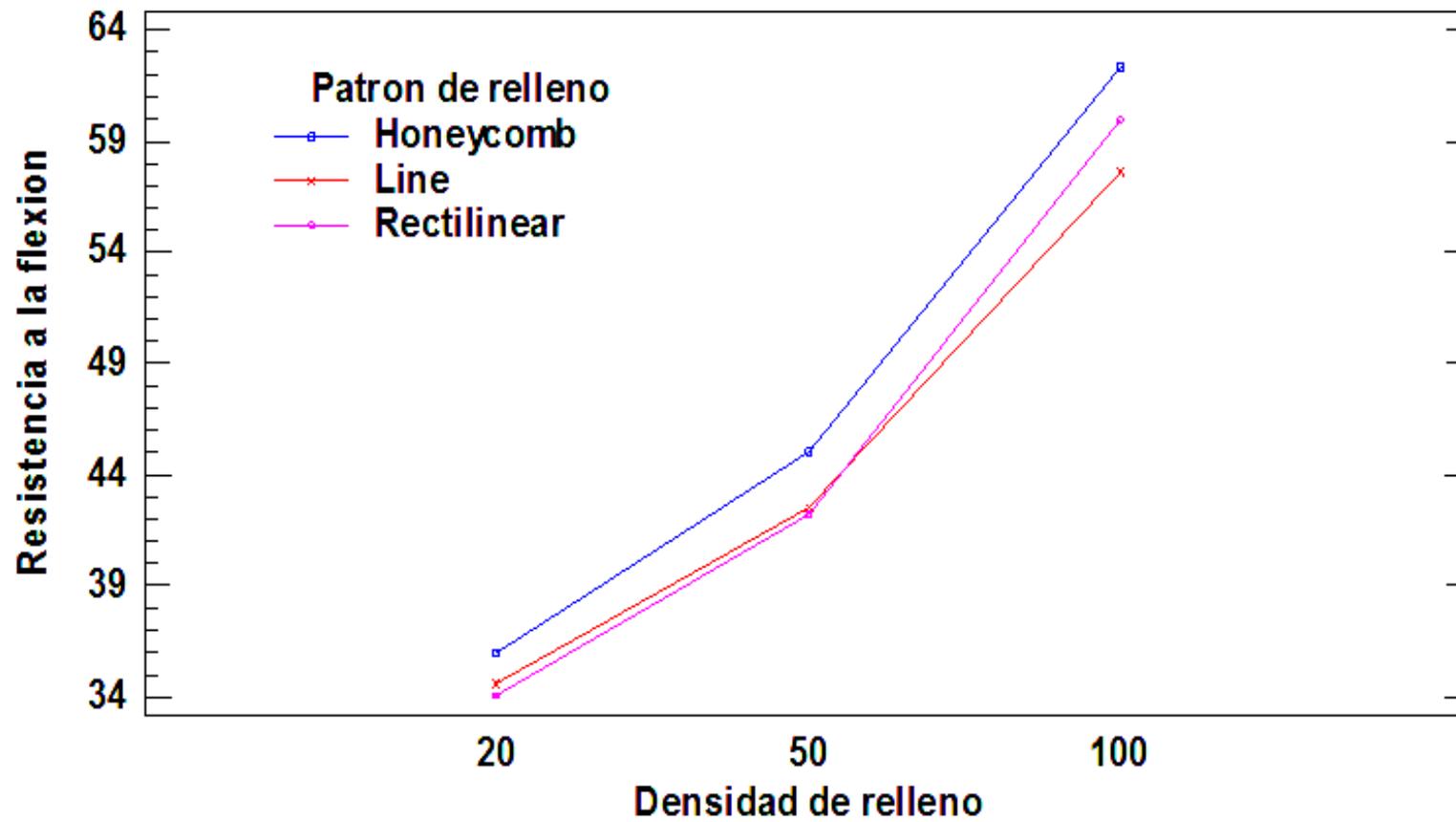


Cara superior, probeta Rectilinear 100%, X35

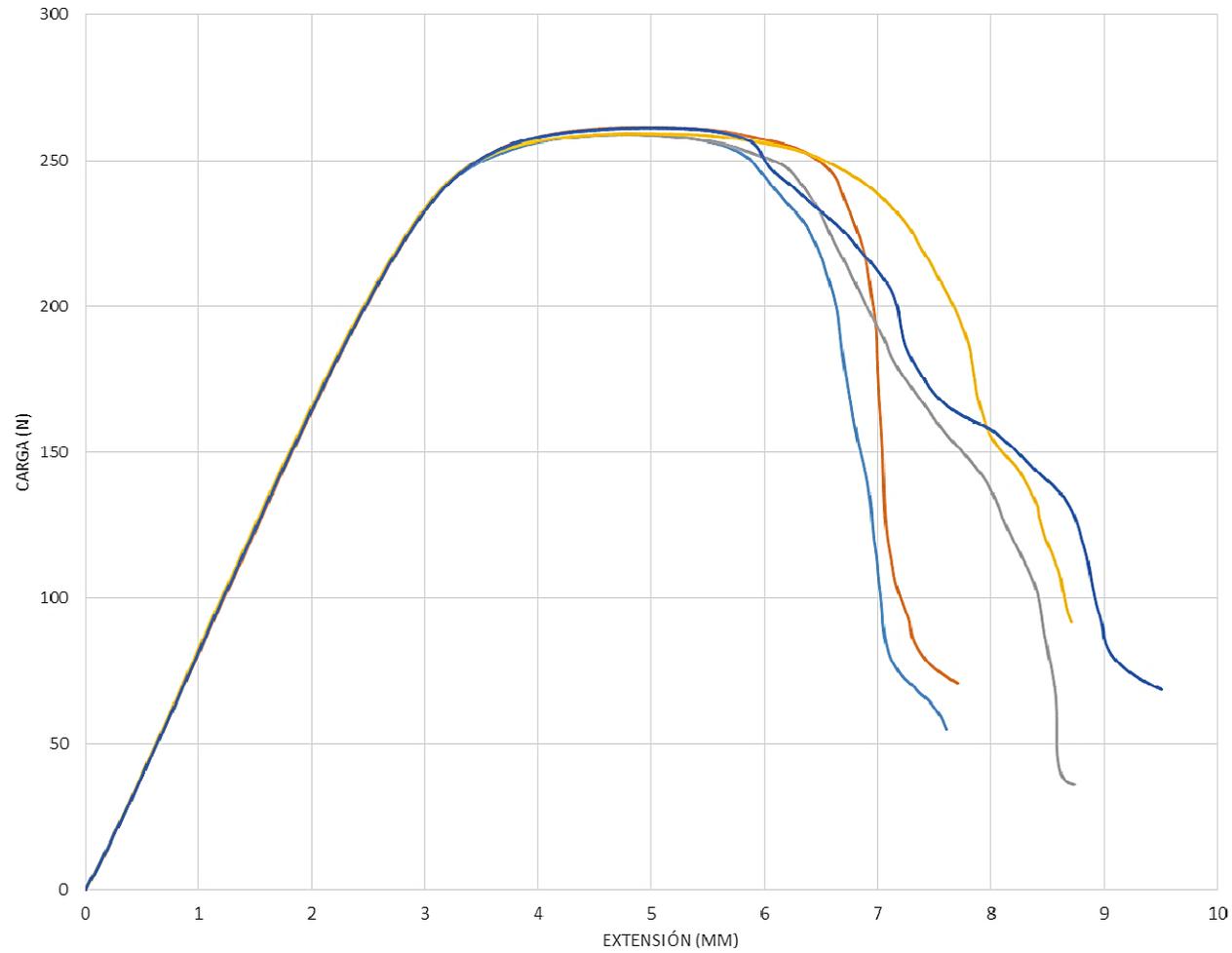
# ANALISIS DE VARIANZA

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-Fo	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Densidad de relleno	4898,96	2	2449,48	6199,48	0,0000
B:Patron de relleno	69,8973	2	34,9487	88,45	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	19,1067	4	4,77667	12,09	0,0000
<b>RESIDUOS</b>	14,224	36	0,395111		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	5002,19	44			

# ANALISIS DE VARIANZA



# REPETIBILIDAD DE LOS RESULTADOS

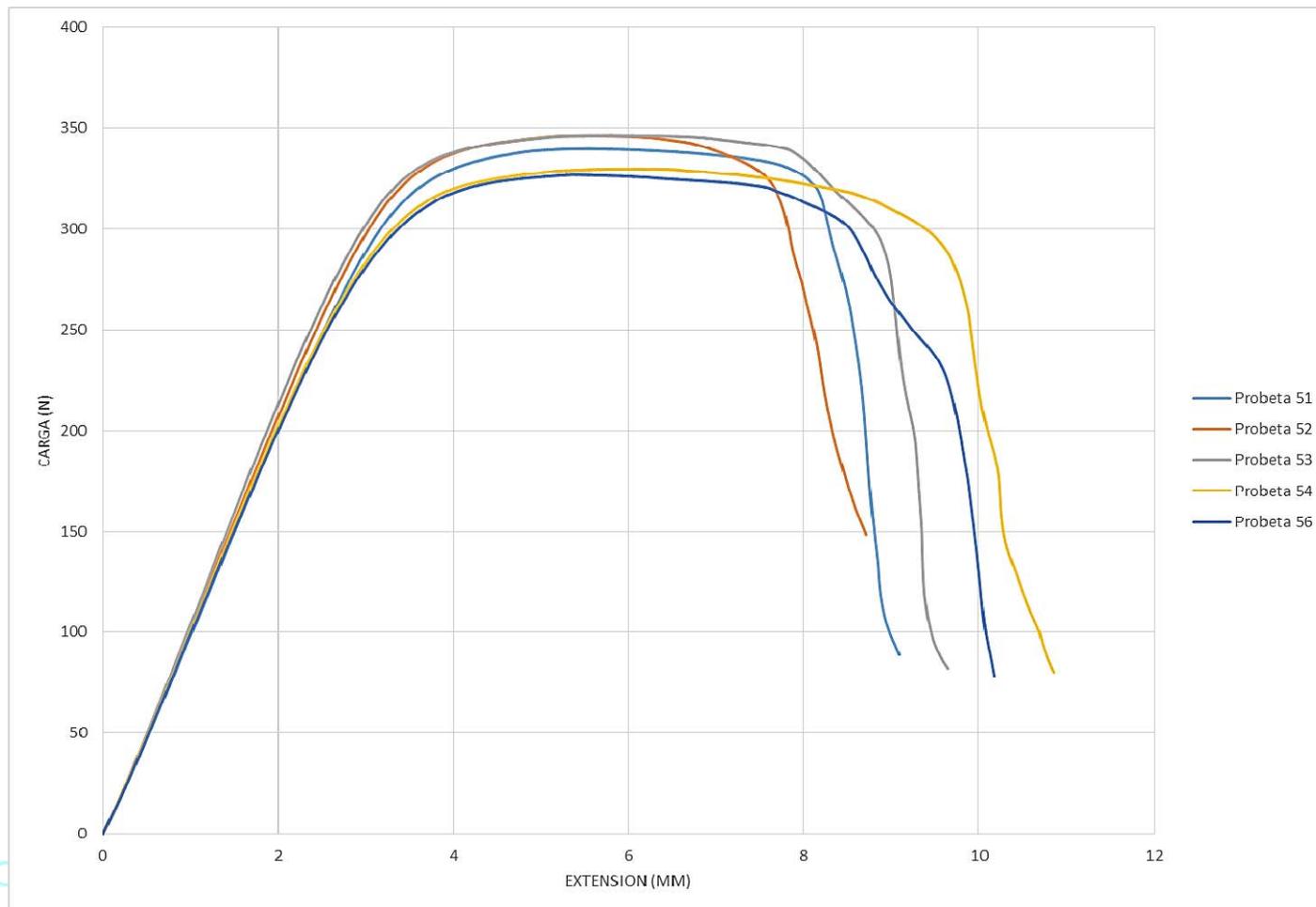


Patrón de relleno: LINE

Densidad de Relleno: 20%

— Probeta 01  
— Probeta 02  
— Probeta 03  
— Probeta 04  
— Probeta 06

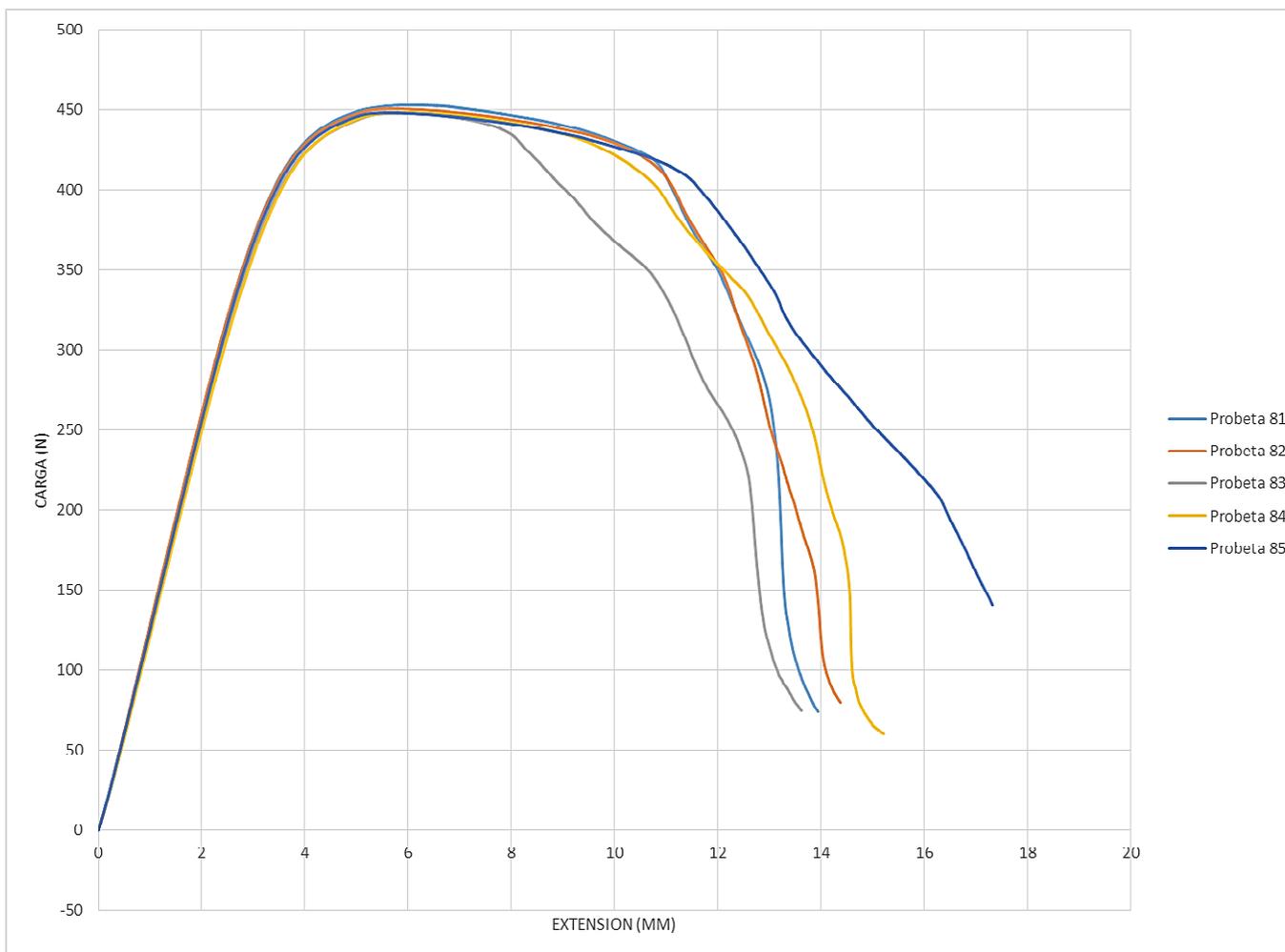
# REPETIBILIDAD DE LOS RESULTADOS



Patrón de relleno: HONEYCOMB

Densidad de Relleno: 50%

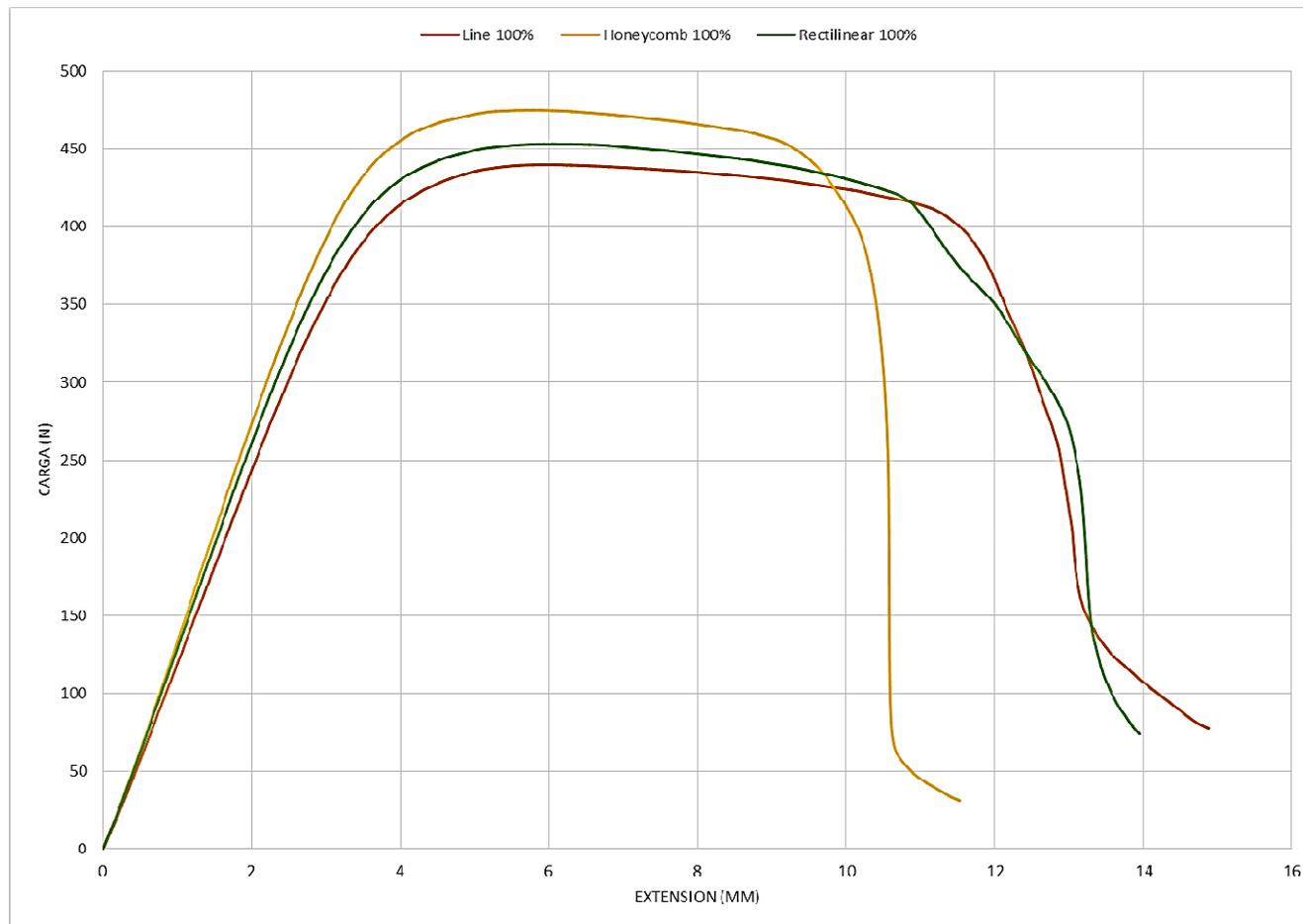
# REPETIBILIDAD DE LOS RESULTADOS



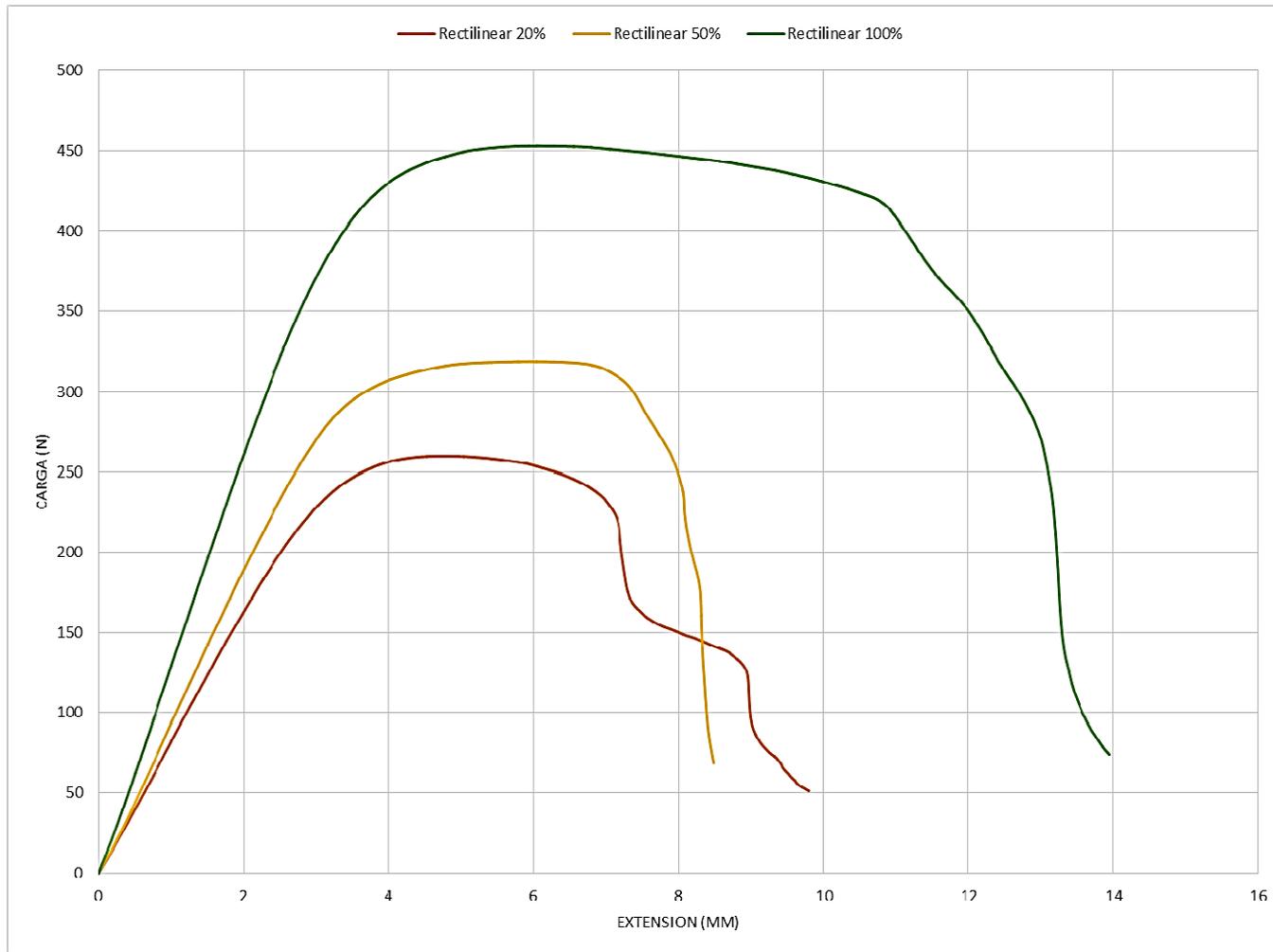
Patrón de relleno: RECTILINEAR

Densidad de Relleno: 100%

# ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS CARGA - EXTENSIÓN



# ANÁLISIS DE LOS DIAGRAMAS CARGA - EXTENSIÓN

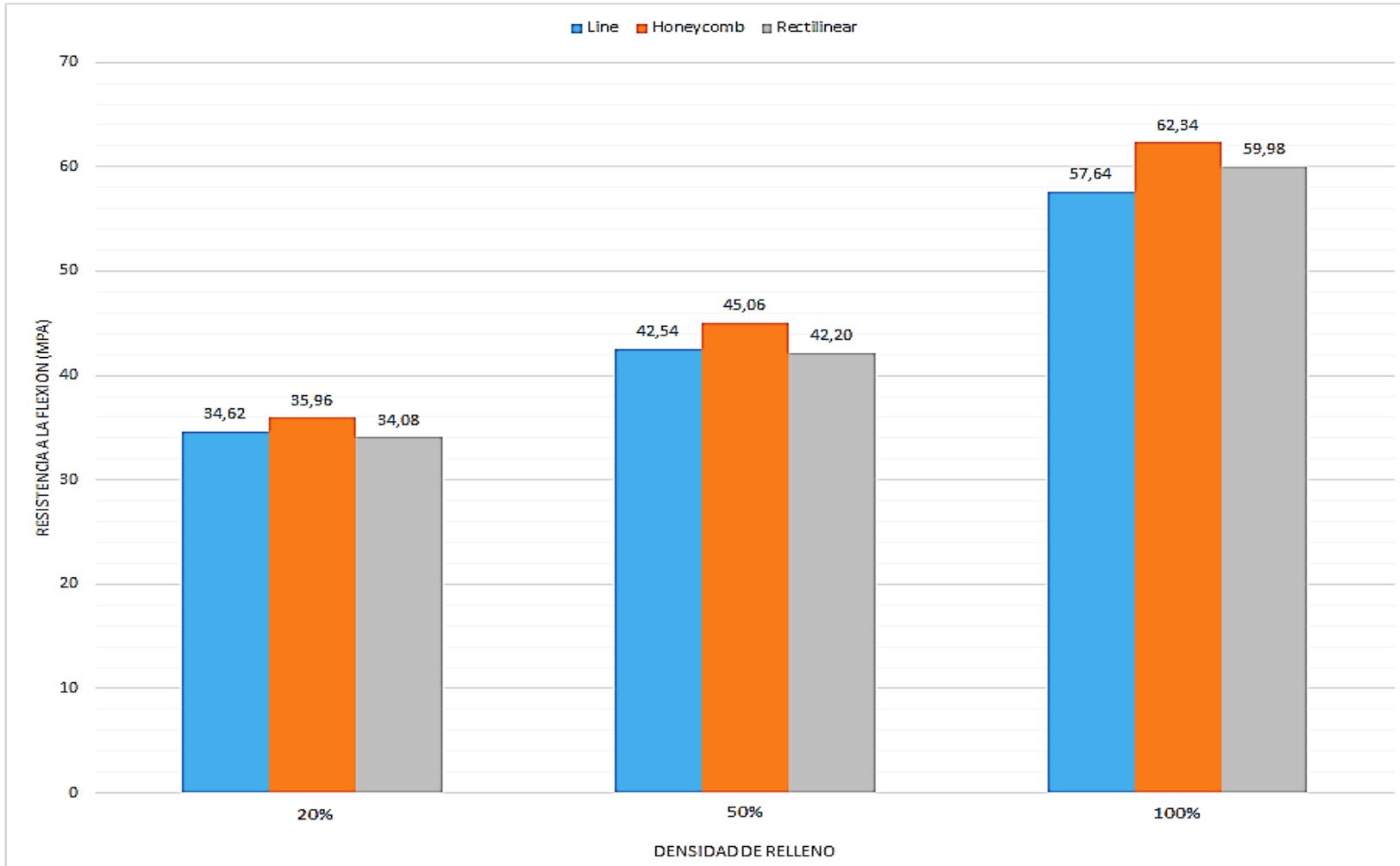


# CONCLUSIONES

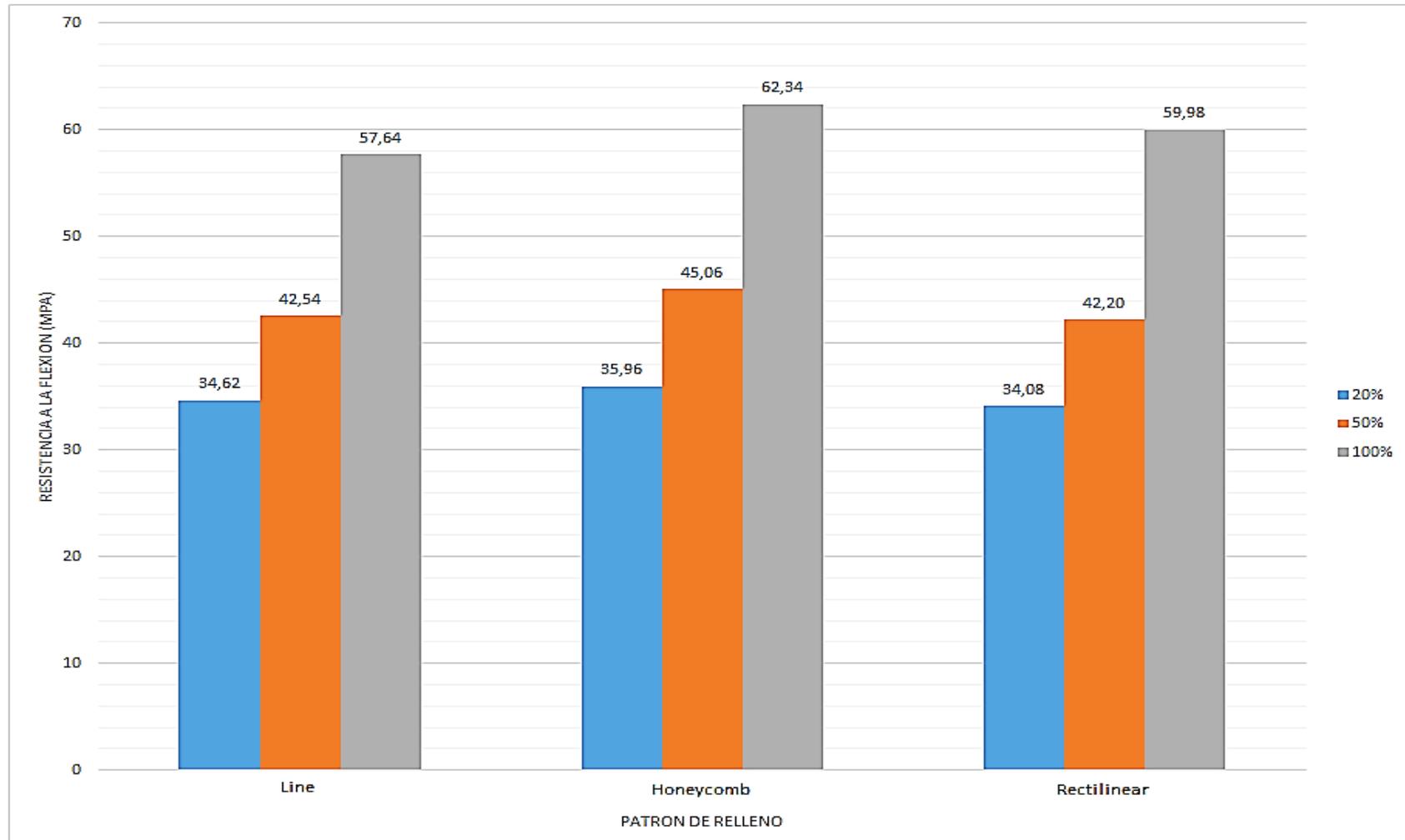
- Las probetas fueron fabricadas en dos máquinas Prusa i3 diferentes y los resultados obtenidos no muestran una influencia directa de la impresora en la resistencia a la flexión.



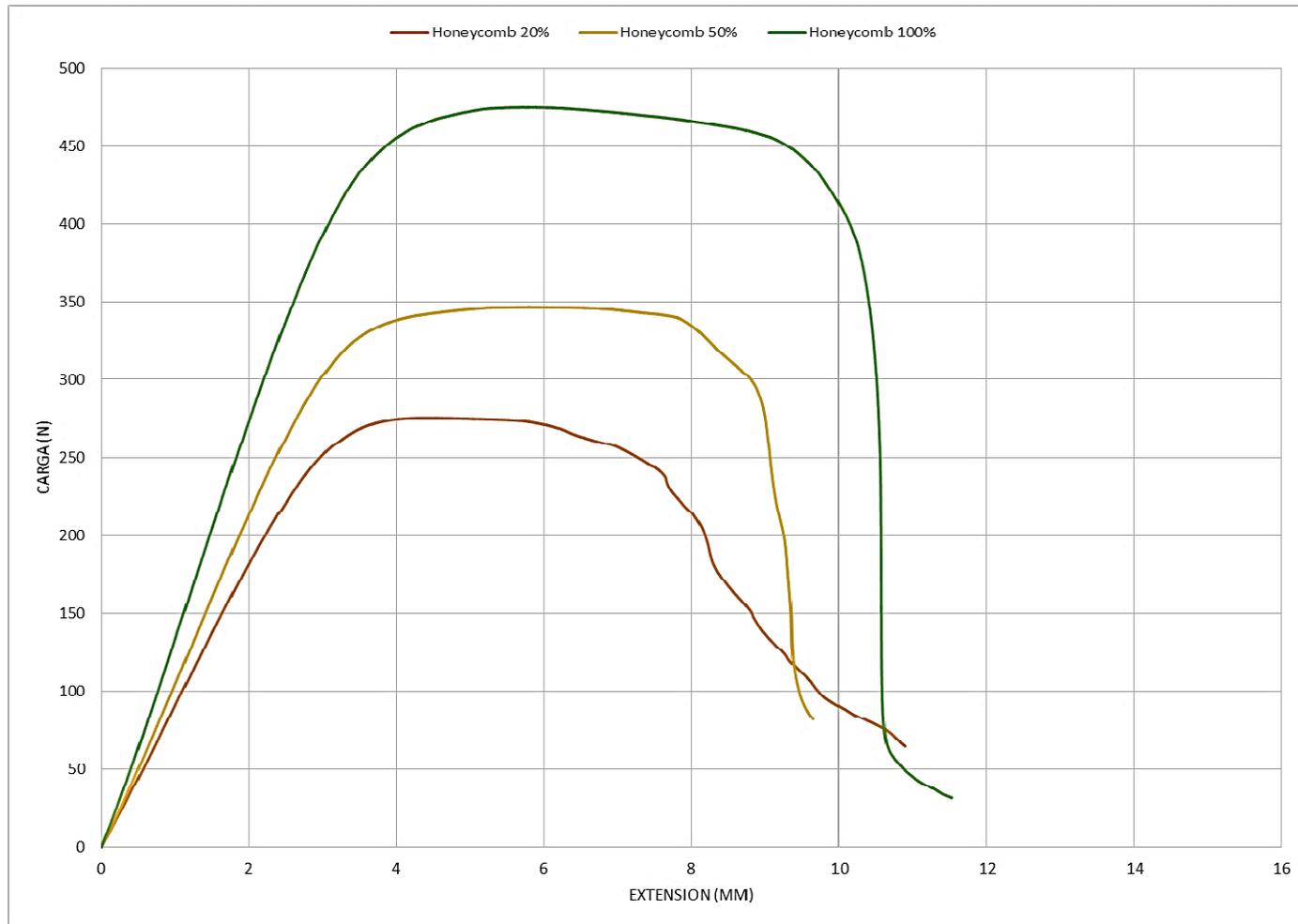
# CONCLUSIONES

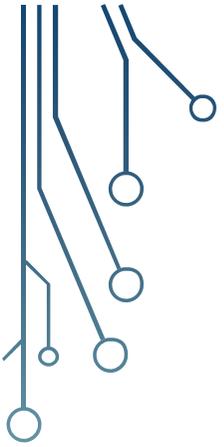


# CONCLUSIONES

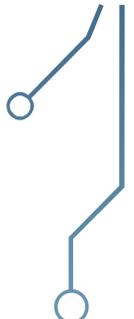


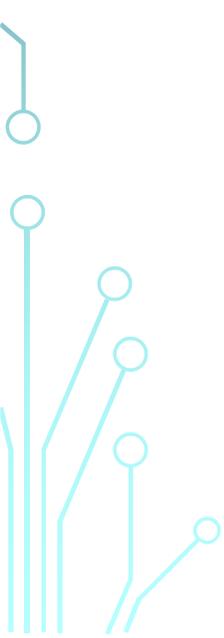
# CONCLUSIONES





# CONCLUSIONES

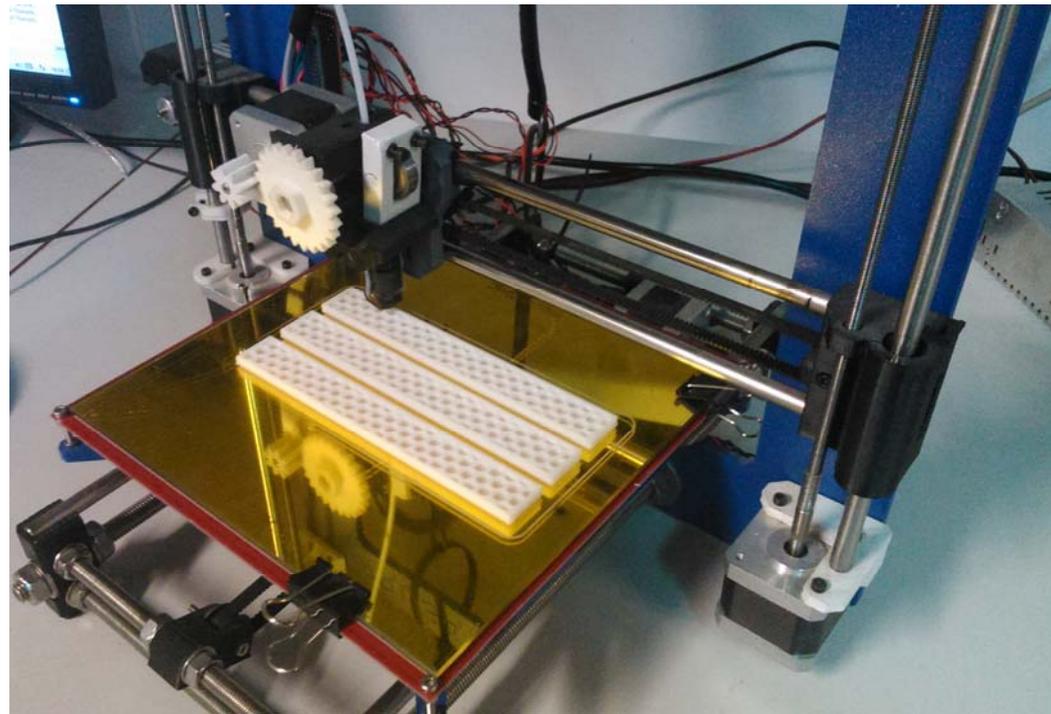


- La calidad superficial y la precisión dimensional en el espesor disminuyen al incrementar la densidad de relleno.
  - La resistencia a la flexión obtenida en las probetas fabricadas mediante la impresión 3D de bajo coste es similar a la obtenida en procesos FDM.
  - La resistencia máxima a la flexión obtenida alcanza valores de hasta un 70 a 75 % de la resistencia que alcanza un producto de ABS obtenida mediante un proceso de inyección.
- 
- 

# ESTUDIOS RELACIONADOS A FUTURO

- Estudiar como la Resistencia a la flexión en partes impresas 3D en impresoras de bajo costes se ve influenciada por los parámetros de impresión

- Espesor de capa.
- Numero de perímetros.
- Numero de capas superiores e inferiores.
- Velocidades de impresión.
- Temperaturas del hotend.
- Angulo de relleno.



# ESTUDIOS RELACIONADOS A FUTURO

- Estudiar el comportamiento mecánico de piezas impresas 3D en sistemas de bajo coste sometidos a cargas de:

- Tracción
- Compresión
- Impacto

- Estudiar el comportamiento mecánico de piezas impresas 3D en sistemas de bajo coste con PLA.



# ESTUDIOS RELACIONADOS A FUTURO

- Estudiar el comportamiento mecánico de piezas impresas 3D en sistemas de bajo coste con un tratamiento superficial con acetona

- Tracción
- Flexión
- Compresión
- Impacto



# ESTUDIOS RELACIONADOS A FUTURO

- Modelado matemático de los sistemas de fabricación FFF para análisis mediante elementos finitos.
- Simulación del comportamiento mecánico mediante programas CAE de piezas sometidas a cargas de:
  - Tracción
  - Flexión
  - Compresión
  - Impacto

