



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Área de Conocimiento: Ingeniería de Procesos y Fabricación

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE FABRICACIÓN EN LA RESISTENCIA A TRACCIÓN DE PROBETAS DE NYLON OBTENIDAS POR PROCESOS DE EXTRUSIÓN DE MATERIAL

Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Raúl Peláez Luna

Tutor: D. Sergio Martín Béjar

Cotutor: Dña. Carolina Bermudo Gamboa

MÁLAGA, JUNIO de 2.023

RESUMEN

Este trabajo final de grado se basa en un trabajo de investigación para determinar los valores óptimos de las variables de entrada para un proceso de fabricación aditiva utilizando extrusión de material, en concreto de piezas impresas de nylon. Para lograr esto, se han creado y producido probetas utilizando diferentes combinaciones de velocidad de deposición, temperatura del extrusión y espesor de capas. Estas probetas han sido sometidas a un control exhaustivo de su geometría, desviaciones microgeométricas de la superficie y posteriormente se les ha realizado ensayos de tracción.

Los resultados obtenidos han sido analizados aplicando técnicas de control de calidad como Taguchi y GRA, así como el análisis normalizado de la varianza (ANOVA). Estas técnicas permiten evaluar y comparar los datos de manera sistemática y estadísticamente significativa, proporcionando una comprensión más precisa de los efectos de las variables de entrada en el proceso de fabricación aditiva.

Palabras clave:

Extrusión

FDM

Temperatura de extrusión

Velocidad de deposición

Altura de capa

Nylon

Rugosidad

UTS

Taguchi

ANOVA

GRA

ABSTRACT

This final undergraduate thesis is based on a research study aimed at determining the optimal values of input variables for an additive manufacturing process using material extrusion, specifically for printed nylon parts. In order to achieve this, specimens with different combinations of deposition speed, extrusion temperature, and layer thickness have been created and produced. These specimens underwent comprehensive geometric control, assessment of microgeometric surface deviations, and subsequent tensile testing.

The obtained results were analyzed using quality control techniques such as Taguchi and GRA, as well as the normalized analysis of variance (ANOVA). These techniques allow for a systematic and statistically significant evaluation and comparison of the data, providing a more precise understanding of the effects of the input variables in the additive manufacturing process.

Keywords:

Extrusion

FDM (Fused Deposition Modeling)

Extrusion temperature

Deposition speed

Layer height

Nylon

Roughness

UTS (Ultimate Tensile Strength)

Taguchi

ANOVA (Analysis of Variance)

GRA (Grey Relational Analysis)

INDICE

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	17
2. OBJETIVOS	21
3. ANTECEDENTES	25
3.1. Proceso de fabricación aditiva	25
3.2. Tecnología FDM.....	26
3.3. Rugosidad superficial	27
3.4. Resistencia a la tracción	28
3.5. Diseño de experimentos y técnicas de optimización	30
3.6. Estado del arte	32
4. METODOLOGÍA.....	37
4.1. Diseño de las probetas	38
4.1.1. Elección de la geometría	38
4.1.2. Diseño CAD	39
4.2. Fabricación de las probetas.....	40
4.2.1. Parámetros de fabricación	40
4.2.2. Matriz de experimentos	41
4.2.3. Codificación de las probetas	43
4.2.4. Configuración de los parámetros de impresión	43
4.2.5. Impresión de las piezas	45
4.2.6. Extracción de las probetas	47
4.3 Control geométrico	48
4.4 Control de la rugosidad superficial	50
4.5 Ensayo de tracción	51
4.6 Técnicas de tratamiento de datos.....	52
4.6.1. Método Taguchi	53
4.6.2. Análisis relacional gris (GRA)	54
4.6.3. Método ANOVA.....	55
5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	59
5.1. Control dimensional	59
5.1.1. Comparativa entre norma y valores reales de las probetas	59
5.2. Rugosidad superficial	60
5.2.1. Rugosidad media aritmética (R_a)	60
5.2.2. Altura media de la rugosidad (R_z)	62

5.2.3. Comparativa entre probetas	63
5.3. Ensayo de tracción	65
5.4. Técnicas de optimización de parámetros.....	71
5.4.1. Taguchi y análisis relacional gris (GRA)	71
5.4.2. Análisis de la varianza (ANOVA)	76
6. CONCLUSIONES	81
7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	85
8. BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXO. REGISTRO DE RESULTADOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la rugosidad media aritmética [6].....	27
Figura 2. Esquema altura media de la rugosidad de una superficie [8].....	27
Figura 3. Esquema de la altura máxima de pico [8].	28
Figura 4. Esquema de la profundidad máxima del perfil. [8]	28
Figura 5. Esquema de la altura máxima de pico a valle [8].	28
Figura 6. Curva esfuerzo-deformación. [9]	29
Figura 7. Probeta sometida a tracción [9].....	30
Figura 8. Diagrama de flujo de trabajo.....	37
Figura 9. Parámetros geométricos de las probetas [23].	38
Figura 10. Definición geometría de la probeta en SolidWorks.	39
Figura 11. Modelo sólido de las probetas en SolidWorks.	40
Figura 12. Diseño de la matriz de experimentos de Minitab.	42
Figura 13. Sistema de códigos de las probetas.	43
Figura 14. Impresora Raise 3D Pro2. [24].....	44
Figura 15. Configuración del entorno del software IdeaMaker con una probeta.	44
Figura 16. Ventana de selección de plantilla de impresión en el software IdeaMaker.	45
Figura 17. Ventana de resultado estimado de impresión del software IdeaMaker.	46
Figura 18. Ejemplo de previsualización del software IdeaMaker para probetas del experimento NYLON_B1_UTS_TE240_EC01_VD40.	46
Figura 19. Bobina de nylon STYX-12.....	47
Figura 20. Probeta tras ser impresa.	48
Figura 21. Pie de rey digital Iroko.....	48
Figura 22. Micrómetro digital Mitutoyo.	49
Figura 23. Muestra de medición de una probeta con micrómetro.....	49
Figura 24. Puntos de medición para control geométrico 1.....	50
Figura 25. Puntos de medición para control geométrico 2.....	50
Figura 26. Rugosímetro Mitutoto SJ-210 [25].....	51
Figura 27. Máquina de ensayos Servosis ME 405 10 [26].	51
Figura 28. Ejemplo de deformación de una probeta de nylon.	52
Figura 29. Guía para la obtención de datos del método Taguchi en el software Minitab.....	53
Figura 30. Ventana de selección de la respuesta para Taguchi en el software Minitab.....	53
Figura 31. Resultados del procedimiento del método Taguchi en el software Minitab.....	54

Figura 32. Ejemplo de valores ANOVA en el software Minitab.....	55
Figura 33. Comparativa gráfica de las superficies libres y de apoyos para Ra.....	64
Figura 34. Comparativa gráfica de las superficies libres y de apoyos para Rz.	64
Figura 35. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE240_EC01_VD40 (exp. 1).....	66
Figura 36. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE255_EC01_VD50 (exp. 2).....	67
Figura 37. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE270_EC01_VD60 (exp. 3).....	67
Figura 38. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE240_EC02_VD50 (exp. 4).....	68
Figura 39. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE255_EC02_VD60 (exp. 5).....	68
Figura 40. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE270_EC02_VD40 (exp. 6).....	69
Figura 41. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE240_EC03_VD60 (exp. 7).....	69
Figura 42. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE255_EC03_VD40 (exp. 8).....	70
Figura 43. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE270_EC03_VD50 (exp. 9).....	70
Figura 44. Gráfica de influencias para medias de Ra.	73
Figura 45. Gráfica de influencias para medias de Rz.....	74
Figura 46. Gráfica de influencias para medias de UTS.	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de geometría de las probetas [23].	39
Tabla 2. Valores de los parámetros de impresión.	41
Tabla 3. Experimentos según método Taguchi.	42
Tabla 4. Resumen de los valores promedio del control dimensional.	59
Tabla 5. Desviación entre valores según norma y promedios.	60
Tabla 6. Valores promedio de las mediciones de rugosidad media Ra para superficie libre.	61
Tabla 7. Valores promedio de las mediciones de rugosidad media Ra para superficie apoyo.	61
Tabla 8. Valores promedio de las mediciones de altura media de la rugosidad Rz para superficie libre.	62
Tabla 9. Valores promedio de las mediciones de altura media de la rugosidad Rz para superficie apoyo.	63
Tabla 10. Resumen de los valores promedios de Ra y Rz.	65
Tabla 11. Resumen valores promedios de UTS.	66
Tabla 12. Resumen de los valores promedios de Ra, Rz y UTS para Taguchi.	71
Tabla 13. Clasificación de Ra según parámetros de impresión.	72
Tabla 14. Clasificación de Rz según parámetros de impresión.	72
Tabla 15. Clasificación de UTS según parámetros de impresión.	73
Tabla 16. Resumen de los valores calculados del GRA.	76
Tabla 17. ANOVA para Ra.	77
Tabla 18. ANOVA para Rz.	77
Tabla 19. ANOVA para UTS.	78

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación aditiva por impresión 3D es un proceso de fabricación que cada vez es más utilizado en el mercado, ya no sólo para el diseño y prototipados, sino también para piezas en la ingeniería aeronáutica o automoción. Esta tecnología permite la fabricación de piezas tanto de polímeros como de metales consistente en la deposición de material fundido capa a capa por una boquilla extrusora (Nozzle). Este proceso de fabricación se denomina tecnología FDM (Fused Deposition Modelling). La impresión 3D es cada vez más habitual gracias a las prestaciones que aporta con sus propiedades mecánicas y sus acabados superficiales, además, de poder tener un amplio juego con las tolerancias geométricas. Una de las ventajas por la que es competitiva esta tecnología es la posibilidad de obtener piezas de geometrías complejas frente a otros procesos como es el mecanizado o la inyección.

Son numerosos los sectores en los que se está implantando esta tecnología, como es el caso concreto de la empresa Fiixit Orthotic Lab, empresa que se dedica a fabricar férulas impresas en 3D con el fin inmovilizar de extremidades corporales que han sufrido un accidente. Es un ejemplo claro de como esta tecnología está entrando en el sector sanitario [1]. El ácido poliláctico, o PLA como comúnmente se le conoce, es uno de los polímeros sintéticos más utilizados en la fabricación por FDM debido a una serie de ventajas como la facilidad de impresión, amplia variedad, y es biodegradable, pero no tiene unas buenas propiedades mecánicas. Otro material muy utilizado es el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) por tener mejores propiedades mecánicas o térmicas que el PLA lo que hace que sea más difícil su impresión comparada con este material.

Existen otros materiales como la poliamida (PA) o comúnmente conocido como Nylon, es otro material muy usado en la fabricación por FDM. Es un termoplástico semicristalino que tiene varias clases (6, 66, 12, 46, etc.) que afectan a sus propiedades. Generalmente, se trata de un material de baja densidad y gran estabilidad térmica, con buena resistencia al desgaste, buen coeficiente de fricción y muy buenas propiedades de resistencia a la temperatura y a los impactos, siendo utilizada en piezas de automoción y ferrocarril. Como limitaciones tiene la tendencia de absorber humedad, lo que puede afectar a su estabilidad comparado con otros plásticos. El PA12 es la poliamida que se usa en este trabajo en el que se profundiza más adelante [2].

Existen varios métodos de análisis de los procesos para que, con una serie de variables, abarcar el tratamiento del máximo de datos y parámetros posibles como es el método Taguchi relacionado con el análisis de la varianza (ANOVA). En este proceso se procede a analizar las variables de influencia en las impresiones 3D como la temperatura de extrusión, la altura de capa, velocidad de impresión, patrón de relleno, etc., para los distintos ensayos que existen como el de impacto, fatiga o tracción, entre otros.

En este trabajo se utilizan estos métodos de optimización de las variables de influencia del proceso para probetas de nylon impresas en 3D, realizando posteriormente, un control geométrico junto a la rugosidad superficial para terminar con ensayos de tracción de éstas.

Capítulo 2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Estudiar y analizar las condiciones de fabricación, como son la velocidad de deposición del material, la temperatura de extrusión y el espesor de capa, en la tensión última de servicio (*UTS*) de probetas de nylon, obtenidas por medio del proceso de fabricación aditiva mediante la extrusión de material con impresoras 3D es el principal objetivo de este trabajo.

Además, se establecen un conjunto de objetivos secundarios que a continuación se exponen:

- Conocer los experimentos que se han realizado con anterioridad y relacionados con el trabajo en cuestión para obtener unas bases teórica y datos de partida.
- Establecer una metodología experimental para el estudio de la influencia de los parámetros de impresión en el ensayo de tracción de las probetas fabricadas, previamente establecidos dichos parámetros tras la realización del estado del arte.
- Desarrollar las técnicas relacionadas con la fabricación aditiva de las impresoras 3D.
- Realizar controles geométricos de las probetas fabricadas junto a una valoración de si son aptas para los ensayos.
- Realizar una evaluación de los parámetros de impresión sobre el acabado superficial de las probetas.
- Utilizar técnicas de optimización de experimentos que permiten ver la influencia de los parámetros de impresión y selección de las condiciones más adecuadas en función del acabado superficial y resistencia a tracción.

Capítulo 3.

ANTECEDENTES

3. ANTECEDENTES

En este punto se van a tratar los antecedentes del presente trabajo, los cuales se tratan de exponer las bases teóricas de cada una de las actividades para el desarrollo de manera satisfactoria y de forma justificada del mismo.

3.1. Proceso de fabricación aditiva

La fabricación aditiva es un método de producción que se basa en la adición de material capa por capa según la geometría que se quiera fabricar, sin la necesidad de modelos o moldes. A diferencia de otros procesos de fabricación, como el conformado, en la que se agrega material, o la fabricación por sustracción, en la que se elimina material, en la fabricación aditiva se construye la pieza de manera gradual capa a capa.

Para obtener una pieza mediante este proceso se siguen los siguientes pasos:

1. Se crea un modelo con la geometría que se quiera en un software de modelado 3D, como SolidWorks o Catia.
2. Se convierte el modelo al formato específico de la máquina, que generalmente es .stl o .amf, que son extensiones de archivos que permiten guardar los softwares de modelado 3D. Estos lenguajes transforman el volumen generado en los programas de modelado en superficies de triángulos planos (.stl) o curvos (.amf) para los programas de procesamiento de impresión 3D.
3. Verificación de la geometría y definición de los parámetros de impresión, como el espesor de la capa, temperatura de extrusión o velocidad de deposición, entre otros, que se definen en los softwares de procesamiento de impresión 3D como IdeaMaker o Cura.
4. La fabricación de las piezas se realiza sin la necesidad de la supervisión continua del operario, y una vez que se completa la fabricación, se procede a la extracción de la pieza con precaución debido a la temperatura de la máquina y la pieza, y según los sistemas de seguridad del equipo.
5. Por último, la fabricación de piezas mediante la técnica de fabricación aditiva puede ser necesario aplicar ciertos acabados para mejorar sus características superficiales. Esto puede incluir procesos como limado, galvanizado o pintado, dependiendo del uso que se le vaya a dar a esta. La industria de la fabricación aditiva ha experimentado un gran desarrollo, lo que ha llevado a la creación de diferentes procesos y tecnologías de fabricación. Estos procesos se clasifican en diferentes tipos, como la fotopolimerización en cuba, la proyección de material, la fusión de leche en polvo, la extrusión de material, entre otros.

El proceso de extrusión de material o FDM es el objeto de estudio de este trabajo. La norma UNE-EN ISO 17296-2:2017 recoge estos procesos y sus tecnologías para la fabricación aditiva [3].

3.2. Tecnología FDM

En el ámbito de la fabricación aditiva existen varios procesos para producir piezas. El presente estudio se centra en el proceso de extrusión de material, también conocido en inglés como Fused Deposition Modelling (FDM). Este proceso fue desarrollado por S. Scott Crump a finales de la década de 1980 y comercializado en 1990 por la marca Stratsays, empresa que fundó. El término FDM es una marca registrada, por lo que se creó un nuevo termino para un uso más universal y competitivo sin que se produzcan problemas legales, Fabricación de Filamentos Fundidos (Fused Filament Fabrication, FFF). Para la producción de esta tecnología es necesario el uso de las conocidas “impresoras 3D” [4].

El material para la fabricación de la pieza se encuentra en forma de filamento enrollado en una bobina, que se introduce en un cabezal o extrusor que lo calienta y funde para aportarlo a la plataforma de fabricación. El extrusor termina en la boquilla que es la encargada de depositar el material fundido en la plataforma. Estas boquillas varían de diámetro en función de la precisión con la que se quiera imprimir y puede variar entre 0,1mm a 3mm. Dependiendo de la geometría de la pieza, puede ser necesario crear una pequeña capa inicial, que sirve como estructura de soporte o como capa adhesiva para la plataforma.

Según cada impresora y fabricante, el cabezal se mueve en el plano X-Y y la plataforma en el eje Z para añadir capas de material que se adhieren y solidifican hasta que la pieza está completa. Otras impresoras en cambio, el cabezal se mueve en los ejes X-Z y la plataforma en Y.

Inicialmente, esta tecnología se usaba para generar prototipos, sin embargo, su desarrollo y la aparición de nuevos materiales han permitido su uso para piezas de producción y personalizadas. Los materiales más comunes son polímeros termoplásticos como el ácido poliláctico (PLA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) o poliamida (PA o Nylon). También se están usando cerámicas, metales o materiales compuestos, como los polímeros reforzados con fibras de madera, cobre o fibra de carbono.

Para la producción de las piezas de este trabajo se elige la poliamida o nylon como material de estudio. Se trata de un termoplástico semicristalino de baja densidad y gran estabilidad térmica. Destaca por su resistencia al desgaste, coeficiente de fricción y propiedades de resistencia a la temperatura y a los impactos. Entre las poliamidas, el nylon es especialmente resistente al aceite y químicamente estable, lo que lo convierte en un material ideal para reemplazar al metal en aplicaciones que requieren resistencia, tenacidad y reducción de peso, como piezas de automoción, válvulas industriales y juntas aislantes para vías de ferrocarril. Sin embargo, el nylon tiene una tendencia a absorber humedad, lo que puede afectar su estabilidad dimensional y propiedades. La dureza y tenacidad del PA 66 varían de la suavidad y flexibilidad del PA 12, y cada tipo de poliamida tiene un grado diferente de absorción de humedad, lo que afecta sus propiedades y estabilidad dimensional [5].

3.3. Rugosidad superficial

Dentro de la metrología, el acabado superficial es uno de los aspectos a tener en cuenta debido a que influye en la funcionalidad, desgaste, rozamiento o estanqueidad, entre otros aspectos, en las piezas dedicadas a la industria debido a las desviaciones existentes en la superficie y están determinados directamente por los procesos de fabricación [6].

La norma UNE-EN ISO 4287:1999 distingue los términos, definiciones y parámetros para medir la rugosidad superficial para cumplir las especificaciones geométricas de productos (GPS) aunque el presente trabajo vaya destinado a investigación [7]. A continuación, se definen algunos de los términos que tienen que ver con el presente trabajo que se encuentran en esta norma:

- Rugosidad media (R_a): es un parámetro que se utiliza ampliamente para medir la rugosidad superficial de una pieza. Este valor se calcula como el promedio de los valores absolutos de la altura del perfil, medidos desde la línea media del mismo en una longitud de medición (L_n). La rugosidad media es considerada el parámetro más importante para evaluar la calidad del proceso de fabricación, ya que proporciona información valiosa sobre las desviaciones microgeométricas en la superficie de la pieza (Figura 1).

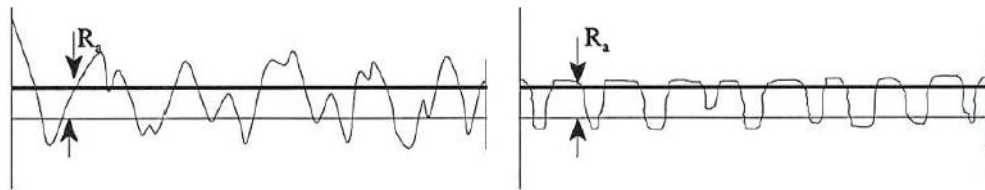


Figura 1. Esquema de la rugosidad media aritmética [6].

- Altura media de la rugosidad (R_z): representa la suma del valor medio de los 5 valores de pico más grandes (P_i) y los 5 valles más profundos en la misma longitud de valle (V_i) que R_a (Figura 2).

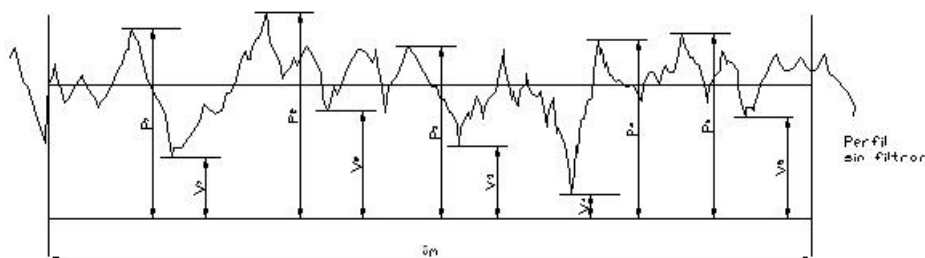


Figura 2. Esquema altura media de la rugosidad de una superficie [8].

- Altura máxima de pico (R_p): Es la distancia del punto más alto del perfil a la línea media (Figura 3).

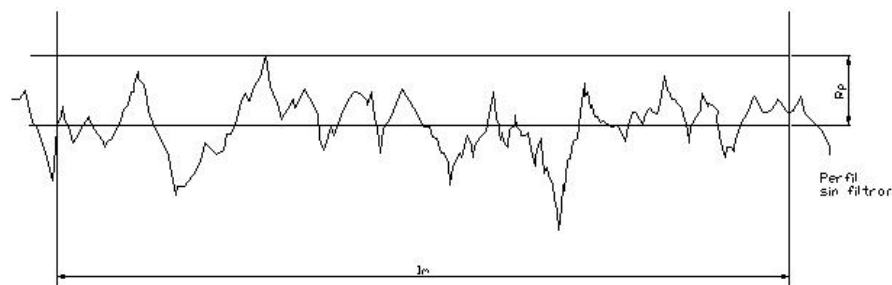


Figura 3. Esquema de la altura máxima de pico [8].

- Profundidad máxima del perfil (R_v): Distancia entre el valle más profundo y el pico más alto del perfil en la longitud de evaluación (Figura 4).

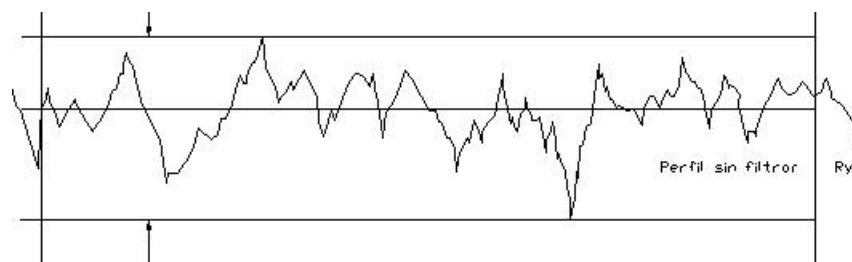


Figura 4. Esquema de la profundidad máxima del perfil. [8]

- Altura máxima de pico a valle (R_t): Distancia entre el pico más alto y valle más profundo en la longitud de evaluación (Figura 5).

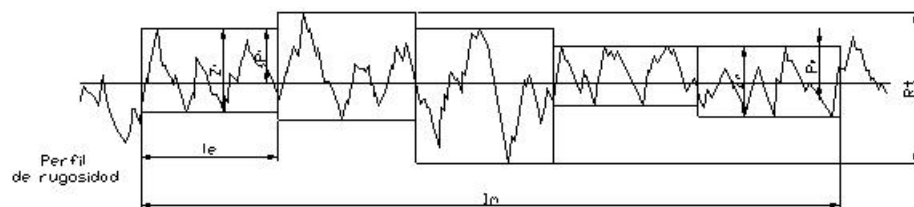


Figura 5. Esquema de la altura máxima de pico a valle [8].

Los parámetros que se van a prestar mayor atención en este trabajo son R_a y R_z , debido a que son los parámetros de control de las desviaciones microgeométricas que arrojan mayores datos a tener en cuenta.

3.4. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es una propiedad de las piezas que indica cómo se comportan al ser sometidas a una fuerza externa que las estira. Para evaluar esta propiedad se realiza un ensayo de tracción, que consiste en aplicar una fuerza a una pieza para intentar estirarlo donde esta fuerza va aumentando progresivamente hasta producir la rotura. Este ensayo es fundamental para el estudio del comportamiento mecánico de los materiales y se lleva a cabo en materiales dúctiles, que tienen la capacidad de deformarse antes de romperse. La característica

fundamental de los materiales dúctiles es que poseen un límite elástico, que es el punto el cual si se deforma el material no vuelve a su posición natural hasta llegar al límite de rotura.

Para realizar el ensayo, se necesita una máquina de tracción conectada a un ordenador que tenga el software adecuado para seleccionar los parámetros del ensayo, como la carga máxima, la velocidad de ensayo y la posición de las mordazas. Después de realizar el ensayo, el programa arroja los resultados de la fuerza aplicada en kilogramos y la posición del material en milímetros en cada instante.

Hay que buscar una relación entre los datos que aporta la máquina del ensayo y los datos que se busca en el presente trabajo, por ejemplo, se necesita conocer la tensión, para ello, se usa la Ecuación 1 para relacionarla con los datos que se obtienen.

$$\sigma(\text{MPa}) = \frac{\text{Fuerza (kg)} * F_{\text{gravedad}} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}{\text{Sección pieza (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Para continuar con el análisis de datos se necesita conocer la deformación de la pieza para obtener la curva tensión deformación. La deformación (adimensional) relaciona la variación de longitud con la longitud inicial como se ve en Ecuación 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L (m)}{L_o (m)} = \frac{L_f (m) - L_o (m)}{L_o (m)} \quad (2)$$

Conocidos estos dos datos, ya sí que se puede obtener la curva tensión-deformación. Esta curva permite reconocer el comportamiento de los materiales, en este caso es un polímero, en las que se establecen 3 zonas: parte elástica hasta el límite elástico, zona plástica y zona de ruptura hasta límite de la rotura. Se recomienda observar la Figura 6 para un mejor entendimiento.

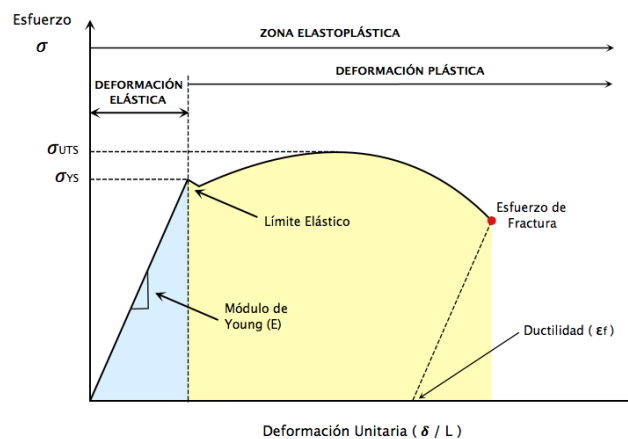


Figura 6. Curva esfuerzo-deformación. [9]

Durante la zona elástica, el material puede recuperar su forma original después de someterse a la tensión de tracción y presenta una pendiente constante como ya se ha comentado anteriormente. Sin embargo, en el punto del límite elástico, que es la tensión máxima que el material puede soportar manteniendo su comportamiento elástico, el material ya no puede recuperar su forma original. La zona plástica comienza después de este punto, en la que el

material ya no puede recuperar su estado original después de ser liberado de la tensión de tracción hasta el punto de resistencia a la tracción o tensión última de servicio (UTS), Figura 7.

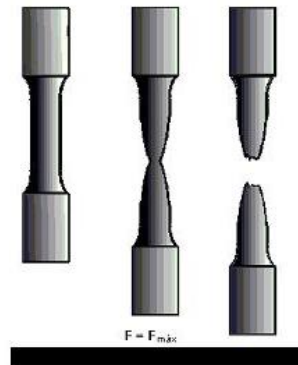


Figura 7. Probeta sometida a tracción [9].

Además, aparece una zona de estricción después del punto UTS , en la que la deformación se concentra en una zona específica de la probeta, lo que produce un cuello en la probeta. Esta zona termina en el punto de resistencia a la ruptura, en el que la probeta se rompe por completo.

3.5. Diseño de experimentos y técnicas de optimización

En este trabajo, se utiliza la metodología Taguchi y el análisis relacional gris para optimizar los resultados.

La metodología de Taguchi es un enfoque de control de calidad en la fabricación de productos que se enfoca tanto en el diseño (calidad Off Line) como en la conformidad (calidad On Line). Esta metodología utiliza matrices de diseño para estudiar los factores que afectan un producto o proceso de fabricación, y reduce el número de experimentos mediante el uso de diseños ortogonales fraccionarios, realizando un conjunto de configuraciones con las variables de entrada. Esta técnica afecta a la metodología de los puntos anteriores y que se ve en el punto 4 del presente trabajo.

El objetivo implica las acciones de identificar los factores principales y de interacción para reducir el número de filas en la matriz de diseño y así hacer más eficiente el proceso de optimización. En resumen, la metodología de Taguchi es una filosofía de calidad que se enfoca en la eficiencia y la reducción de costos en la fabricación.

Es necesario para el desarrollo de esta metodología crear una matriz que relaciona los parámetros de entrada con los niveles que lo comprenden para cumplir el objetivo de establecer el número de experimentos a realizar en función de las combinaciones. Esta matriz se denomina L_N , donde N es el número de filas y se puede relacionar hasta $N-1$ factores. Es decir, para diseñar una matriz de L_9 se necesita, por ejemplo, 4 parámetros (A, B, C, y D) y 3 niveles (3, 3 y 2, se escoge por aproximación 3 niveles) [11].

Tras crear la matriz de diseño, Taguchi se apoya en su método que consiste en unir el análisis de la respuesta promedio y la variabilidad. Para lograrlo, propone una medida que toma en cuenta ambos aspectos y la llama relación señal/ruido (S/N). En función de lo que se quiera satisfacer en cada estudio, existen tres criterios para medir esta relación señal/ruido como se ve a continuación en aproximaciones [12]:

- Para *valores nominales*, que, para una característica aleatoria, mayor es la perdida cuando mayor diferencia existe con su valor nominal:

$$S/N = -10 * \log (S) \quad (3)$$

- Para el caso de minimizar la característica de rendimiento, es decir, cuanto más bajo sea el valor mejor resultado:

$$S/N = -10 * \log \left(\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n y^2 \right) \quad (4)$$

- Para el caso de maximizar la característica de rendimiento, a medida que el valor de la característica vaya aumentando, mejor:

$$S/N = -10 * \log \left(\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{1}{y} \right) \quad (5)$$

El método Taguchi tiene la ventaja de enfocarse en un valor de rendimiento medio cercano al objetivo en lugar de un valor dentro de límites de especificación, lo que mejora la calidad del producto. Además, su diseño experimental es sencillo y adaptable a diversas situaciones de ingeniería, lo que lo convierte en una herramienta poderosa y fácil de utilizar. La principal desventaja de este método es que los resultados no indican claramente cuál es el parámetro que tiene la mayor influencia en el rendimiento de los experimentos, para ello, se utiliza métodos como el análisis relacional gris (GRA) en conjunto con el método Taguchi o de forma paralela, el análisis de la varianza (ANOVA), utilizados en este trabajo.

Utilizando el método de análisis relacional gris (GRA), basado en la teoría matemática del sistema gris, es capaz de profundizar en los resultados múltiples obtenidos por el método de Taguchi y convertirlos en un único resultado (GRG), el cual no es capaz de resolver problemas de optimización multi-objetivos por sí solo. Es decir, es un análisis de resultados capaz de clasificar la mejor combinación de parámetros de todos los experimentos que se realizan [13].

Este análisis relacional gris consta de tres pasos principales:

1. Procesamiento de datos, el cual se realiza cuando la unidad de una secuencia de datos no es compatible y se busca una que si lo es.
2. Normalización de los parámetros, consistente en ajustar los valores de los parámetros de salida a un rango entre 0 y 1, también conocido como generación del espacio gris. Este proceso utiliza los mismos criterios del método Taguchi de aproximación a un valor nominal, al valor más pequeño o al valor más grande.

3. Cálculo de los coeficientes, donde se calculan los coeficientes GRC (coeficiente de relación entre variables) y el GRG (grado de relación entre variables). El GRG es el coeficiente que proporciona la información más relevante.

Para respaldar los resultados obtenidos por los dos métodos anteriores, se utiliza el método de análisis de datos llamado ANOVA (Analysis Of VAriance). Este procedimiento estadístico tiene como objetivo dividir la variabilidad observada en componentes independientes que pueden ser atribuidos a diferentes causas a tener cuenta.

La técnica estadística ANOVA es utilizada para comparar más de dos tratamientos con la variable de estudio. A través de este análisis se puede determinar la influencia de cada variable de estudio y corroborar la validez de los resultados obtenidos en la metodología anterior, así como cuantificar su influencia.

3.6. Estado del arte

Se ha realizado una investigación del estado del arte de otros trabajos e investigaciones relacionadas con éste para establecer un análisis inicial en cuanto a la influencia de la temperatura de impresión, velocidad de deposición y alturas de capas en el proceso de fabricación aditiva por extrusión de material.

Es importante, como variables de entrada a la hora de la impresión de las probetas, conocer las recomendaciones de los propios fabricantes de filamentos de Nylon. Existen diversas empresas que se dedican a la producción de Nylon, una de ellas es Taulmann. La temperatura de impresión que recomiendan oscila entre los 235 °C y los 260 °C, pero recomienda ir probando diferentes rangos para obtener buenos resultados. Otro dato que proporciona este fabricante es que el Nylon tiende a absorber la humedad del aire, ocasionando la liberación de vapor de agua al utilizarlo durante la extrusión, por tanto, se deberá almacenar en un lugar seco o la utilización de una deshumificadora de filamentos [14].

En el trabajo realizado por Rui F. Martins y colaboradores [15] se estudia la integridad estructural de componentes funcionales poliméricos hechos de nylon-645 y ácido poliláctico (PLA) producidos por fabricación aditiva (Fused Deposition Modelling, FDM). Un objetivo es el impacto económico de líneas de producción por fabricación aditiva con diferentes probetas con rediseños de productos de diversas empresas acompañados de estudios por método de elementos finitos. También se realiza otro estudio en este artículo que se trata de un colgador metálico (2700 kg/m³) de la cabina de un avión ATR 70, serie 500. Se fabricó aditivamente una percha sustituta de nylon 645 (3 mm)—Taulman 3D (1020 kg/m³) con el objetivo de reducir la masa en aproximadamente un 60%. La impresión y la temperatura de la cama fueron iguales a 250 °C y 105 °C, respectivamente, mientras que la velocidad de impresión fue de aproximadamente 40 mm/s. Las probetas se imprimieron con fibras orientadas -45°/45° y otras con 0°/90° para evaluar las propiedades mecánicas de nylon 645. En el estudio se concluye que la orientación de las fibras -45°/45° presentan una mayor dispersión frente a los estudios realizados por elementos finitos. Además, las probetas con las fibras orientadas 0°/90° son las que mejores datos de resistencia se presenta.

En [16] se establece el rango de temperatura como parámetro de impresión para piezas de nylon. En concreto recomienda un rango de temperatura de extrusión entre 225 °C y 260 °C, y temperatura de la plataforma entre 40 °C y 60 °C, además de reseñar la importancia de la ausencia de humedad en el filamento en el momento de la extrusión. Según se concluye, los parámetros de mayor influencia son la orientación, altura de capa y densidad de relleno que afectando directamente a las propiedades mecánicas de las probetas.

En [17] Eduardo E. Peña señala algunas de las características del nylon como material de estudio para piezas modeladas en 3D y realizando ensayos mecánicos establece de forma general un rango de temperatura de extrusión entre 260 °C y 280 °C, y la necesidad de una base precalentada a aproximadamente 75 °C.

Según J. Nagendra [18] en el trabajo sobre la optimización de los parámetros del proceso y evaluación de la rugosidad de la superficie para compuestos de nylon y aramida impresos en 3D concluye que usando el método Taguchi la altura de capa debe de ser de 0,2 mm, la temperatura de impresión de 280 °C, el ángulo de trama de 90°, el patrón de relleno en forma tetraédrico y densidad de relleno del 90% para encontrar los parámetros de impresión óptimos para mejorar el acabado superficial. Estos parámetros establecieron un error del 2,45% con relación a los valores de rugosidad superficial obtenidos entre el hardware y las condiciones de operación al producir las piezas.

En cuanto a la densidad de relleno, uno de los trabajos tiene como objeto el análisis de la densidad del relleno para probetas de nylon con una orientación de las estrías de 45° [19]. La orientación del relleno es un parámetro a tener en cuenta, donde cada capa se rellena con estrías paralelas posicionadas en un ángulo de 45° con el eje de la muestra y perpendiculares a la dirección de las pistas de la capa anterior. La resistencia máxima de las muestras fabricadas está determinada no solo por la cantidad de material sino también por el contacto entre las pistas paralelas. Este artículo establece que cuando el parámetro de la densidad de relleno aumenta al 60 %, las pistas paralelas entran en contacto, lo que conduce a la formación de una capa continua y aumenta la resistencia de toda la muestra. Si se aumenta este porcentaje, aumenta la resistencia mecánica de las probetas.

En otra investigación como se concluye acerca de impresiones 3D de piezas de nylon, tras varias muestras se establece como la mejor muestra frente a la tracción aquella consistente en los parámetros de impresión: 100% de densidad de relleno y 4 líneas exteriores [20].

En el artículo “Influencia del patrón de relleno en el comportamiento mecánico de especímenes poliméricos y compuestos fabricados con tecnología de fabricación de filamentos fundidos” realizado por María Jesús Martín y colaboradores [21] concluyen que para probetas extruidas de nylon con un patrón de relleno en T (triangular) proporcionaron un peor comportamiento mecánico a tracción que un patrón de relleno Z (zig-zag), además de la gran diferencia de alargamiento de material entre ambos patrones. En otro análisis del mismo estudio, establece que el nylon con refuerzo de fibras de carbono tiene grandes mejoras de comportamiento con la orientación de las líneas de extrusión en dirección de la carga (0-0) comparado con otras direcciones como 0°-90°. Este estudio trata de ver la diferencia de resultados entre probetas extruidas con impresoras 3D distintas en los ensayos de tracción.

Para concluir el estado del arte también se necesitan referencias acerca de la altura de capa y velocidad de deposición, para ello, se observa en el análisis de resistencia a la fractura de

polímeros impresos en 3D realizado por Ali Zolfagharian y colaboradores [22] que establecen que es importante el pegado de las líneas de extrusión contiguas durante la deposición de material desde la boquilla y con las capas superiores para obtener las mejores propiedades mecánicas. Para los ensayos de fractura, realizan probetas impresas con parámetros estables consistentes en una temperatura de extrusión de 250 °C, velocidad de deposición de 40 mm/s, un porcentaje de relleno del 100%, espesor de capa de 0,254 mm, número de líneas de contorno igual a 1 y orientación de las fibras de 0°, 30° y 60°. Se concluye que para las probetas de nylon 12 las mejores orientaciones son de 0° y 30° aportando una mayor resistencia con los parámetros de entrada que anteriormente se comentan.

Es importante atender a todos los datos proporcionados por estos estudios, ya que, gracias a ellos, se establecen los parámetros de impresión para la producción de las probetas de nylon para posteriormente someterlas a ensayos de tracción para así, ver la influencia de estos parámetros.

Capítulo 4. METODOLOGÍA

4. METODOLOGÍA

Para la ejecución de manera satisfactoria de este trabajo final de grado es importante seguir una metodología para que paso a paso, se obtenga de manera satisfactoria los resultados. Para ello, se aplican técnicas de optimización donde la metodología comienza desde el paso del diseño hasta los ensayos de tracción pasando por la producción de las piezas, control dimensional y acabado superficial.

Para una mejor comprensión de la metodología de este trabajo, se expone en la Figura 8 un diagrama de flujo donde paso a paso de forma secuencial se aprecian las fases de la metodología y que sirve como esquema de los puntos a tratar.

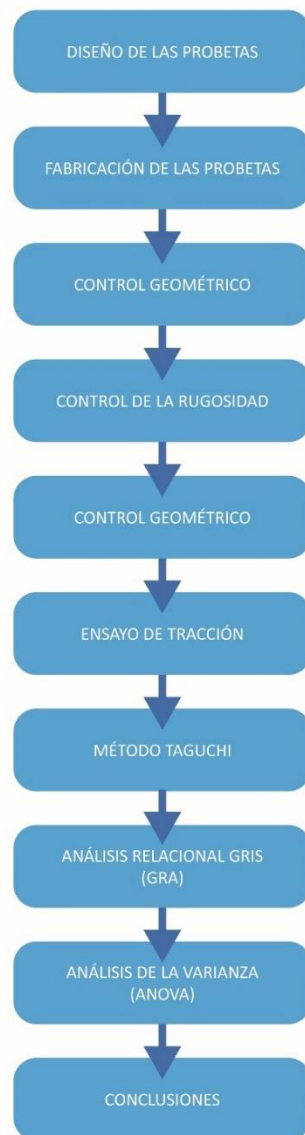


Figura 8. Diagrama de flujo de trabajo.

4.1. Diseño de las probetas

4.1.1. Elección de la geometría

Es necesario para la correcta realización del presente trabajo establecer una geometría de las piezas que se van a imprimir para que posteriormente se realicen las actividades que se han nombrado. La realización del presente trabajo recoge la geometría de las probetas en la norma UNE-EN ISO 527-2:2012 que trata sobre la determinación de las propiedades en tracción de polímeros, escogiendo la parte 2 de esta norma que trata las condiciones de ensayos de plásticos para moldeo y extrusión. Se escoge esta norma porque es la que mejor se aplica a este trabajo debido a que la extrusión de plásticos se adecua al proceso de fabricación consistente en la norma [23].

En la siguiente Figura 9 se pueden observar los parámetros geométricos que deben introducirse según dicha norma para el diseño de las probetas.

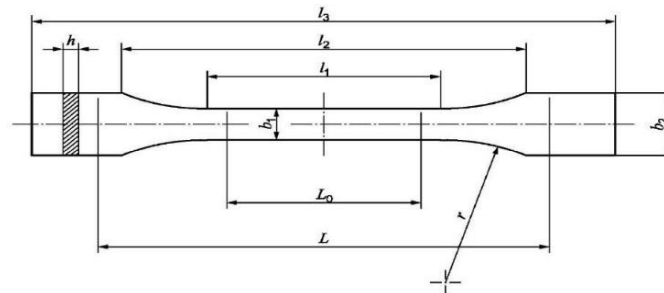


Figura 9. Parámetros geométricos de las probetas [23].

Con esta norma se ha designado el modelo de las muestras 1A como el estándar para este trabajo, el cual detalla sus características geométricas en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de geometría de las probetas [23].

Parámetro geométrico	Tipos de probetas	1A (según norma)
l_3 (mm)	Longitud total	170
l_2 (mm)	Distancia entre las partes anchas de caras paralelas	$109,3 \pm 3,2$
l_1 (mm)	Longitud de la parte estrecha de caras paralelas	80 ± 2
r (mm)	Radio	24 ± 1
b_2 (mm)	Anchura en los extremos	$20 \pm 0,2$
b_1 (mm)	Anchura de la parte estrecha	$10 \pm 0,2$
h (mm)	Espesor recomendado	$4 \pm 0,2$
L_0 (mm)	Longitud de referencia (recomendada) Longitud de referencia (aceptable si se requiere para el control de calidad o cuando se especifique)	$75 \pm 0,5$ $50 \pm 0,5$
L (mm)	Distancia inicial entre mordazas	115 ± 1

4.1.2. Diseño CAD

Es necesario modelar en 3D la pieza que se va a imprimir ya que se tienen seleccionadas las dimensiones. Para ello, se utiliza el software de modelado, entre otros objetivos, SolidWorks.

Como se puede observar en la Figura 10, se realiza un croquis en el plano de planta con la forma de la probeta junto a sus cotas y relaciones de posición para restringir esta geometría paramétrica para realizar de manera satisfactoria la intención de diseño.

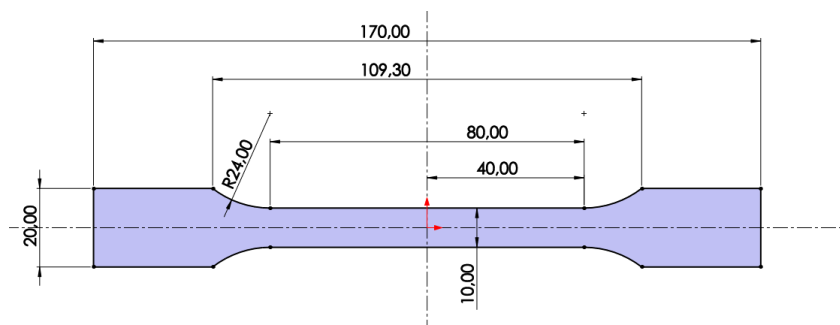


Figura 10. Definición geometría de la probeta en SolidWorks.

Una vez se tiene la geometría de las probetas sobre un plano, es necesario extruir con el espesor (h) igual a 4 mm para obtener el volumen del sólido (Figura 11).

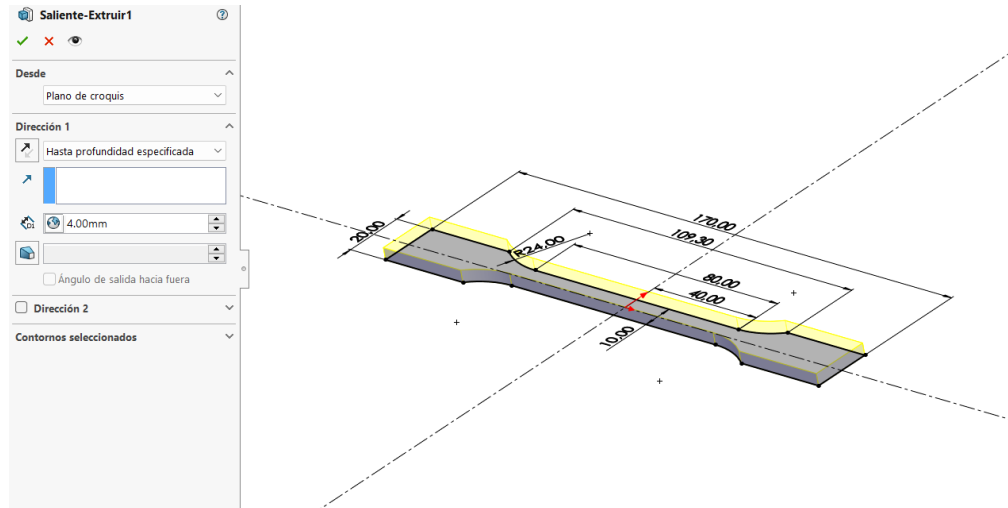


Figura 11. Modelo sólido de las probetas en SolidWorks.

Por último, se debe guardar la geometría en formato de pieza de SolidWorks con extensión “.sldprt” para poder cambiar algún dato de la geometría si se requiere, y así también se tiene control del archivo raíz. Se tiene que exportar este archivo con el sólido de la pieza a extensión “.stl” debido a que es la extensión con la que trabajan los software de impresión 3D.

4.2. Fabricación de las probetas

Este punto es uno de los más importantes debido a que se establecen las variables de entradas junto al proceso de fabricación de las piezas.

4.2.1. Parámetros de fabricación

Observando los artículos mencionados en el estado del arte, se ha evaluado que los factores más influyentes en la resistencia mecánica de las probetas para ensayos de tracción son el espesor de la capa, la temperatura de extrusión y la velocidad de deposición del material.

Por lo tanto, se ha decidido combinar estos tres factores y mantener los valores de espesor de capa en 0,1, 0,2 y 0,3 mm para evitar una mala impresión de las piezas. En cuanto a la velocidad, se ha optado por escoger 40, 50 y 60 mm/s para garantizar un pegado eficaz entre las líneas contiguas de extrusión de la misma capa junto con las capas superiores e inferiores. Finalmente, se ha decidido aumentar ligeramente la temperatura de extrusión a valores de 240, 255 y 270 °C, ya que una temperatura excesiva puede afectar negativamente a la deposición del material y una temperatura inferior puede provocar problemas enfriamiento rápido durante la extrusión.

A modo de resumen de estos parámetros de entrada para la impresión se presenta la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de los parámetros de impresión.

Espesor de capa, E_c (mm)	Temperatura de extrusión, T_e (°C)	Velocidad de deposición, V_d (mm/s)
0,1	240	40
0,2	255	50
0,3	270	60

4.2.2. Matriz de experimentos

Para llevar a cabo la fabricación de las probetas de este estudio, se seleccionan las variables de entrada mencionadas en el punto anterior para construir la matriz de experimentos consistentes en el espesor de capa, temperatura de extrusión y velocidad de deposición, en las que se establecen tres niveles de variables para cada una.

Para la realización de esta matriz es necesario determinar el tamaño. Se utilizó la regla de que una matriz L_N tiene $N-1$ grados de libertad (GDL). En forma de ecuación tiene la Ecuación 6.

$$GDL = n^{\circ} \text{ niveles} - 1 \quad (6)$$

Donde n° de niveles se refiere a las variables de entrada. Se escoge la matriz con el menor número de grados de libertad justo por encima del número de grados de libertad asociados a todos los factores. Para ello, en el presente trabajo se tienen tres variables de entradas y cada una de estas está compuesta por tres niveles, que, con estos datos, se determina que el número total de grados de libertad de este estudio es de 6, ya que cada una de las tres variables de entrada tiene tres niveles, lo que implica que cada factor tiene dos grados de libertad.

Se elige el diseño ortogonal más pequeño posible de la lista para tres niveles, que es L_9 , pudiendo ser posible escoger entre L_9 , L_{18} , L_{27} o L_{81} pero la escogida cumple satisfactoriamente con los objetivos de este trabajo.

Con la ayuda del software estadístico Minitab se establecen las configuraciones de los parámetros de impresión, Figura 12.

Diseño de Taguchi

Resumen del diseño

Arreglo de Taguchi $L9(3^4)$
Factores: 3
Corridas: 9

Columnas del arreglo de $L9(3^4)$: 1 2 3

Figura 12. Diseño de la matriz de experimentos de Minitab.

En la siguiente Tabla 3 se presenta la matriz con los 9 experimentos para las probetas de nylon con los parámetros de impresión respectivos de cada experimento.

Tabla 3. Experimentos según método Taguchi.

Nº de experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)
1	0,1	240	40
2	0,1	255	50
3	0,1	270	60
4	0,2	240	50
5	0,2	255	60
6	0,2	270	40
7	0,3	240	60
8	0,3	255	40
9	0,3	270	50

4.2.3. Codificación de las probetas

Para una correcta organización del trabajo y de las probetas es necesario el uso de una codificación de éstas para garantizar la trazabilidad. Se muestra a continuación la codificación de una probeta aleatoria, ver Figura 13.

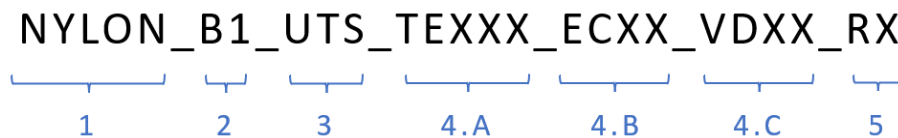


Figura 13. Sistema de códigos de las probetas.

Es una codificación que consta de las siguientes partes:

- NYLON. Que es el material en el que se extruyen las probetas.
- B1. Se trata de la bobina que se ha usado.
- UTS. Se refiere al ensayo de tracción.
- Parámetros de impresión.
 - 4.A. Temperatura de extrusión (TEXXX).
 - 4.B. Espesor de capa (ECXX).
 - 4.C. Velocidad de deposición (VDXX).
- Repetición de la probeta (RX). Para garantizar la repetibilidad de resultados en los ensayos se decide realizar hasta 4 repeticiones de cada experimento (R1, R2, R3 y R4).

4.2.4. Configuración de los parámetros de impresión

Para la impresión de las probetas se usa la impresora de la marca Raise 3D modelo Pro2. Dicha impresora posee la característica del movimiento durante la extrusión en el eje Z por parte de la cama y los movimientos de los ejes X e Y por parte del extrusor. Además, posee la particularidad de tener doble boquilla, lo que facilita el cambio o doble uso de material ayudando a que se obtenga una mayor flexibilidad para las impresiones.

Esta impresora tiene forma de cubo con unas dimensiones del interior para impresión 280x305x605 mm y se trata de un habitáculo desinhibido del exterior para mantener las condiciones de impresión al que se puede acceder al interior por medio de puertas; a la plataforma por la puerta frontal y puerta lateral para acceder al lateral derecho para colocar los rollos de filamentos. También se permite quitar la tapa superior para acceder a esta parte de la impresora por si hay que realizar alguna actividad en la extrusora o ayudar al cambio de filamento. En la Figura 14 puede verse la impresora.

A su vez, la impresora posee al lado de la puerta frontal una pantalla de control que sirve para manipularla de forma manual o cargar archivos para la impresión.

Es necesario el uso del software IdeaMaker. Este software es una herramienta de corte que se encarga de la preparación de modelos en 3D para su posterior impresión. Además, se encarga de la conversión de archivos .stl a modelos en archivos de código G (.gcode), los cuales son compatibles con la impresora Raise3D.

Cuando se abre el programa para configurar cada impresión, lo primero que se hace es la colocación de la probeta que vamos a imprimir en el espacio de trabajo cargando el archivo del modelo de probeta en extensión .stl. Se puede decidir imprimir el número que se quiera de probetas. Imprimir 4 probetas a la vez tiene como ventaja reducir tiempo y costes.



Figura 14. Impresora Raise 3D Pro2. [24]

En este caso, se decide la impresión de 1 probeta con el objetivo de un mayor control durante la impresión, ya que, si se produce algún error, se minimizan riesgo para no perder tanto tiempo y material.

En la Figura 15 se puede observar la configuración del proceso de impresión mediante el software CAM, IdeaMaker.

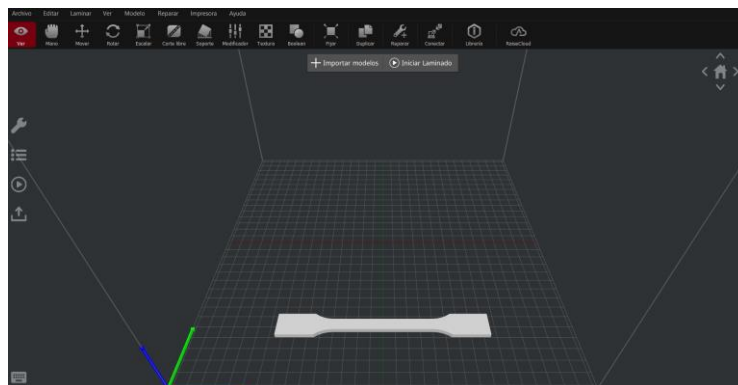


Figura 15. Configuración del entorno del software IdeaMaker con una probeta.

Hay que reseñar que el espacio de trabajo del software se actualiza conforme se selecciona la impresora que se va a usar para la impresión, este es el primer paso antes de colocar las probetas.

Una vez esta todo localizado en su situación, se procede a la introducción de los parámetros de impresión. Para ello, se selecciona la opción de “Iniciar laminado...” y se presenta una ventana con una serie de plantillas, ya configuradas, con unos parámetros por defecto, por ejemplo, impresiones rápidas, de alta calidad o estándar.

Seleccionar una de estas platillas no es el caso de este trabajo, por eso, se procede a la realización de unas plantillas específicas para cada configuración de los parámetros de cada experimento declarados en la matriz. En la Figura 16 puede observarse algunas de las plantillas que aparecen en la ventana de laminado.

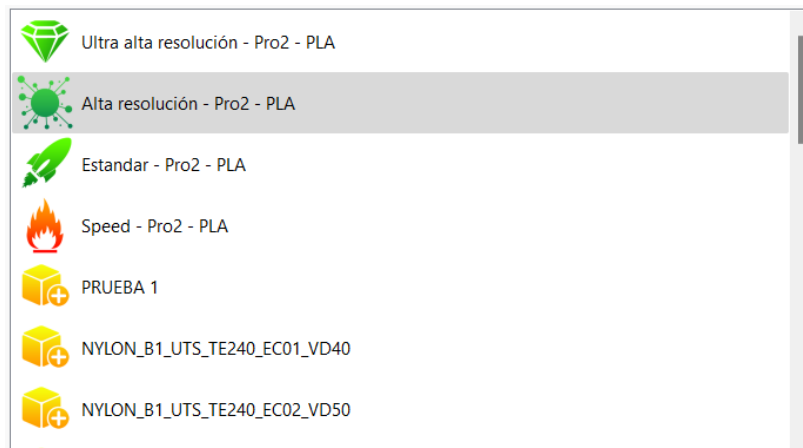


Figura 16. Ventana de selección de plantilla de impresión en el software IdeaMaker.

Al crearse las plantillas de cada experimento, aparecen algunas configuraciones en común en todas estas como la dirección de las líneas de impresión que son horizontales 0° en dirección de la carga del ensayo de tracción, 100% de densidad de relleno, temperatura de la cama de 110 °C y adherencia a la cama con borde.

Se decide seleccionar adherencia a la cama con borde debido a que si se hace sin este elemento existe el riesgo de que durante la impresión la pieza se despegue de la cama.

4.2.5. Impresión de las piezas

Tras elegir la plantilla del experimento de la matriz que se va a imprimir, se selecciona y se le da a “Laminar”. Se aparece una ventana con información relevante sobre la impresión que se va a realizar como coste, cantidad de material que se va a gastar o el tiempo que dura la impresión (Figura 17).

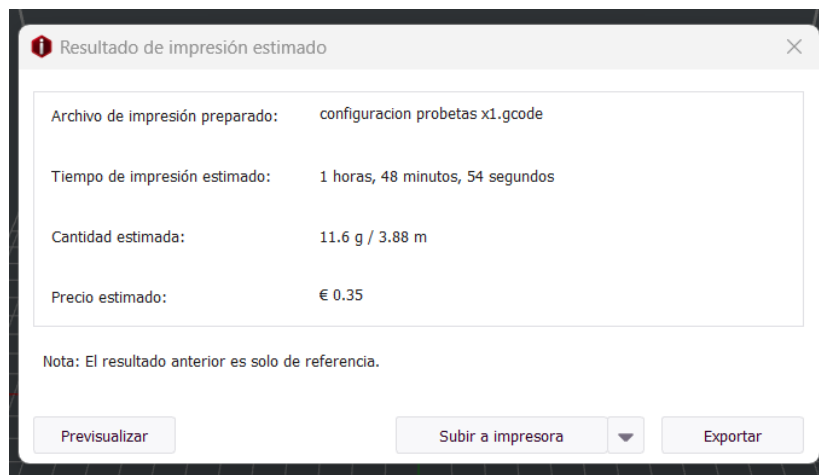


Figura 17. Ventana de resultado estimado de impresión del software IdeaMaker.

Al seleccionar “Previsualizar” se puede observar cómo es la impresión. Una ventaja de esta opción es que se puede ver capa a capa como se va imprimiendo cada probeta durante la impresión. Gracias a los colores se puede ver las partes de la probeta, ver Figura 18.

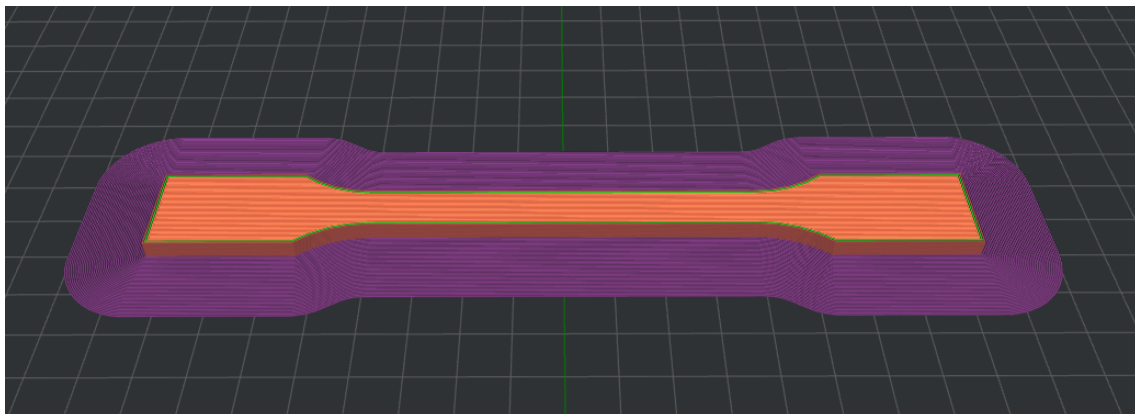


Figura 18. Ejemplo de previsualización del software IdeaMaker para probetas del experimento NYLON_B1_UTS_TE240_EC01_VD40.

Después de completar la preparación del modelo 3D, se debe hacer clic en el botón de exportar para generar un archivo en formato .gcode, el cual es compatible con la máquina de impresión. Luego, se debe guardar este archivo en una memoria extraíble USB que se conectará a la impresora.

Antes de cargar el archivo en la impresora se comprueba la cantidad de material que se va a imprimir e introduciendo el rollo de filamento de Nylon blanco (STYX-12) de 1,75 mm de diámetro, del fabricante Form Futura, en la boquilla correcta del extrusor que previamente se ha tenido que limpiar extruyendo limpiador (Figura 19). Antes de introducir el rollo de nylon, es preciso usar una deshumificadora para quitar la humedad del filamento porque provoca problemas de adhesión de la primera capa en la cama o defectos como burbujas durante la impresión.



Figura 19. Bobina de nylon STYX-12.

Para seleccionar el archivo que deseamos imprimir, podemos acceder a la memoria a través de la pantalla táctil de la impresora. Una vez seleccionado el archivo, la impresora iniciará el proceso de calentamiento de la cama y del extrusor para comenzar con la impresión.

Previamente, se le aplica a la cama una capa de laca Nelly para una mejor adhesión de la primera capa sobre la cama.

4.2.6. Extracción de las probetas

Cada vez que se termina de imprimir las probetas, se retira la parte superior de plataforma (mesa) de impresión de la impresora desenroscando los tornillos de apriete de la plataforma móvil de la impresora como se ve en la Figura 20. Usando una espátula con cuidado se retiran las muestras impresas. Una vez retiradas, con alcohol y papel se limpia esta mesa para dejarla libre de suciedad para la siguiente impresión.



Figura 20. Probeta tras ser impresa.

4.3 Control geométrico

Es necesario el control dimensional de las probetas tras la impresión para descartar fallos dimensionales que hayan podido producirse durante la impresión y así, poder descartar aquellas probetas que no cumplan con las tolerancias que se recogen en la norma.

Para ello, este control de dimensiones se ha realizado con un pie de rey digital de la marca Iroko con un rango de 0-150 mm y división de escala de 0,01 mm, y un micrómetro de la marca Mitutoyo con un campo de 0-25 mm y una división de escala de 0,001 mm. En las Figuras 21 y 22 pueden observarse los instrumentos utilizados para este control.



Figura 21. Pie de rey digital Iroko.



Figura 22. Micrómetro digital Mitutoyo.

Con el fin de prevenir errores durante la medición, se realiza cada medición de cada punto un número de cuatro veces para garantizar la repetibilidad de las mediciones. Para realizar la medición de una manera precisa se usa un soporte como se ve en la Figura 23.



Figura 23. Muestra de medición de una probeta con micrómetro.

Los puntos para las mediciones son (ver Figuras 24 y 25):

- Puntos 1, 2, 3 y 4: mediciones de la anchura de la parte estrecha de la probeta.
- Puntos 5, 6, 7 y 8: mediciones de la anchura de los extremos de la probeta.
- Puntos 9 y 10: mediciones de la longitud entre las partes anchas de caras paralelas.
- Puntos 11 y 12: mediciones de la longitud total de la probeta.
- Puntos 13, 14, 15 y 16: mediciones para el espesor de la probeta.

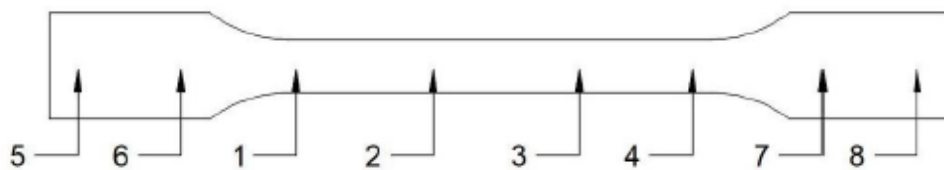


Figura 24. Puntos de medición para control geométrico 1.

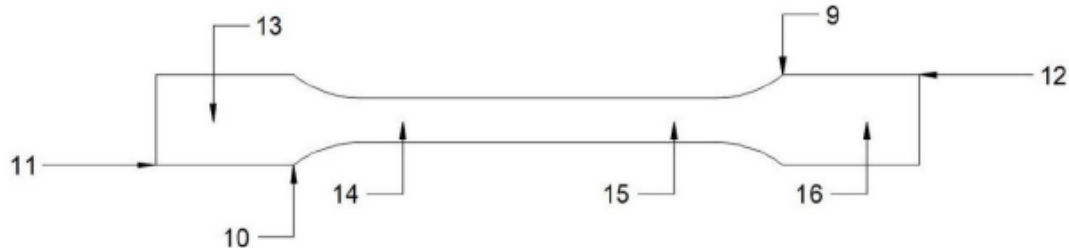


Figura 25. Puntos de medición para control geométrico 2.

4.4 Control de la rugosidad superficial

Tanto el control geométrico como la medición de la rugosidad superficial pueden hacerse alternativamente porque se tratan de tareas no destructivas de las probetas, en cambio, ocurre lo contrario en el ensayo de tracción, donde se realiza una tarea destructiva para el estudio.

Se estable en la figura los 6 puntos que se van a tomar las mediciones de la rugosidad en las superficies de las probetas, teniendo la misma configuración tanto para la superficie libre como la de apoyo.

Para las mediciones de las rugosidades superficiales se utiliza un rugosímetro con palpador de la marca Mitutoyo modelo SJ-210, ver Figura 26.



Figura 26. Rugosímetro Mitutoto SJ-210 [25].

Este rugosímetro permite obtener el resultado de la rugosidad media aritmética (Ra) y de la altura media de la rugosidad (Rz) en cada punto de medición gracias a que está conectado al ordenador que permite realizar el registro de las lecturas de estas.

4.5 Ensayo de tracción

Tras realizar el control geométrico y del acabado superficial, se procede a realizar el ensayo de tracción con la máquina Servosis ME 405 10 de la Figura 27. Se trata de una máquina específica para realizar ensayos quasi estáticos de baja carga de tracción, compresión y flexión con una capacidad de entre 1 a 500 KN y velocidad hasta 1000 mm/min, para plásticos, cauchos, aluminio, acero, etc.



Figura 27. Máquina de ensayos Servosis ME 405 10 [26].

Para la realización del ensayo, se colocan las probetas en las mordazas, colocando la superior en la posición que se debe ya que la inferior es fija. Una vez ajustada se realiza la fijación con los agarres de cada mordaza para el comienzo del ensayo. Tras esto, se procede a la introducción de parámetros de los ensayos en “modo tracción” con una velocidad de deformación de las probetas de 2 mm/min [23]. Mientras se realiza el ensayo, en la computadora puede observarse por el software del ensayo el trazador en el que se puede observar en cada instante la relación fuerza-posición hasta la rotura de forma gráfica y numérica estirando las probetas. Una vez llegado al punto de rotura, se extraen los restos de las probetas y se realiza el registro del trazador en una hoja de cálculo en el que se realizará el tratamiento de datos de cada probeta, que, posteriormente se analizarán sus comportamientos.

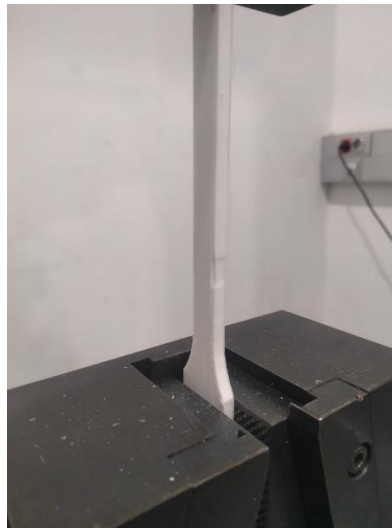


Figura 28. Ejemplo de deformación de una probeta de nylon.

En la anterior Figura 28, puede observarse como ejemplo, una probeta rota tras llegar a la tensión de rotura. Como puede observarse en el ensayo de tracción, las fibras de las probetas empezarán a estirarse en la dirección de la carga hasta producirse la separación de éstas influenciadas por los parámetros de impresión pasando por los comportamientos elásticos y plásticos hasta la rotura.

Es importante en el análisis de resultados, analizar de forma exhaustiva el comportamiento de cada probeta y corregir resultados en los posibles defectos que se puedan producir durante el ensayo como el deslizamiento de las probetas en las mordazas por mal agarre o no mostrar correctamente el punto de rotura de la probeta porque aún existan fibras deformándose cuando prácticamente la probeta ya ha colapsado. Estos defectos pueden falsear los datos y no poder sacar unas conclusiones claras.

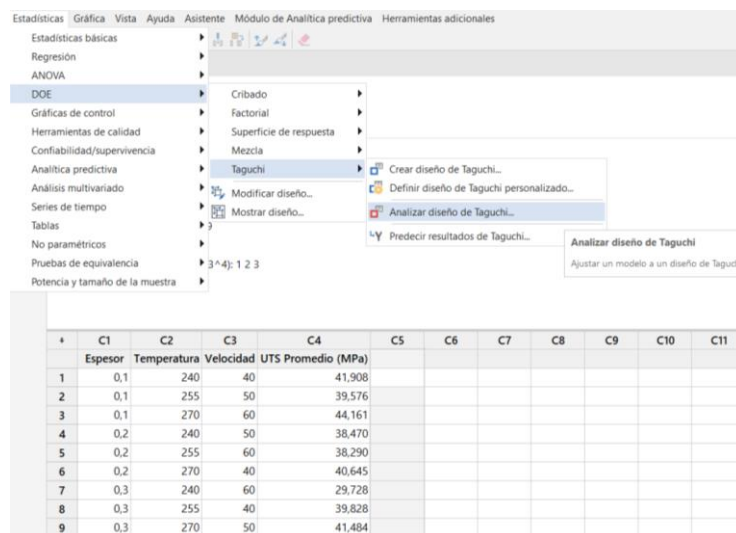
4.6 Técnicas de tratamiento de datos

Una vez finalizada la parte experimental del presente trabajo, se realiza el tratamiento y análisis de los datos de obtenidos en los puntos anteriores.

4.6.1. Método Taguchi

Gracias al método Taguchi, se construye la matriz de experimentos al comienzo del trabajo con las distintas configuraciones de los parámetros de impresión como variables de entrada. Para la aplicación del método Taguchi se puede hacer el tratamiento de los datos de salida calculados en los experimentos (Ra , Rz y UTS) para los valores promedios o para los valores señal/ruido (S/N). Para este trabajo se utilizan los valores promedios de las variables de salida Ra , Rz y UTS , y, por ello, se emplea el software informático Minitab [12].

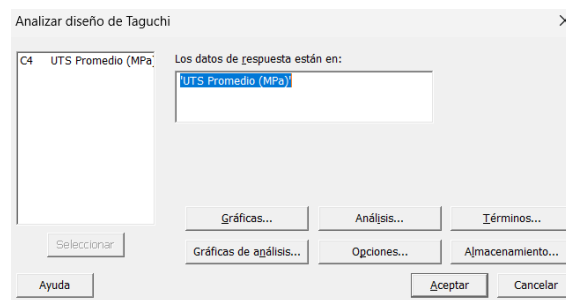
En la pestaña de estadísticas, se selecciona “DOE”, a continuación “Taguchi” y, por último, “Análisis diseño de Taguchi...” como se ve en la Figura 29.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	Esesor	Temperatura	Velocidad	UTS Promedio (MPa)							
1	0,1	240	40	41,908							
2	0,1	255	50	39,576							
3	0,1	270	60	44,161							
4	0,2	240	50	38,470							
5	0,2	255	60	38,290							
6	0,2	270	40	40,645							
7	0,3	240	60	29,728							
8	0,3	255	40	39,828							
9	0,3	270	50	41,484							

Figura 29. Guía para la obtención de datos del método Taguchi en el software Minitab.

Tras esto, se abrirán varias ventanas en las que se configura la salida de datos en función de las variables promedio de salida que se estudia, seleccionando éstas como variables de respuestas en el software como en la Figura 30.



Analizar diseño de Taguchi

C4 UTS Promedio (MPa) Los datos de respuesta están en:

UTS Promedio (MPa)

Seleccionar

Gráficas... Análisis... Términos...

Gráficas de análisis... Opciones... Almacenamiento...

Ayuda Aceptar Cancelar

Figura 30. Ventana de selección de la respuesta para Taguchi en el software Minitab.

Una vez tenemos los parámetros establecidos, continuamos con el proceso y aparecen los datos que buscamos, Figura 31.

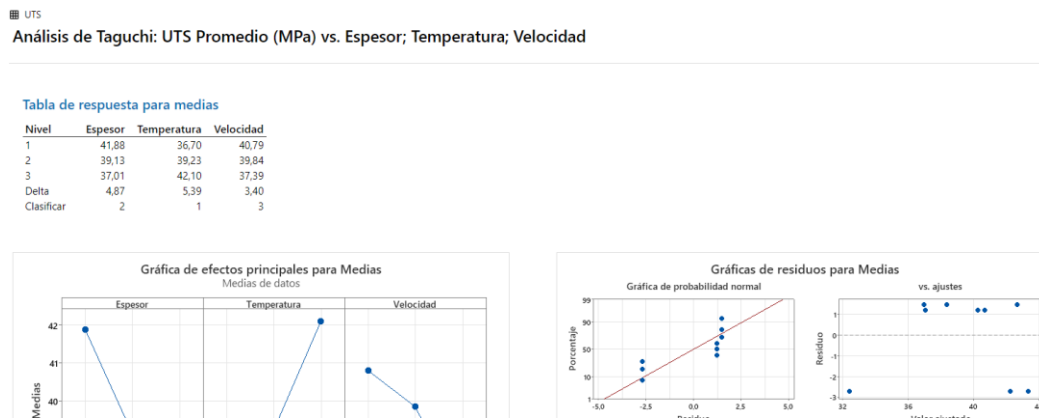


Figura 31. Resultados del procedimiento del método Taguchi en el software Minitab.

4.6.2. Análisis relacional gris (GRA)

Este método de análisis se realiza en conjunto con el método de Taguchi, ya que como se ha comentado, el método Taguchi no es capaz de indicar claramente los parámetros de mayor influencia en las variables de salida de los experimentos, en cambio el análisis relacional gris si es capaz. De hecho, este análisis con la obtención del coeficiente GRC permite realizar una clasificación de cuál es el experimento con los parámetros óptimos [12] y [13].

Se parte de los valores de promedios que también se utilizan en el método Taguchi. Este método se realiza en los siguientes pasos:

1. Normalización del valor de los parámetros con las Ecuaciones 7 y 8. Se utiliza el mismo criterio de cálculo y selección de variables de cada experimento que en Taguchi, es decir, el valor más pequeño para la rugosidad superficial, y el valor más grande para *UTS*.

Criterio para menor valor es mejor:

$$Y_{pq} = \frac{\max(x_{pq}) - x_{pq}}{\max(x_{pq}) - \min(x_{pq})} \quad (7)$$

Criterio para mayor valor es mejor:

$$Y_{pq} = \frac{x_{pq} - \min(x_{pq})}{\max(x_{pq}) - \min(x_{pq})} \quad (8)$$

2. Se calcula el valor referencia *R*, siendo el valor máximo de *Y_{pq}* de todas las secuencias de datos (ecuación 9).

$$R = \max(Y_{pq}) \quad (9)$$

3. A continuación, se obtiene el valor Δ_{pq} que se trata de la variación en valor de los valores normalizados con el valor de referencia R .

$$\Delta_{pq} = |Y_{pq} - R| \quad (10)$$

4. Se calcula el coeficiente identificador ζ_{pq} cuyos valores se encuentran comprendidos entre 0 y 1.

$$\zeta_{pq} = \frac{\min(\Delta_{pq}) + 0,5 * \max(\Delta_{pq})}{\Delta_{pq} - 0,5 * \max(\Delta_{pq})} \quad (11)$$

5. Por último, se calcula el valor del coeficiente GRC , siendo la media los valores de ζ_{pq} de cada variable de salida.

$$GRC = \frac{\sum_{i=1}^n \zeta_{pq}}{n} \quad (12)$$

Una vez se obtienen los valores de GRC de cada experimento, se procede a realizar el ranking de cada uno, donde el valor más alto de GRC se corresponde con el experimento más optimo, teniendo el valor primero en la clasificación de experimentos.

4.6.3. Método ANOVA

Debido a que este método del análisis de la varianza es complejo, también se ha optado por utilizar un software MiniTab. Utilizando este programa, una vez se han ingresado todos los valores de los diferentes experimentos que se usan para el cálculo del método Taguchi, es posible obtener la tabla resumen de ANOVA para los valores promedios con los valores necesarios por defecto, como se ve en la Figura 32.

Análisis de Varianza de Medias

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Espesor	2	35,74	35,74	17,872	1,09	0,478
Temperatura	2	43,71	43,71	21,854	1,33	0,428
Velocidad	2	18,47	18,47	9,235	0,56	0,639
Error residual	2	32,76	32,76	16,378		
Total	8	130,68				

Figura 32. Ejemplo de valores ANOVA en el software Minitab.

Donde;

- GL representa los grados de libertad.
- SC es la suma de cuadrados.
- MC es la media de cuadrados.
- Valor F representa la estadística de prueba utilizada para determinar si la variable de entrada está asociada con la respuesta.
- Valor P representa la probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. A menor valor P , mayor será la evidencia en contra de la hipótesis nula, es decir, el valor será más significativo.

Por tanto, para que un valor sea significativo, el valor P debe de ser menor al coeficiente estadístico relacionado con el nivel de confianza del 95%, siendo el valor de α igual al 0,05.

Capítulo 5.

RESULTADOS

EXPERIMENTALES

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este punto se va a realizar la exposición y tratamiento de los valores y resultados obtenidos en cada fase de la investigación. Es decir, analizar los resultados del control geométrico, de la rugosidad superficial y de los ensayos de la tracción. Todos los resultados que se van a tratar vienen recogidos en el anexo de las hojas de datos de cada probeta.

5.1. Control dimensional

Es preciso antes de realizar cualquier acción, realizar un control geométrico de todas las probetas para confirmar que las dimensiones de éstas están dentro del rango de tolerancia que se recoge en la norma UNE-EN ISO 527-2:2012 [23].

Para ello, se muestra la Tabla 4 donde se recogen los valores promedio de cada experimento.

Tabla 4. Resumen de los valores promedio del control dimensional.

Nº Experimento	b1 (mm)	b2 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	h (mm)
1	10,172	20,091	109,051	169,005	3,854
2	10,023	20,150	108,725	169,038	3,957
3	10,291	20,052	108,696	169,276	3,869
4	10,281	19,917	108,515	169,186	3,902
5	10,493	20,339	108,571	169,215	3,868
6	10,391	20,355	108,615	169,191	3,820
7	10,378	20,315	108,193	169,026	3,609
8	10,269	20,156	108,723	169,527	3,854
9	10,412	20,311	108,708	169,101	3,947

5.1.1. Comparativa entre norma y valores reales de las probetas

Es necesario realizar una comparativa entre los valores obtenidos en los experimentos y los valores que establece la norma para mostrar la desviación geométrica que existe entre estas

dos. Para ello, se muestra la Tabla 5 donde se establece el valor promedio de todos los experimentos con los valores de la norma [23].

Tabla 5. Desviación entre valores según norma y promedios.

	Norma (mm)	Promedio (mm)	Desviación (mm)
<i>b1</i> (mm)	10,00 ± 0,2	10,301	0,301
<i>b2</i> (mm)	20,00 ± 0,2	20,187	0,187
<i>L2</i> (mm)	109,30 ± 3,2	108,644	-0,656
<i>L3</i> (mm)	170,00	169,174	-0,826
<i>h</i> (mm)	4,00 ± 0,2	3,853	-0,147

Gracias a los resultados de la desviación entre los valores estándar de la norma y los valores promedios obtenidos en las impresiones, se observa que los valores de la anchura de la parte estrecha (*b1*) y de longitud total (*L3*) se encuentran fuera del rango de tolerancia. Aunque se obtengan estos valores de desviación, donde dos variables geométricas no cumplen según la norma, no supone algo significativo debido a que ésta existe para caracterizar la geometría de las probetas. Son variables con las que se puede convivir, ya que el principal objetivo del presente trabajo es el estudio de las influencias de los parámetros de impresión.

5.2. Rugosidad superficial

En el apartado 4 de metodología del proceso se establecen los 6 puntos de mediciones de la rugosidad superficial de las probetas para obtener la rugosidad media aritmética (*Ra*) y la altura media de la rugosidad (*Rz*) de las dos caras planas predominantes de las probetas, es decir, la cara libre y la cara que estaba en contacto con la plataforma de impresión que se denomina superficie de apoyo.

5.2.1. Rugosidad media aritmética (*Ra*)

A continuación, se muestran los valores promedios de la rugosidad media sobre las superficies libres de las repeticiones de cada experimento en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores promedio de las mediciones de rugosidad media R_a para superficie libre.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	R_a (μm)
1	0,1	240	40	5,910
2	0,1	255	50	6,414
3	0,1	270	60	5,991
4	0,2	240	50	8,701
5	0,2	255	60	9,323
6	0,2	270	40	8,000
7	0,3	240	60	7,964
8	0,3	255	40	14,209
9	0,3	270	50	8,155

Observando los resultados, se puede considerar que no hay una gran disparidad de valores entre ellos. Se observa que las probetas del experimento 8 son las que mayor resultado de rugosidad media presentan, mientras que las del experimento 1 son las que menor valor tienen.

Se procede a realizar lo mismo para cada experimento, pero para las superficies de apoyo como se ve en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores promedio de las mediciones de rugosidad media R_a para superficie apoyo.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	R_a (μm)
1	0,1	240	40	15,672
2	0,1	255	50	16,411
3	0,1	270	60	16,140
4	0,2	240	50	16,616
5	0,2	255	60	12,268
6	0,2	270	40	8,292
7	0,3	240	60	15,914
8	0,3	255	40	24,489
9	0,3	270	50	17,056

Como en el caso de las superficies libres, el experimento número 8 es el experimento que peor resultado de rugosidad media arroja. En cambio, el experimento 6 es el que menor valor tiene.

Al comparar los resultados que se muestran en las tablas anteriores, la superficie que apoya sobre la cama caliente de la impresora presenta peores datos frente a la rugosidad media de las superficies libres, esto se debe a las diferencias de temperaturas que se da en el momento que se deposita el nylon extruido en la cama y que instantáneamente se produce un descenso de la temperatura en una superficie de material diferente. Además, se suma otro factor como la acumulación de laca para favorecer el pegado del nylon sobre la cama, junto con el deterioro de esta superficie de apoyo en el momento de la extracción de las probetas de la cama.

5.2.2. Altura media de la rugosidad (R_z)

Para la altura media de la rugosidad se realiza el mismo análisis, primero de las superficies libres, como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores promedio de las mediciones de altura media de la rugosidad R_z para superficie libre.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	R_z (μm)
1	0,1	240	40	45,502
2	0,1	255	50	49,976
3	0,1	270	60	36,464
4	0,2	240	50	63,724
5	0,2	255	60	62,375
6	0,2	270	40	44,072
7	0,3	240	60	44,966
8	0,3	255	40	86,057
9	0,3	270	50	44,387

En este caso, sí existe una desviación en los valores, pero la del experimento número 8 es la que muestra una gran diferencia siendo la que mayor valor de altura media de la rugosidad tiene. Para el experimento número 3 es el que se presenta menor valor.

Del mismo modo, se realiza el mismo análisis, pero para las superficies de apoyo en contacto con la cama a la hora de imprimirse (Tabla 9).

Tabla 9. Valores promedio de las mediciones de altura media de la rugosidad R_z para superficie apoyo.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	R_z (μm)
1	0,1	240	40	88,005
2	0,1	255	50	93,178
3	0,1	270	60	91,111
4	0,2	240	50	92,206
5	0,2	255	60	72,614
6	0,2	270	40	51,782
7	0,3	240	60	89,716
8	0,3	255	40	122,031
9	0,3	270	50	100,851

En el análisis de los resultados se observa la misma conclusión que en el caso de la altura media para superficies libres. De igual manera, el experimento número 8 es el que presenta un mayor valor. El experimento número 6 es el que menor valor arroja. Los datos que se arrojan presentan la misma dinámica que para la rugosidad media R_a , es decir, se presentan mejores valores de altura media R_z para la superficie libre frente a la de apoyo.

5.2.3. Comparativa entre probetas

Se realiza una comparativa de las rugosidades superficiales para cada cara de las probetas de forma gráfica gracias a los resultados de los puntos anteriores, estableciendo una gráfica que se compara la rugosidad media aritmética y en la otra, la altura media de la rugosidad (R_z).

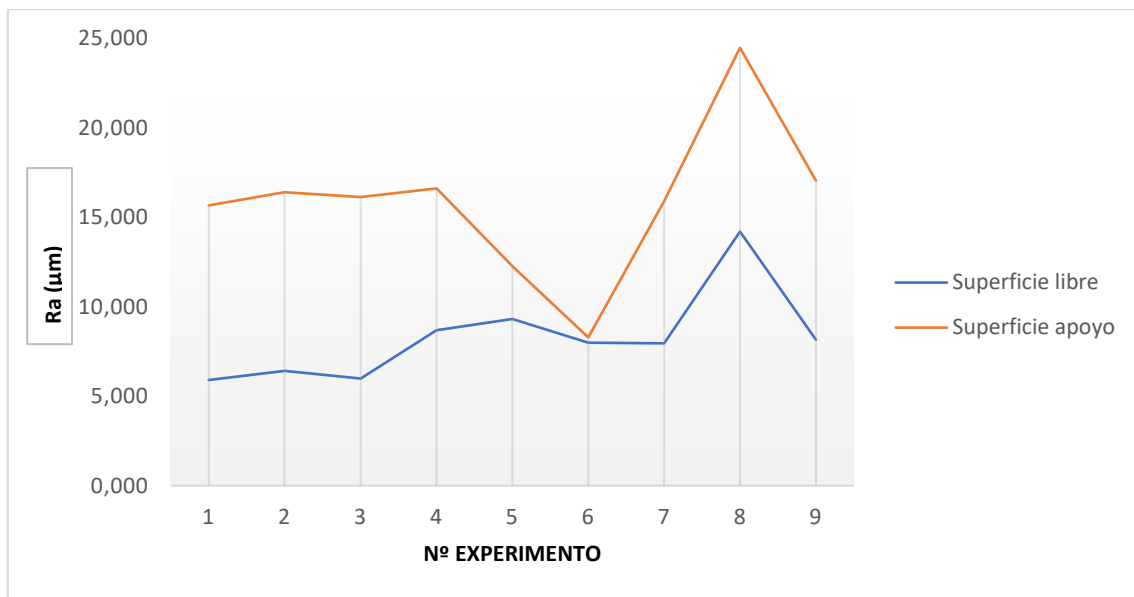


Figura 33. Comparativa gráfica de las superficies libres y de apoyos para R_a .

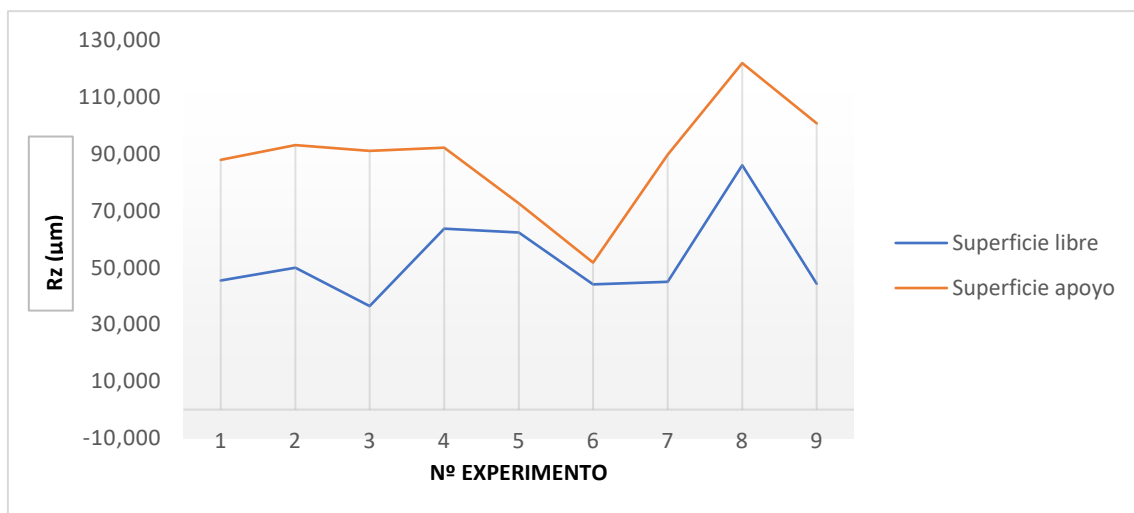


Figura 34. Comparativa gráfica de las superficies libres y de apoyos para R_z .

Como se puede observar en las gráficas, las rugosidades en la superficie de apoyo, medidas mediante R_a y R_z , son superiores que las de la superficie libre en todos los experimentos. Esto se debe a que las probetas pueden sufrir daños al despegarlas de la cama caliente en la fase de extracción tras ser impresas.

Otro factor para tener en cuenta son las compresiones térmicas que se producen en la cara de apoyo pueden estar restringidas al estar en contacto con otro material, que en este caso se trata el material de la cama caliente, lo que puede ser otra razón para la variación en la rugosidad superficial.

Con base en estos valores de rugosidad superficial, se han calculado los valores medio de Ra y Rz para ambas superficies de las probetas, que se recogen en la Tabla 10.

Tabla 10. Resumen de los valores promedios de Ra y Rz .

Nº Experimento	Ra promedio (μm)	Rz promedio (μm)
1	10,791	66,754
2	11,412	71,577
3	11,066	63,787
4	12,659	77,965
5	10,795	67,494
6	8,146	47,927
7	11,939	67,341
8	19,349	104,044
9	12,605	72,619

Como podemos observar en la tabla, no se ve una gran disparidad de resultados entre los valores de rugosidad media aritmética, siendo el experimento número 8 el que presenta mayor Ra y el experimento 6 el que menos. Para el caso de la altura media de la rugosidad también se puede observar que el experimento número 8 también es el que tiene mayor Rz y el experimento 6 el que menos.

Al observar estos resultados existe una paridad entre los experimentos salvo esta que se comenta. La única conclusión con este análisis en cuanto al acabado superficial es que el mejor experimento es el número 6 y el 8, el peor.

5.3. Ensayo de tracción

Una vez se han realizado los controles dimensionales y de acabado superficial, se procede a realizar el ensayo tracción de las probetas en el que se busca la tensión máxima de servicio (UTS). Para ello, se muestra la Tabla 11 en la que se muestra la tensión máxima de servicio media de cada experimento.

Tabla 11. Resumen valores promedios de UTS.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	UTS (MPa)
1	0,1	240	40	41,908
2	0,1	255	50	39,576
3	0,1	270	60	44,161
4	0,2	240	50	38,470
5	0,2	255	60	38,290
6	0,2	270	40	40,645
7	0,3	240	60	29,728
8	0,3	255	40	39,828
9	0,3	270	50	41,484

Observando los datos aportados por la media de las UTS, el experimento número 7 es el que presenta peor comportamiento a tracción debido al valor tan bajo de tensión frente al experimento 3 que presenta mayor tensión.

A continuación, se muestran las gráficas tensión-deformación de las repeticiones de cada experimento para que se pueda observar el comportamiento frente a la tracción de las probetas hasta la tensión máxima de servicio (Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 44).

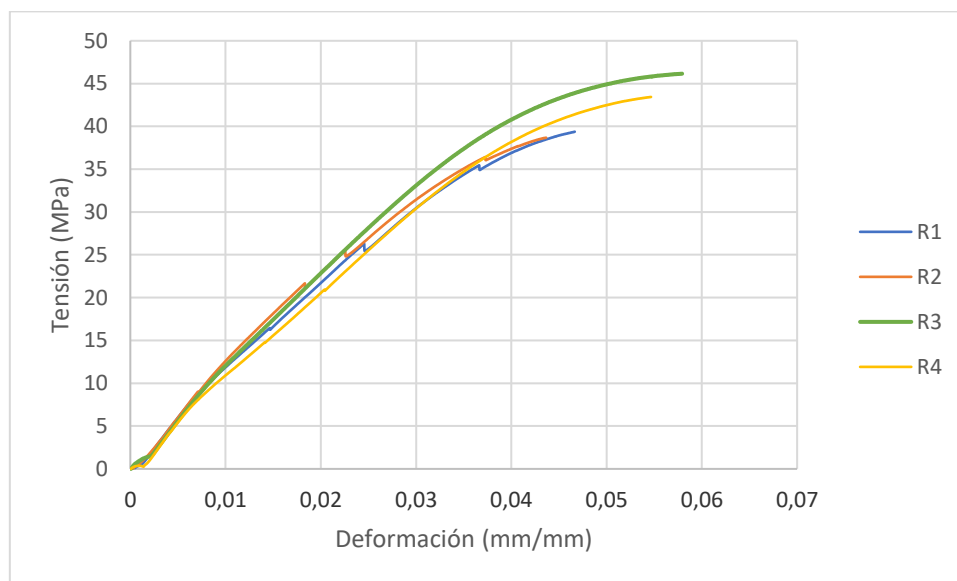


Figura 35. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE240_EC01_VD40 (exp. 1).

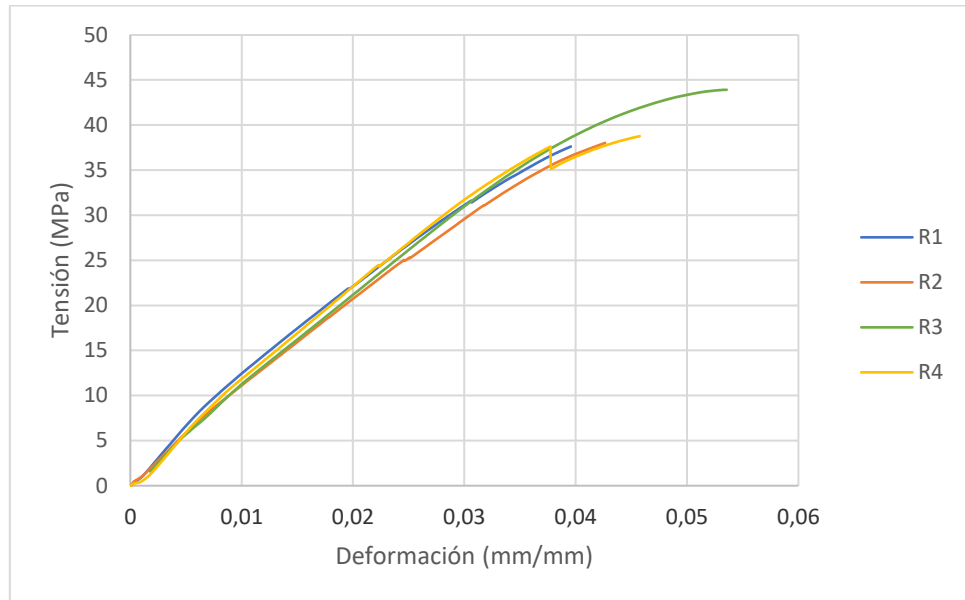


Figura 36. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE255_EC01_VD50 (exp. 2).

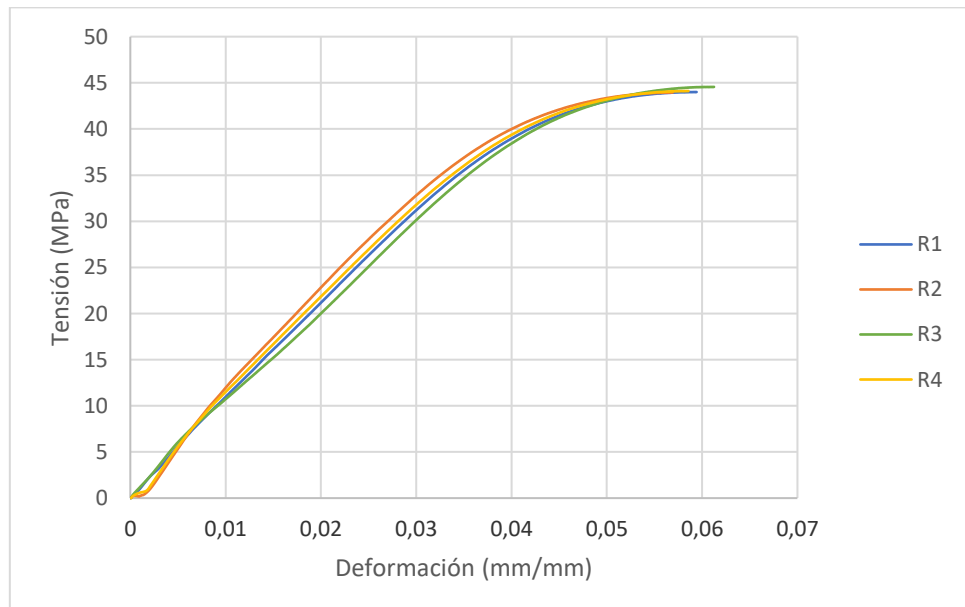


Figura 37. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE270_EC01_VD60 (exp. 3).

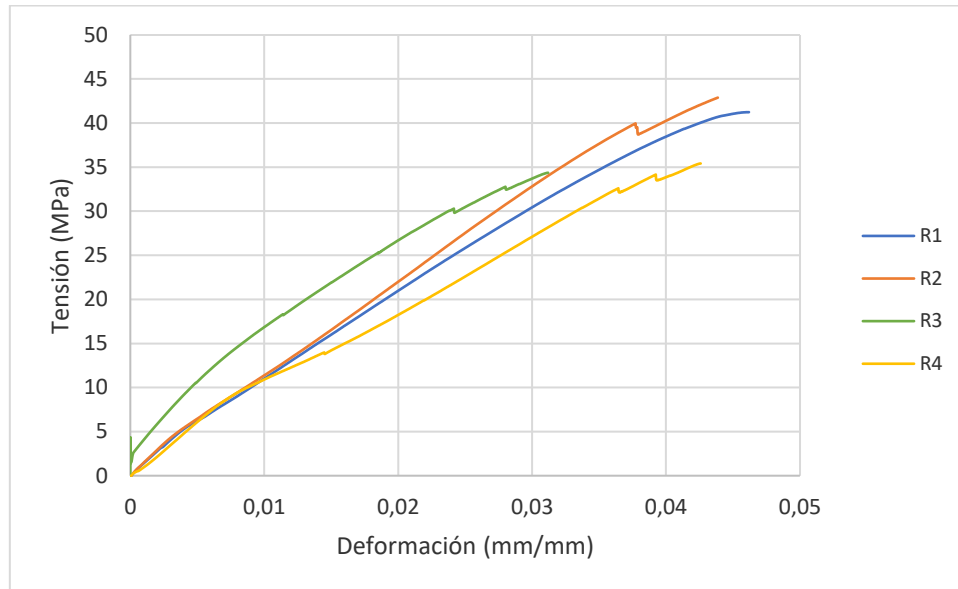


Figura 38. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE240_EC02_VD50 (exp. 4).

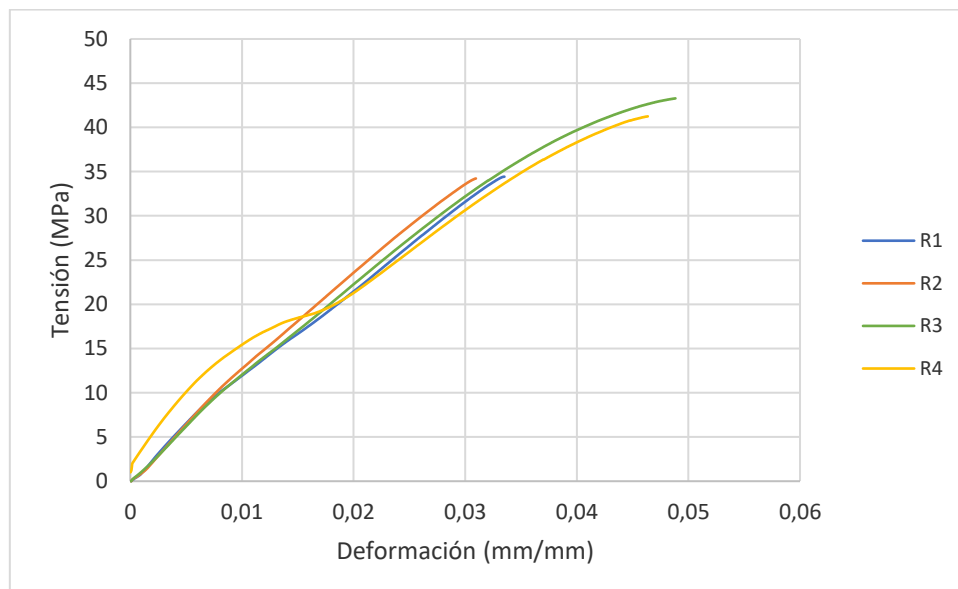


Figura 39. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE255_EC02_VD60 (exp. 5).

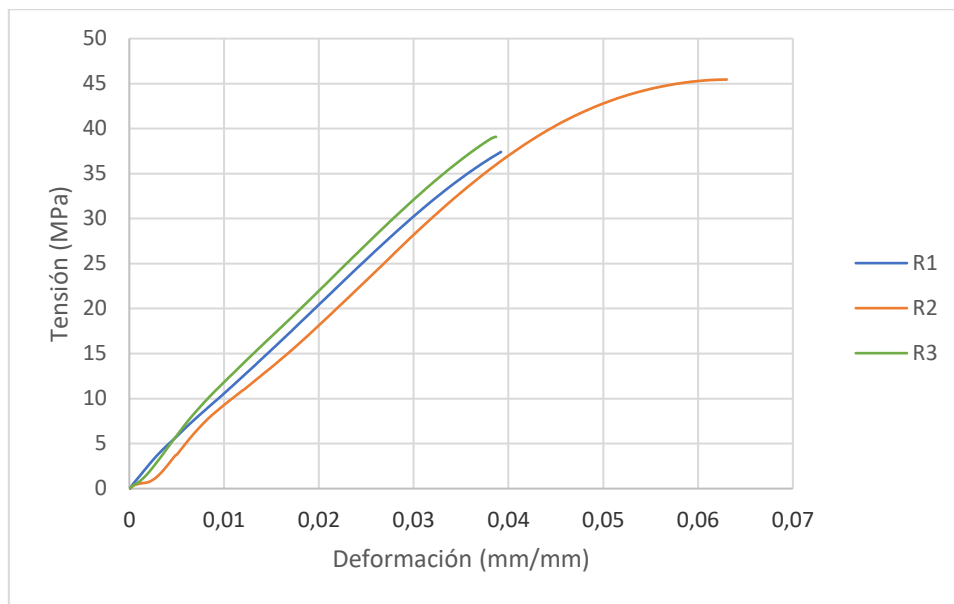


Figura 40. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE270_EC02_VD40 (exp. 6).

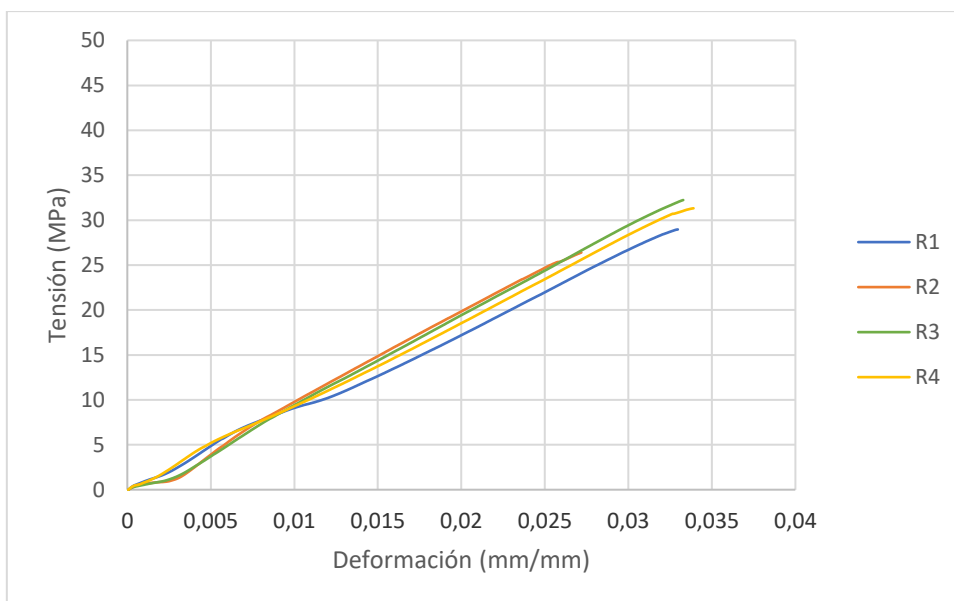


Figura 41. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE240_EC03_VD60 (exp. 7).

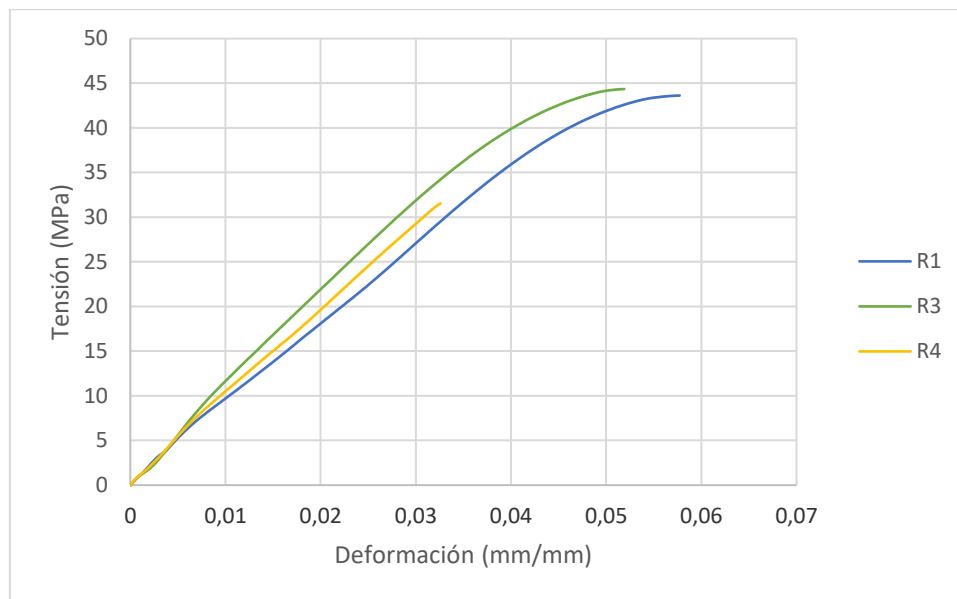


Figura 42. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE255_EC03_VD40 (exp. 8).

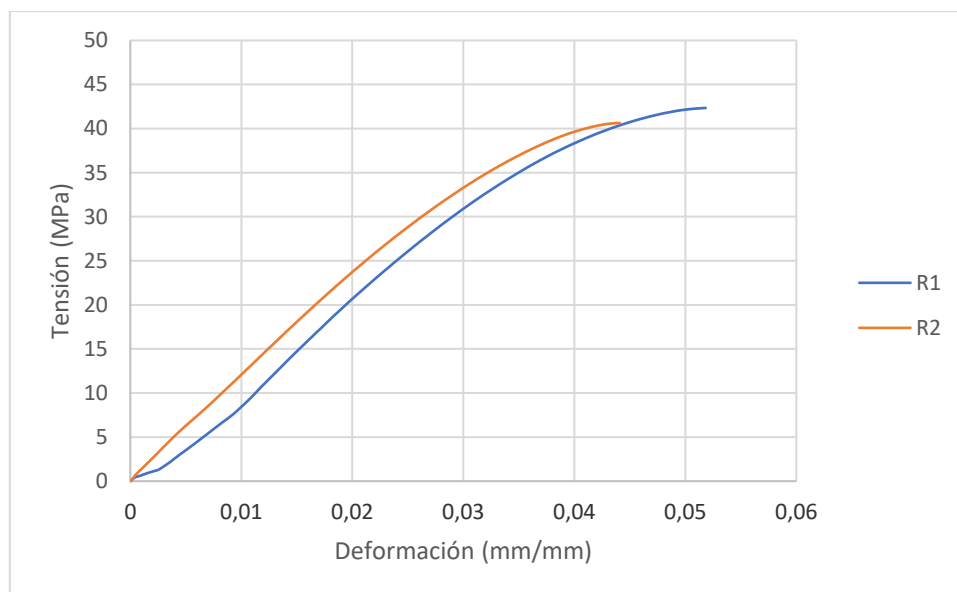


Figura 43. Gráfica tensión-deformación de NYLON_B1_UTS_TE270_EC03_VD50 (exp. 9).

Como se puede observar, existe una variación de hasta 15 MPa de *UTS* entre los experimentos que presentan mayor (exp. 3) y menor (exp. 7) tensión. El experimento número 3 tiene como combinación de parámetros una altura de capa de 0,1 mm, una temperatura de extrusión de 270 °C y velocidad de deposición de 60 mm/s. En cuanto al experimento 7, una altura de capa de 0,3 mm, una temperatura de 240 °C y velocidad de 60 mm/s.

Estas dos combinaciones de probetas tienen como parámetro común la velocidad de deposición de 60 mm/s, lo que se puede concluir que la relación temperatura de extrusión y altura de capa

juegan un papel importante frente al ensayo de tracción, ya que, cuanto menor sea la temperatura, peor comportamiento. Con la altura de capa se analiza lo contrario, cuanto mayor sea, peor comportamiento.

Para una lectura completa de los resultados se recomienda observar los resultados completos de cada probeta en el Anexo de registro de los resultados porque en estas hojas también se recogen los datos de la tensión de rotura.

5.4. Técnicas de optimización de parámetros

Para la optimización de los parámetros de impresión y mejor análisis de los resultados, como se comenta en el punto 4 del presente trabajo, se aplica el método Taguchi junto con el análisis relacional gris de los valores promedios de las salidas para ver qué experimentos, y, por tanto, qué parámetros de impresión son los más significativos. Además, con el análisis de la varianza ANOVA se trata de tener un respaldo y convergencia de las conclusiones.

5.4.1. Taguchi y análisis relacional gris (GRA)

Mediante el uso de la metodología Taguchi, se lleva a cabo el estudio para analizar cómo los diferentes parámetros de impresión de entrada influyen en la obtención de los valores óptimos de las variables de salida. Se busca minimizar la rugosidad superficial de los valores medios, por lo que se busca el valor más bajo como mejor resultado para valores medios de Ra y Rz , mientras que se busca maximizar los promedios de resistencia a la tracción, buscando el valor más alto como mejor resultado para valores medios de UTS [27] y [28].

En la Tabla 12 se muestran los resultados promedios para las variables que se van a estudiar.

Tabla 12. Resumen de los valores promedios de Ra , Rz y UTS para Taguchi.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	Ra (μm)	Rz (μm)	UTS (MPa)
1	0,1	240	40	10,791	66,754	41,908
2	0,1	255	50	11,412	71,577	39,576
3	0,1	270	60	11,066	63,787	44,161
4	0,2	240	50	12,659	77,965	38,470
5	0,2	255	60	10,795	67,494	38,290
6	0,2	270	40	8,146	47,927	40,645
7	0,3	240	60	11,939	67,341	29,728
8	0,3	255	40	19,349	104,044	39,828
9	0,3	270	50	12,605	72,619	41,484

A continuación, se muestra la importancia de cada variable de salida de los experimentos, clasificando los parámetros de impresión en función de su importancia para los valores promedio obtenidos.

Primero se muestra la clasificación para la rugosidad media R_a en la Tabla 13.

Tabla 13. Clasificación de R_a según parámetros de impresión.

Nivel	Espesor	Temperatura	Velocidad
1	11,09	11,8	12,76
2	10,53	13,85	12,23
3	14,63	10,61	11,27
Delta	4,1	3,25	1,5
Clasificar	1	2	3

Al observar el valor *DELTA*, el valor más alto es el más significativo, por tanto, el espesor, con una variación de 4,1 es el parámetro de impresión más importante. No hay que pasar por alto que la temperatura tiene un valor de variación cercana al valor del espesor, pero en cuanto a la velocidad no parece tener una gran significancia para la rugosidad media R_a .

Para la altura media de la rugosidad R_z se muestra la Tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de R_z según parámetros de impresión.

Nivel	Espesor	Temperatura	Velocidad
1	67,37	70,69	72,91
2	64,46	81,04	74,05
3	81,33	61,44	66,21
Delta	16,87	19,59	7,85
Clasificar	2	1	3

En este caso, la temperatura juega una significancia más reseñable para la respuesta de R_z con la mayor variación de *DELTA*. Ocurre algo parecido a la conclusión de la variable R_a anterior, espesor y temperatura tienen un valor cercano, aunque en este caso la variable más optima es

la temperatura, dejando a la velocidad como un parámetro no tan importante que afecte a la altura media de la rugosidad.

Tabla 15. Clasificación de UTS según parámetros de impresión.

Nivel	Espesor	Temperatura	Velocidad
1	41,88	36,7	40,79
2	39,13	39,23	39,84
3	37,01	42,1	37,39
Delta	4,87	5,39	3,4
Clasificar	2	1	3

Por último, se muestran los datos arrojados para la clasificación para UTS en la Tabla 15. Se vuelve a observar el mismo efecto, el valor más alto de DELTA es el de la temperatura, siendo el más significativo. La variación de DELTA para el espesor de capa vuelve a tener un valor cercano al del espesor.

Para poder realizar un análisis más exhaustivo, se muestran las gráficas (Figura 45 y 46) obtenidas de las medias de las variables R_a , R_z y UTS de las probetas de nylon. Primero, se procede a analizar la rugosidad media aritmética como la altura media de la rugosidad conjuntamente ya que se proporcionan unas conclusiones muy parecidas.

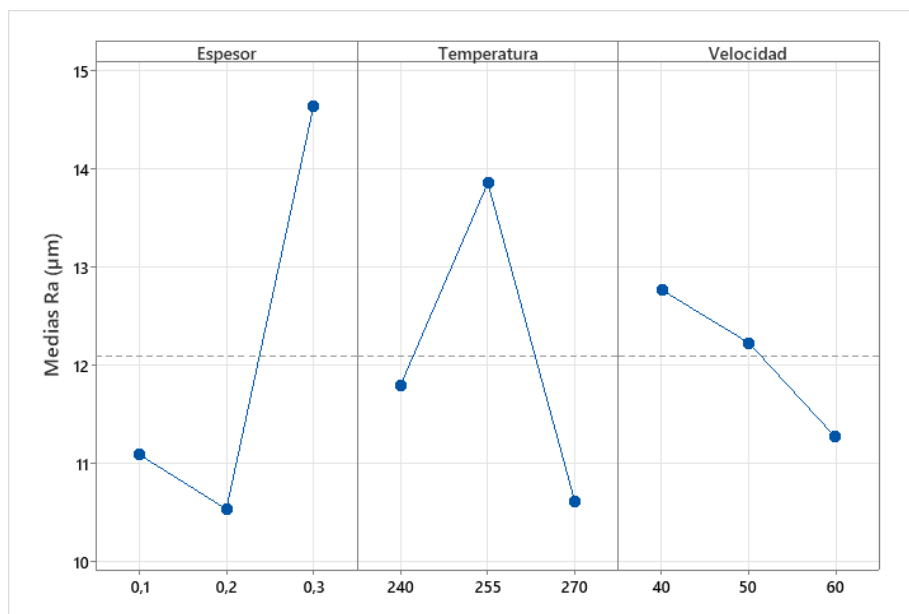


Figura 44. Gráfica de influencias para medias de R_a .

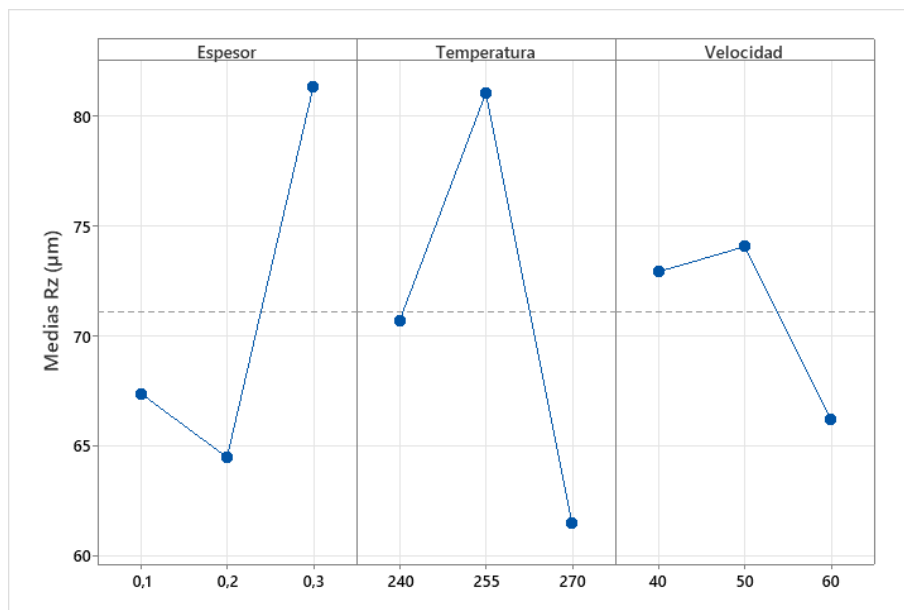


Figura 45. Gráfica de influencias para medias de Rz.

Para la rugosidad, se busca minimizar los valores, por tanto, se considera mejor valor para los parámetros de impresión aquellos que presenten valores más bajos. Aunque se observan diferentes valores entre R_a y R_z en la leyenda, se obtiene la misma discusión porque las formas de las gráficas son parecidas.

Para el caso de análisis del espesor de capa se observa que para 0,2 mm se obtienen los mejores valores, en cambio para la temperatura, la mejor es 270 °C, ya que una elevada temperatura de extrusión ayuda a la homogeneización durante pegado de las fibras y capas de nylon, lo que favorece que, en la última capa, exista una rugosidad superficial más baja. Para la velocidad de deposición, los mejores valores se obtienen con una velocidad de 60 mm/s. Como se ha mostrado en las tablas anteriores, tanto el espesor como la temperatura son los parámetros de entrada más significativos.

A continuación, se muestran los datos obtenidos por el método Taguchi en el que se presenta el papel que juega cada parámetro para el ensayo de tracción, donde se busca maximizar los valores promedios, ver Figura 47.

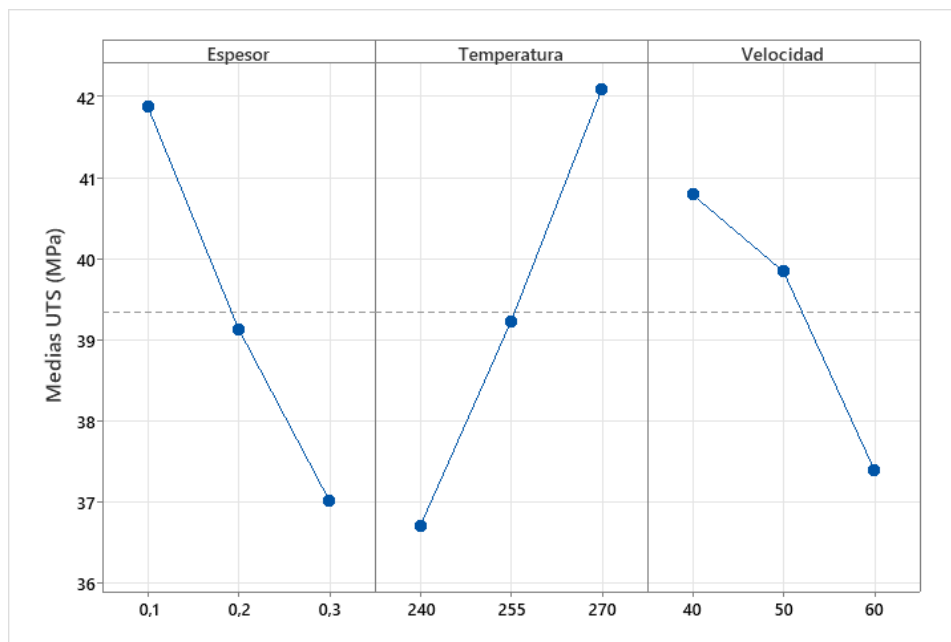


Figura 46. Gráfica de influencias para medias de UTS.

Con los datos que se muestra en la gráfica, se observa que conforme más pequeño es el valor de la altura de capa, mayor resistencia a tracción presentan las probetas. Esto es debido a que, para fabricar una probeta de 0,1 mm de altura de capa se necesitan 40 capas frente a las 13 capas para la altura de 0,3 mm. Con los datos que se presentan, existe una relación entre la adherencia entre capas y la resistencia a tracción que cuantas más capas, mayor tensión máxima de servicio puede existir.

Para el caso de la temperatura de extrusión, cuanto mayor sea ésta, más aumentará la tensión máxima para la tracción. Al aumentar la temperatura las fibras y diferentes capas ganan una mejor adherencia entre ellas debido a que el nylon fluye de manera más fácil y tarda más en solidificar. Al hacerlo a una temperatura más baja, solidifica antes y, por tanto, no presenta una mejor adherencia entre las fibras.

En cuanto a la velocidad de deposición, cuanto más bajo es el valor, mejor es la tensión última de servicio, por tanto, para 40 mm/s es el valor más favorable. Esto se debe a que cuando la velocidad de deposición aumenta hasta este nivel aparecen unas tensiones en la dirección de la deposición de las fibras que provocan una reducción de la sección produciendo una mala adherencia durante el pegado entre éstas.

El análisis relacional gris (GRA) se apoya en los datos anteriores apoyados por el método Taguchi para clasificar cual es la configuración de los parámetros de impresión del experimento más favorable con las variables de salida óptimas para poder profundizar en las conclusiones. En el apartado de la metodología se expone el proceso de cálculo del GRA. Se busca realizar un análisis multi-objetivo utilizando el método GRA aplicado a los resultados del método Taguchi permitiendo analizar todas las variables de salida simultáneamente.

A continuación, se muestra la Tabla 16 resumen del método GRA, donde se analizan todas las variables en conjunto, con las variables medias calculadas para ζ_{pq} y GRG , donde para Ra y Rz se escoge el criterio de menor es mejor es el experimento, y para UTS , mayor es mejor.

Tabla 16. Resumen de los valores calculados del GRA.

Nº Experimento	E_c (mm)	T_e (°C)	V_d (mm/s)	ζ_{pq} smaller		ζ_{pq} larger	GRG	Rank
				R_a (μm)	R_z (μm)	UTS (MPa)		
1	0,1	240	40	0,679	0,598	0,762	0,680	3
2	0,1	255	50	0,632	0,543	0,611	0,595	6
3	0,1	270	60	0,657	0,639	1,000	0,765	2
4	0,2	240	50	0,554	0,483	0,559	0,532	7
5	0,2	255	60	0,679	0,589	0,551	0,606	5
6	0,2	270	40	1,000	1,000	0,672	0,891	1
7	0,3	240	60	0,596	0,591	0,333	0,507	8
8	0,3	255	40	0,333	0,333	0,625	0,430	9
9	0,3	270	50	0,557	0,532	0,729	0,606	4

Tras realizar el análisis relacional gris para el conjunto de variables de salida, se llega a la conclusión de que, mediante la combinación de esta metodología con el método Taguchi, el experimento número 6, con una configuración de parámetros de impresión de espesor de capa de 0,2 mm, temperatura de extrusión de 270 °C y velocidad de deposición de 40 mm/s, se presenta como la mejor combinación de parámetros posible.

La combinación de parámetros más desfavorable pertenece al experimento número 8. En el análisis multi-objetivo, esta combinación está formada por un espesor de capa de 0,3 mm, temperatura de extrusión de 255 °C y velocidad de deposición de 40 mm/s. Se trata de la combinación con el espesor más grande que desfavorece a R_a , R_z y UTS frente a una temperatura media y la velocidad más baja.

5.4.2. Análisis de la varianza (ANOVA)

El objetivo de este método estadístico del análisis de las varianzas de las medias es la convergencia de los resultados obtenidos con la metodología Taguchi y el análisis relacional gris GRA como método adicional comparativo para visualizar cuales son los parámetros de mayor influencia para UTS.

Para el análisis de los resultados que se arrojan y ver si el parámetro es significativo, se presta atención al valor P calculado. La significancia de este valor debe cumplir la condición de que el

valor P sea menor a 0,05, es decir, que se cumpla la condición de que el parámetro sea menor al 5% del valor de confianza (α).

Como se ve en la Tabla 17, gracias a la ayuda del software Minitab, se observa el análisis resultado de rugosidad media R_a para valores de medios.

Tabla 17. ANOVA para R_a

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P	Signific. (valor $P < 0,05$)
Espesor	2	29,644	29,644	14,822	1,210	0,452	NO
Temperatura	2	16,185	16,185	8,092	0,660	0,602	NO
Velocidad	2	3,443	3,443	1,721	0,140	0,877	NO
Error residual	2	24,462	24,462	12,231			
Total	8	73,733					

Como se observa en los datos de la Tabla 17, ninguno de los parámetros de impresión presenta una significancia en los experimentos para la rugosidad media R_a porque ninguno es menor al valor de confianza del 5%, aunque el espesor de capa es el parámetro de entrada que más influyente es, al tener el valor P más bajo.

Los valores de significancia para la altura media de la rugosidad R_z se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. ANOVA para R_z .

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P	Signific. (valor $P < 0,05$)
Espesor	2	488,100	488,100	244,050	0,810	0,551	NO
Temperatura	2	576,500	576,500	288,250	0,960	0,510	NO
Velocidad	2	107,800	107,800	53,880	0,180	0,848	NO
Error residual	2	599,100	599,100	299,530			
Total	8	1771,400					

Para este caso de R_z , vuelven a arrojar la misma discusión, ninguno de los parámetros de impresión presta una gran significancia, pero en cuanto al parámetro de mayor influencia cambia. En este caso, es la temperatura de extrusión es el parámetro más influyente pero no significativo al tener el valor de P más bajo con un valor de 0,510, teniendo el espesor de capa un valor muy cercano de 0,551.

Para el último caso de análisis de la varianza, se presenta la Tabla 19 para el análisis de la tensión máxima de servicio *UTS*.

Tabla 19. ANOVA para UTS.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P	Signific. (valor $P < 0,05$)
Espesor	2	35,740	35,740	17,872	1,090	0,478	NO
Temperatura	2	43,710	43,710	21,854	1,330	0,428	NO
Velocidad	2	18,470	18,470	9,235	0,560	0,639	NO
Error residual	2	32,760	32,760	16,378			
Total	8	130,680					

Al observar la tabla con los datos que se arrojan, ninguno de los parámetros de impresión de piezas de nylon es significativo para el presente estudio. Vuelve a repetirse la misma discusión que para la altura media de la rugosidad *Rz*. La temperatura de extrusión tiene un valor *P* más bajo y, por tanto, es el parámetro para *UTS* más influyente. El espesor de capa también se presta como segundo parámetro más influyente al tener un valor muy cercano a la temperatura.

Como se ha analizado, estos los parámetros de impresión no son significativos para los valores de salidas obtenidos en el presente trabajo. Con los datos arrojados sólo se puede concluir que la temperatura de extrusión y el espesor de capa. Estos parámetros conjuntamente favorecen la adhesión de las fibras y capas de impresión durante la deposición de material. La temperatura para la deposición de nylon es el parámetro más influyente, en el que conforme aumenta este parámetro, más resistencia a la tracción y mejor acabado superficial presenta al existir mayor viscosidad, que, junto a la altura de capa, al ser menor, más capas son necesarias y por tanto, favorece a la homogeneización de las piezas y pegado de las fibras de material que se depositan.

Al no existir ningún parámetro significativo, es preciso destacar la necesidad de realizar más ensayos con un mayor número de probetas que arrojen datos que más esclarecedores.

Capítulo 6.

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

Después de llevar a cabo el estudio, de manera experimental, de la influencia los parámetros de impresión 3D en probetas de nylon en este trabajo final de grado por medio de la metodología Taguchi, el método GRA basado en Taguchi y el análisis de la varianza ANOVA, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Gracias al método Taguchi se ha podido elaborar una matriz de diseño de experimentos compuesta por 9 experimentos para las 3 variables de entrada (espesor de capa, temperatura de extrusión y velocidad de deposición), donde se experimenta a su vez con 3 niveles de cada variable, dando lugar a la simplificación de todo el proceso.
- Las variables de salida (R_a y R_z) y la resistencia a la tracción (UTS) se ven influidas por los parámetros de entradas que se estudian, mayoritariamente por el espesor de capa y la temperatura de extrusión, donde la velocidad de deposición no muestra una influencia tan relevante como los otros dos parámetros. De manera individual, para R_a se muestran mejores resultados para los valores de espesor de capa intermedios (0,2 mm), pero para UTS , se muestran mejores valores para niveles bajos de espesor (0,1 mm). La temperatura de extrusión es el factor de mayor influencia para R_z y UTS , donde los valores óptimos se dan para niveles altos de temperatura (270 °C). La velocidad de deposición no muestra una gran influencia tan significativa como los otros dos parámetros.

El espesor de capa es una variable de entrada que destaca por su influencia en la rugosidad. Como se muestra en los experimentos, una altura de capa fina favorece al acabado superficial proporcionando datos bajos como validación del criterio. En cuanto a la temperatura de extrusión, al elevar ésta, favorece el aumento de la UTS , esto es debido a la homogeneización del material durante la deposición debido a que requiere más tiempo de solidificación. La velocidad de deposición se ve favorecida para valores bajos por la reducción de la tensión durante la extrusión y el pegado de las fibras, ya que existen mayores tensiones de estiramiento para valores altos de la velocidad.

Todas estas variables de entrada en conjunto tienen influencia en la adhesión de las fibras y entre las capas como se ha comentado, donde para un espesor de capa bajo junto con una alta temperatura, acompañado de una velocidad de deposición baja favorece esta adhesión. Además, una alta temperatura favorece la homogeneización del propio nylon.

- El análisis de ANOVA muestra que ninguna de las variables de entrada de los parámetros de impresión pueden ser consideradas significativas para las rugosidades y la tensión máxima de servicio, pero sí tienen influencia en estas. Ante tal situación, se recomienda aumentar el número de ensayos para encontrar una significancia clara de alguno de los parámetros para las variables de salida para los niveles de confianza del 95%. Con esta técnica ANOVA, se muestra que la temperatura es el parámetro de mayor influencia para la altura media de la rugosidad R_z y la UTS , mientras que el espesor de capa es la más influyente para R_a .

- La técnica GRA permite un análisis multi-objetivo capaz de mostrar el experimento con la combinación de variables de entrada más favorable. Con los datos que se arrojan, se determina que la combinación óptima de los experimentos para las variables promedio de salida es el experimento con un valor de espesor de capa de 0,2 mm, una de temperatura de extrusión de 270 °C y una velocidad de deposición 40 mm/s. Como se puede observar, refuerza la conclusión que se obtiene anteriormente, donde para valores medios del espesor de capa, una alta temperatura de extrusión y una velocidad de deposición baja se obtiene buenos valores de rugosidad y *UTS*, ya que se favorece el pegado de las fibras y capas de la manera más uniforme.

Capítulo 7.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Es bien conocido por la industria que la impresión 3D ha experimentado grandes avances significativos y que continua en investigación y desarrollo. Este trabajo de fin de grado aporta datos que siguen esta línea que se comenta, seguir investigando este proceso de fabricación, que, aunque se haya centrado en el nylon como material de estudio, existen numerosos materiales a estudiar, entre ellos, el metal como material para el estudio de este proceso y que se encuentra en gran evolución.

A partir de los resultados y conclusiones obtenidos en este estudio, se proponen las siguientes áreas de investigación:

- Investigar y ampliar este trabajo debido a la falta de significatividad de los parámetros de impresión. Esto se debe a que deben realizarse más ensayos con más probetas que arrojen datos significativos.
- Investigar la importancia de otros parámetros de impresión que pueden afectar a las propiedades de las probetas de nylon como la orientación de las fibras en perpendicular a la dirección de la carga o a 45º, incluso cambiar la orientación de cada capa 90º. Otro parámetro que afecta a las propiedades mecánicas es el porcentaje de relleno como variable de estudio costes-resistencia debido a que se puede utilizar menos material y mantener de una manera cercana las propiedades mecánicas. Al relleno como parámetro de impresión también se ve afectado por el patrón de relleno, es decir, qué tipo de relleno se estudia como puede ser cúbico, concéntrico, triángulos, etc.
- Estudiar otras propiedades mecánicas, como la resistencia al impacto, a fatiga, a esfuerzos cortantes o a la fluencia. Dependiendo del empleo de las piezas fabricadas, es posible que no se requiera una alta resistencia a la tracción, pero sí a otros tipos de esfuerzos o dinámicas de cargas.
- Analizar las desviaciones macrogeométricas de probetas impresas, como puede ser la rectitud, planitud, paralelismo, entre otros. Esto permitiría evaluar y mejorar la precisión dimensional de las piezas fabricadas.
- Aplicar la metodología utilizada en este trabajo a otros materiales que aún están en proceso de estudio, como metales, y ver cómo afectan los parámetros de impresión a las propiedades mecánicas.

Capítulo 8.

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

[1]

FIIXIT ORTHOTIC LAB - FÉRULAS IMPRESAS EN 3D. (2023, 23 febrero). FIIXIT ORTHOTIC LAB.
<https://fiixit.es/>

[2]

Poliamida nylon PA - TECAMID | Ensinger. (s. f.). <https://www.ensingerplastics.com/es-es/semielaborados/plasticos-de-ingenieria/poliamida-pa>

[3]

Norma UNE-EN ISO 17296-2:2017. *Fabricación aditiva Principios generales Parte 2 : Visión general de categorías de procesos y de materias primas.* Organización Internacional de Estandarización, Ginebra, 2017.

[4]

S, S. (2023). Guía completa: FDM o modelado por deposición fundida, ¿te explicamos todo! *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/>

[5]

M-Base Engineering + Software GmbH. (s. f.). *CAMPUSplastics | datasheet*. <https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Grilamid+L+16+LM+natural/EMS-GRIVORY/61/1e38dfb0/SI?pos=0>

[6]

Rugosidad superficial. Metrología y calidad. Universidad de Málaga.

[7]

Norma UNE-EN ISO 4287:1999 Especificación geométrica de productos (GPS). Calidad superficial: Método del perfil. Términos, definiciones y parámetros del estado superficial. Organización Internacional de Estandarización, Ginebra, 1999.

[8]

2.3.- *Parámetros de rugosidad.* | TFM02.- *Metrología dimensional, superficial y geométrica.* (s. f.).

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/TFM/TFM02/es_DFM_TFM02_Contenidos/website_23_parmetros_de_rugosidad.html

[9]

Determinación de las Curvas Esfuerzo-Deformación sobre Cargas Axiales de una Raíz Tropical. - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Curva-tipica-Esfuerzo-Deformacion-de-un-material_fig1_267511738 [accessed 28 May, 2023]

[10]

<https://www.areatecnologia.com>. (s. f.). *Ensayo de Traccion. Ensayo, Grafica, Formulas, Problemas.* <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>

[11]

Libretexts. (2022). 14.1: Diseño de experimentos mediante métodos Taguchi – Matrices ortogonales. *LibreTexts Español*.

[https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_\(Woolf\)/14%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos/14.01%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos_mediante_m%C3%A9todos_Taguchi_-_Matrices_ortogonales](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_(Woolf)/14%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos/14.01%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos_mediante_m%C3%A9todos_Taguchi_-_Matrices_ortogonales)

[12]

Özdemir M, Rafighi M, Al Awadh M. Comparative Evaluation of Coated Carbide and CBN Inserts Performance in Dry Hard-Turning of AISI 4140 Steel Using Taguchi-Based Grey Relation Analysis. *Coatings*. 2023; 13(6):979. <https://doi.org/10.3390/coatings13060979>

[13]

Ren Z, Zhao W, Wang J, Zhang J, Chen L, Li Y. Multi-Response Optimization of High-Performance Low-pH Grouting Materials by Using Taguchi-Based Grey Relational Analysis. *Materials*. 2023; 16(10):3891. <https://doi.org/10.3390/ma16103891>

[14]

C, L. (2017). El nylon en la impresión 3D. *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/nylon-la-impresion-3d-07072016/>

[15]

Martins RF, Branco R, Berto F, Soares N, Bandeira S. Structural Integrity of Polymeric Components Produced by Additive Manufacturing (AM)—Polymer Applications. *Polymers*. 2021; 13(24):4420. <https://doi.org/10.3390/polym13244420>

[16]

Rodríguez, B. M. (2017). Estudio Sobre La Optimización De Los Parámetros De Fabricación En Una Impresora 3D Con Tecnología Fdm. *Trabajo Fin de Grado*, 95.

[17]

Codirector, R., Weyler, R., & Pe, O. E. (2020). una impresora 3D para la realización de prácticas de laboratorio de las asignaturas de resistencia de materiales y estructuras en la ingeniería.

[18]

J. Nagendra, M.K. Srinath, S. Sujeeth, K.S. Naresh, M.S. Ganesha Prasad. Optimization of process parameters and evaluation of surface roughness for 3D printed nylon-aramid composite. *Materials Today: Proceedings*,. Volume 44, Part 1. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.609>

[19]

Terekhina S, Skorniyakov I, Tarasova T, Egorov S. Effects of the Infill Density on the Mechanical Properties of Nylon Specimens Made by Filament Fused Fabrication. *Technologies*. 2019; 7(3):57. <https://doi.org/10.3390/technologies7030057>

[20]

Ranvijay Kumar, Nishant Ranjan, Atul babbar. On investigations of 3D printed nylon 6 parts prepared by fused filament fabrication. *Materials Today: Proceedings*. Volume 48, Part 5,. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.103>.

[21]

Martín MJ, Auñón JA, Martín F. Influence of Infill Pattern on Mechanical Behavior of Polymeric and Composites Specimens Manufactured Using Fused Filament Fabrication Technology. *Polymers*. 2021; 13(17):2934. <https://doi.org/10.3390/polym13172934>

[22]

Zolfagharian A, Khosravani MR, Kaynak A. Fracture Resistance Analysis of 3D-Printed Polymers. *Polymers*. 2020; 12(2):302. <https://doi.org/10.3390/polym12020302>

[23]

Norma UNE-EN ISO 527-2:2012. *Determinación de las propiedades en tracción Parte 2: Condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión*. Organización Internacional de Estandarización, Ginebra, 2012.

[24]

Raise3D Serie Pro2 - Impresora 3D FDM / Filament2Print. (s. f.). <https://filament2print.com/es/filamento-fdm/1040-raise-pro2-impresora-3d-fdm.html>

[25]

Rugosímetro Portátil SurfTest SJ-210 - 178-561-02A / Mitutoyo. (s. f.). <https://mitutoyo.com.ar/surfTest-sj-210-serie-178-rugosimetro-portatil-178-561-02>

[26]

Servosis SL. (2012). *Serie ME-405*. 1–8. <http://www.servosis.com/assets/me-405.pdf>

[27]

Revisión general de Analizar diseño de Taguchi (estático) - Minitab. (s. f.). (C) Minitab, LLC. All rights Reserved. 2023. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/how-to/taguchi/analyze-taguchi-design/before-you-start/overview-for-static-design/>

[28]

Quality Breach. (2020, 29 junio). *Desarrollo del análisis de varianza (ANOVA) en Minitab*. [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HrZjXYWLJGs>

[29]

M, A. (2023). ¿Qué características tiene el nylon en la impresión 3D? *3Dnatives*. <https://www.3dnatives.com/es/caracteristicas-tiene-nylon-en-impresion-3d-120320202/>

[30]

Mariano. (s. f.). *Nylon*. Tecnología de los Plásticos.
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/nylon.html>

[31]

M-Base Engineering + Software GmbH. (s. f.-b). *CAMPUSplastics | datasheet*.
<https://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Grilamid+L+16+LM+natural/EMS-GRIVORY/61/1e38dfb0/SI?pos=0>

[32]

Shakeri Z, Benfriha K, Shirinbayan M, Ahmadifar M, Tcharkhtchi A. Mathematical Modeling and Optimization of Fused Filament Fabrication (FFF) Process Parameters for Shape Deviation Control of Polyamide 6 Using Taguchi Method. *Polymers*. 2021; 13(21):3697.
<https://doi.org/10.3390/polym13213697>

[33]

Campillo, X. R. (2018). Proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3d para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras. 72.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/126329/xavier.rodriguez>.

[34]

Técnica Taguchi. Metodología del diseño. Universidad de Málaga.

[35]

Cómo calcular las relaciones de señal a ruido y las desviaciones estándar en la tabla de respuesta para el diseño de Taguchi - Minitab. (s. f.-b). (C) Minitab, LLC. All rights Reserved. 2021.
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/taguchi-designs/how-to-calculate-the-signal-to-noise-ratios-and-the-standard-deviations/#:~:text=Nota, clic%20en%20Aceptar%20dos%20veces>

[36]

Tabla de Análisis de varianza de ANOVA de un solo factor - Minitab. (s. f.). (C) Minitab, LLC. All rights Reserved. 2023. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/analysis-of-variance-table/>



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN



ANEXO REGISTRO DE LOS RESULTADOS



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





INDICE

1. NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40	5
1.1. NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40-R1	5
1.2. NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40-R2	9
1.3. NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40-R3	13
1.4. NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40-R4	17
2. NYLON-B1-UTS-TE255-EC01-VD50	21
2.1. NYLON-B1-UTS-TE255-EC01-VD50-R1	21
2.2. NYLON-B1-UTS-TE255-EC01-VD50-R2	25
2.3. NYLON-B1-UTS-TE255-EC01-VD50-R3	29
2.4. NYLON-B1-UTS-TE255-EC01-VD50-R4	33
3. NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60	37
3.1. NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R1	37
3.2. NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R2	41
3.3. NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R3	45
3.4. NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R4	49
4. NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50	53
4.1. NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R1	53
4.2. NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R2	57
4.3. NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R3	61
4.4. NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R4	65
5. NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60	69
5.1. NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R1	69
5.2. NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R2	73
5.3. NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R3	77
5.4. NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R4	81



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN



6. NYLON-B1-UTS-TE270-EC02-VD40	85
6.1. NYLON-B1-UTS-TE270-EC02-VD40-R1	85
6.2. NYLON-B1-UTS-TE270-EC02-VD40-R2	89
6.3. NYLON-B1-UTS-TE270-EC02-VD40-R3	93
7. NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60	97
7.1. NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60-R1	97
7.2. NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60-R2	101
7.3. NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60-R3	105
7.4. NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60-R4	109
8. NYLON-B1-UTS-TE255-EC03-VD40	113
8.1. NYLON-B1-UTS-TE255-EC03-VD40-R1	113
8.2. NYLON-B1-UTS-TE255-EC03-VD40-R3	117
8.3. NYLON-B1-UTS-TE255-EC03-VD40-R4	121
9. NYLON-B1-UTS-TE270-EC03-VD50	125
9.1. NYLON-B1-UTS-TE270-EC03-VD50-R1	125
9.2. NYLON-B1-UTS-TE270-EC03-VD50-R2	129



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

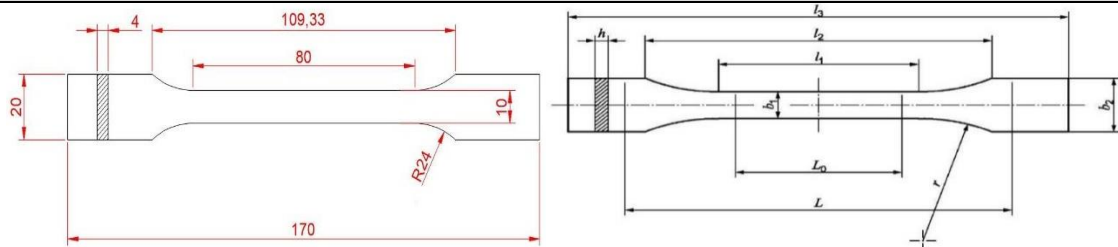


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40-R1
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	240
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,1
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	40
REPETICIÓN (nº)	1

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,043	9,835	9,789	10,170	19,901	19,981	19,870	19,867
M2	10,041	9,806	9,794	10,157	19,914	19,985	19,816	19,935
M3	10,018	9,809	9,786	10,187	19,861	20,005	19,820	19,937
M4	10,025	9,816	9,782	10,163	19,878	19,998	19,827	19,939
MEDIA	10,032	9,817	9,788	10,169	19,889	19,992	19,833	19,920
VALOR FINAL	9,951				19,908			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	109,300	109,360	168,800	169,070	3,898	3,946	3,964	3,874
M2	109,420	109,280	168,860	169,030	3,888	3,956	3,950	3,861
M3	109,350	109,300	168,920	169,050	3,880	3,953	3,953	3,835
M4	109,340	109,320	168,850	169,070	3,868	3,947	3,953	3,825
MEDIA	109,353	109,315	168,858	169,055	3,884	3,951	3,955	3,849
VALOR FINAL	109,334		168,956		3,909			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	3,007	17,330	17,204	101,270
2	7,600	72,361	13,303	71,855
3	7,641	76,627	16,516	86,234
4	8,680	67,637	16,490	85,428
5	9,752	70,123	16,327	90,327
6	2,402	20,160	18,045	94,843
MEDIA	6,514	54,040	16,314	88,326



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

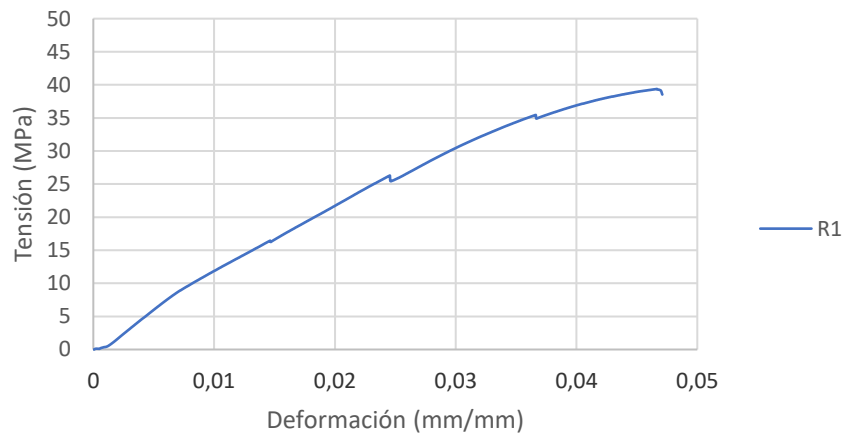


ENSAYO DE TRACCIÓN

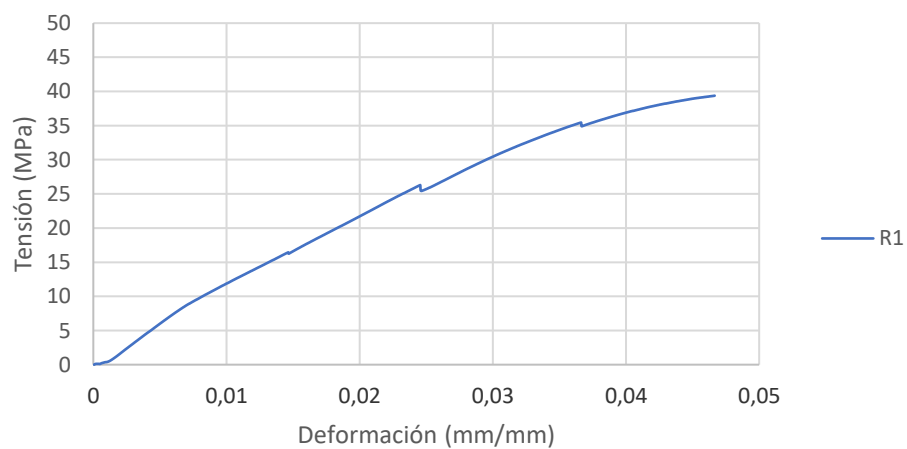
Sección (mm ²)	38,904	Deformación (mm/mm)	0,047
Carga máxima (N)	1531,874		
Tensión máxima (MPa)	39,376	Carga de rotura (N)	1498,997

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	109,460	109,100	168,940	169,070	3,688	3,981	3,987	3,863
M2	109,320	109,090	168,970	168,930	3,702	3,983	3,983	3,879
M3	109,390	109,150	168,920	168,910	3,695	3,976	3,977	3,875
M4	109,350	109,120	168,930	169,010	3,720	3,985	3,974	3,869
MEDIA	109,380	109,115	168,940	168,980	3,701	3,981	3,980	3,872
VALOR FINAL	109,248		168,960		3,884			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

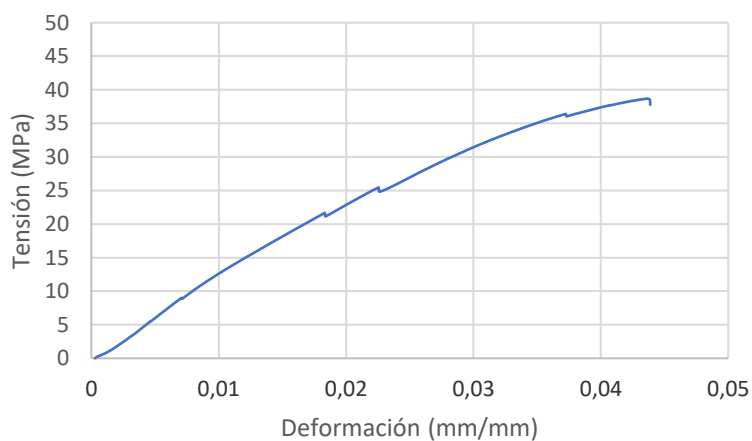
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	2,140	16,911	17,931	101,820
2	7,974	61,702	18,105	108,710
3	7,633	57,233	18,043	99,968
4	6,355	60,939	17,145	97,709
5	6,791	59,311	15,300	87,990
6	2,818	16,055	17,774	96,077
MEDIA	5,619	45,359	17,383	98,712

ENSAYO DE TRACCIÓN

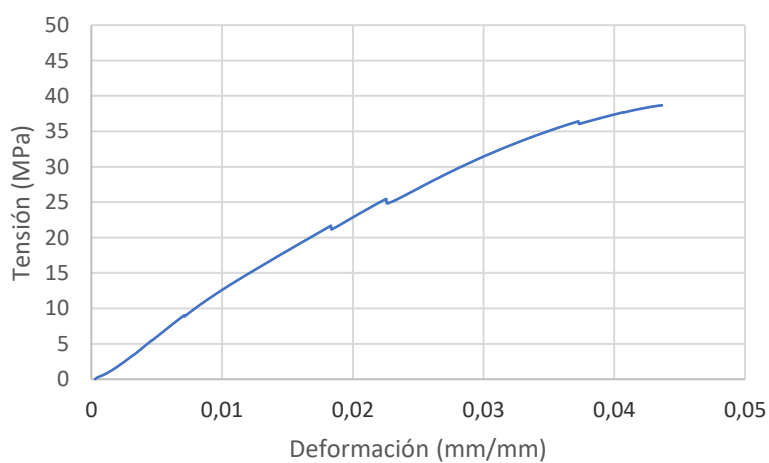
Sección (mm ²)	38,173	Deformación (mm/mm)	0,044
Carga máxima (N)	1476,376		
Tensión máxima (MPa)	38,676	Carga de rotura (N)	1441,507

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,730	108,810	169,110	169,090	3,764	3,867	3,871	3,714
M2	108,790	108,780	169,090	169,100	3,760	3,874	3,863	3,713
M3	108,750	108,770	169,020	169,080	3,764	3,875	3,872	3,695
M4	108,730	108,820	169,040	169,100	3,780	3,876	3,872	3,712
MEDIA	108,750	108,795	169,065	169,093	3,767	3,873	3,870	3,709
VALOR FINAL	108,773		169,079		3,805			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	4,656	33,331	12,285	84,272
2	5,536	43,416	14,816	81,385
3	5,142	32,338	14,775	79,039
4	5,532	37,579	14,193	79,768
5	7,033	56,501	16,467	85,054
6	5,414	31,078	14,931	95,618
MEDIA	5,552	39,041	14,578	84,189



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

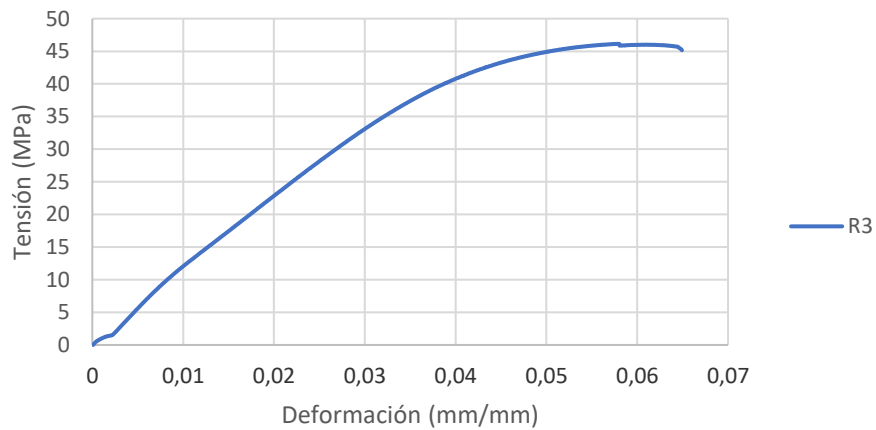


ENSAYO DE TRACCIÓN

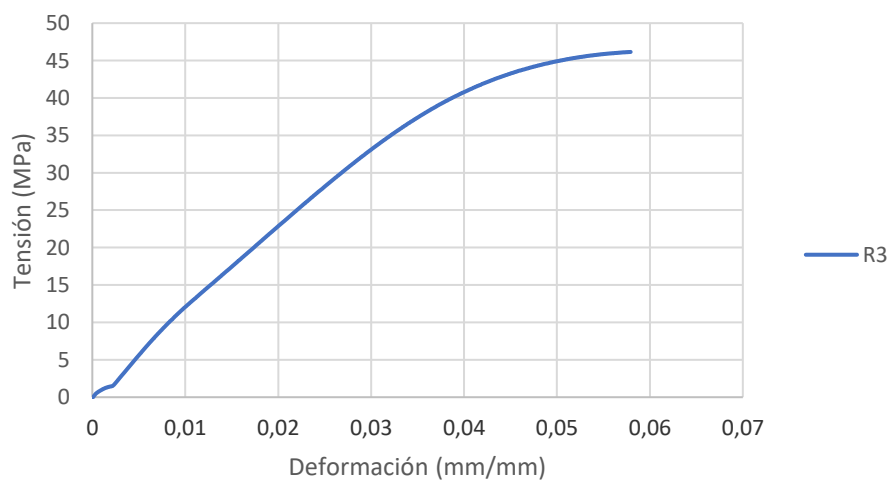
Sección (mm ²)	39,694	Deformación (mm/mm)	0,058
Carga máxima (N)	1831,844		
Tensión máxima (MPa)	46,149	Carga de rotura (N)	1792,500

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

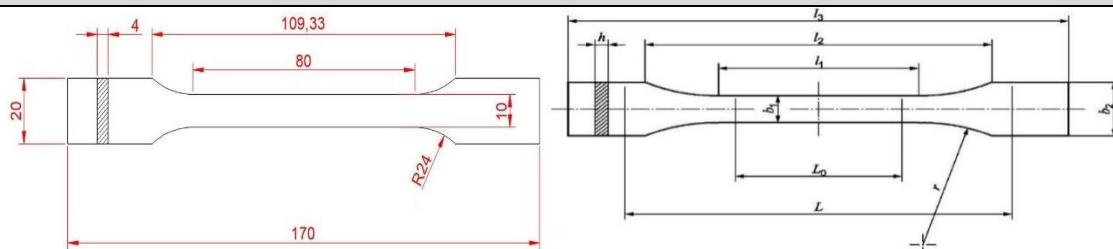


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC01-VD40-R4
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	240
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,1
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	40
REPETICIÓN (nº)	4

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,502	10,513	10,453	10,493	20,351	20,331	20,314	20,343
M2	10,457	10,503	10,425	10,462	20,352	20,353	20,312	20,342
M3	10,489	10,483	10,427	10,465	20,325	20,341	20,289	20,338
M4	10,485	10,492	10,428	10,473	20,341	20,332	20,309	20,337
MEDIA	10,483	10,498	10,433	10,473	20,342	20,339	20,306	20,340
VALOR FINAL	10,472				20,332			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,880	108,779	169,060	169,030	3,716	3,908	3,876	3,814
M2	108,910	108,830	169,050	168,980	3,714	3,898	3,872	3,802
M3	108,870	108,810	169,070	169,000	3,709	3,879	3,866	3,787
M4	108,880	108,850	169,010	169,010	3,709	3,901	3,869	3,783
MEDIA	108,885	108,817	169,048	169,005	3,712	3,897	3,871	3,797
VALOR FINAL	108,851		169,026		3,819			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	4,880	32,760	13,881	84,454
2	5,064	38,068	14,448	76,947
3	6,368	50,732	14,790	79,106
4	6,458	46,155	19,430	92,869
5	7,699	63,973	15,114	83,088
6	5,260	29,723	8,804	68,297
MEDIA	5,955	43,569	14,411	80,794



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

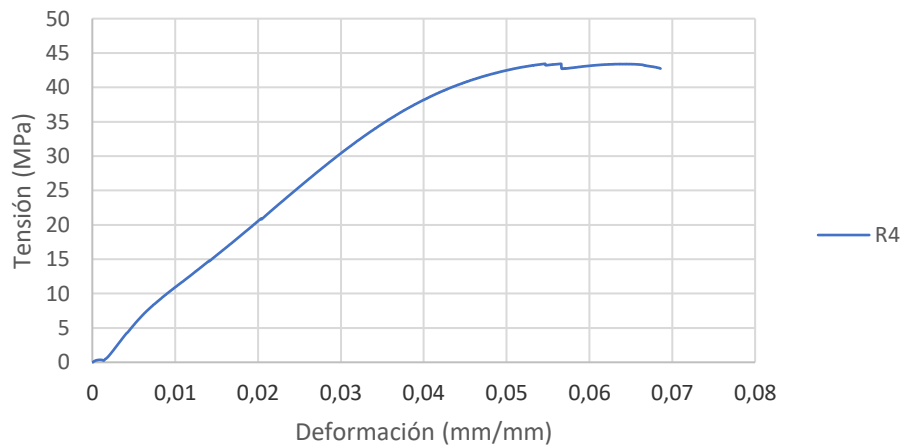


ENSAYO DE TRACCIÓN

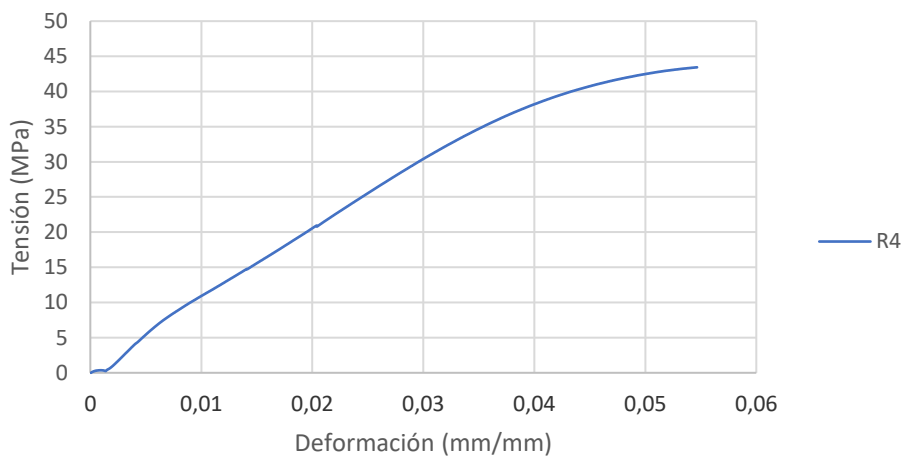
Sección (mm ²)	39,991	Deformación (mm/mm)	0,055
Carga máxima (N)	1736,930		
Tensión máxima (MPa)	43,433	Carga de rotura (N)	1709,003

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,970	109,040	169,010	169,030	4,026	3,982	3,973	3,938
M2	108,990	109,000	169,020	169,040	4,015	3,987	3,984	3,926
M3	108,950	109,040	169,000	169,010	3,998	3,981	3,980	3,928
M4	108,910	109,020	168,980	169,040	4,008	3,983	3,980	3,929
MEDIA	108,955	109,025	169,003	169,030	4,012	3,983	3,979	3,930
VALOR FINAL	108,990		169,016		3,976			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	1,545	8,754	18,469	100,280
2	4,524	43,588	15,090	93,691
3	7,550	64,177	14,530	87,281
4	8,573	69,539	14,400	81,280
5	4,397	39,925	12,094	76,249
6	1,602	9,049	17,207	98,166
MEDIA	4,699	39,172	15,298	89,491



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

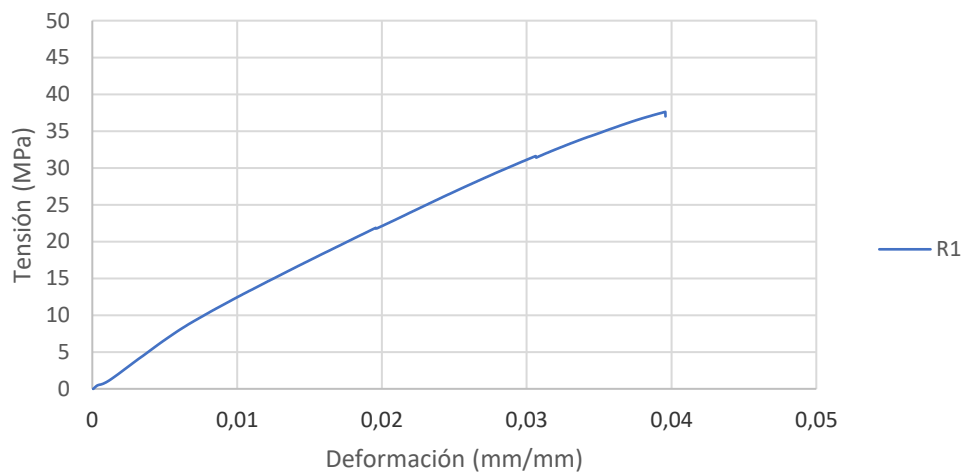


ENSAYO DE TRACCIÓN

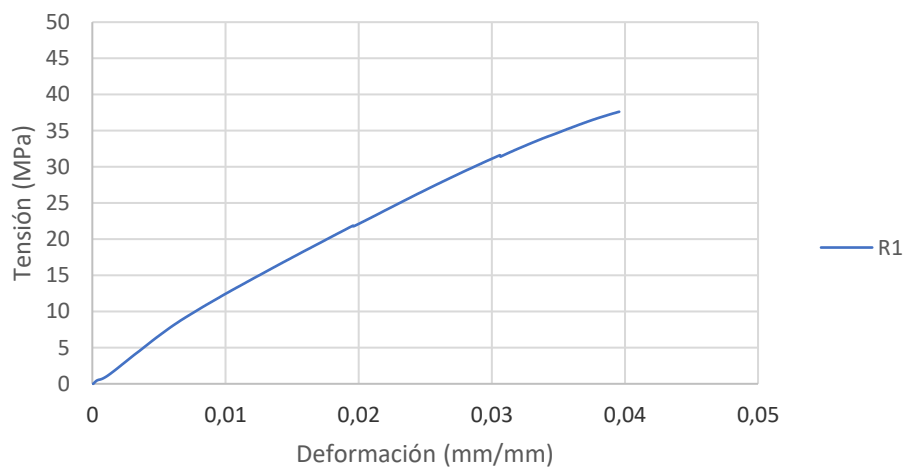
Sección (mm ²)	39,473	Deformación (mm/mm)	0,040
Carga máxima (N)	1484,734		
Tensión máxima (MPa)	37,614	Carga de rotura (N)	1460,514

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,440	108,810	169,080	169,080	3,959	3,952	3,973	3,907
M2	108,480	108,800	169,050	169,070	3,984	3,972	3,983	3,914
M3	108,460	108,820	169,070	169,090	3,971	3,966	3,980	3,924
M4	108,430	108,830	169,090	169,080	3,976	3,982	3,989	3,909
MEDIA	108,453	108,815	169,073	169,080	3,973	3,968	3,981	3,914
VALOR FINAL	108,634		169,076		3,959			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	2,222	10,043	16,469	92,051
2	8,356	73,651	14,188	79,960
3	9,694	80,495	15,964	90,465
4	11,552	79,792	15,594	93,347
5	11,405	81,693	15,632	98,602
6	2,971	13,960	16,662	88,325
MEDIA	7,700	56,606	15,752	90,458



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

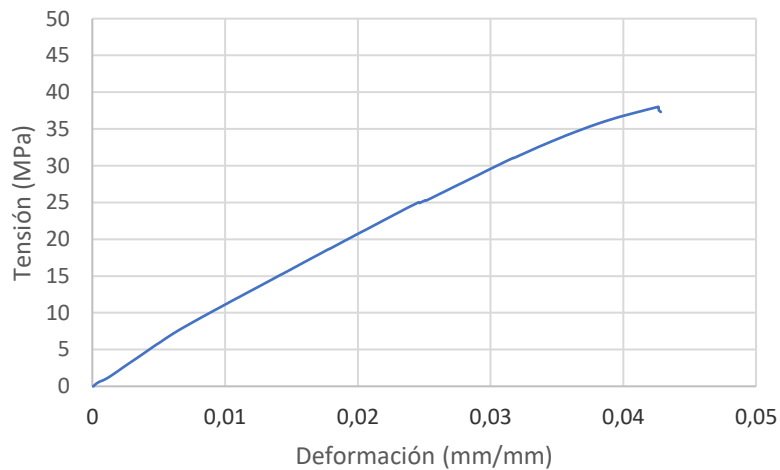


ENSAYO DE TRACCIÓN

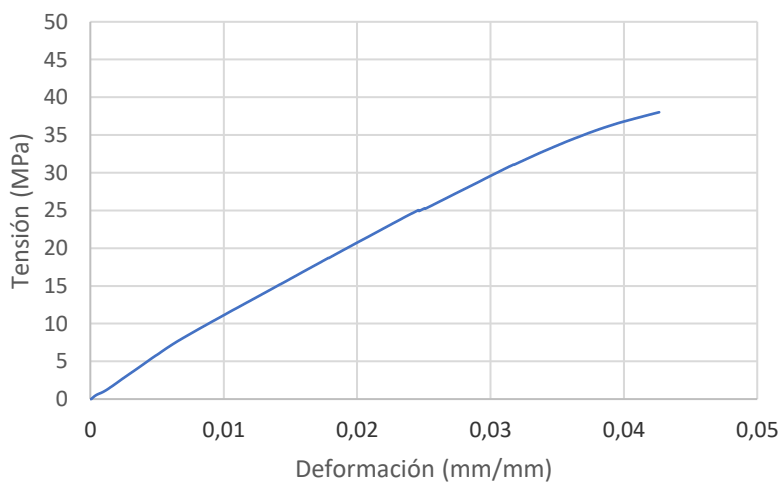
Sección (mm ²)	40,441	Deformación (mm/mm)	0,043
Carga máxima (N)	1537,286		
Tensión máxima (MPa)	38,013	Carga de rotura (N)	1508,389

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

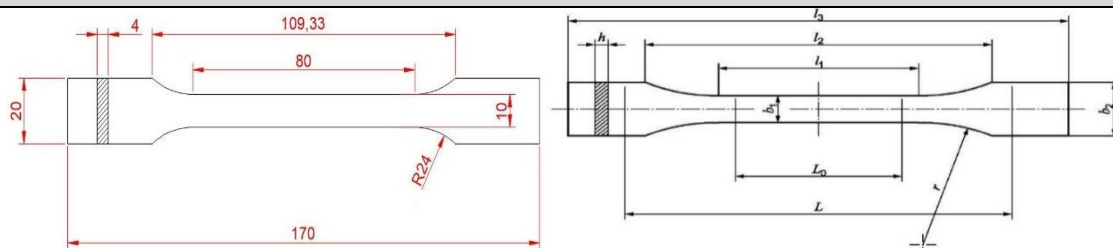


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE255-EC01-VD50-R3
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	255
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,1
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	50
REPETICIÓN (nº)	3

CONTROL DIMENSIONAL



MEDIDA LONGITUDES (mm)								
B1				B2				
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,074	9,966	9,965	10,183	20,128	20,241	20,479	20,472
M2	10,088	9,931	9,940	10,153	20,105	20,241	20,466	20,444
M3	10,072	9,940	9,948	10,122	20,114	20,192	20,467	20,443
M4	10,080	9,932	9,953	10,125	20,082	20,275	20,459	20,450
MEDIA	10,079	9,942	9,952	10,146	20,107	20,237	20,468	20,452
VALOR FINAL	10,030				20,316			



MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,400	108,680	169,000	169,080	3,915	3,955	3,957	3,890
M2	108,450	108,770	168,970	169,070	3,912	3,952	3,974	3,905
M3	108,510	108,720	168,990	169,040	3,914	3,956	3,963	3,902
M4	108,420	108,700	168,980	169,060	3,911	3,950	3,961	3,894
MEDIA	108,445	108,718	168,985	169,063	3,913	3,953	3,964	3,898
VALOR FINAL	108,581		169,024		3,932			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	3,458	21,216	22,132	111,810
2	8,256	70,919	18,500	100,760
3	7,512	62,259	5,318	85,500
4	8,755	69,160	17,765	95,000
5	9,587	68,511	17,002	91,015
6	3,056	18,934	21,872	114,670
MEDIA	6,771	51,833	17,098	99,793



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

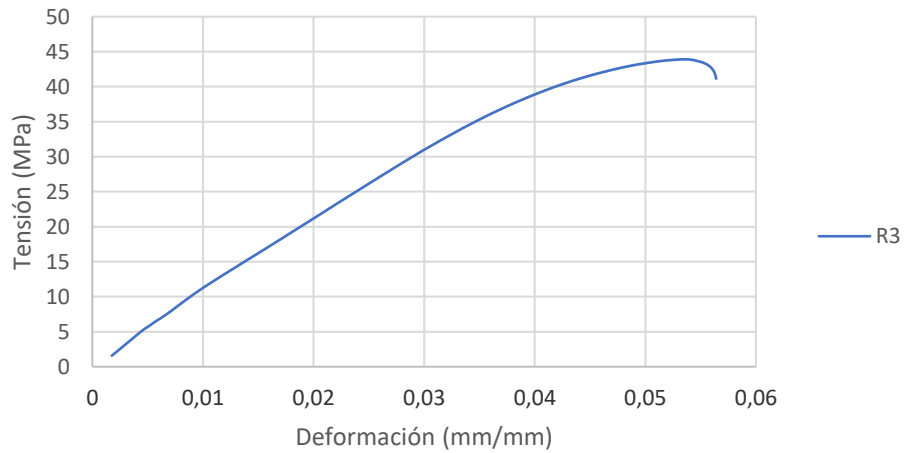


ENSAYO DE TRACCIÓN

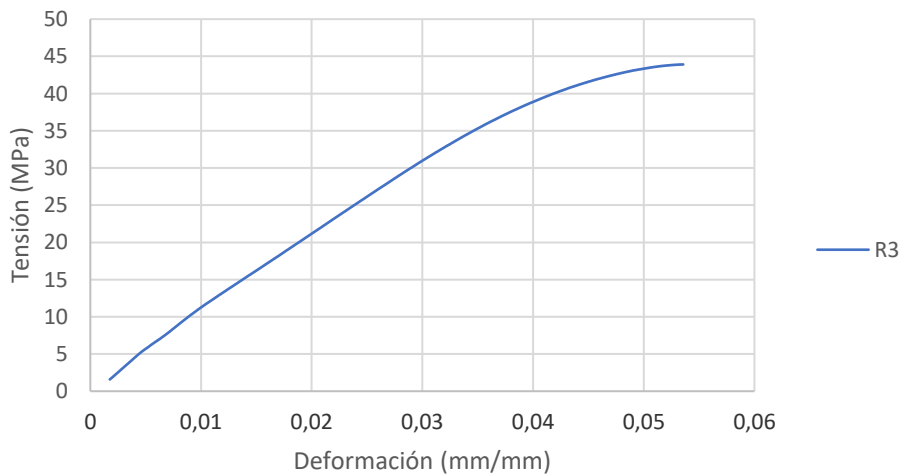
Sección (mm ²)	39,435	Deformación (mm/mm)	0,054
Carga máxima (N)	1731,646		
Tensión máxima (MPa)	43,911	Carga de rotura (N)	1622,348

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,720	108,430	169,130	169,010	3,930	3,996	3,989	3,985
M2	108,640	108,670	169,010	168,980	3,905	3,987	3,986	3,981
M3	108,750	108,890	169,090	169,000	3,902	3,985	3,985	3,943
M4	108,810	108,650	169,020	169,030	3,904	3,990	3,987	3,949
MEDIA	108,730	108,660	169,063	169,005	3,910	3,990	3,987	3,965
VALOR FINAL	108,695		169,034		3,963			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	3,452	21,642	19,779	100,120
2	7,330	77,005	15,688	89,226
3	7,405	65,518	18,165	97,137
4	8,595	62,448	16,069	86,973
5	9,127	66,414	14,619	80,109
6	3,006	20,727	20,648	104,250
MEDIA	6,486	52,292	17,495	92,969



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

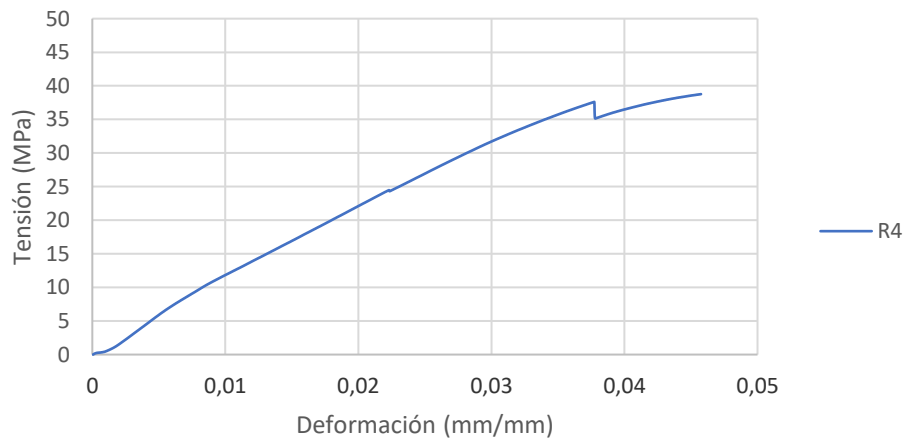


ENSAYO DE TRACCIÓN

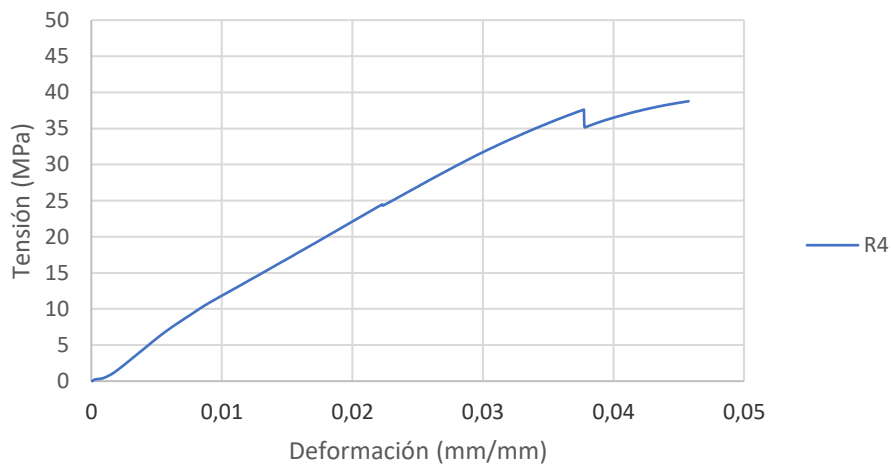
Sección (mm ²)	39,308	Deformación (mm/mm)	0,046
Carga máxima (N)	1523,806		
Tensión máxima (MPa)	38,766	Carga de rotura (N)	1520,940

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

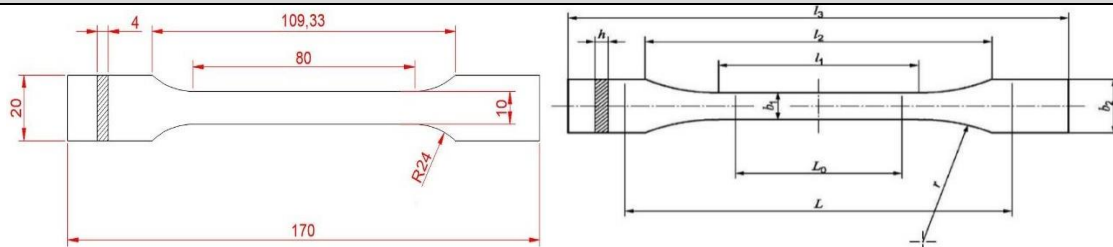


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R1
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
T^a DE EXTRUSIÓN (°C)	270
T^a DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,1
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	1

CONTROL DIMENSIONAL





MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,470	108,880	169,250	169,420	3,786	3,901	3,901	3,942
M2	108,550	108,930	169,210	169,260	3,791	3,895	3,894	3,932
M3	108,430	108,900	169,320	169,340	3,780	3,898	3,897	3,918
M4	108,480	108,710	169,270	169,310	3,775	3,903	3,900	3,910
MEDIA	108,483	108,855	169,263	169,333	3,783	3,899	3,898	3,926
VALOR FINAL	108,669		169,298		3,876			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

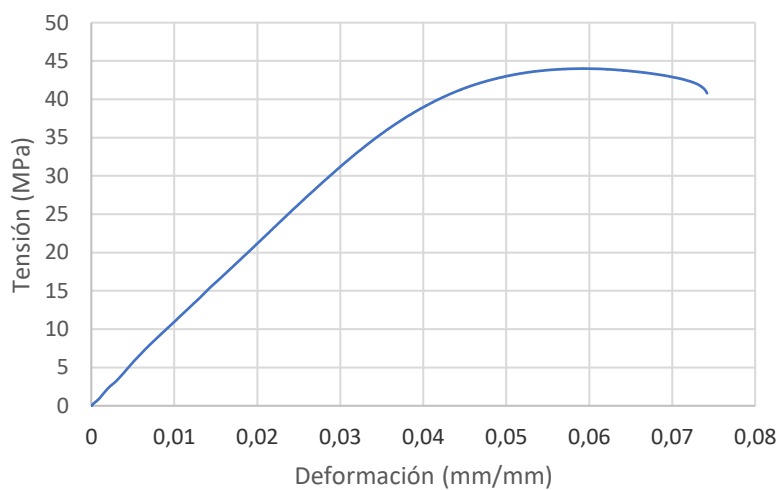
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	4,304	20,241	17,410	105,050
2	8,224	44,969	16,057	85,649
3	8,583	48,281	12,632	74,985
4	9,790	51,005	16,936	104,080
5	9,338	47,625	19,102	105,830
6	3,763	20,113	16,746	90,132
MEDIA	7,334	38,706	16,481	94,288

ENSAYO DE TRACCIÓN

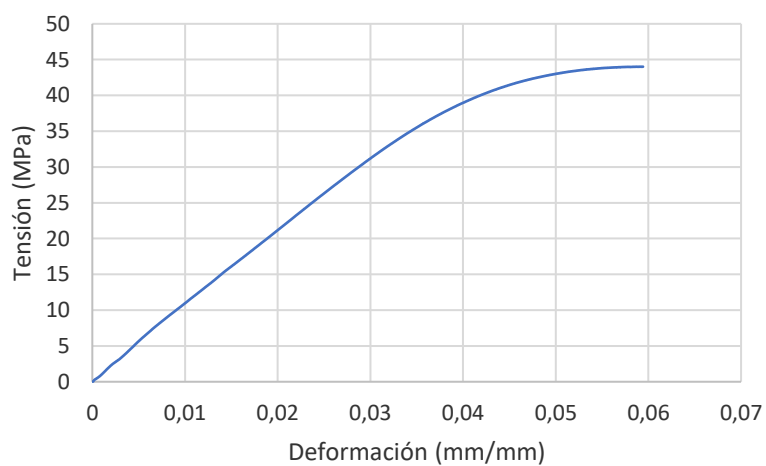
Sección (mm ²)	40,501	Deformación (mm/mm)	0,059
Carga máxima (N)	1782,323		
Tensión máxima (MPa)	44,007	Carga de rotura (N)	1651,924

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

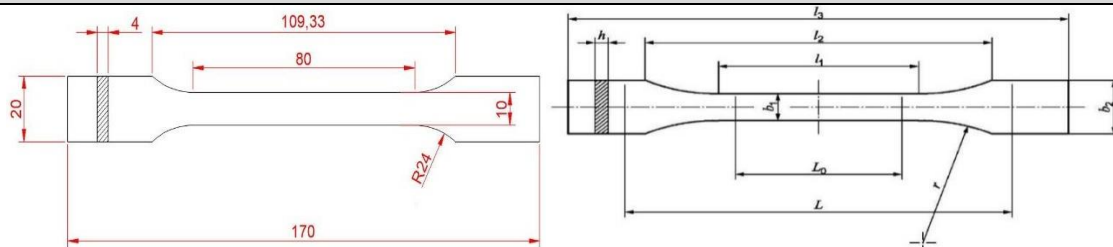


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R2
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	270
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,1
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	2

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,221	10,226	10,170	10,283	20,509	20,466	20,319	20,335
M2	10,234	10,196	10,159	10,273	20,513	20,475	20,355	20,333
M3	10,197	10,187	10,199	10,199	20,497	20,467	20,321	20,330
M4	10,201	10,204	10,191	10,210	20,509	20,468	20,329	20,328
MEDIA	10,213	10,203	10,180	10,241	20,507	20,469	20,331	20,332
VALOR FINAL	10,209				20,410			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,580	108,650	169,340	169,370	3,879	3,875	3,863	3,830
M2	108,520	108,740	169,340	169,390	3,909	3,864	3,854	3,826
M3	108,610	108,710	169,360	169,380	3,890	3,869	3,853	3,824
M4	108,550	108,680	169,350	169,350	3,889	3,867	3,855	3,825
MEDIA	108,565	108,695	169,348	169,373	3,892	3,869	3,856	3,826
VALOR FINAL	108,630		169,360		3,861			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

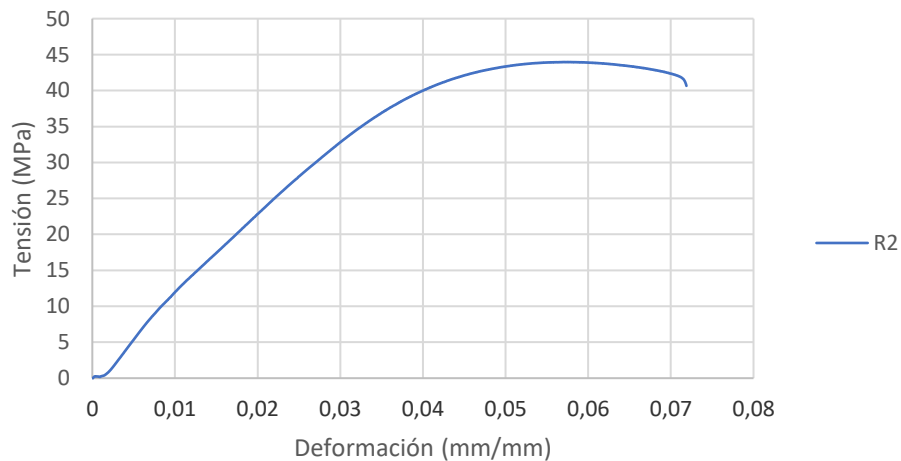
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	5,513	44,082	17,254	98,190
2	10,542	80,328	17,739	90,443
3	15,830	104,510	13,200	76,395
4	11,532	88,264	16,382	89,142
5	16,699	103,100	14,181	76,644
6	3,709	19,767	19,101	103,310
MEDIA	10,638	73,342	16,310	89,021

ENSAYO DE TRACCIÓN

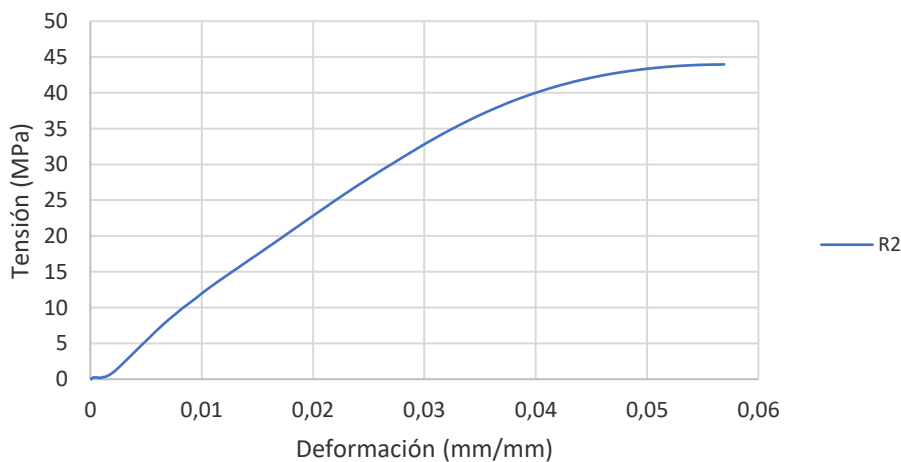
Sección (mm²)	39,416	Deformación (mm/mm)	0,057
Carga máxima (N)	1732,791		
Tensión máxima (MPa)	43,962	Carga de rotura (N)	1602,465

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

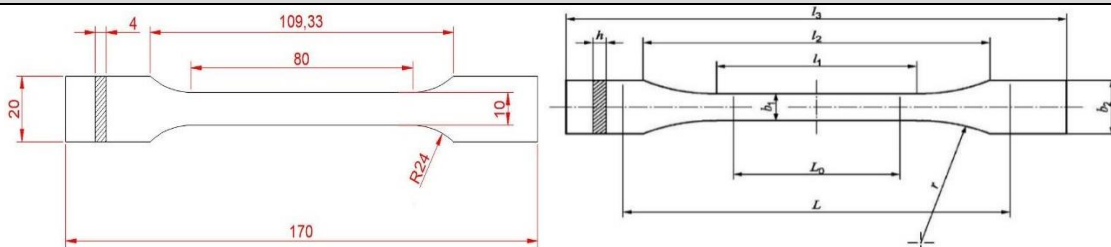


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE270-EC01-VD60-R3
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	270
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,1
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	3

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,444	10,486	10,434	10,439	20,164	20,115	20,072	20,119
M2	10,463	10,480	10,411	10,437	20,135	10,120	20,075	20,078
M3	10,456	10,476	10,410	10,418	20,138	20,109	20,069	20,073
M4	10,449	10,475	10,401	10,402	20,126	20,121	20,100	20,110
MEDIA	10,453	10,479	10,414	10,424	20,141	17,616	20,079	20,095
VALOR FINAL	10,443				19,483			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,520	108,780	169,300	169,300	3,843	3,752	3,799	3,811
M2	108,560	108,810	169,320	169,260	3,826	3,753	3,775	3,802
M3	108,550	108,790	169,300	169,290	3,832	3,758	3,773	3,793
M4	108,520	108,800	169,330	169,310	3,827	3,768	3,766	3,801
MEDIA	108,538	108,795	169,313	169,290	3,832	3,758	3,778	3,802
VALOR FINAL	108,666		169,301		3,792			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	3,325	14,973	17,114	99,147
2	3,015	16,413	16,401	88,124
3	3,234	14,968	16,641	86,775
4	3,256	14,763	18,177	97,318
5	3,190	17,161	19,666	120,620
6	2,373	12,950	12,771	76,480
MEDIA	3,066	15,205	16,795	94,744



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

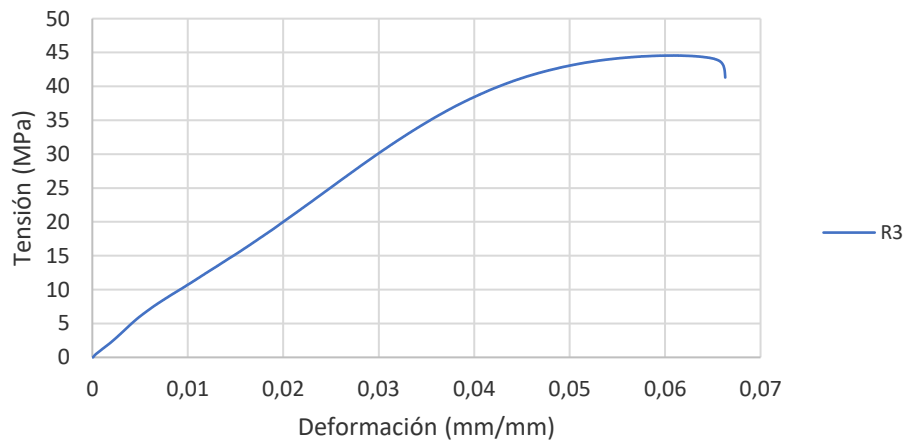


ENSAYO DE TRACCIÓN

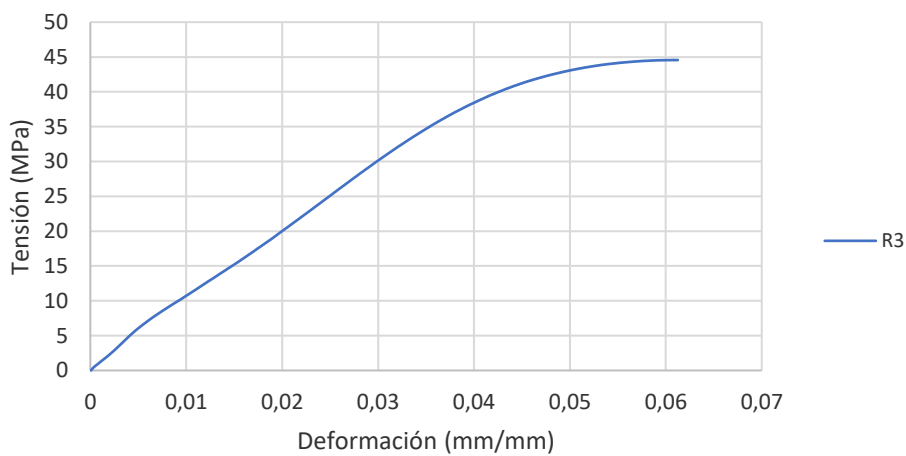
Sección (mm ²)	39,603	Deformación (mm/mm)	0,061
Carga máxima (N)	1764,763		
Tensión máxima (MPa)	44,562	Carga de rotura (N)	1636,028

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,740	108,920	169,003	169,060	3,970	3,933	3,968	3,947
M2	108,800	108,810	169,300	169,170	3,946	3,927	3,960	3,942
M3	108,760	108,850	169,100	169,170	3,941	3,931	3,960	3,938
M4	108,770	108,900	169,120	169,230	3,951	3,932	3,962	3,940
MEDIA	108,768	108,870	169,131	169,158	3,952	3,931	3,963	3,942
VALOR FINAL	108,819		169,144		3,947			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

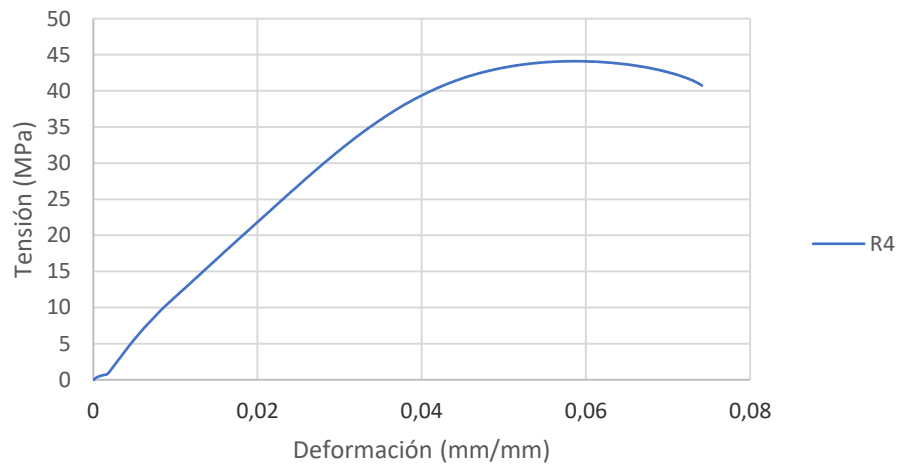
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	1,835	8,935	16,308	93,707
2	2,800	13,828	13,944	80,341
3	2,452	11,781	13,221	80,944
4	2,417	12,561	13,907	81,264
5	2,505	12,881	13,370	78,364
6	5,553	51,630	19,103	103,730
MEDIA	2,927	18,603	14,976	86,392

ENSAYO DE TRACCIÓN

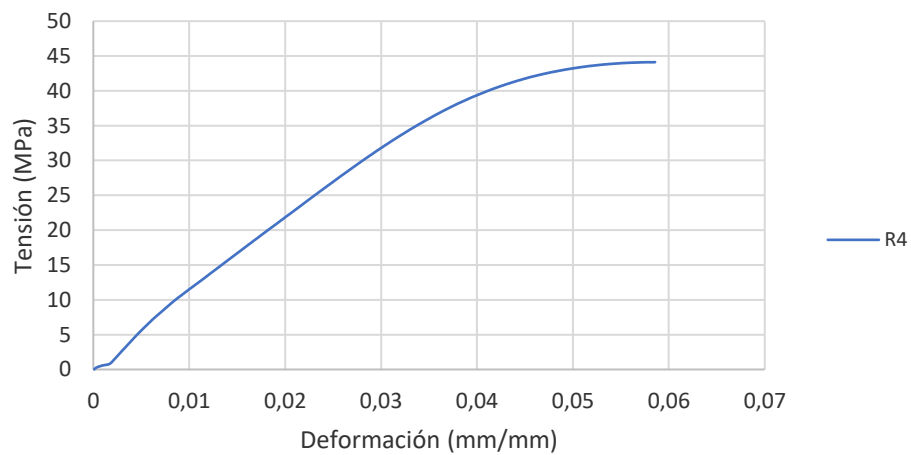
Sección (mm²)	39,720	Deformación (mm/mm)	0,059
Carga máxima (N)	1752,270		
Tensión máxima (MPa)	44,116	Carga de rotura (N)	1618,211

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

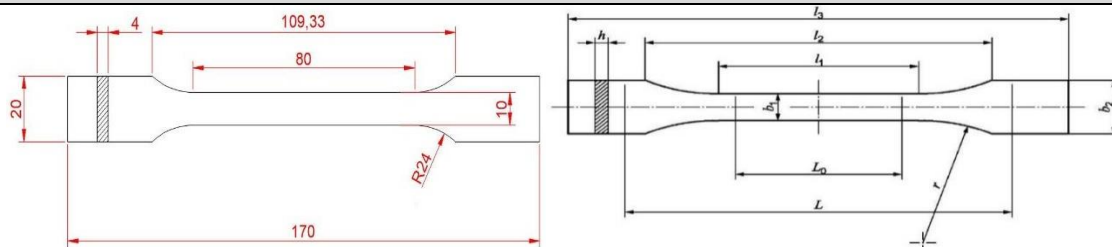


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R1
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
T^a DE EXTRUSIÓN (°C)	240
T^a DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	50
REPETICIÓN (nº)	1

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,442	10,523	10,552	10,520	20,356	20,400	20,388	20,381
M2	10,439	10,514	10,519	10,492	20,373	20,321	20,392	20,394
M3	10,427	10,473	10,519	10,536	20,371	20,322	20,390	20,397
M4	10,452	10,508	10,509	10,536	20,346	20,336	20,387	20,389
MEDIA	10,440	10,505	10,525	10,521	20,362	20,345	20,389	20,390
VALOR FINAL	10,498				20,371			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,710	108,510	169,110	169,120	3,866	4,002	3,994	3,915
M2	108,690	108,390	169,140	169,070	3,850	3,981	3,986	3,917
M3	108,750	108,430	169,150	169,130	3,858	3,965	3,974	3,957
M4	108,720	108,460	169,140	169,100	3,843	3,987	3,973	4,067
MEDIA	108,718	108,448	169,135	169,105	3,854	3,984	3,982	3,964
VALOR FINAL	108,583		169,120		3,946			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

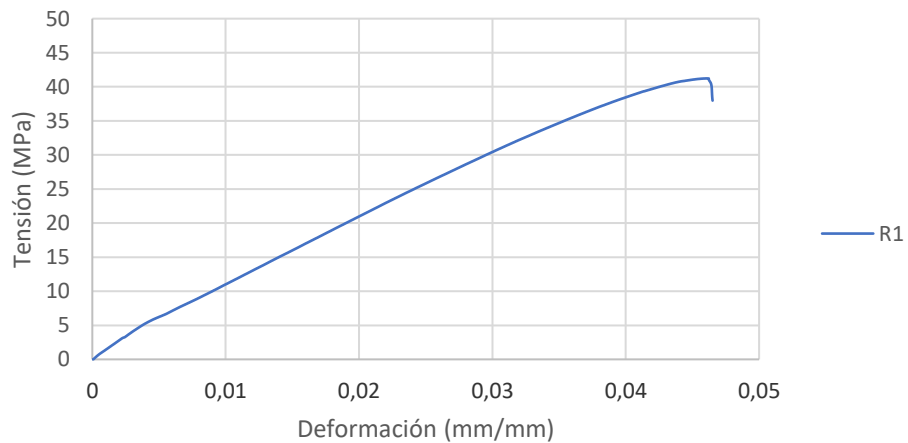
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	4,617	20,758	14,597	100,310
2	5,117	46,078	17,949	90,462
3	6,794	52,770	18,782	102,740
4	6,017	44,134	12,107	74,647
5	6,676	49,508	26,182	117,360
6	4,293	22,133	13,938	113,370
MEDIA	5,586	39,230	17,259	99,815

ENSAYO DE TRACCIÓN

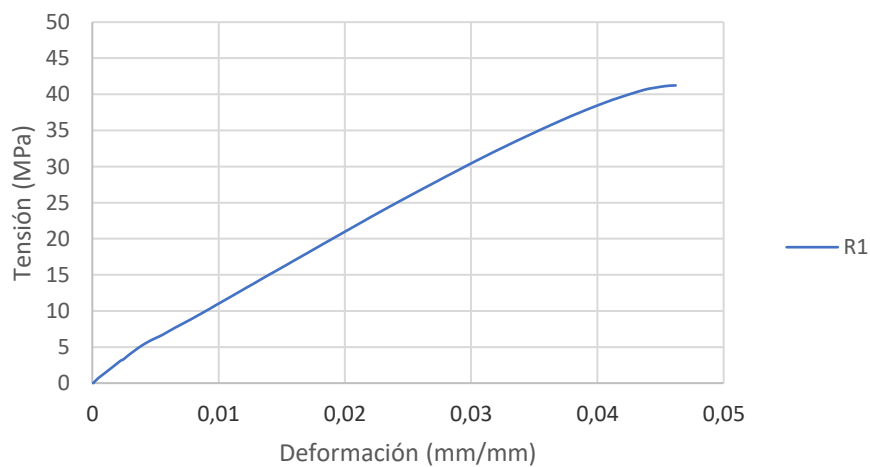
Sección (mm²)	41,423	Deformación (mm/mm)	0,046
Carga máxima (N)	1708,000		
Tensión máxima (MPa)	41,233	Carga de rotura (N)	1572,976

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

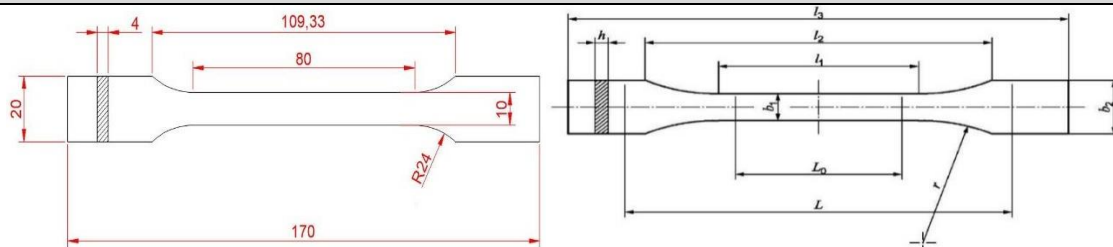


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R2
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
T^a DE EXTRUSIÓN (°C)	240
T^a DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	50
REPETICIÓN (nº)	2

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	9,944	9,841	9,644	10,043	19,923	19,591	19,003	19,292
M2	9,935	9,831	9,596	10,030	19,883	19,551	19,010	19,181
M3	9,940	9,818	9,575	10,014	19,973	19,569	19,005	19,180
M4	9,919	9,824	9,594	10,029	19,984	19,584	19,056	19,215
MEDIA	9,935	9,829	9,602	10,029	19,941	19,574	19,019	19,217
VALOR FINAL	9,849				19,438			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,700	108,460	169,320	169,180	3,889	3,840	3,832	3,814
M2	108,790	108,480	169,300	169,270	3,886	3,838	3,844	3,840
M3	108,750	108,430	169,310	169,280	3,881	3,839	3,824	3,839
M4	108,710	108,440	169,320	169,230	3,878	3,831	3,829	3,843
MEDIA	108,738	108,453	169,313	169,240	3,884	3,837	3,832	3,834
VALOR FINAL	108,595		169,276		3,847			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	3,601	20,466	18,228	98,348
2	4,745	40,315	16,430	85,954
3	4,546	38,489	17,068	89,977
4	5,222	41,698	17,658	87,621
5	5,465	43,525	16,670	85,685
6	5,807	30,634	13,577	86,051
MEDIA	4,898	35,855	16,605	88,939



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

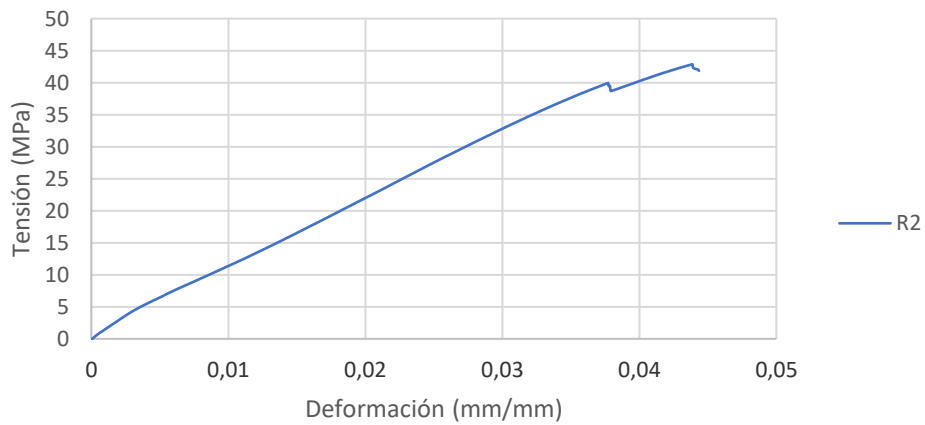


ENSAYO DE TRACCIÓN

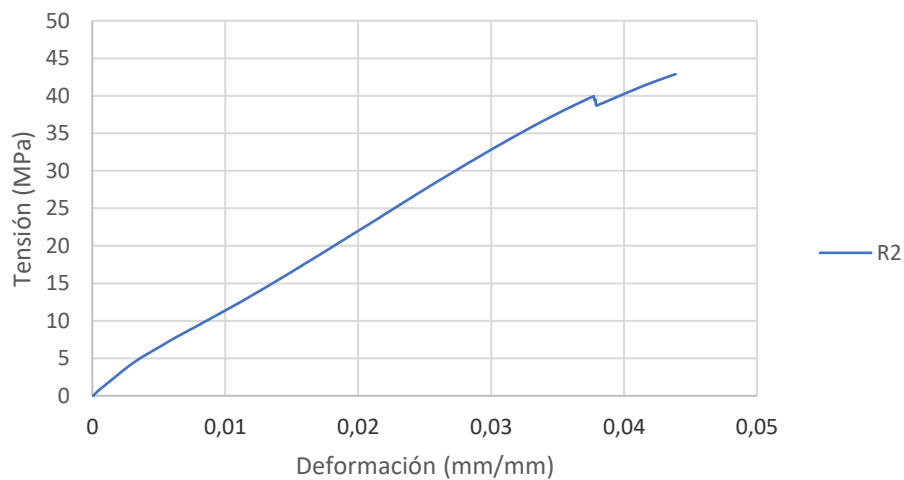
Sección (mm ²)	37,884	Deformación (mm/mm)	0,044
Carga máxima (N)	1624,528		
Tensión máxima (MPa)	42,881	Carga de rotura (N)	1585,221

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

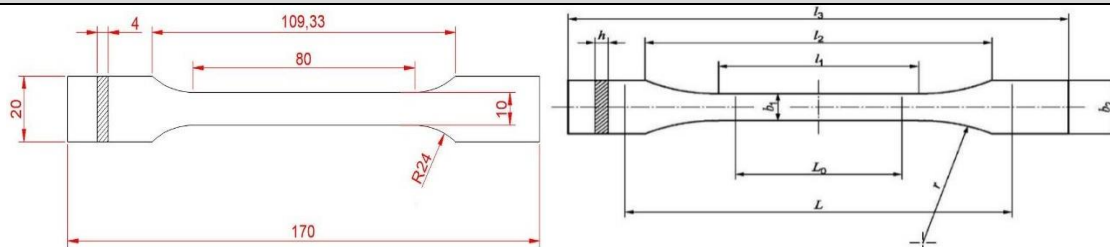


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC02-VD50-R3
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	240
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	50
REPETICIÓN (nº)	3

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,479	10,508	10,494	10,567	20,249	20,226	20,406	20,438
M2	10,446	10,481	10,480	10,540	20,231	20,298	20,412	20,426
M3	10,466	10,504	10,475	10,524	20,243	20,251	20,406	20,419
M4	10,481	10,466	10,443	10,524	20,267	20,274	20,419	20,407
MEDIA	10,468	10,490	10,473	10,539	20,248	20,262	20,411	20,423
VALOR FINAL	10,492				20,336			



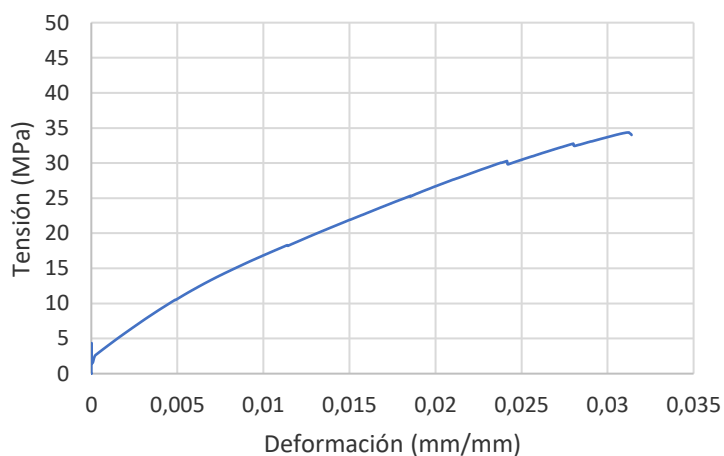
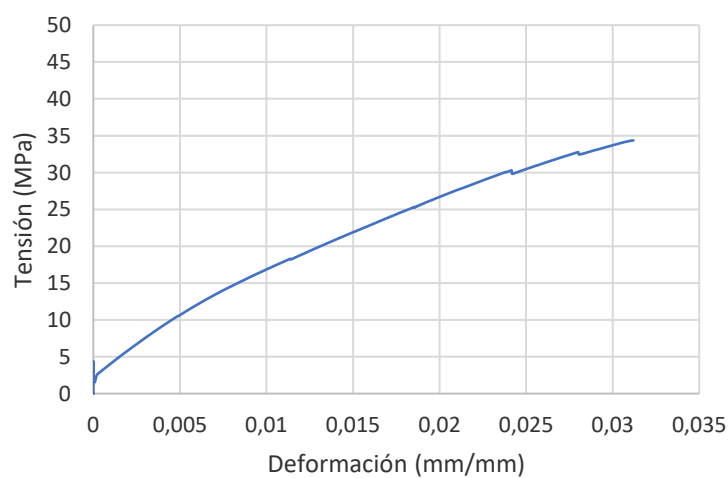
	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,630	108,770	169,330	169,220	3,981	3,949	3,946	3,924
M2	108,610	108,540	169,310	169,190	3,980	3,961	3,956	3,923
M3	108,690	108,610	169,320	169,200	3,985	3,957	3,944	3,921
M4	108,590	108,630	169,330	169,170	3,986	3,952	3,942	3,931
MEDIA	108,630	108,638	169,323	169,195	3,983	3,955	3,947	3,925
VALOR FINAL	108,634		169,259		3,952			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	12,721	87,377	13,389	77,604
2	13,325	96,055	12,401	73,434
3	12,975	92,960	16,526	88,974
4	14,281	111,260	15,698	81,335
5	15,251	116,200	13,309	77,830
6	13,136	104,620	18,412	119,810
MEDIA	13,615	101,412	14,956	86,498

**ENSAYO DE TRACCIÓN**

Sección (mm²)	41,470	Deformación (mm/mm)	0,031
Carga máxima (N)	1424,787		
Tensión máxima (MPa)	34,357	Carga de rotura (N)	1409,963

OBSERVACIONES**R3****R3 hasta UTS**



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,150	108,220	169,080	169,050	3,825	3,897	3,830	3,854
M2	108,390	108,240	169,100	169,090	3,865	3,899	3,842	3,854
M3	108,270	108,300	169,070	169,120	3,915	3,893	3,822	3,841
M4	108,230	108,190	169,110	169,080	3,908	3,889	3,821	3,846
MEDIA	108,260	108,238	169,090	169,085	3,878	3,895	3,829	3,849
VALOR FINAL	108,249		169,088		3,863			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	5,476	24,403	15,596	86,489
2	12,450	102,700	16,754	89,826
3	12,030	100,170	18,754	100,020
4	14,001	111,410	17,470	90,277
5	16,772	117,460	17,989	94,460
6	3,517	14,245	19,306	100,350
MEDIA	10,708	78,398	17,645	93,570



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

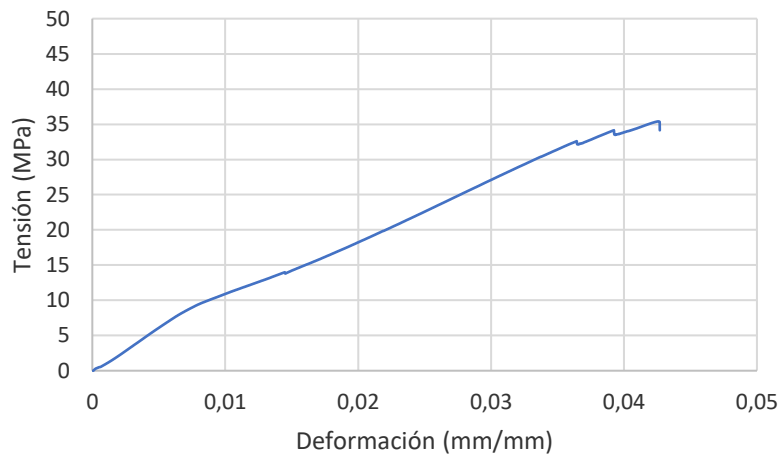


ENSAYO DE TRACCIÓN

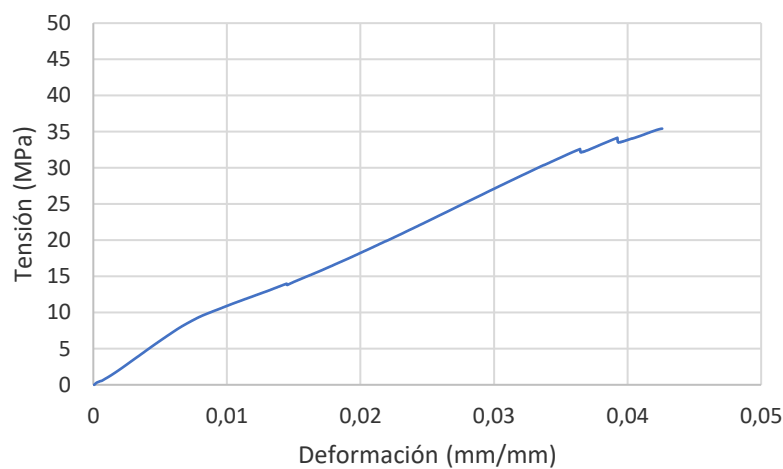
Sección (mm ²)	39,728	Deformación (mm/mm)	0,043
Carga máxima (N)	1406,679		
Tensión máxima (MPa)	35,408	Carga de rotura (N)	1356,497

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

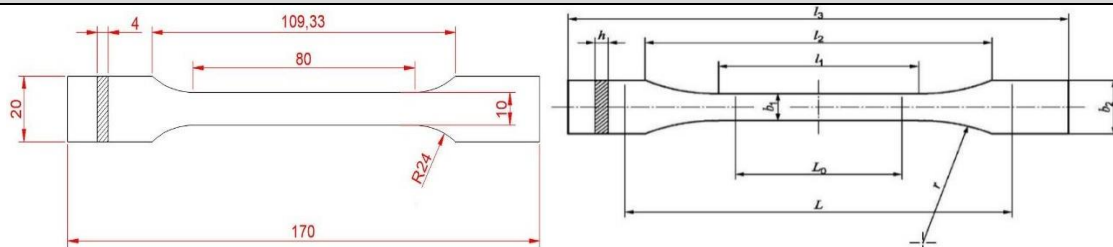


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R1
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	255
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	1

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,358	10,393	10,471	10,477	20,371	20,366	20,359	20,360
M2	10,354	10,392	10,475	10,480	20,364	20,368	20,353	20,341
M3	10,356	10,388	10,471	10,483	20,354	20,353	20,358	20,338
M4	10,356	10,395	10,468	10,475	20,374	20,355	20,355	20,335
MEDIA	10,356	10,392	10,471	10,479	20,366	20,361	20,356	20,344
VALOR FINAL	10,425				20,357			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,640	108,380	169,050	169,050	3,743	3,787	3,756	3,796
M2	108,720	108,450	169,040	169,040	3,754	3,777	3,754	3,792
M3	108,680	108,510	169,400	169,100	3,750	3,786	3,755	3,799
M4	108,750	108,430	169,270	169,080	3,769	3,794	3,743	3,809
MEDIA	108,698	108,443	169,190	169,068	3,754	3,786	3,752	3,799
VALOR FINAL	108,570		169,129		3,773			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	5,355	36,385	5,252	41,602
2	7,864	48,617	5,716	43,293
3	11,486	85,469	11,617	66,446
4	11,976	92,871	7,739	51,232
5	14,151	108,580	2,661	23,038
6	6,981	41,347	16,258	92,422
MEDIA	9,636	68,878	8,207	53,006



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

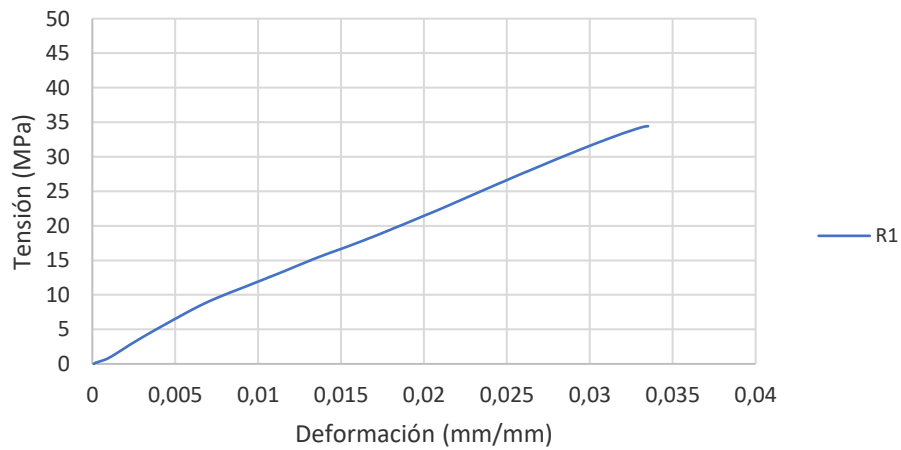


ENSAYO DE TRACCIÓN

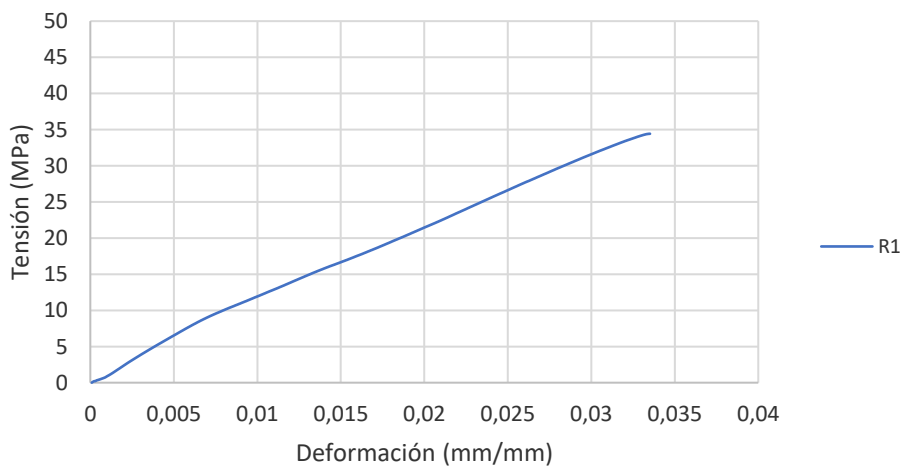
Sección (mm ²)	39,329	Deformación (mm/mm)	0,034
Carga máxima (N)	1353,814		
Tensión máxima (MPa)	34,423	Carga de rotura (N)	1347,073

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN

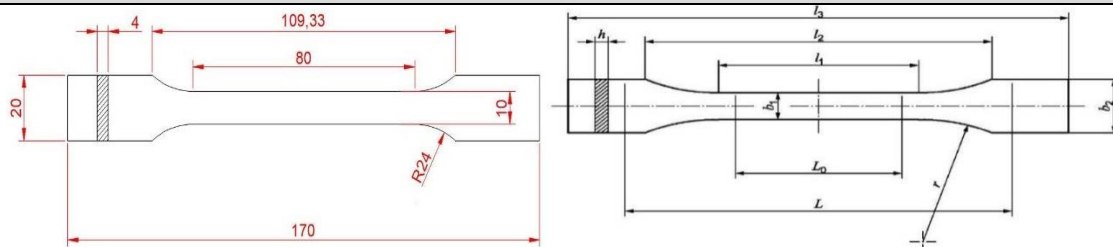


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R2
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	255
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	2

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,510	10,503	10,519	10,532	20,384	20,376	20,820	20,820
M2	10,509	10,474	10,524	10,536	20,385	20,387	20,810	20,809
M3	10,513	10,493	10,514	10,538	20,378	20,394	20,751	20,805
M4	10,499	10,497	10,527	10,533	20,376	20,399	20,764	20,812
MEDIA	10,508	10,492	10,521	10,535	20,381	20,389	20,786	20,812
VALOR FINAL	10,514				20,592			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,350	108,590	169,070	169,130	3,725	3,695	3,709	3,775
M2	108,410	108,710	169,040	169,150	3,758	3,691	3,700	3,760
M3	108,340	108,620	169,030	169,100	3,754	3,700	3,699	3,756
M4	108,380	108,660	169,090	169,090	3,775	3,718	3,688	3,761
MEDIA	108,370	108,645	169,058	169,118	3,753	3,701	3,699	3,763
VALOR FINAL	108,508		169,088		3,729			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	7,140	33,039	8,520	54,842
2	11,235	91,584	7,195	45,436
3	9,494	74,851	8,025	56,243
4	9,554	71,123	9,073	62,413
5	7,864	56,086	7,207	50,117
6	5,904	29,052	13,123	95,790
MEDIA	8,532	59,289	8,857	60,807

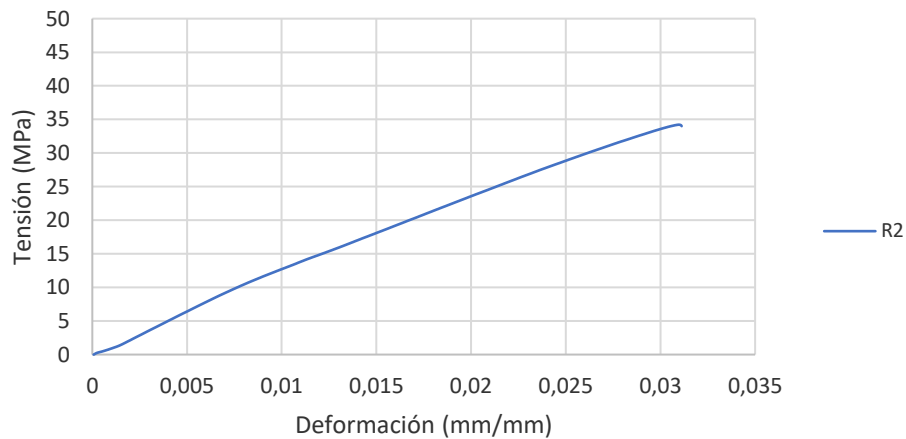


ENSAYO DE TRACCIÓN

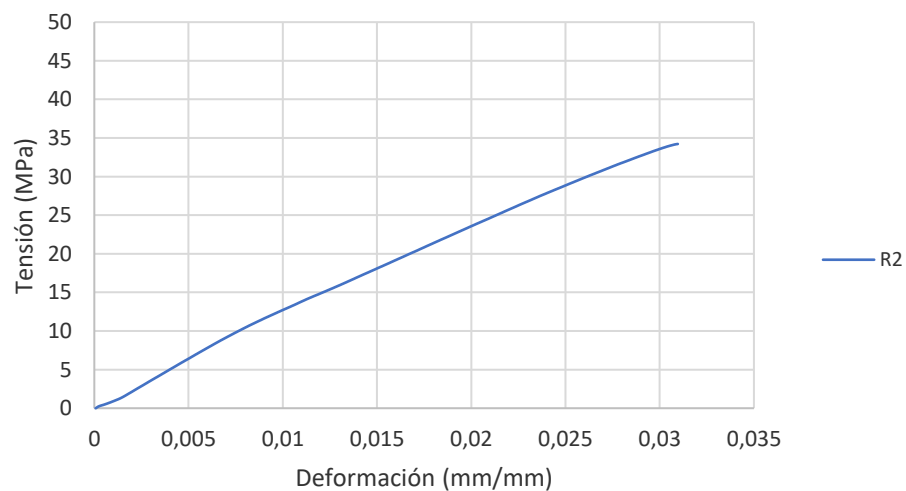
Sección (mm ²)	39,206	Deformación (mm/mm)	0,031
Carga máxima (N)	1341,563		
Tensión máxima (MPa)	34,218	Carga de rotura (N)	1333,065

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

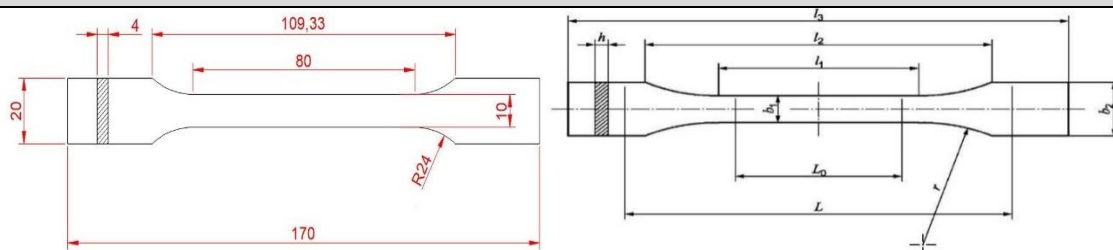


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R3
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	255
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	3

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,551	10,557	10,554	10,495	20,591	20,422	20,384	20,420
M2	10,508	10,549	10,541	10,501	20,588	20,370	20,382	20,404
M3	10,506	10,548	10,532	10,493	20,572	20,404	20,387	20,411
M4	10,509	10,541	10,525	10,506	20,570	20,401	20,383	20,409
MEDIA	10,519	10,549	10,538	10,499	20,580	20,399	20,384	20,411
VALOR FINAL	10,526				20,444			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,630	108,450	169,240	169,180	4,000	3,985	3,980	3,997
M2	108,570	108,480	169,220	169,170	4,001	4,039	3,982	4,001
M3	108,530	108,430	169,280	169,110	3,998	4,032	3,981	3,972
M4	108,610	108,510	169,250	169,150	3,999	4,029	3,969	3,968
MEDIA	108,585	108,468	169,248	169,153	4,000	4,021	3,978	3,985
VALOR FINAL	108,526		169,200		3,996			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	4,412	26,554	16,121	87,222
2	10,090	70,792	17,848	94,764
3	10,123	10,152	15,791	82,467
4	14,711	110,910	17,020	90,376
5	6,732	52,569	19,434	100,230
6	7,099	29,722	16,915	93,360
MEDIA	8,861	50,117	17,188	91,403

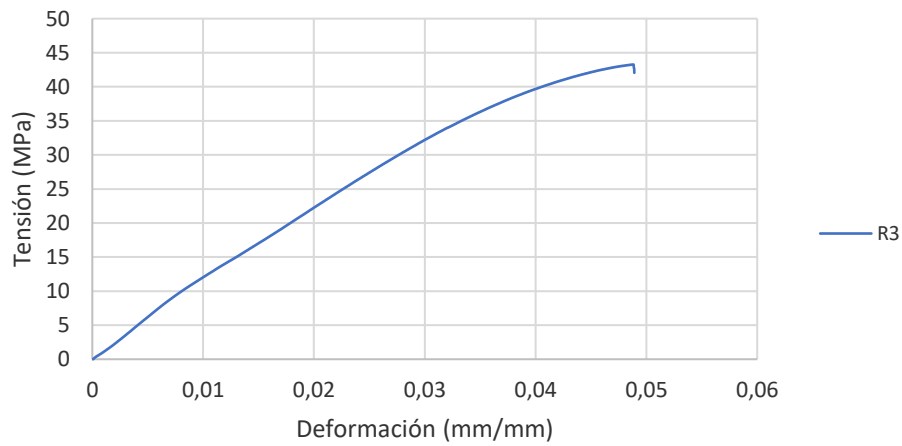


ENSAYO DE TRACCIÓN

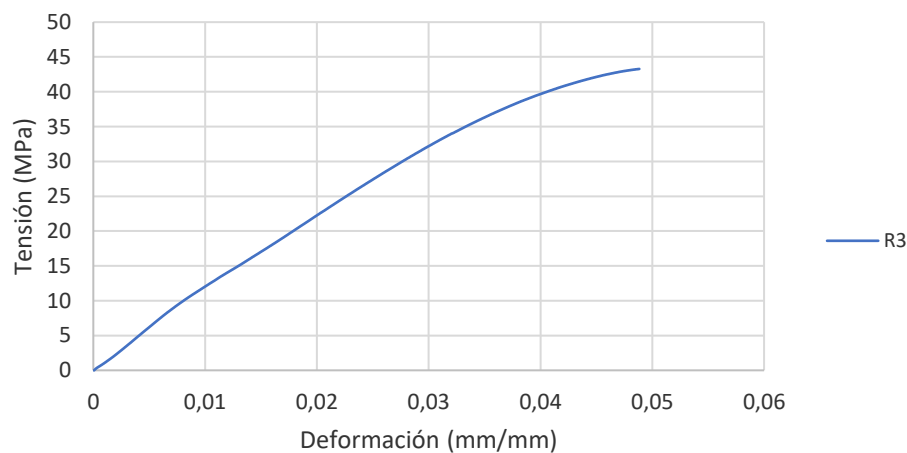
Sección (mm ²)	42,060	Deformación (mm/mm)	0,049
Carga máxima (N)	1820,217		
Tensión máxima (MPa)	43,277	Carga de rotura (N)	1768,473

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

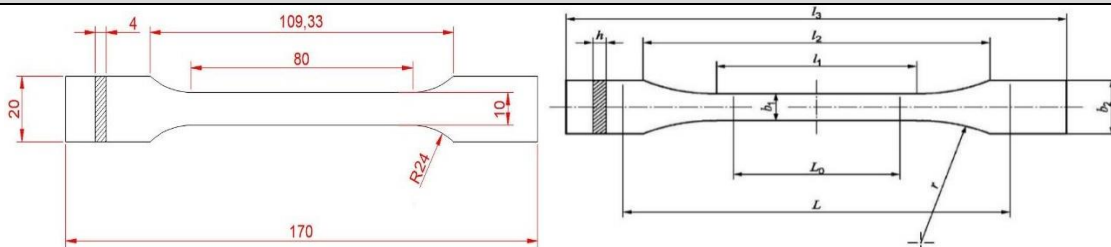


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE255-EC02-VD60-R4
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	255
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	4

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,452	10,548	10,483	10,565	20,474	20,406	20,721	20,770
M2	10,458	10,542	10,456	10,540	20,463	20,412	20,719	20,763
M3	10,456	10,551	10,484	10,551	20,463	10,414	20,715	20,758
M4	10,453	10,547	10,463	10,557	20,469	20,396	20,723	20,767
MEDIA	10,455	10,547	10,472	10,553	20,467	17,907	20,720	20,765
VALOR FINAL	10,507				19,965			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,620	108,750	169,590	169,280	3,987	3,965	3,969	3,976
M2	108,670	108,690	169,610	169,260	3,993	3,967	3,967	3,966
M3	108,580	108,720	169,600	169,320	3,995	3,958	3,977	3,961
M4	108,650	108,760	169,590	169,290	3,993	3,964	3,972	3,973
MEDIA	108,630	108,730	169,598	169,288	3,992	3,964	3,971	3,969
VALOR FINAL	108,680		169,443		3,974			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	12,204	87,760	8,767	66,982
2	11,048	79,987	15,479	81,784
3	8,509	56,509	18,601	94,713
4	11,366	85,188	11,485	74,968
5	11,777	90,738	19,784	107,250
6	6,669	27,124	14,795	85,735
MEDIA	10,262	71,218	14,819	85,239



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

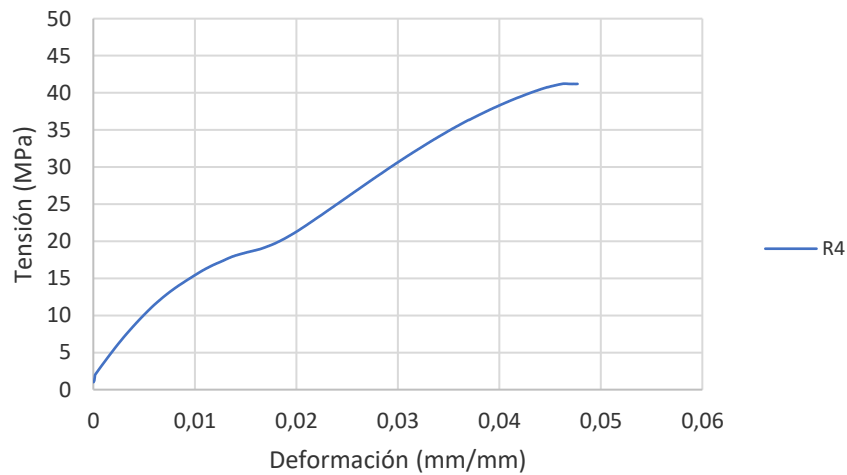


ENSAYO DE TRACCIÓN

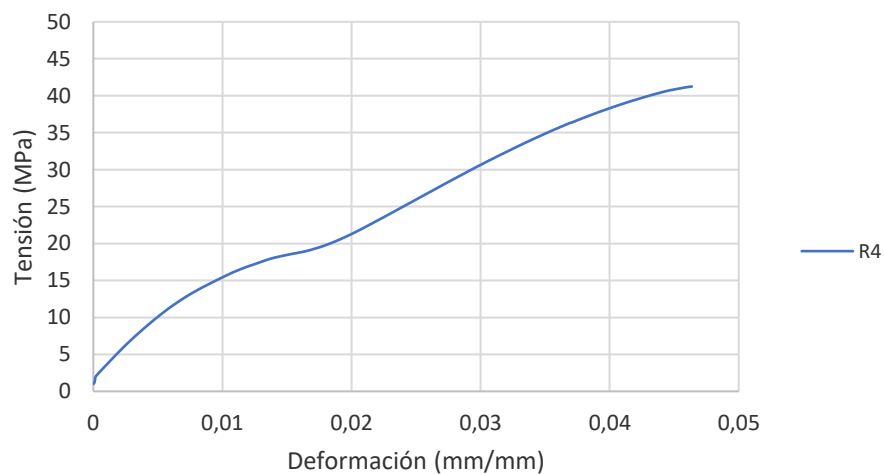
Sección (mm ²)	41,753	Deformación (mm/mm)	0,046
Carga máxima (N)	1721,978		
Tensión máxima (MPa)	41,242	Carga de rotura (N)	1720,419

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

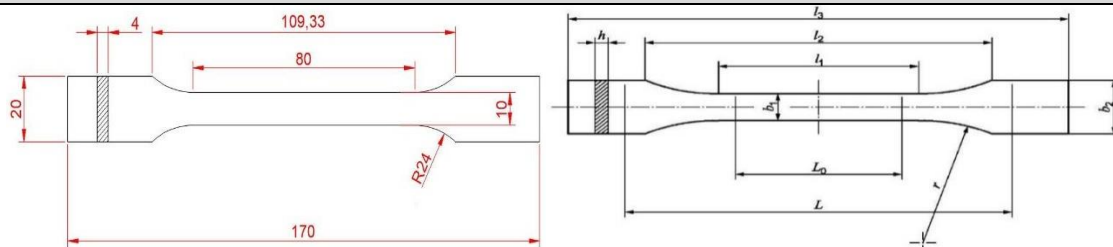


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE270-EC02-VD40-R1
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
T^a DE EXTRUSIÓN (°C)	270
T^a DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,2
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	40
REPETICIÓN (nº)	1

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,372	10,437	10,476	10,430	20,410	20,379	20,373	20,295
M2	10,391	10,429	10,475	10,426	20,371	20,368	20,267	20,310
M3	10,374	10,415	10,458	10,431	20,434	20,393	20,268	20,285
M4	10,375	10,422	10,461	10,413	20,428	20,373	20,277	20,302
MEDIA	10,378	10,426	10,468	10,425	20,411	20,378	20,296	20,298
VALOR FINAL	10,424				20,346			

MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,720	108,280	169,080	169,120	3,956	3,967	3,940	3,953
M2	108,740	108,330	169,100	169,230	3,953	3,970	3,935	3,937
M3	108,690	108,350	169,140	169,140	3,955	3,972	3,933	3,931
M4	108,710	108,290	169,120	169,150	3,947	3,974	3,933	3,926
MEDIA	108,715	108,313	169,110	169,160	3,953	3,971	3,935	3,937
VALOR FINAL	108,514		169,135		3,949			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	5,117	27,272	10,403	75,545
2	6,167	33,731	7,368	47,565
3	6,723	47,134	6,647	50,844
4	6,122	37,540	5,887	42,372
5	6,180	34,769	5,771	42,392
6	4,655	25,839	6,777	45,921
MEDIA	5,827	34,381	7,142	50,773



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

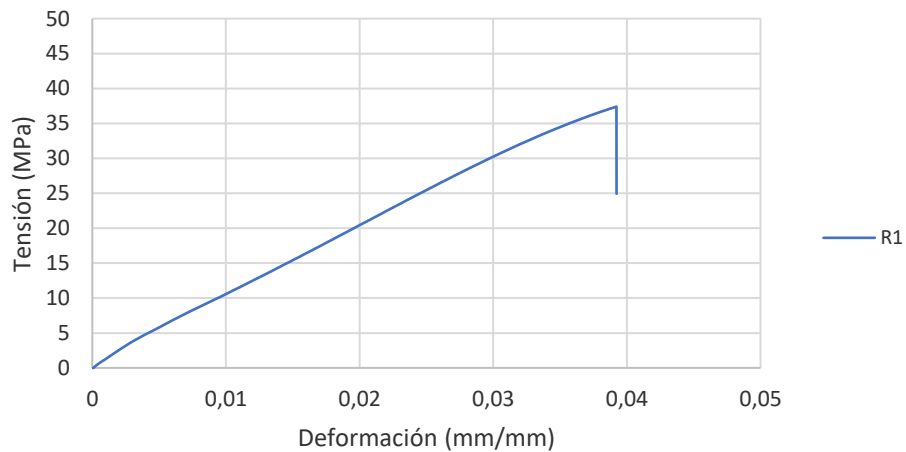


ENSAYO DE TRACCIÓN

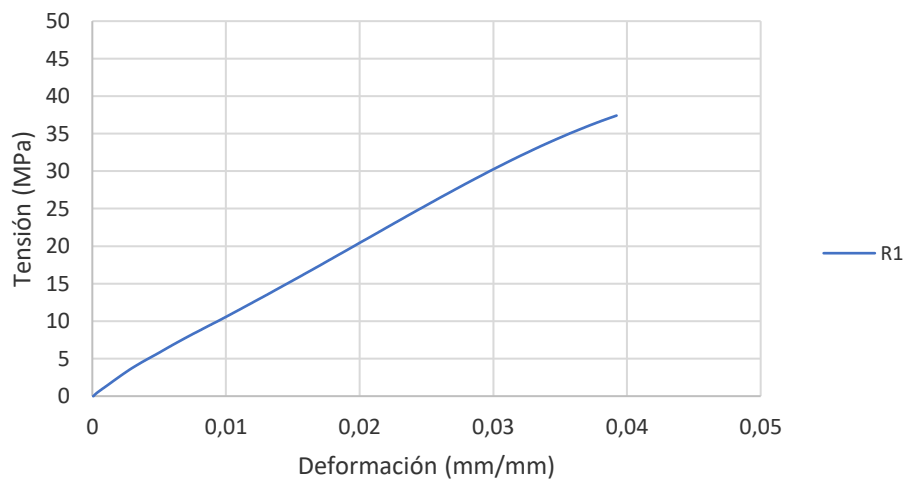
Sección (mm ²)	41,163	Deformación (mm/mm)	0,039
Carga máxima (N)	1539,810		
Tensión máxima (MPa)	37,407	Carga de rotura (N)	1026,626

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,500	108,620	168,910	168,800	3,721	3,915	3,899	3,769
M2	108,530	108,580	168,930	168,600	3,786	3,905	3,900	3,755
M3	108,480	108,510	168,820	168,740	3,767	3,910	3,897	3,754
M4	108,510	108,530	168,870	168,650	3,758	3,912	3,895	3,757
MEDIA	108,505	108,560	168,883	168,698	3,758	3,911	3,898	3,759
VALOR FINAL	108,533		168,790		3,831			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

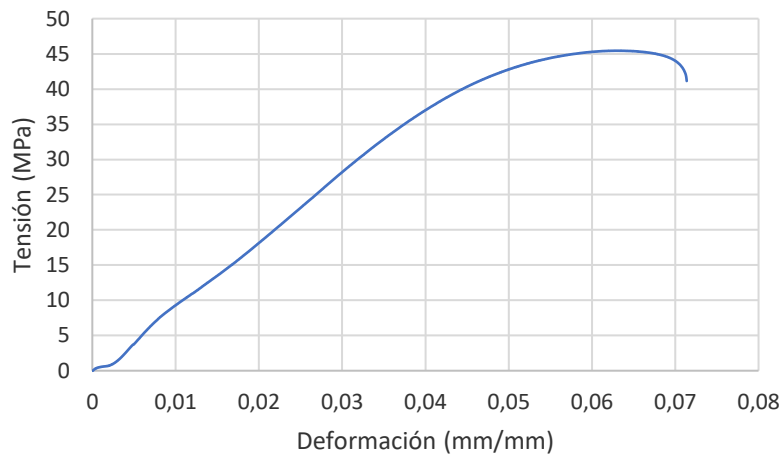
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	4,954	40,831	4,774	35,993
2	8,339	38,822	7,248	49,793
3	9,846	44,799	6,164	53,249
4	6,533	32,920	5,723	44,454
5	3,949	22,713	13,544	72,035
6	15,495	103,590	11,591	63,268
MEDIA	8,186	47,279	8,174	53,132

ENSAYO DE TRACCIÓN

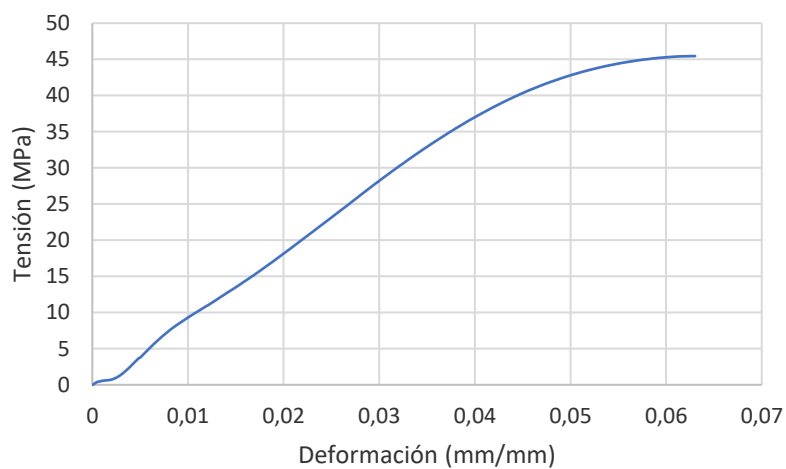
Sección (mm²)	40,195	Deformación (mm/mm)	0,063
Carga máxima (N)	1826,826		
Tensión máxima (MPa)	45,449	Carga de rotura (N)	1653,713

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	109,270	108,810	169,190	169,080	3,661	3,781	3,768	3,814
M2	109,250	108,930	169,240	169,180	3,671	3,765	3,758	3,813
M3	109,280	108,870	169,210	169,310	3,669	3,754	3,755	3,799
M4	109,240	108,950	169,240	169,280	3,681	3,755	3,771	3,791
MEDIA	109,260	108,890	169,220	169,213	3,671	3,764	3,763	3,804
VALOR FINAL	109,075		169,216		3,750			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	3,744	18,408	13,717	85,739
2	11,392	53,527	8,996	56,218
3	11,924	63,479	13,754	72,536
4	9,799	56,351	4,843	28,329
5	11,004	55,578	5,280	34,878
6	5,882	38,530	10,418	59,266
MEDIA	8,958	47,646	9,501	56,161

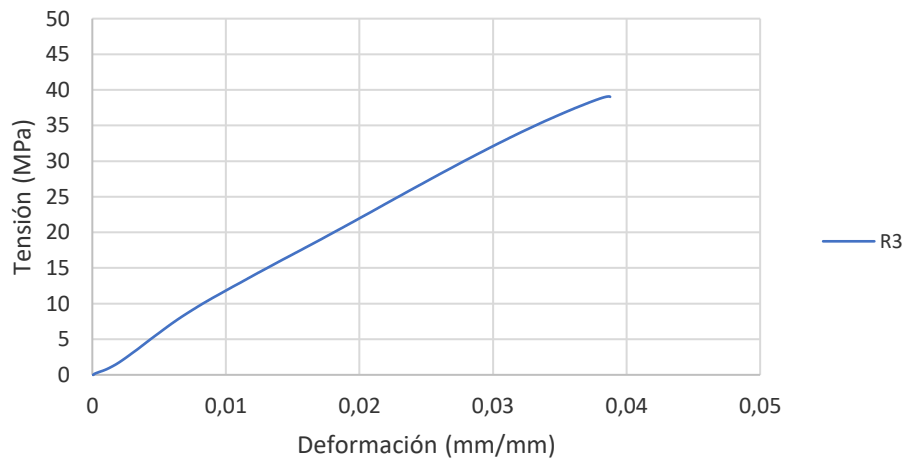


ENSAYO DE TRACCIÓN

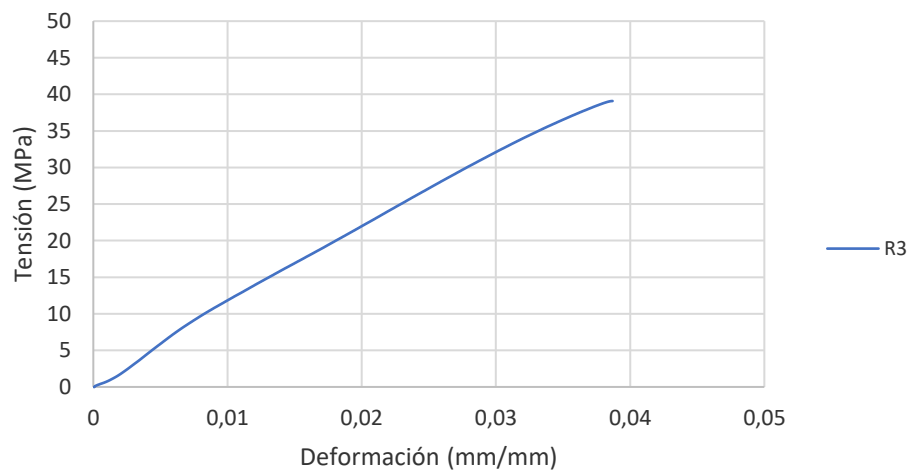
Sección (mm ²)	38,643	Deformación (mm/mm)	0,039
Carga máxima (N)	1510,076		
Tensión máxima (MPa)	39,078	Carga de rotura (N)	1507,978

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

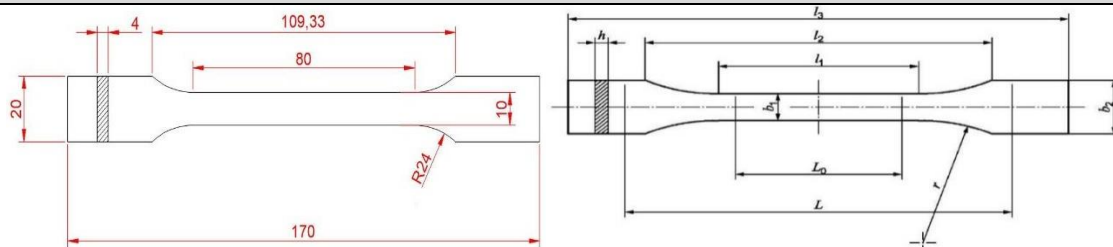


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60-R1
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
T^a DE EXTRUSIÓN (°C)	240
T^a DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,3
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	1

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,539	10,484	10,493	10,494	20,391	20,416	20,398	20,368
M2	10,530	10,487	10,471	10,463	20,375	20,409	20,391	20,353
M3	10,535	10,469	10,493	10,444	20,387	20,408	20,390	20,343
M4	10,519	10,470	10,489	10,446	20,379	20,413	20,392	20,356
MEDIA	10,531	10,478	10,487	10,462	20,383	20,412	20,393	20,355
VALOR FINAL	10,489				20,386			



MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	107,920	107,990	169,080	169,060	3,470	3,597	3,601	3,619
M2	108,010	108,050	169,000	169,070	3,466	3,601	3,579	3,593
M3	107,980	107,970	168,980	168,990	3,468	3,611	3,580	3,592
M4	108,000	108,010	169,010	168,940	3,471	3,609	3,593	3,599
MEDIA	107,978	108,005	169,018	169,015	3,469	3,605	3,588	3,601
VALOR FINAL	107,991		169,016		3,566			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	6,600	29,679	11,344	94,930
2	8,547	39,794	13,527	87,539
3	8,763	59,923	19,482	102,450
4	8,469	54,183	14,711	75,300
5	6,332	41,153	13,574	72,354
6	6,610	28,053	18,068	104,180
MEDIA	7,554	42,131	15,118	89,459

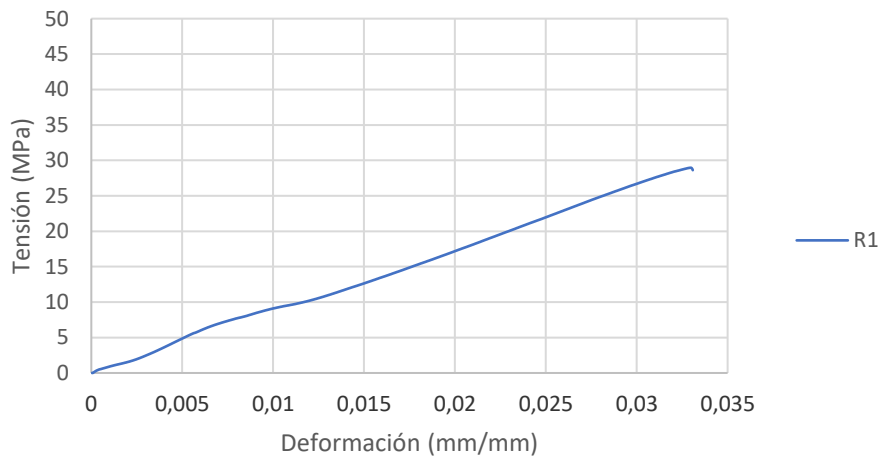


ENSAYO DE TRACCIÓN

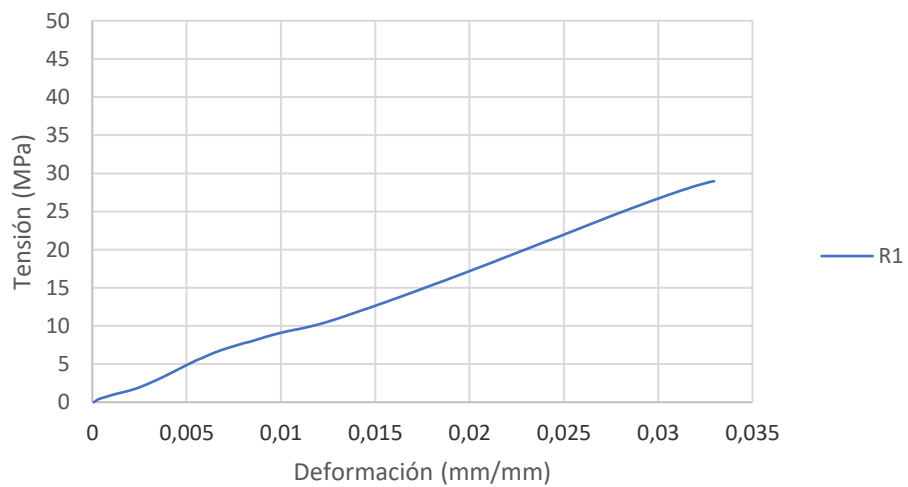
Sección (mm ²)	37,400	Deformación (mm/mm)	0,033
Carga máxima (N)	1083,183		
Tensión máxima (MPa)	28,962	Carga de rotura (N)	1070,347

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,860	108,340	168,910	168,700	3,573	3,640	3,736	3,703
M2	108,620	107,990	168,990	168,880	3,594	3,644	3,738	3,705
M3	108,680	108,110	168,940	168,770	3,580	3,646	3,727	3,700
M4	108,730	108,070	169,010	168,790	3,587	3,637	3,737	3,702
MEDIA	108,723	108,128	168,963	168,785	3,584	3,642	3,735	3,703
VALOR FINAL	108,425		168,874		3,666			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	6,084	25,366	19,856	100,070
2	7,009	44,937	19,015	105,830
3	10,452	63,663	22,249	122,290
4	12,071	77,253	17,724	99,077
5	12,123	52,090	17,393	88,225
6	4,957	26,578	16,619	94,649
MEDIA	8,783	48,315	18,809	101,690



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

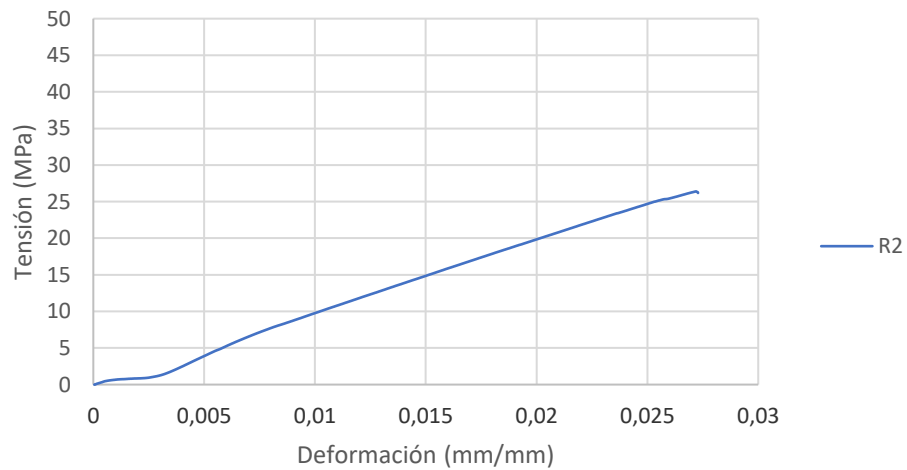


ENSAYO DE TRACCIÓN

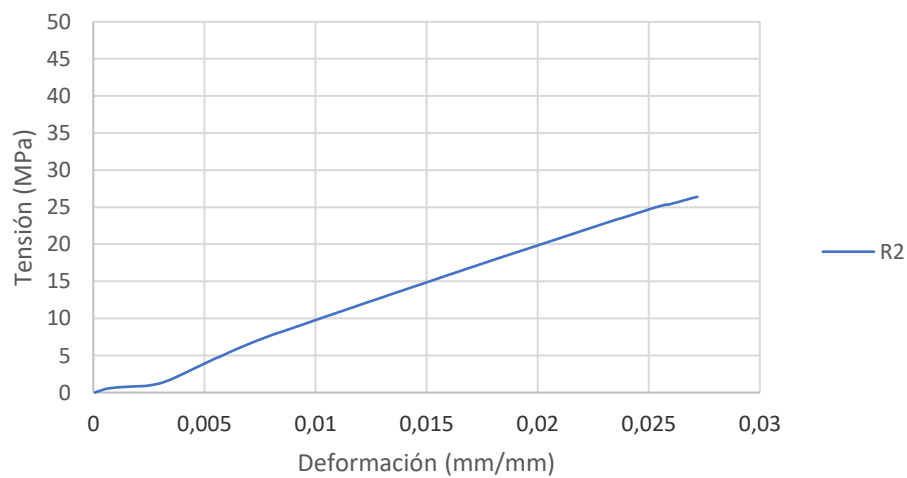
Sección (mm ²)	37,382	Deformación (mm/mm)	0,027
Carga máxima (N)	986,784		
Tensión máxima (MPa)	26,397	Carga de rotura (N)	978,754

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	107,990	107,930	169,110	168,990	3,638	3,611	3,662	3,645
M2	108,140	108,010	169,160	169,130	3,619	3,625	3,668	3,659
M3	108,030	107,890	169,130	169,080	3,613	3,624	3,663	3,655
M4	108,060	108,000	169,080	169,060	3,620	3,620	3,655	3,645
MEDIA	108,055	107,958	169,120	169,065	3,623	3,620	3,662	3,651
VALOR FINAL	108,006		169,093		3,639			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

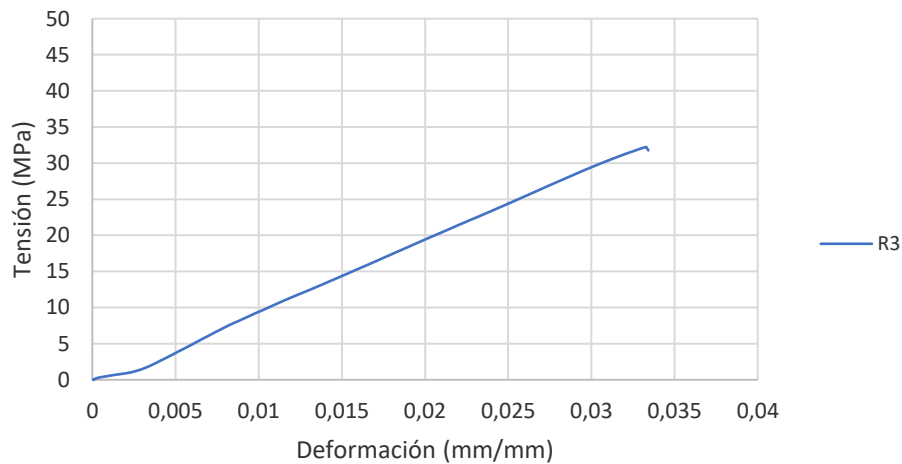
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	7,378	28,577	19,200	99,947
2	5,980	36,502	18,027	96,810
3	11,004	67,777	18,261	99,544
4	9,961	66,824	13,087	86,225
5	6,309	31,916	15,174	80,721
6	5,118	23,380	11,200	70,082
MEDIA	7,625	42,496	15,825	88,888

ENSAYO DE TRACCIÓN

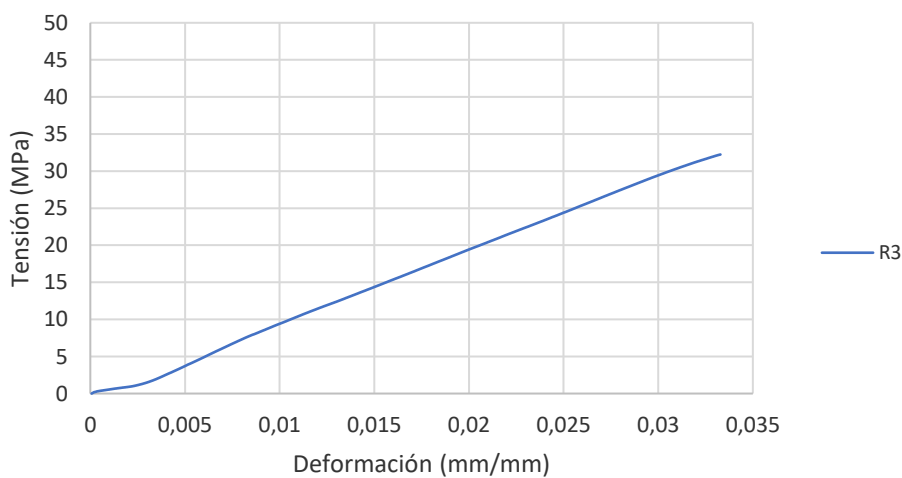
Sección (mm²)	37,503	Deformación (mm/mm)	0,033
Carga máxima (N)	1208,902		
Tensión máxima (MPa)	32,235	Carga de rotura (N)	1191,155

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

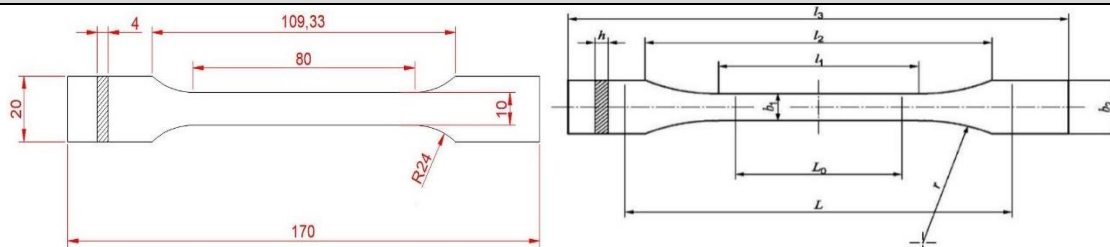


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE240-EC03-VD60-R4
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	240
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,3
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	60
REPETICIÓN (nº)	4

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,484	10,511	10,524	10,546	20,417	20,422	20,416	20,470
M2	10,504	10,525	10,528	10,543	20,418	20,419	20,435	20,469
M3	10,512	10,517	10,523	10,529	20,408	20,430	20,427	20,463
M4	10,493	10,524	10,522	10,535	20,412	20,424	20,433	20,474
MEDIA	10,498	10,519	10,524	10,538	20,414	20,424	20,428	20,469
VALOR FINAL	10,520				20,434			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,480	108,240	169,160	169,090	3,547	3,595	3,555	3,569
M2	108,450	108,280	169,200	169,080	3,553	3,603	3,557	3,553
M3	108,420	108,240	169,120	169,110	3,544	3,590	3,562	3,562
M4	108,500	108,200	169,150	169,060	3,550	3,602	3,573	3,563
MEDIA	108,463	108,240	169,158	169,085	3,549	3,598	3,562	3,562
VALOR FINAL	108,351		169,121		3,567			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	6,331	25,746	11,282	74,002
2	6,868	44,984	21,319	96,592
3	8,740	56,467	16,969	91,224
4	9,152	62,141	13,241	76,081
5	9,943	60,546	12,966	80,983
6	6,335	31,659	7,652	54,089
MEDIA	7,895	46,924	13,905	78,829

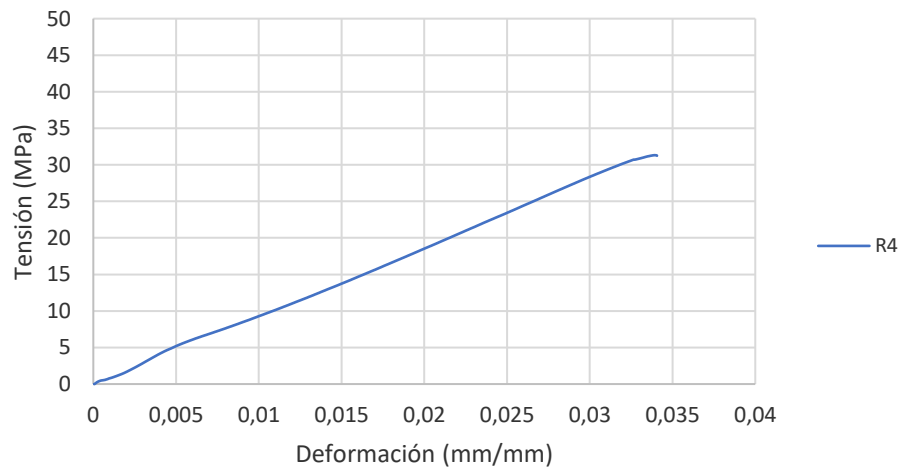


ENSAYO DE TRACCIÓN

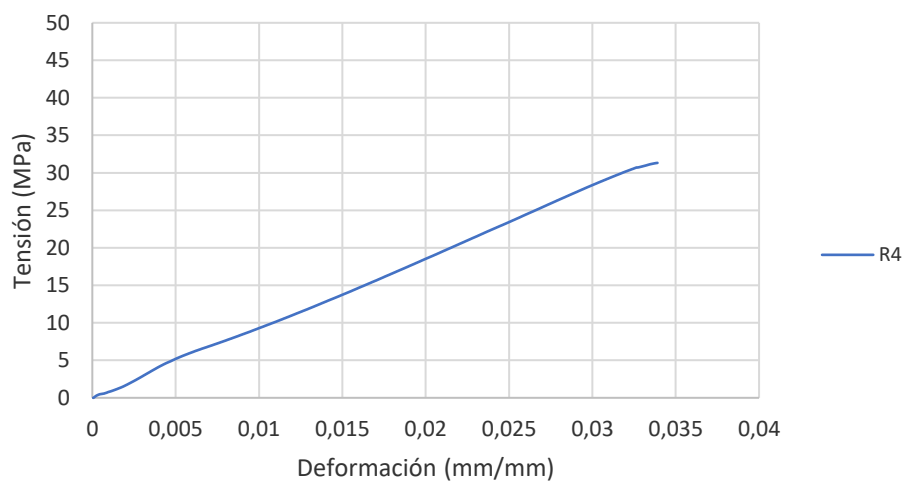
Sección (mm ²)	37,529	Deformación (mm/mm)	0,034
Carga máxima (N)	1175,356		
Tensión máxima (MPa)	31,319	Carga de rotura (N)	1172,484

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,750	108,630	169,610	169,660	3,887	3,887	3,904	3,885
M2	108,660	108,700	169,590	169,640	3,883	3,885	3,908	3,886
M3	108,510	108,740	169,620	169,650	3,878	3,901	3,917	3,885
M4	108,620	108,680	169,640	169,660	3,881	3,895	3,900	3,880
MEDIA	108,635	108,688	169,615	169,653	3,882	3,892	3,907	3,884
VALOR FINAL	108,661		169,634		3,891			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

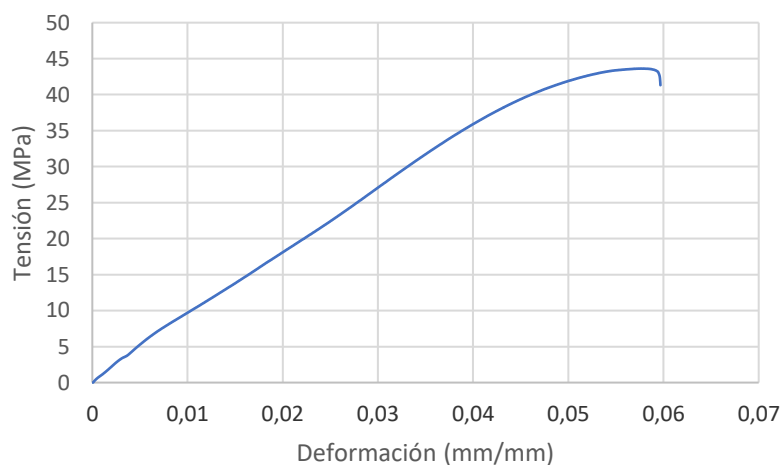
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	11,492	75,996	26,211	116,730
2	12,239	83,430	24,913	123,390
3	10,820	72,113	28,001	127,510
4	9,931	69,988	26,390	120,980
5	10,558	71,054	28,441	128,570
6	12,539	83,146	32,693	168,650
MEDIA	11,263	75,955	27,775	130,972

ENSAYO DE TRACCIÓN

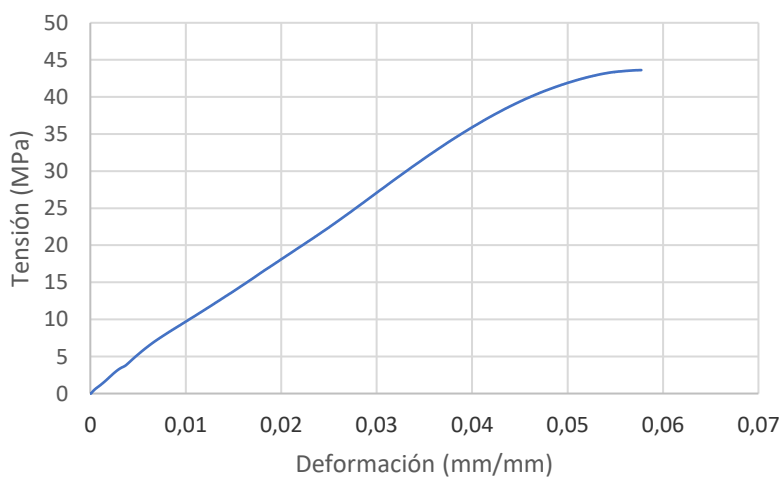
Sección (mm²)	39,608	Deformación (mm/mm)	0,058
Carga máxima (N)	1727,707		
Tensión máxima (MPa)	43,620	Carga de rotura (N)	1636,190

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,120	108,180	169,430	169,300	3,864	3,884	3,888	3,676
M2	108,170	108,190	169,400	169,290	3,866	3,883	3,889	3,642
M3	108,230	108,150	169,360	169,300	3,870	3,883	3,901	3,691
M4	108,150	108,210	169,420	169,310	3,874	3,879	3,907	3,668
MEDIA	108,168	108,183	169,403	169,300	3,869	3,882	3,896	3,669
VALOR FINAL	108,175		169,351		3,829			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

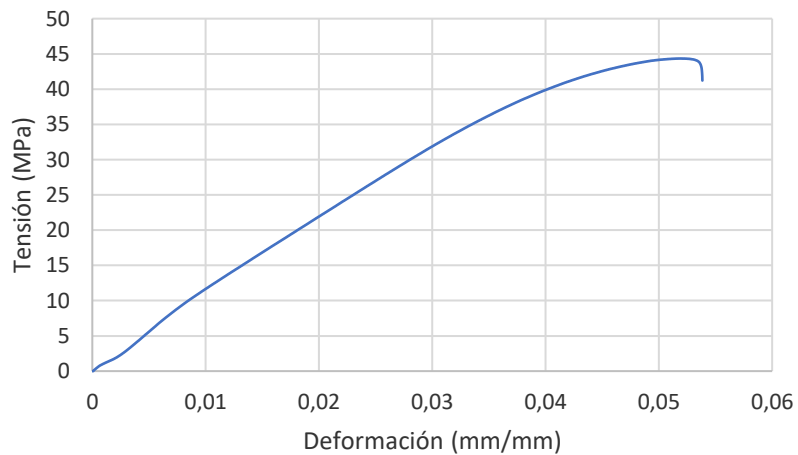
	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	10,551	59,320	26,242	122,810
2	11,974	78,979	22,250	105,860
3	14,842	64,966	25,665	119,360
4	13,856	63,408	20,330	102,890
5	8,598	48,064	28,942	142,820
6	18,310	99,874	33,497	179,870
MEDIA	13,022	69,102	26,154	128,935

ENSAYO DE TRACCIÓN

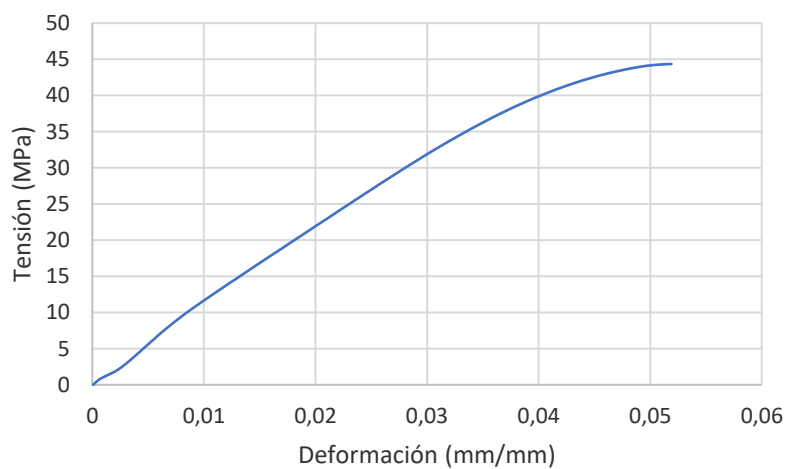
Sección (mm²)	39,266	Deformación (mm/mm)	0,052
Carga máxima (N)	1741,357		
Tensión máxima (MPa)	44,347	Carga de rotura (N)	1618,643

OBSERVACIONES

R3



R3 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

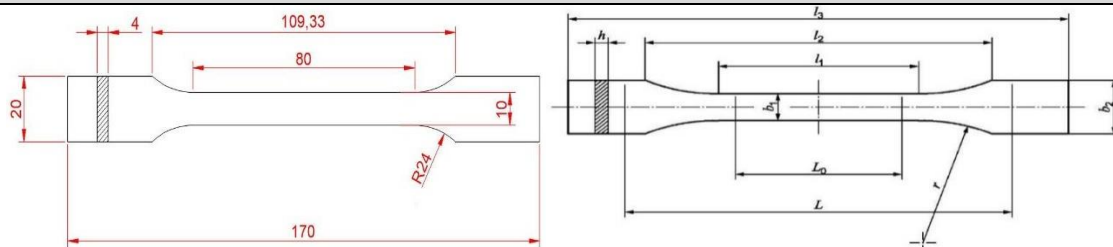


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE255-EC03-VD40-R4
------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	255
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,3
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	40
REPETICIÓN (nº)	4

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,357	10,317	10,361	10,273	20,149	20,203	20,325	20,444
M2	10,350	10,329	10,349	10,270	20,157	20,197	20,290	20,440
M3	10,366	10,334	10,346	10,263	20,160	20,199	20,331	20,434
M4	10,364	10,323	10,355	10,275	20,154	20,206	20,329	20,421
MEDIA	10,359	10,326	10,353	10,270	20,155	20,201	20,319	20,435
VALOR FINAL	10,327				20,277			



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	109,020	108,860	169,350	169,730	3,835	3,873	3,921	3,612
M2	108,750	108,890	169,450	169,740	3,826	3,884	3,915	3,613
M3	108,970	108,940	169,380	169,640	3,829	3,891	3,914	3,604
M4	108,990	108,890	169,410	169,610	3,830	3,884	3,912	3,590
MEDIA	108,933	108,895	169,398	169,680	3,830	3,883	3,916	3,605
VALOR FINAL	108,914		169,539		3,808			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	5,926	46,661	27,256	134,000
2	15,213	78,516	17,535	97,227
3	16,528	83,397	12,890	81,467
4	18,506	113,560	21,159	105,840
5	19,538	117,950	20,794	107,470
6	16,977	102,650	17,967	99,460
MEDIA	15,448	90,456	19,600	104,244

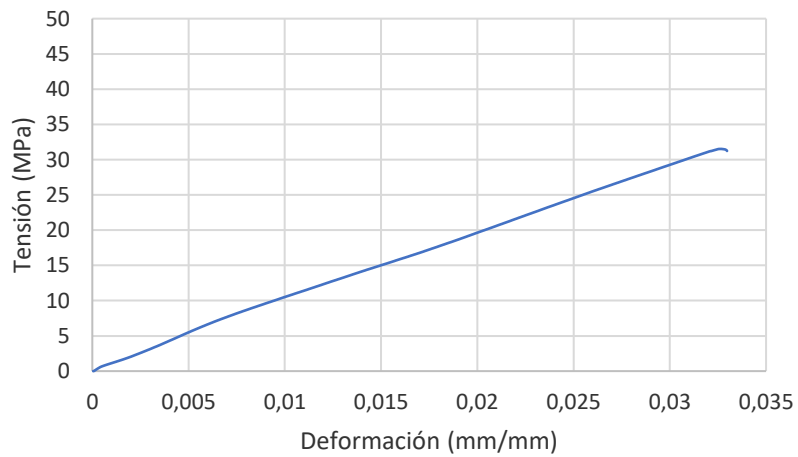


ENSAYO DE TRACCIÓN

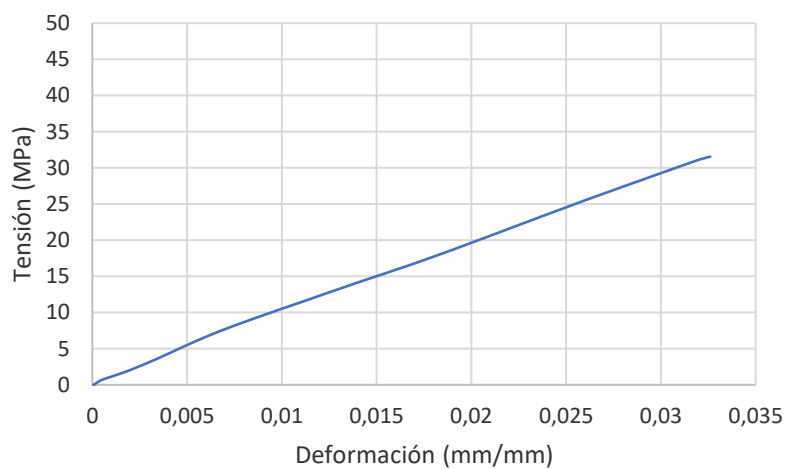
Sección (mm ²)	39,328	Deformación (mm/mm)	0,033
Carga máxima (N)	1239,538		
Tensión máxima (MPa)	31,518	Carga de rotura (N)	1228,235

OBSERVACIONES

R4



R4 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,990	108,740	169,090	169,130	4,003	3,912	3,947	4,028
M2	109,000	108,770	169,020	169,140	4,040	3,914	3,937	4,024
M3	108,980	108,750	169,090	169,120	4,035	3,914	3,937	4,022
M4	108,960	108,760	169,000	169,130	3,998	3,918	3,922	4,015
MEDIA	108,983	108,755	169,050	169,130	4,019	3,915	3,936	4,022
VALOR FINAL	108,869		169,090		3,973			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	16,593	84,492	20,341	112,200
2	10,712	55,559	19,468	112,380
3	9,329	46,333	17,876	95,970
4	6,937	35,767	18,763	108,280
5	7,482	39,536	17,940	112,190
6	1,709	15,001	14,001	89,601
MEDIA	8,794	46,115	18,065	105,104



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

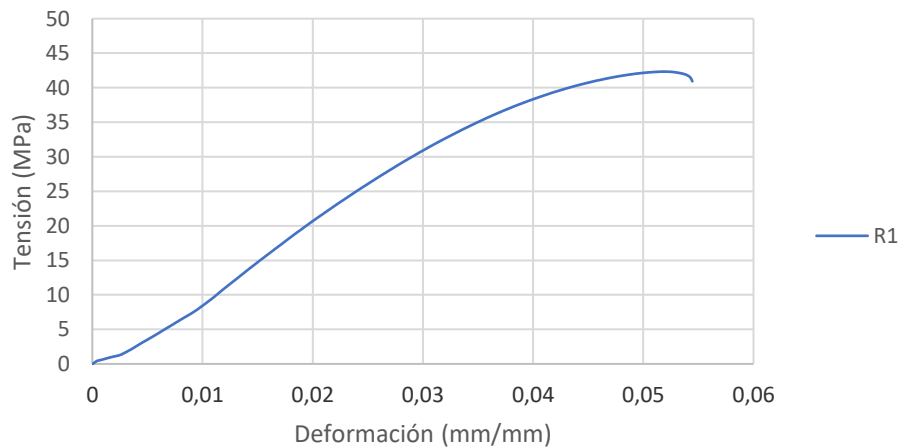


ENSAYO DE TRACCIÓN

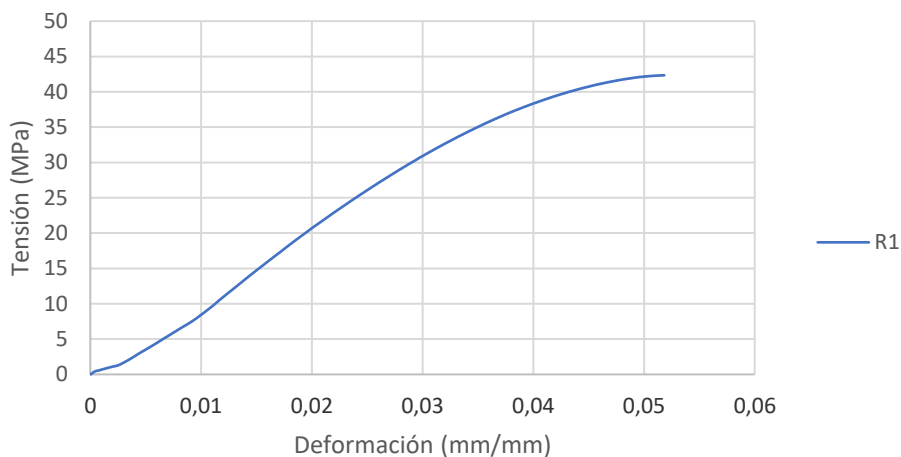
Sección (mm ²)	41,335	Deformación (mm/mm)	0,052
Carga máxima (N)	1749,953		
Tensión máxima (MPa)	42,336	Carga de rotura (N)	1691,634

OBSERVACIONES

R1



R1 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

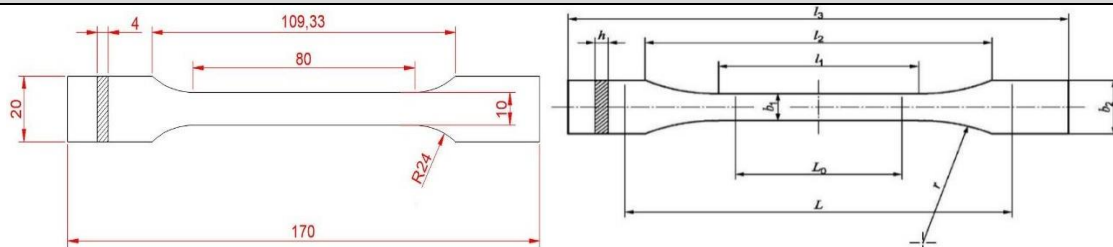


HOJA DE DATOS

ID. ENSAYO	NYLON-B1-UTS-TE270-EC03-VD50-R2
-------------------	---------------------------------

MATERIAL	STXY-12
BOBINA	B1
Tª DE EXTRUSIÓN (°C)	270
Tª DE LA CAMA (°C)	110
ESPESOR DE CAPA (mm)	0,3
VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN (mm/s)	50
REPETICIÓN (nº)	2

CONTROL DIMENSIONAL



	MEDIDA LONGITUDES (mm)							
	B1				B2			
	1	2	3	4	5	6	7	8
M1	10,440	10,391	10,478	10,381	20,331	20,462	20,219	20,201
M2	10,499	10,393	10,484	10,364	20,324	20,472	20,210	20,254
M3	10,430	10,365	10,479	10,362	20,318	20,459	20,178	20,215
M4	10,427	10,370	10,474	10,367	20,331	20,475	20,193	20,196
MEDIA	10,449	10,380	10,479	10,369	20,326	20,467	20,200	20,217
VALOR FINAL	10,419				20,302			



MEDIDA LONGITUDES (mm)								
	L2		L3		H			
	9	10	11	12	13	14	15	16
M1	108,610	108,480	169,070	169,120	3,979	3,923	3,903	3,886
M2	108,620	108,490	169,090	169,150	3,965	3,916	3,904	3,891
M3	108,590	108,470	169,110	169,160	3,978	3,919	3,901	3,889
M4	108,610	108,500	169,060	169,130	3,990	3,917	3,908	3,883
MEDIA	108,608	108,485	169,083	169,140	3,978	3,919	3,904	3,887
VALOR FINAL	108,546		169,111		3,922			

CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

	CARA LIBRE		CARA APOYO	
	Ra (µm)	Rz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	5,266	28,509	13,995	88,876
2	9,650	52,150	11,900	80,733
3	9,062	53,986	15,408	86,203
4	9,412	51,871	19,072	110,400
5	8,208	44,772	18,439	112,150
6	3,494	24,665	17,467	101,230
MEDIA	7,515	42,659	16,047	96,599

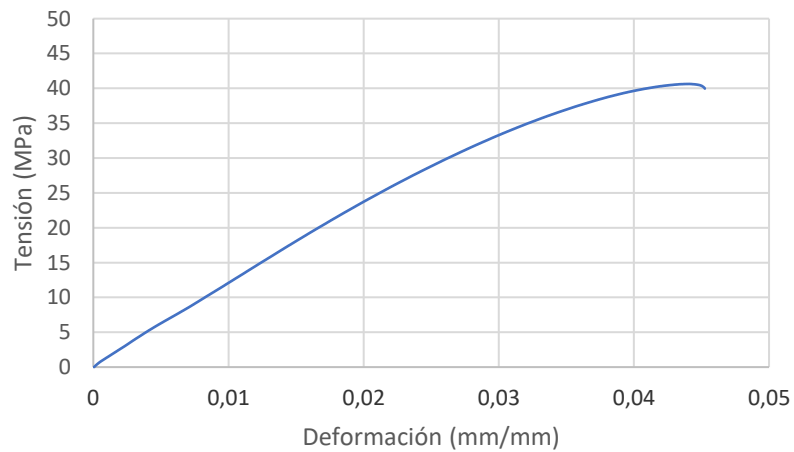


ENSAYO DE TRACCIÓN

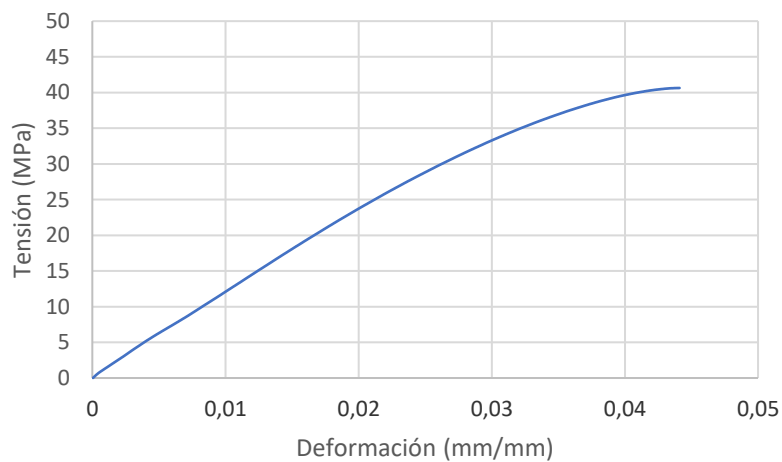
Sección (mm ²)	40,863	Deformación (mm/mm)	0,044
Carga máxima (N)	1660,379		
Tensión máxima (MPa)	40,632	Carga de rotura (N)	1633,019

OBSERVACIONES

R2



R2 - hasta UTS





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ÁREA DE INGENIERÍA DE LOS PROCESOS DE
FABRICACIÓN

