



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



## ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**Departamento: Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación**

**Área de Conocimiento: Ingeniería de procesos de fabricación**

# TRABAJO FIN DE GRADO

**ANÁLISIS DE DESVIACIONES GEOMÉTRICAS ORIGINADAS EN PROCESOS DE FABRICACIÓN ADITIVA MEDIANTE EXTRUSIÓN DE MATERIAL**

Grado en

Ingeniería Mecánica.

Autor: Enrique Martínez Ballesteros.

Tutor: Sergio Martín Béjar.

Cotutor: Carolina Bermudo Gamboa.

MÁLAGA, 05 de 2023







## Resumen

El presente trabajo de fin de grado se centra en la fabricación aditiva mediante extrusión de material. Los procesos de fabricación aditiva es un sector en auge en la industria moderna. Este estudio se centra en el cálculo de las desviaciones geométricas que se van a producir al fabricar las probetas obtenidas por extrusión de material de Nylon 12, uno de los materiales que han sido menos estudiado en este ámbito ya que es una tecnología en crecimiento. Para ello se han tenido en cuenta el efecto de la temperatura de extrusión, el espesor de capa y la velocidad de extrusión del material. Para el cálculo de estas desviaciones se han usado los distintos aparatos de medida, como micrómetro, vernier, medidora de forma y rugosímetro.

Con los resultados de todas las mediciones realizadas se ha llevado a cabo una evaluación comparando todos los datos obtenidos, para analizar que parámetros son los óptimos para la fabricación por extrusión de Nylon.

## Palabras clave

FDM, FFF, Nylon 12, fabricación aditiva, impresión 3D, análisis dimensional, desviaciones macrogeométricas, desviaciones microgeométricas.





## Agradecimientos

En estas líneas me gustaría agradecer a todas esas personas que me han apoyado en la realización de este trabajo de fin de grado, en todos mis proyectos y en mi etapa como estudiante.

Me gustaría agradecer a mi familia y amigos, por ser un apoyo fundamental y darme todo el apoyo para seguir en los momentos difíciles, cuando las situaciones superaban a uno mismo.

A Sergio Martín Béjar y a Carolina Bermudo Gamboa, por estar disponible ante las dudas que me han ido surgiendo, por el compromiso que han mostrado.

Gracias por hacer que todo el trabajo haya sido más ameno.





## Índice de contenido

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Introducción.....   | 1  |
| 2.    | Objetivo .....  | 2  |
| 3.    | Marco teórico .....   | 3  |
| 3.1   | Fabricación aditiva .....   | 4  |
| 3.1.1 | Normativas sobre fabricación aditiva o AM (additive manufacturing)..... | 5  |
| 3.1.2 | Procesos de fabricación aditiva .....                                   | 8  |
| 3.1.3 | Ventajas e inconvenientes.....  | 10 |
| 3.1.4 | Aplicaciones de la fabricación aditiva.....                             | 12 |
| 3.2   | Fabricación por filamento fundido. ....                                 | 13 |
| 3.2.1 | Impresora 3D. ....  | 14 |
| 3.2.2 | Partes de la impresora 3D .....   | 15 |
| 3.2.3 | Parámetros de impresión. ....   | 18 |
| 3.2.4 | Materiales.....   | 20 |
| 3.3   | Metrología.....   | 21 |
| 3.3.1 | Ámbitos de la metrología .....  | 21 |
| 3.3.2 | Metrología dimensional.....   | 22 |
| 3.3.3 | Equipos de medición .....   | 23 |
| 3.3.4 | Desviaciones de forma .....   | 27 |
| 4.    | Estado del arte.....  | 30 |
| 5.    | Metodología .....   | 33 |
| 5.1   | Diseño .....  | 33 |
| 5.1.1 | Diseño de la geometría de las probetas .....                            | 34 |
| 5.1.2 | Diseño de la probeta con el Software de modelado.....                   | 35 |
| 5.1.3 | Impresión e identificación de las probetas .....                        | 37 |
| 5.1.4 | Software de laminado. Ideamaker. ....                                   | 38 |
| 5.2   | Fabricación.....  | 43 |
| 5.2.1 | Impresora.....  | 43 |
| 5.2.2 | Impresión de las probetas .....   | 43 |
| 5.3   | Control geométrico.....   | 47 |
| 5.3.1 | Desviaciones dimensionales.....   | 47 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.3.2 | Desviaciones macrogeométricas.....                   | 49  |
| 5.3.3 | Desviaciones microgeométricas.....                   | 55  |
| 5.4   | El análisis relacional gris (GRA) .....              | 57  |
| 6.    | Resultados obtenidos .....                           | 58  |
| 6.1   | Análisis dimensional de las probetas.....            | 58  |
| 6.1.1 | Altura .....   | 58  |
| 6.1.2 | Diámetro.....  | 61  |
| 6.1.3 | Espesor.....   | 64  |
| 6.2   | Análisis de las desviaciones macrogeométricas .....  | 66  |
| 6.2.1 | Cilindricidad .....                                  | 66  |
| 6.2.2 | Redondez .....                                       | 69  |
| 6.2.3 | Rectitud.....  | 72  |
| 6.2.4 | Planicidad.....                                      | 75  |
| 6.2.5 | Coaxialidad.....                                     | 78  |
| 6.2.6 | Concentricidad.....                                  | 81  |
| 6.2.7 | Desviación radial.....                               | 84  |
| 6.3   | Análisis de las desviaciones microgeométricas .....  | 87  |
| 6.3.1 | Rugosidad media aritmética .....                     | 87  |
| 6.3.2 | Altura media de la rugosidad.....                    | 90  |
| 6.4   | Análisis de los resultados de las desviaciones ..... | 92  |
| 6.5   | Resultados GRA.....                                  | 94  |
| 7.    | Conclusiones.....                                    | 98  |
| 8.    | Líneas futuras de investigación .....                | 100 |
| 9.    | Bibliografía.....                                    | 101 |
| 10.   | Anexo 1: Hoja de datos.....                          | 105 |
| 10.   | Anexo I: Hojas de datos                              |     |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Soportes flexibles.....                                       | 11 |
| Figura 2: Anisotropía de la impresión 3d.....                           | 12 |
| Figura 3: Impresión FFF .....   | 14 |
| Figura 4: Partes de la impresora 3D .....                               | 15 |
| Figura 5:Campo de aplicación de la metrología dimensional. ....         | 22 |
| Figura 6: Pie de rey digital. ....                                      | 25 |
| Figura 7: Micrómetro de interiores de 3 contactos. ....                 | 26 |
| Figura 8: Medidora de forma Rondcom .....                               | 27 |
| Figura 9: Redondez .....  | 28 |
| Figura 10: Rectitud.....  | 28 |
| Figura 11: Cilindricidad .....  | 28 |
| Figura 12: Concentricidad.....  | 29 |
| Figura 13: Coaxialidad.....   | 29 |
| Figura 14: Desviación Radial .....                                      | 29 |
| Figura 15: Planicidad.....  | 29 |
| Figura 16: Dimensiones probetas.....                                    | 30 |
| Figura 17: Estructura. ....   | 30 |
| Figura 18: Geometría de las distintas probetas. ....                    | 31 |
| Figura 19: Metodología de fabricación y evaluación de las probetas..... | 33 |
| Figura 20: Vista final de la probeta.....                               | 34 |
| Figura 21: Dimensiones de la probeta.....                               | 34 |
| Figura 22: Definición de la probeta I. ....                             | 35 |
| Figura 23: Definición de la probeta II. ....                            | 36 |
| Figura 24: Guardado en formato STL.....                                 | 36 |
| Figura 25: Clasificación de todas las probetas.....                     | 37 |
| Figura 26: Importar modelo stl.....                                     | 38 |
| Figura 27: Plantilla de laminado. ....                                  | 39 |
| Figura 28: Ajustes del relleno. ....                                    | 39 |
| Figura 29: Ajuste de enfriamiento.....                                  | 40 |
| Figura 30: Ajuste de la temperatura.....                                | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 31: Ajuste de la velocidad.....                                     | 41 |
| Figura 32: Ajuste de capa. ....  | 42 |
| Figura 33: Previsualización del laminado. ....                             | 42 |
| Figura 34: Raiser3D PRO2 .....   | 43 |
| Figura 35: Preparación limpieza de la cama .....                           | 44 |
| Figura 36: Limpieza de la cama.....  | 45 |
| Figura 37: Menú control de impresora.....                                  | 45 |
| Figura 38: Panel de estado de la impresora .....                           | 45 |
| Figura 39: Pegamento de impresión .....                                    | 46 |
| Figura 40: Probetas de velocidad: a) 40 mm/s b) 60 mm/s .....              | 46 |
| Figura 41: a) Pie de rey; b) Micrómetro de interiores.....                 | 47 |
| Figura 42: Esquema de alturas a medir .....                                | 48 |
| Figura 43: Disposición de medidas de las alturas.....                      | 48 |
| Figura 44: Disposición de medidas del espesor.....                         | 48 |
| Figura 45: Desviaciones medidas.....                                       | 50 |
| Figura 46: Medidora de forma.....  | 51 |
| Figura 47: Puesta de la probeta en el cabezal.....                         | 52 |
| Figura 48: Interfaz de la medidora de forma.....                           | 52 |
| Figura 49: Mitutoyo Surftest SJ-210 .....                                  | 55 |
| Figura 50: Visualización de las mediciones.....                            | 55 |
| Figura 51: Soporte del rugosímetro.....                                    | 56 |
| Figura 52: Diagrama de flujo de la rugosidad.....                          | 56 |
| Figura 53: Alturas medias. Gráfica.....                                    | 60 |
| Figura 54: Diámetros exteriores medios. Gráfica .....                      | 62 |
| Figura 55: Diámetros interiores medios. Gráfica .....                      | 62 |
| Figura 56: Espesor Superior. Gráfica .....                                 | 65 |
| Figura 57: Espesor Inferior. Gráfica .....                                 | 65 |
| Figura 58: Cilindricidad interior de la probeta Nylon_DG_E03_T255_V40..... | 67 |
| Figura 59: Cilindricidad exterior. Gráfica.....                            | 67 |
| Figura 60: Cilindricidad Interior. Gráfica .....                           | 68 |
| Figura 61: Redondez exterior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60.....      | 70 |
| Figura 62: Redondez exterior. Gráfica.....                                 | 70 |
| Figura 63: Redondez Interior. Gráfica .....                                | 71 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 64: Rectitud exterior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60.....          | 73 |
| Figura 65: Rectitud exterior. Gráfica .....                                    | 73 |
| Figura 66: Rectitud interior. Gráfica .....                                    | 74 |
| Figura 67: Planicidad superior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60.....        | 76 |
| Figura 68: Planicidad superior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60.....        | 76 |
| Figura 69: Planicidad superior. Gráfica.....                                   | 76 |
| Figura 70: Planicidad inferior. Gráfica .....                                  | 77 |
| Figura 71: Coaxialidad exterior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60 .....      | 79 |
| Figura 72:Coaxialidad exterior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60 .....       | 79 |
| Figura 73: Coaxialidad exterior. Gráfica .....                                 | 79 |
| Figura 74: Coaxialidad interior. Gráfica .....                                 | 80 |
| Figura 75: Concentricidad exterior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60.....    | 82 |
| Figura 76: Concentricidad exterior. Gráfica .....                              | 82 |
| Figura 77: Concentricidad interior. Gráfica .....                              | 83 |
| Figura 78: Desviación radial exterior de la probeta Nylon_DG_E02_T255_V60..... | 85 |
| Figura 79: Desviación radial exterior. Gráfica.....                            | 85 |
| Figura 80: Desviación radial interior. Gráfica. ....                           | 86 |
| Figura 81: Rugosidad media aritmética exterior. Gráfica.....                   | 88 |
| Figura 82: Rugosidad media aritmética interior. Gráfica .....                  | 88 |
| Figura 83: Rugosidad media exterior. Gráfica .....                             | 91 |
| Figura 84: Rugosidad media interior. Gráfica .....                             | 91 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Procesos de fabricación según Kalpakjian y Schmid.....    | 4  |
| Tabla 2: Comparación de procesos de fabricación.....               | 4  |
| Tabla 3: Normas ISO publicadas sobre FA. ....                      | 6  |
| Tabla 4: Normas UNE sobre la FA.....                               | 7  |
| Tabla 5: Tipos de FA.....  | 8  |
| Tabla 6: Clasificación de los procesos de fabricación aditiva..... | 9  |
| Tabla 7: Materiales para FDM.....                                  | 20 |
| Tabla 8: Parámetros de impresión probetas verticales.....          | 44 |
| Tabla 9: Alturas medias.....                                       | 59 |
| Tabla 10: Diámetros medios.....                                    | 61 |
| Tabla 11: Espesores medios.....                                    | 64 |
| Tabla 12: Cilindricidad media.....                                 | 66 |
| Tabla 13: Redondez media.....                                      | 69 |
| Tabla 14: Rectitud media.....                                      | 72 |
| Tabla 15: Planicidad media.....                                    | 75 |
| Tabla 16: Coaxialidad media.....                                   | 78 |
| Tabla 17: Concentricidad media.....                                | 81 |
| Tabla 18: Desviación radial. Gráfica.....                          | 84 |
| Tabla 19: Rugosidad media aritmética.....                          | 87 |
| Tabla 20: Altura media de la rugosidad.....                        | 90 |
| Tabla 21: Análisis de la probeta con menor desviación I.....       | 92 |
| Tabla 22: Análisis de la probeta con menor desviación II.....      | 92 |
| Tabla 23: Análisis de la probeta con menor desviación III.....     | 93 |
| Tabla 24: Análisis de la probeta con menor desviación IV.....      | 93 |
| Tabla 25: Análisis de la probeta con menor desviación V.....       | 93 |
| Tabla 27: Análisis GRA I.....                                      | 94 |
| Tabla 28: Análisis GRA II.....                                     | 95 |
| Tabla 29: Análisis GRA III.....                                    | 96 |
| Tabla 30: Análisis de GRA IV.....                                  | 97 |





## 1. Introducción

La fabricación aditiva, es un nuevo concepto de producción industrial a través del cual el material (Polímeros, metal, etc.) es depositado capa a capa de manera controlada. Mediante esta técnica, que se conoce actualmente como impresión 3D, este método es muy útil para la producción de formas geométricas personalizadas en función de las necesidades de cada sector, así como para el prototipado y vistas previas a un proyecto. Ya que una de sus principales ventajas es el aprovechamiento completo del material, sin necesidad de recurrir a un mecanizado, como pueden ser los de arranque de material. Por lo que no se generan residuos de producción, por otro lado, al utilizar únicamente el material de fabricación de la pieza, los componentes tienen un menor coste y se produce de forma más respetuosa con el medio ambiente [1].

En contraste con las técnicas de fabricación tradicionales, la fabricación aditiva reduce los procesos intermedios como la producción de utillajes, por lo que permite una obtención de piezas a mayor velocidad.

El origen del concepto de fabricación aditiva surge en la década de los 80. En aquella época al Dr. Kodama, del instituto Municipal de Investigación Industrial de Nagoya, quisieron desarrollar una técnica de prototipado rápido haciendo uso de la fabricación de un objeto capa a capa. Años más tarde, en 1984, un equipo de investigación francés presentó la primera patente [2]. Sin embargo, esta primera patente fue abandonada años más tarde.

Desde entonces, la fabricación aditiva ha ido perfeccionándose y teniendo cada vez más protagonismo. A la técnica de estereolitografía se fue sumando otras más avanzadas como la Sinterización Selectiva por Láser (SLS), FDM (Fused Deposition Modeling), Inyección de aglutinantes (Binder jetting), sinterización de metal por láser directo, material jetting, fusión por haz de electrones o impresión DLP (Digital Light Processing) [3].

## 2. Objetivo

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo académico el análisis de la influencia de los distintos parámetros de fabricación en las desviaciones geométricas de probetas obtenidas mediante procesos de fabricación aditiva por extrusión de material.

Además, se considerarán un conjunto de objetivos complementarios para la consecución del objetivo principal:

- Realizar un estudio del arte donde se contrasta los parámetros de fabricación y los resultados obtenidos en las distintas investigaciones.
- Establecer una metodología experimental a través de la cual, investigar tomando los distintos parámetros.
- Analizar el control dimensional, a través de los instrumentos de medida necesarios, realizar un registro dimensional de las probetas con las distintas combinaciones de parámetros.
- Analizar las desviaciones geométricas, través de los distintos instrumentos de medida, registrar todas las desviaciones macrogeométricas y microgeométricas
- Medir la rugosidad superficial y realizar su registro para su posterior estudio.
- Aplicar la técnica de optimización GRA (Análisis Relacional Gris), para hallar los parámetros de fabricación idóneos

### 3. Marco teórico

Los procesos de fabricación se denomina el conjunto de operaciones básicas unitarias, que se lleva a cabo sobre una materia prima o producto semielaborado con el objetivo de que esta adquiera una forma y tamaño deseados para la fabricación [4].

Se pueden distinguir tres tipos:

• **Fabricación aditiva.**

- Fotopolimerización en tanque o cuba.
- Proyección de material.
- Proyección de aglutinante.
- Fusión de lecho de polvo.
- Extrusión de Material.
- Deposición de energía focalizada.
- Laminado de hojas.

• **Fabricación sustractiva.**

- Mecanizado CNC (Taladrado, torneado, fresado, perforación o escariado).
- Mecanizado por electroerosión (EDM).
- Corte por láser.
- Corte por chorro de agua.

• **Fabricación sin arranque de material o conformado.**

- Forjado
- Laminado
- Estirado

*Tabla 1: Procesos de fabricación según Kalpakjian y Schmid [5]*

| <b>Categorías de Proceso</b> | <b>Procesos</b>  |
|------------------------------|--|
| Fundición                    | Molde desechable, molde permanente   |
| Formado y moldeado           | Laminado, forjado, extrusión, estirado o trefilado, formado de lámina, metalurgia de polvos, moldeo  |
| Maquinado                    | Torneado, mandrinado, taladrado, fresado, cepillado, escariado y rectificado, maquinado ultrasónico  |
| Unión                        | Soldado, soldadura blanda, soldadura fuerte, unión por difusión, unión por adhesivos, unión mecánica |
| Acabado                      | Asentado, lapidado, pulido satinado, rebabeado, tratamiento superficial, recubrimiento, chapeado     |
| Nano-fabricación             | Técnicas de ataque, haces de electrones y rayos láser  |

*Tabla 2: Comparación de procesos de fabricación [5]*

| <b>Categorías de proceso UNE-EN ISO 17296-2</b>              | <b>Kalpakjian y Schmid</b>                  |
|--|---|
| VAT Photopolymerisation: Fotopolimerización en tanque o cuba | Estereolitografía                           |
| Material Jetting: Proyección de material                     | Impresión tridimensional                    |
| Binder Jetting: Proyección de aglutinante                    | Manufactura de partículas balísticas        |
| Powder Bed Fusion: Fusión de lecho de polvo                  | Sinterización laser selectiva               |
| Material Extrusion: Extrusión de material                    | Modelado por deposición de material fundido |
| Directed Energy Deposition: Deposición de energía focalizada | --  |
| Sheet Lamination: Laminación de hojas                        | Manufactura de objetos laminados            |

### 3.1 Fabricación aditiva

La fabricación aditiva, o impresión 3D, es un nuevo concepto de fabricación en el que los objetos se fabrican añadiendo material, aplicándolo capa por capa, conectando una capa con la capa anterior de forma secuencial hasta su finalización. A diferencia de los procesos sustractivos, que eliminan material de componentes más grandes. Las técnicas de fabricación aditiva generan piezas a partir de modelos CAD.

Esto es una ventaja porque la preparación de un modelo para la impresión 3D mediante el software de preparación de impresión o corte de capas es un proceso en gran parte automático que es más fácil y rápido de configurar que el uso de herramientas CNC.

### 3.1.1 Normativas sobre fabricación aditiva o AM (additive manufacturing)

Las normativas sobre fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, son regulaciones y estándares establecidos para garantizar la seguridad, la calidad y la interoperabilidad de los productos fabricados utilizando esta tecnología. Estas normativas tienen como objetivo principal promover la adopción segura y efectiva de la fabricación aditiva en diversos sectores industriales.

A continuación, se presentan algunas de las normativas más relevantes en el ámbito de la fabricación aditiva:

- **ISO/ASTM 52900** [6].

Esta normativa, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), establece los términos y las definiciones fundamentales utilizadas en la fabricación aditiva. Además, proporciona una guía general sobre los procesos, las tecnologías y las aplicaciones relacionadas con la impresión 3D.

- **ASTM F2792** [7].

Esta normativa, desarrollada por la ASTM, se centra en la evaluación de la calidad y la capacidad de los sistemas de fabricación aditiva. Define los requisitos y las pruebas necesarias para garantizar la repetibilidad, la precisión y la confiabilidad de los equipos y los procesos utilizados en la impresión 3D.

- **EN ISO 17296-1** [8].

Esta norma europea, desarrollada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y adoptada por la ISO, se enfoca en los requisitos de seguridad y salud para la fabricación aditiva de polímeros y metales. Establece directrices sobre la gestión de riesgos, el diseño seguro de componentes, la selección de materiales y la manipulación segura de los residuos generados durante el proceso de impresión 3D.

En este ámbito, se encuentran más normas de carácter internacional como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3: Normas ISO publicadas sobre FA.

| Identificación                 | Nombre  | Estado                                     | ICS'            |
|--------------------------------|---|--|-----------------|
| ISO 17296-2:2015<br>[9]        | Additive manufacturing<br>– Part 2: Overview of<br>process categories and<br>feedstock          | International<br>Standard<br>published     | 25.030          |
| ISO 17296-3:2014<br>[10]       | Additive manufacturing<br>– Part 3: Main<br>characteristic and<br>corresponding test<br>methods | International<br>Standard<br>published     | 25.030          |
| ISO 17296-4:2014<br>[11]       | Additive manufacturing<br>– Part 4: Overview of<br>data processing                              | International<br>Standard<br>published     | 25.030          |
| ISO/ASTM<br>52900:2015<br>[6]  | Additive manufacturing<br>– Terminology   | International<br>Standard to be<br>revised | 01.040.2525.030 |
| ISO/ASTM<br>52901:201 [12]     | Additive manufacturing<br>– Requirement of<br>purchased AM part                                 | International<br>Standard<br>published     | 25.030          |
| ISO/ASTM<br>52915:2016 [13]    | Specification for<br>additive manufacturing<br>file format                                      | International<br>Standard to be<br>revised | 35.240.5025.030 |
| ISO/ASTM<br>52921:2013<br>[14] | Standard terminology<br>for additive<br>manufacturing   | Close of review                            | 25.030          |

A parte de estas normas, se tienen otras de carácter nacional las cuales se detallan en la siguiente tabla (Tabla 4):

Normas UNE:

*Tabla 4: Normas UNE sobre la FA*

| Norma                           |                     |   | Fecha      |
|---------------------------------|---------------------|---|------------|
| UNE 116005:2012<br>[15]         |                     | Fabricación por adición de capas en materiales plásticos.<br>Fabricación aditiva. Preparación de probetas             | 18/04/2012 |
| UNE-EN ISO/ASTM 52921:2017 [16] | ISO/ASTM 52921:2013 | Terminología normalizada para la fabricación aditiva. Sistemas de coordenadas y métodos de ensayo.                    | 31/05/2017 |
| UNE-EN ISO 17296-2:2017 [17]    | ISO 17296-2:2015    | Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 2: visión general de categorías de procesos y de materias primas.    | 31/05/2017 |
| UNE-EN ISO 17296-3:2017 [18]    | ISO 17296-3:2014    | Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes. | 31/05/2017 |
| UNE-EN ISO 17296-4:2017 [19]    | ISO 17296-4:2014    | Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 4: Visión general de intercambio de datos.                           | 31/05/2017 |
| UNE-EN ISO/ASTM 52915:2017 [20] | ISO/ASTM 52915:2016 | Especificación para el formato de archivo para la fabricación aditiva   | 26/07/2017 |
| UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017[21]  | ISO/ASTM 52900:2015 | Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología.  | 08/11/2017 |

### 3.1.2 Procesos de fabricación aditiva

Existen diferentes tipos de fabricación aditiva según la forma y proceso en el cual se va añadiendo el material. en la siguiente tabla se puede ver los tipos de FA que se encuentran en la actualidad:

Tabla 5: Tipos de FA [17]

| Nombre (Español/Ingles)   | Figura   | Materia prima   |
|---|--|---|
| Fotopolimerización en tanque o cuba<br><i>VAT Photopolymerisation</i> | <p>a) Fotopolimerización por láser<br/>b) Fotopolimerización por haz de luz de longitud controlada</p>       | Líquido o pasta: resina fotorreactiva con o sin relleno   |
| Proyección de material<br><i>Material Jetting</i>                     |  | Fotopolímero líquido o cera fundida, con o sin relleno  |
| Proyección de aglutinante<br><i>Binder Jetting</i>                    |  | Polvos, mezcla de polvos o materiales en forma de partículas, y un agente líquido adhesivo/aglutinante        |
| Fusión de lecho de polvo<br><i>Powder Bed Fusion</i>                  | <p>a) Fusión de lecho de polvo mediante láser<br/>b) Fusión de lecho de polvo mediante haz de electrones</p> | Diversos polvos: polímeros termoplásticos, metales puros o aleaciones, cerámicas estructurales o industriales |
| Extrusión de material<br><i>Material Extrusion</i>                    |  | Filamento o pasta, generalmente termoplástico y cerámicas estructurales                                       |
| Deposición de energía focalizada<br><i>Directed Energy Deposition</i> |  | Polvo o filamento, generalmente metálico. Partículas cerámicas añadidas en algunas aplicaciones               |
| Laminado de hojas<br><i>Sheet Lamination</i>                          |  | Material en láminas (papel, metal, polímeros, etc)  |

Además, dependiendo del mecanismo de unión podemos encontrar otra clasificación de los procesos de FA. Como se puede ver en la tabla 6.

*Tabla 6: Clasificación de los procesos de fabricación aditiva.*

| <b>Mecanismo de unión</b>   | <b>Fuente de activación</b>   | <b>Procesado secundario</b>  |
|---|---|--|
| Reacción química  | Habitualmente radiación UV proveniente de láseres o lámparas.                         | Limpieza, eliminación del material soporte, post-curado mediante una mayor exposición UV                       |
| Reacción química o adhesión por solidificación del material fundido | Fuente de radiación luminosa para unión mediante reacción química                     | Limpieza, eliminación del material soporte, post-curado mediante una mayor exposición a radiación luminosa.    |
| Reacción química y/o térmica  | Reacción química (dependiendo del agente aglutinante)                                 | Eliminación del polvo suelto. Impregnación o infiltración de material líquido.                                 |
| Reacción química  | Energía térmica (láser, haz de electrones y/o lámparas de infrarrojos)                | Eliminación del polvo suelto, de material soporte si procede, operaciones para mejorar el acabado superficial. |
| Reacción química o térmica  | Calor, ultrasonidos o reacción química  | Eliminación de estructura de soporte   |
| Reacción química: fusión y solidificación                           | Láser, luz de electrones o arco de plasma   | Mejora de acabado superficial y de propiedades del material  |
| Reacción térmica o química, ultrasonidos                            | Calentamiento localizado a gran escala, reacción química y transductores ultrasónicos | Eliminación de residuos. Opcional: procesos de mejora de acabado superficial.                                  |

### 3.1.3 Ventajas e inconvenientes.

La fabricación aditiva tiene las siguientes ventajas [4]:

- **Reducción del coste.**

Uno de los aspectos que han sido más importantes es la reducción de costes logísticos.

Los costes de los equipos de FA de calidad industrial son asequibles, así como los materiales que se usan de forma habitual.

- **Ahorro en residuos de material y energía.**

La definición básica de la impresora en 3D es añadir material metódicamente para crear la pieza. Se comienza con la colocación de una capa que hace de base de material y posteriormente se añaden el resto de las capas hasta quedar la pieza completada, por lo tanto, los residuos generales son mínimos.

La maquinaria que lleva a cabo la fabricación 3D consume menos energía. Los productos fabricados tienen menor masa por lo que su producción es más sencilla y barata desde el punto de vista energético. Las impresoras 3D no consumen la energía que ciertas máquinas pesadas de la industria [22].

- **Posibilidad de consolidar un conjunto en una sola pieza.**

Las piezas tradicionales y complejas requieren más pasos de fabricación, más material y mayores costes de mano de obra. El tiempo para crearlas y ensamblarlas es más largo y aumenta el inventario. Con la fabricación aditiva, es posible imprimir el ensamblaje como una sola pieza, ahorrando dinero y tiempo de principio a fin [22].

- **Prototipado más barato.**

La creación rápida de prototipos facilita el ahorro de tiempo y dinero gracias a los aditivos. El coste de una configuración de fresado CNC es considerable, y su proceso sustractivo se acumula en los costes de material. En cambio, el gasto de un prototipado por fabricación aditiva es comparablemente más barato.

En cambio, según la cantidad de lotes sería interesante ver las distintas formas de producción ya que estas varían según sea un lote corto o largo.

Otro aspecto a tener en cuenta es la complejidad del producto que se desea fabricar ya que para objetos sencillos es más económico realizarlos por otros mecanismos que por fabricación aditiva [22].

- **Utilización de un inventario virtual.**

La FA permite tener un inventario virtual. Posibilidad de mantener la información de todas las piezas en la nube durante todo el ciclo de vida de un producto y

luego se imprime bajo demanda. Esto elimina la necesidad de espacio en el almacén, el personal y las pilas de piezas obsoletas [22].

• **Sostenibilidad.**

La implantación de la FA promueve el desarrollo sostenible. El consumo energético es menor que los demás procesos y los costes derivados del transporte también se reducen ya que la materia prima ocupa menos espacio. Además, algunas tecnologías específicas de la impresión 3D permiten el reciclaje y la reutilización de materiales primarios. Por lo que se genera el mínimo de residuos y se aprovecha al máximo la materia prima [22].

• **Facilita métodos nuevos de diseño basados en la inteligencia artificial.**

Los ingenieros de diseño industrial utilizan el diseño generativo impulsado por la inteligencia artificial para crear nuevos productos. Simplemente basta con introducir las restricciones

De esta forma, se reduce el tiempo que los diseñadores dedican a iterar sobre el diseño perfecto y más a la ingeniería. Debido a que la FA puede producir fácilmente formas orgánicas, la impresión en 3D y el diseño generativo son una combinación ganadora [22].

• **Soporta de forma única las estructuras reticulares.**

Los entramados son ligeros y fuertes y difíciles de crear con los métodos de fabricación tradicionales.

La fabricación aditiva tiene los siguientes inconvenientes:

• **Rebanado.**

Uno de los problemas más crítico de la FA, ya que cada capa va superpuesta a la anterior hasta completar el objeto. El problema reside en la complejidad del producto ya que en algunas ocasiones se pueden encontrar con capas en las que, debido a su geometría, estas no pueden adherirse a las anteriores. Para ello se recurre a una serie de soportes los cuales son removidos al final del proceso y se realizan para apoyar en ellos las demás capas.



Figura 1: Soportes flexibles [4]

En general se considera que en la realización de ángulos mayores de  $45^{\circ}$  será necesario el uso de soportes. Las estructuras del soporte son elementos que se imprimen junto al modelo pero que no forman parte del diseño original y que sirven para aguantar las partes salientes del modelo [22].

- **Anisotropía.**

Es un fenómeno que viene de la mano a la fabricación 3D y se deriva del hecho que el producto fabricado no tiene las mismas propiedades en todas sus dimensiones, y varían en función de cómo se ha fabricado [22].

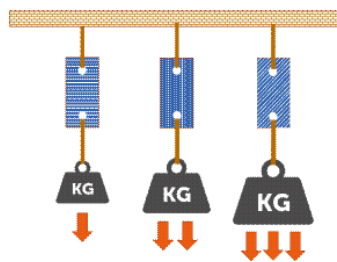


Figura 2: Anisotropía de la impresión 3d [4]

### 3.1.4 Aplicaciones de la fabricación aditiva.

La fabricación aditiva se ha extendido en diversos sectores debido a su innovación y ventajas en los distintos aspectos, anteriormente expuestos, las aplicaciones de la fabricación aditiva son:

- **Fabricación aditiva en el sector sanitario: dental y médico.**

Posibilidad de crear implantes de forma personalizada, teniendo en cuenta las necesidades de cada paciente. Diseño personalizado de prótesis y prototipo de estas a bajo coste [23].

- **Fabricación aditiva en la arquitectura.**

FA permite la generación de modelos estructurales y la verificación de Brindar su calidad a los clientes de manera fácil y rápida, permitiendo cambios Diseño más rápido que generando manualmente geometrías complejas Es casi imposible. Por otro lado, incluso se ha utilizado para crear edificios completos de hormigón [23].

- **Fabricación aditiva en el arte.**

Se pueden lograr geometrías muy complejas con un alto grado de detalle utilizando procesos de fabricación aditiva. Pero el uso de la impresión 3D en el

arte no se limita a la reproducción de obras, sino que los propios objetos se están enfocando cada vez más. La tecnología está siendo utilizada por los artistas como una herramienta a través de la cual se pueden implementar ideas con pocos límites [23].

#### · **Fabricación aditiva en el diseño.**

La fabricación aditiva da la libertad de crear ensamblajes de forma libre y elementos complejos directamente desde CAD, sin necesidad de herramientas costosas. Fabricar estos diseños utilizando métodos tradicionales es muy poco práctico, si no imposible. Lo que ha supuesto un gran avance en la realización de prototipados [23].

#### · **Fabricación aditiva en el sector aeroespacial.**

En este sector está permitiendo reducir la contaminación y el impacto ecológico de las aerolíneas. Debido a que los nuevos componentes que se crean con manufactura aditiva tienen beneficios frente a los antiguos componentes metálicos [23].

- Reducción de almacenaje.

- Nuevos diseños

- Sostenibilidad industrial

#### · **Fabricación aditiva en robótica.**

En este sector cobra importancia a la hora de realizar piezas a medida y en las que se juega un papel importante los diferentes diseños.

También a la hora de realizar un prototipado de los mismos ya contamos con un amplio abanico de materiales [23].

### 3.2 Fabricación por filamento fundido.

La extrusión de materiales (EM) es el proceso de fabricación aditiva más conocido

Formación de filamentos fundidos (FFF), también conocida como modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés) "Fused Deposition Modeling"), el término pertenece a la empresa cuya tecnología fue patentada como solución para el prototipado rápido [3].

Otra técnica EM es la extrusión por inyección, que trabaja con materiales viscosos. Funciona mediante la entrega de una sustancia viscosa. Extruir, luego en un estado sólido.

La fabricación de filamentos fundidos (FFF), también conocida por el término de marca registrada modelado por deposición fundida (FDM) y, a veces, fabricación de forma libre de filamentos, es un proceso de impresión 3D que utiliza un filamento continuo de material termoplástico. (Figura 3)

El filamento se alimenta desde un carrete grande a través de un cabezal de extrusión de impresora calentado y en movimiento y se aplica a la pieza de trabajo en crecimiento. El cabezal de impresión se mueve bajo el control de la computadora para determinar la forma de la impresión.

La cabeza generalmente se mueve en dos dimensiones para colocar un nivel o capa a la vez; el trabajo o el cabezal de impresión se mueve ligeramente verticalmente para comenzar una nueva capa. La velocidad del cabezal del extrusor también se puede controlar para detener e iniciar la deposición y crear planos discontinuos sin hilos ni goteos entre las piezas.

La impresión de filamento fundido es ahora el proceso más popular (por número de máquinas) para la impresión 3D de aficionados. Otros métodos, como la fotopolimerización y la sinterización de polvo, pueden dar mejores resultados, pero son mucho más costosos.

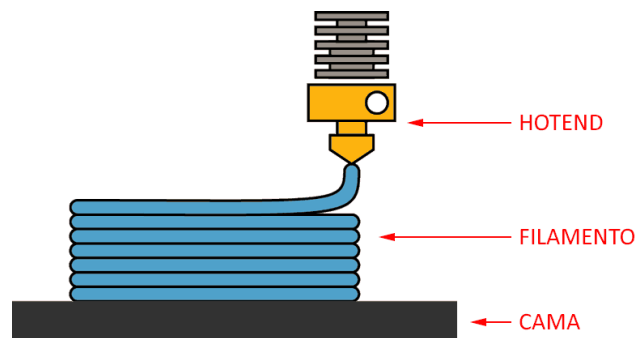


Figura 3: Impresión FFF

### 3.2.1 Impresora 3D.

La estructura cuenta con la práctica totalidad de los elementos que forman la base y el armazón sobre el que se apoya el resto. Al contrario de lo que pueda parecer en la superficie, esta es una parte muy importante, ya que la precisión de la impresión depende en gran medida de su estabilidad y rigidez.

Aunque las estructuras no siempre favorecen al fabricante, afortunadamente, gracias al enorme desarrollo de las impresoras 3D en los últimos años, tenemos estructuras muy resistentes, como las estructuras de aluminio más populares en este momento. Un material liviano que reduce el peso del eje X que soporta la extrusora y

su movimiento y es muy duradero prácticamente sin juego, lo que elimina la vibración del marco y ayuda a la estabilidad y la alineación.

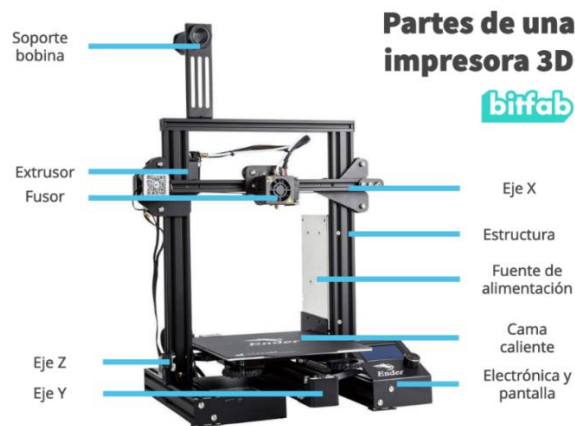


Figura 4: Partes de la impresora 3D

### 3.2.2 Partes de la impresora 3D

El sistema de extrusión es una de las partes más icónicas de nuestras impresoras 3D porque es la parte donde ocurre la magia, por así decirlo. Esta parte es responsable de mover el cable delgado a medida que sale de la bobina, calentarlo y fundirlo, finalmente extruirlo y controlarlo para crear las capas que formarán parte 3D. Este mecanismo líder de conversión de filamento consta de dos cuerpos principales, la extrusora y el fusor. En la impresora 3D tenemos los siguientes componentes:

- **Extrusor.**

La función de la extrusora es mover el filamento a través de la matriz y sus componentes principales son:

- **Un motor.**

Aplica fuerza para empujar el filamento fuera de la bobina.

- **Disipador de calor.**

Se conecta al motor de la extrusora.

- **Dispositivo de tracción.**

Transmite el movimiento del motor a través del filamento.

- **Rodamiento de presión.**

Se aplica presión al filamento cuando pasa por la rueda dentada para garantizar la continuidad del movimiento.

- **Ventilador.**

Enfría el material una vez extruido.

- **Fusor.**

El fusor calienta el plástico a más de 180°C para fundir y lo alimenta con una salida, mientras pasa el plástico ya fundido por unas guías marcadas por la impresora 3D para colocar la pieza sobre la cama o fondo. Las siguientes secciones se utilizan para este propósito:

- **Hotend.**

Calienta el hilo de filamento a la temperatura indicada hasta derretirlo.

- **Sensor de temperatura.**

Controla la temperatura de extrusión.

- **Boquilla.**

Es el orificio de salida del filamento y el que marcará el diámetro de la extrusión.

- **Ejes.**

Las impresoras cartesianas son la mayoría de las impresoras 3D domésticas o no profesionales y tienen tres ejes, X, Y y Z. Cada eje proporciona el movimiento adecuado al carro para guiar el filamento a medida que el plástico pasa por el troquel. El eje X mueve el extrusor de lado a lado. El eje Z mueve el extrusor verticalmente, es decir, de arriba hacia abajo y viceversa. Finalmente, el eje Y mueve la plataforma de construcción de adelante hacia atrás y viceversa.

- **Varillas y rodamientos.**

Las varillas lisas son los elementos que controlan las partes móviles. Suelen ser tubos cromados o de acero inoxidable y son los segundos tubos más recomendados por su calidad. Las piezas que se deslizan sobre varillas lisas están montadas sobre cojinetes de bolas.

- **Correas.**

Las correas son necesarias para trasladar el movimiento que realizan los motores a los elementos móviles de la impresora 3D. Cuanto mejor sea la calidad, más estable será el movimiento.

- **Husillos.**

Los husillos sirven de guía al eje Z para desplazarse verticalmente.

• **Fuente de alimentación.**

La fuente de corriente se encuentra dentro de la estructura, y su función es convertir la tensión de corriente alterna, es decir, la de red, en corriente continua. De esta forma, proporciona energía para que nuestra impresora 3D funcione.

• **Placa base.**

En cuanto a la placa base, es un elemento imprescindible porque también conecta al resto de la impresora 3D y los controla mediante órdenes de trabajo y comandos. Por otro lado, tiene otros componentes clave:

• **Procesador.**

Interpreta las instrucciones, procesa los datos y realiza los cálculos necesarios para imprimir desde la entrada del archivo STL.

• **El controlador.**

Cuidan el motor controlando la corriente con mosfets que regulan la salida de voltaje.

• **Conexión USB y lector de tarjetas USB.**

Son la entrada que ponemos en el archivo para ser impreso en la computadora.

• **Cama caliente.**

No todas las impresoras tienen una cama caliente, pero si no, el PLA sería el único material en el que podríamos imprimir, ya que otros materiales pueden deformarse debido a las diferencias repentinas de temperatura entre el extremo caliente y la cama. Además, es un elemento muy recomendable que contribuye a la adherencia de la pieza al soporte.

• **Panel informativo.**

Es el panel de control donde se puede interactuar con la impresora 3D y emitir órdenes de trabajo a la misma. Los comandos pueden incluso ejecutarse directamente desde aquí sin un intermediario informático para esta comunicación.

• **Sensor inductivo.**

Cada vez más impresoras 3D están equipadas con sensores inductivos porque la cama necesita estar perfectamente calibrada para imprimir sin problemas, pero hacerlo manualmente es una tarea muy tediosa.

De esta forma, utilizando sensores inductivos, la máquina automáticamente tomará medidas para compensar las irregularidades en la cama a medida que imprime a través del movimiento del eje Z.

### 3.2.3 Parámetros de impresión.

En la fabricación FDM, se tienen distintos parámetros los cuales se deben ajustar antes de iniciar el proceso de fabricación.

- **Altura de capa.**

La altura que van a tener las capas de nuestra pieza. Como norma general cuanto mayor sea la altura de capa, menos calidad tendrá nuestra pieza, aunque la impresión será más rápida, por el contrario, con alturas de capa menores, obtendremos piezas con mejor calidad, pero aumentaran los tiempos de impresión. También se ve afectada la unión entre las capas y la unión del filamento en cada una de ellas, lo cual influirá en las propiedades mecánicas del objeto. Esta altura también se puede especificar sólo para la primera capa, es decir, tener una primera capa con altura distinta a las demás [24].

- **Densidad de relleno.**

Porcentaje de relleno de la pieza imprimida. Se expresa en formato decimal, 0.1 para un 10% de relleno 0.9 para un 90%. Es posible configurar el relleno al 0% (0), para realizar piezas huecas o modelos vacíos y por supuesto también al 100% (1) para obtener piezas totalmente macizas. Cuanto mayor sea el porcentaje de relleno que configuremos, más material consumiremos para realizar la pieza, y por supuesto, el tiempo de impresión será mayor. Por otro lado, obtendremos una pieza más robusta con mayor fuerza de unión entre capas [24].

- **Patrón de relleno.**

Tipo de relleno que ofrece el software (para todas las capas excepto superior e inferior), podemos elegir rellanos, rectilíneos, en panel de abeja, concéntrico, etc. Con el fin de poder adaptar mejor el relleno a la forma de nuestra pieza. Se puede configurar el tipo de relleno también para las capas superior e inferior [24].

- **Ancho de extrusión.**

Aunque la boquilla de nuestra impresora sea de 0,4 mm no quiere decir que el hilo de filamento que sale sea de 0,4 mm, de hecho, no lo es. Siempre es un poco mayor debido a la acumulación de energía del hilo al ser extruido. Esto es lo que podemos definir en este parámetro [24].

• **Temperatura del extrusor.**

Define la temperatura del extrusor, esto es función de cada material, no solo de que sea ABS, PLA o Nylon, sino también del fabricante, este valor se debe ir ajustando mediante pruebas hasta obtener el mejor acabado y adherencia. Se pueden tomar como referencia los valores de temperatura que indica el fabricante del plástico, pero aun así en muchas ocasiones será necesario ajustarlos para obtener los mejores resultados [24].

• **Temperatura de la cama.**

Temperatura de la plataforma. El mismo fabricante suele indicar los valores recomendados, pero normalmente hay que determinar el valor mediante pruebas para conseguir una adherencia óptima [24].

• **Velocidad de impresión.**

Velocidad a la que el filamento es empujado por el motor para que salga por la boquilla.

• **Avance.**

Velocidad a la que se mueve el cabezal de impresión cuando no se está imprimiendo. Habrá una para los ejes X e Y, y otra para el eje Z [24].

### 3.2.4 Materiales

En la siguiente tabla se describen los tipos de polímeros de FDM, junto con sus aplicaciones y características.

*Tabla 7: Materiales para FDM [25]*

| Material   | Características  | Aplicaciones   |
|--|--|--|
| ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Tenaz y duradero</li> <li>· Resistente a impactos y al calor</li> <li>· Necesita una plataforma caliente para imprimirse</li> <li>· Necesita ventilación</li> </ul>   | Prototipos funcionales   |
| PLA (Ácido poliláctico)                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Los materiales de modelado por deposición fundida más fáciles de imprimir</li> <li>· Rígidos, fuertes pero frágiles</li> <li>· Menos resistentes al calor y a productos químicos</li> <li>· Biodegradables</li> <li>· Inodoros</li> </ul> | Modelos conceptuales<br>Prototipos estéticos                               |
| PETG (Tereftalato de polietileno glicolizado)          | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Compatible con temperaturas de impresión más bajas para una producción más rápida</li> <li>· Resistentes a la humedad y a los productos químicos</li> <li>· Alta transparencia</li> <li>· Puede ser apto para la alimentación</li> </ul>  | Aplicaciones impermeables<br>componentes de fijación<br>mediante presilla. |
| Nylon  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Resistente, duradero y ligero</li> <li>· Duro y parcialmente flexible</li> <li>· Resistente al calor y a los impactos</li> <li>· Muy difícil de imprimir con FDM</li> </ul>   | Prototipos funcionales<br>Piezas resistentes al desgaste                   |
| TPU (Poliuretano termoplástico)                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Flexible y estirable</li> <li>· Resistente a impactos</li> <li>· Excelente amortiguación de vibraciones</li> </ul>  | Prototipos flexibles   |
| PVA (Alcohol polivinílico)                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Material de soporte soluble</li> <li>· Se disuelve en el agua</li> </ul>  | Material para soportes   |
| HIPS (Poliestireno de alto impacto)                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Material de soporte soluble</li> <li>· Se disuelve en limoneno químico</li> </ul>   | Material para soportes   |
| Compuestos (Fibra de carbono, Kevlar, Fibra de vidrio) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Rígidos, fuertes o extremadamente resistentes</li> <li>· Compatibilidad limitada a algunas impresoras 3d FDM industriales caras</li> </ul>  | Prototipos funcionales<br>Guías, fijaciones y herramientas                 |

### 3.3 Metrología.

La Metrología es la ciencia de las medidas; en su generalidad, trata del estudio y aplicación de todos los medios propios para la medida de magnitudes, tales como: longitud, masas, tiempos, temperaturas, etc. Por esta enumeración, es fácil ver que la metrología entra en todos los dominios de la ciencia. Así tenemos la Metrología Dimensional, que se ocupa de las medidas de las dimensiones, la Metrología Ponderal, que se ocupa de la medida de pesos, etc.

#### 3.3.1 Ámbitos de la metrología

Dentro del concepto de metrología se engloban tres campos de actuación muy diferentes:

- **Metrología Científica.**

Es la rama de la metrología que se ocupa de la organización y el desarrollo de los patrones de medida y de su mantenimiento (el nivel más alto). En España la realizan además del Centro Español de Metrología, sus laboratorios asociados [26].

- **Metrología Industrial.**

Es aquella que asegura las mediciones necesarias que garantizan la calidad de los productos. Su función principal es la de calibrar, controlar y mantener en óptimas condiciones los equipos de medición empleados en los procesos que aseguran que los productos están conforme a las normas establecidas [26].

- **Metrología Legal.**

Según el Centro Español de Metrología (CEM), la Metrología Legal es “el campo de la metrología que contempla las actividades por las que se establecen las exigencias legales sobre las medidas, unidades de medida, instrumentos de medida y métodos de medida, cuyos resultados puedan tener influencia sobre la transparencia de transacciones comerciales, la salud o la seguridad de consumidores y usuarios, así como sobre el medio ambiente. Estas actividades se realizan bajo la responsabilidad y la supervisión de las autoridades competentes con el fin de garantizar con un nivel apropiado de credibilidad sus resultados en el marco de una reglamentación, ya sea armonizada a nivel europeo, o nacional” [26].

### 3.3.2 Metrología dimensional.

Un plano de fabricación completo es el que tiene todas las cotas necesarias para determinar la pieza, con sus correspondientes tolerancias de dimensión, forma y acabado superficial, a cuyo efecto existen símbolos normalizados de los tres tipos.

Las longitudes para medir en una pieza pueden ser tanto reales como ficticias, según que los dos puntos que definen la distancia existen materialmente como parte de alguna de las superficies de la pieza o son prolongación de superficies o ejes de estas.

Los ángulos quedan definidos conceptualmente como cocientes de longitudes.

Las formas obedecen a un campo de posibilidades prácticamente ilimitado, que se va ampliando constantemente a medida que progresa la tecnología, con objeto de determinar más exactamente la forma total de la pieza. Las medidas de forma abarcan actualmente desde los conceptos elementales de planitud y redondez hasta los más complejos de forma de un diente helicoidal.

La calidad superficial o microgeométrica, estudia en forma aproximada el estado real de las superficies de la pieza vistas en detalle. Como las formas ampliadas hasta 100.000 veces son muy complejas, su estudio y calificación se efectúa a través de parámetros, empleándose cada vez un número mayor de los mismos.

Por tanto, el estudio de la geometría de una pieza (de forma estricta todas las mediciones geométricas se derivan de una longitud), podemos dividirla en los siguientes aspectos.

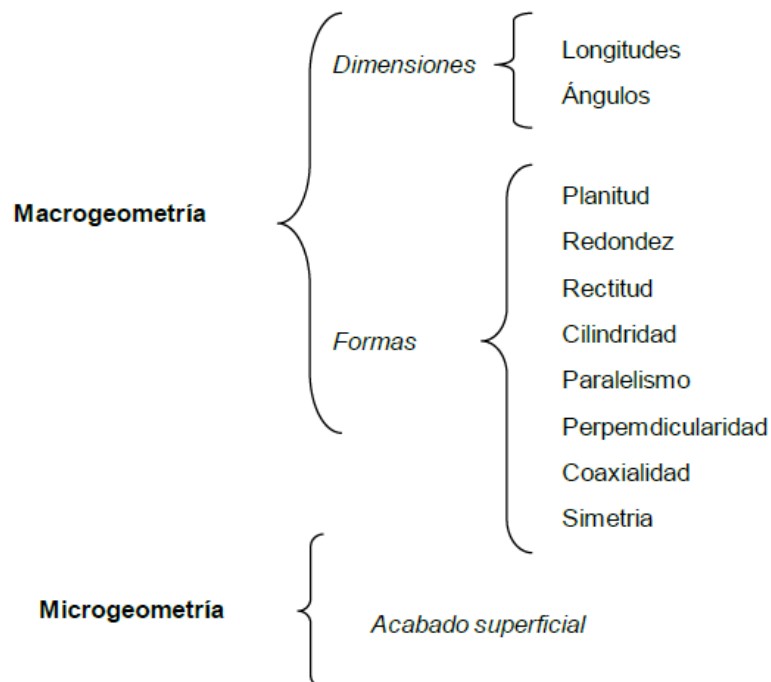


Figura 5: Campo de aplicación de la metrología dimensional.

### 3.3.3 Equipos de medición

En el Vocabulario Internacional de Metrología (2008) [27], se definen las cualidades más significativas de un instrumento de medida, así como aquellos conceptos relacionados con el uso de este, como son:

- **Indicación.**

Valor proporcionado por un instrumento o sistema de medida.

- **Instrumento de medida.**

Dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.

- **División de escala.**

Intervalo entre dos valores sucesivos de la escala. Hay instrumentos de división constante y de división variable.

- **Intervalo de indicaciones.**

Conjunto de valores comprendido entre las dos indicaciones extremas.

- **Intervalo de medida.**

Conjunto de valores de magnitudes de una naturaleza que un instrumento o sistema de medida dado puede medir con una incertidumbre instrumental especificada, en unas condiciones determinadas.

- **Sensibilidad de un sistema de medida.**

Cociente entre la variación de una indicación de un sistema de medida y la variación correspondiente del valor de la magnitud medida

- **Resolución.**

Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente.

- **Escala de valores.**

Conjunto ordenado de valores de magnitudes de una determinada naturaleza, utilizado para clasificar magnitudes de esta naturaleza, en orden creciente o decreciente según sus valores cuantitativos.

- **Deriva instrumental.**

Variación continua o incremental de una indicación a lo largo del tiempo, debida a las variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida.

• **Valor nominal.**

Valor redondeado o aproximado de una magnitud característica de un instrumento o sistema de medida, que sirve de guía para la utilización apropiada.

• **Reversibilidad.**

Diferencia de las indicaciones de un instrumento de medida cuando se mide el mismo valor de la magnitud, bien creciendo o bien decreciendo ésta.

• **Exactitud de medida.**

Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mesurando.

• **Veracidad.**

Proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

• **Precisión de medida.**

Proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.

• **Repetibilidad de medida.**

Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad, que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.

• **Reproducibilidad de medida.**

Precisión de medida según un conjunto de condiciones de reproducibilidad, que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.

• **Incertidumbre de medida.**

Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mesurando, a partir de la información que se utiliza.

• **Incertidumbre instrumental.**

Componente de la incertidumbre de medida que procede del instrumento o sistema de medida utilizado.

• **Calibración.**

Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas

obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

• **Trazabilidad metrológica.**

Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

Los instrumentos de medida utilizados son:

• **Pie de rey.**

El pie de rey es, en esencia, una regla graduada perfeccionada para aumentar la precisión y seguridad de las mediciones hechas con ella. Consta de una regla de acero graduada, que lleva en un extremo un brazo (boca fija) y un pico; sobre esta regla, graduada en milímetros, se desliza una corredera provista también de un brazo (boca móvil) y un pico, en cuyo borde va grabada otra escala auxiliar (nonio). Unido a esta corredera hay una varilla que desliza a lo largo de una ranura existente en la parte posterior de la regla. Los brazos sirven para medir exteriores, los picos para interiores y la varilla para profundidades



*Figura 6: Pie de rey digital.*

• **Micrómetro de interiores de 3 contactos.**

Más precisos para la medición de diámetros de agujeros son los micrómetros interiores de tres contactos, imicros, basados en el sistema de amplificación de

tornillo combinado con sistema de cuña. El tornillo de precisión empuja tres cabezas equidistantes a  $120^{\circ}C$ . Por el hecho de medir en tres puntos de contacto son autocentrantes, permitiendo señalar defectos de forma de triangulación mediante la realización de varias medidas.

La lectura es de 0,005 mm y el campo de medida de este es de 25-30 mm. Para su calibración se emplean los anillos patrón de interiores, y suelen llevar reglajes del cero



*Figura 7: Micrómetro de interiores de 3 contactos.*

#### • **Medidora de forma.**

Permiten realizar mediciones precisas de la redondez y la rugosidad en los ejes R, T y Z y presentan la mejor precisión de giro de su clase. RONDCOM NEX y RONDCOM NEX Rs son comprobadores de formas universales para el análisis de la redondez, la forma del cilindro, la perpendicularidad, el paralelismo, la rectitud, la planitud, la coaxialidad, la concentricidad y el error de espesor. Con un error de rotación de sólo 20 nanómetros, ambos comprobadores de forma son ideales para una amplia gama de piezas de precisión que tienen una altura de 300 mm o 500 mm y un peso de hasta 60 kg. Posicionamiento perfecto La montura de palpador desplazada patentada por el CNC permite la rotación y el pivoteo del palpador guiados por el CNC y permite la inserción profunda y también la medición por debajo del eje R. Mediciones más precisas Los comprobadores de formas de la serie RONDCOM NEX incorporan además una cerámica de eje R de gran rigidez y peso reducido, que permite una medición aún más precisa de los ángulos de los conos grandes, los diámetros y la rectitud. Diseño mejorado Los comprobadores de formas tienen un rango de centrado ampliado de  $\pm 5$  mm y una mesa giratoria precisa y sin desgaste sobre cojinetes

de aire. Gracias al diseño mejorado, el verificador de formas es aún más estable frente a la circulación de aire [28].



*Figura 8: Medidora de forma Rondcom*

### 3.3.4 Desviaciones de forma

La utilidad de una pieza para el fin previsto dependerá de sus características internas y sus propiedades geométricas y superficiales. Las propiedades geométricas se definen como:

La desviación de la geometría ideal de la pieza de trabajo se puede dividir en los siguientes puntos:

- **Desviación de tamaño.**

La diferencia entre el tamaño nominal y el tamaño real.

- **Desviación de forma y posición.**

La desviación entre la forma ideal y la forma real, y desplazamiento del eje de referencia.

- **Rugosidad.**

Conjunto de rugosidades que, dependiendo de la superficie, son el acabado de la superficie de la pieza de trabajo.

Por lo general, las desviaciones de forma se determinan palpando la pieza de trabajo midiendo, usando un dispositivo llamado medidor de forma y correlacione los puntos medidos con herramientas matemáticas como corrección de valor mínimo cuadrado [29].

Las desviaciones de forma se pueden dividir en:

• **Redondez.**

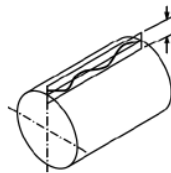
La diferencia entre el radio de la circunferencia inscrita y la circunferencia circunscrita de la circunferencia envolvente descripción general de la investigación.



*Figura 9: Redondez*

• **Rectitud.**

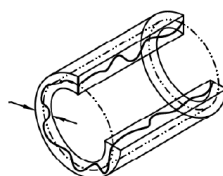
Distancia entre dos rectas paralelas a la recta de referencia entre las que se contiene el perfil estudiado.



*Figura 10: Rectitud*

• **Cilindricidad.**

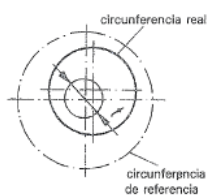
Diferencia entre los radios de dos cilindros que contienen al perfil estudiado.



*Figura 11: Cilindricidad*

• **Concentricidad.**

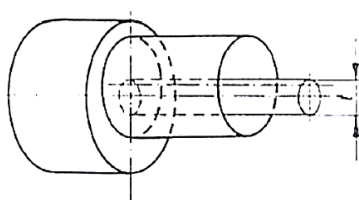
Distancia desde el centro de una circunferencia hasta el centro de otra de referencia.



*Figura 12: Concentricidad*

• **Coaxialidad.**

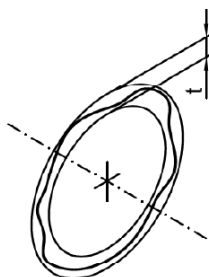
Distancia entre el eje de un cilindro hasta el eje de otro que sirve como referencia.



*Figura 13: Coaxialidad*

• **Desviación Radial.**

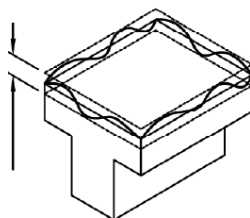
Máxima variación de posición dentro de la una zona determinada.



*Figura 14: Desviación Radial*

• **Planicidad.**

Distancia entre dos planos paralelos al de referencia entre los que se contiene el perfil estudiado.



*Figura 15: Planicidad*

## 4. Estado del arte

A continuación, se expone diferentes trabajos de investigación que se han llevado hasta la actualidad en relación el estudio de la influencia de los parámetros de fabricación sobre diferentes propiedades de la pieza final obtenida.

En [30], se realiza un estudio de probetas de nylon en fff. La forma y las dimensiones de las muestras se seleccionaron de acuerdo con GOST 11262-80 "Plásticos. Método de ensayo de tracción.

Cada capa está llena de pistas paralelas (tiras de polímero enfriado) colocadas en un ángulo de  $45^\circ$  con el eje de la muestra y perpendicular a la dirección de las pistas de la capa anterior.

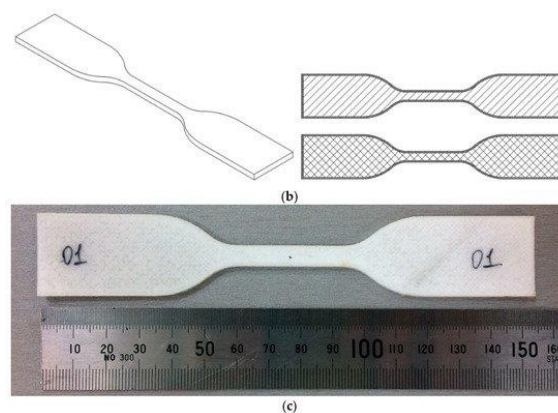


Figura 16: Dimensiones probetas.[30]

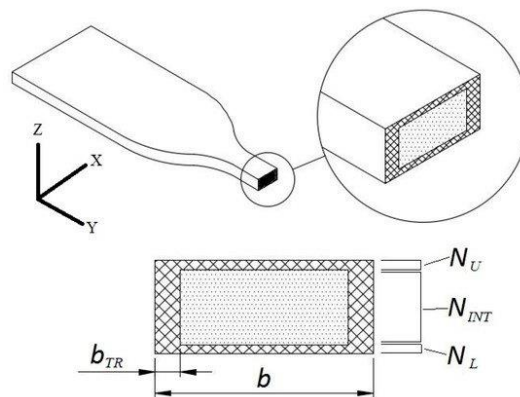


Figura 17: Estructura.[30]

En este ensayo varían la distancia entre pistas adyacentes, que da como resultado un cambio en la fracción de volumen del patrón de relleno. Además, se realizaron varios grupos de muestras, para cada uno de los cuales se estableció una fracción volumétrica teórica de la estructura de relleno del 20%, 40%, 60%, 80% y 100%

En sus resultados concluyen que aparece un aumento en la resistencia a tracción a partir del 60% de relleno, aumentando significativamente.

En [31], se realiza una investigación sobre el efecto de la altura de la capa, el patrón de relleno y el número de capas de pared en la desviación de la forma (cilindricidad y circularidad) en diferentes espesores en el proceso FFF.

Las piezas se imprimieron utilizando termoplástico (poliamida 6) a una temperatura de 273 °C, y se emplearon diferentes geometrías.



Figura 18: Geometría de las distintas probetas. [31]

Los niveles de cada parámetro se realizaron principalmente en función de la limitación de la variable.

En este trabajo concluyen que la influencia de la altura y el grosor de la capa es mucho más significativa que la influencia del relleno patrón y capas de pared en cilindricidad. Del mismo modo, el efecto de la altura y el grosor de la capa en la circularidad es mucho más significativa que la influencia del patrón de relleno y las capas de la pared.

En [32], se estudia cómo tras la variación de los parámetros del proceso, las propiedades mecánicas como: la resistencia a la tracción máxima, la resistencia a la tracción a la fractura, la resistencia a la flexión máxima, la resistencia a la flexión a la fractura, el alargamiento a la rotura, el alargamiento en el pico, la deflexión en el pico, la deflexión en la rotura, el módulo de elasticidad, el módulo de tenacidad y la dureza pueden verse afectados.

Se llegó a la conclusión de que la máxima resistencia a la tracción se obtiene con unas condiciones de fabricación del 100% de relleno, 60 °C y 4 capas exteriores. El valor mínimo con una combinación de 70% de relleno, 50 °C y 4 capas exteriores. Puede deberse al hecho de que el mayor porcentaje de relleno y la temperatura del lecho intermedio han contribuido a una mejor adhesión de la capa, mostrando una máxima resistencia a la tracción.

En [33], se estudió Nylon con un 2% de fibra de aramida. Su interés está en que se estudian los efectos de cinco parámetros de proceso incluyendo el espesor de la capa, la temperatura de impresión, el ángulo de trama, el patrón de relleno y densidad de partes de relleno en tres niveles bajo cada factor junto con la interacción entre los factores fueron investigados en el acabado superficial de la pieza construida FDM.

Se ha usado el método de Taguchi para encontrar los niveles óptimos de los factores, factores significativos e interacciones a partir de un diseño de experimentos.

De la investigación se encontró que los ajustes óptimos del factor fueron idénticos para toda la respuesta característica, donde un espesor de capa de 0,2 mm, temperatura de impresión de 280 °C, ángulo de trama de 90°, estilo de patrón de relleno tetraédrico y densidad de parte de relleno del 90% fueron óptimos para mejorar el acabado superficial.

La pieza impresa con parámetros de proceso optimizados tiene resultó en el valor Ra de 1.5470  $\mu\text{m}$ , 2.145  $\mu\text{m}$  y 1.212  $\mu\text{m}$  en la parte superior, lateral, y caras inferiores, respectivamente. Los errores obtenidos se atribuyen a el hardware y/o las variaciones de las condiciones de funcionamiento. El estudio destacó un enfoque simple pero viable para predecir la supervivencia rugosidad de la cara a lo largo de varias superficies de piezas fabricadas con FDM.

En [34], se estudiaron las influencias de los principales parámetros de impresión FFF mediante la caracterización de diferentes materiales sometidos a ensayos destructivos de tracción uniaxial.

Se realizaron un gran número de estudios para analizar el comportamiento de las probetas utilizando diferentes criterios, destacando la porosidad, precisión dimensional, influencia de la temperatura y el comportamiento reológico, recubrimiento e impregnación de fibras de refuerzo, distorsión parcial. Sobre el comportamiento a la fatiga y la formación de enlaces.

Se consideró una amplia gama de patrones geométricos de depósito para polímeros puros, como el Nylon, el ácido poliláctico (PLA), el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), y materiales compuestos (matrices de nylon con refuerzo de fibra de carbono o vidrio) que son los que interesan para el estudio.

Sus resultados mostraron que la deposición concéntrica, como el patrón con menor reducción respecto a los valores iniciales, así como el diseño triangular en el relleno supusieron una notable rigidez de las probetas y consecuentemente redujo su porcentaje de elongación.

Como resultado, teniendo en cuenta las restricciones de este estudio, la deposición concéntrica se consideró el mejor patrón en la fabricación de piezas poliméricas.

## 5. Metodología

Para la realización del presente trabajo se va a seguir una metodología experimental para la fabricación de la pieza y su posterior estudio de desviaciones geométricas, representada en la figura 19.

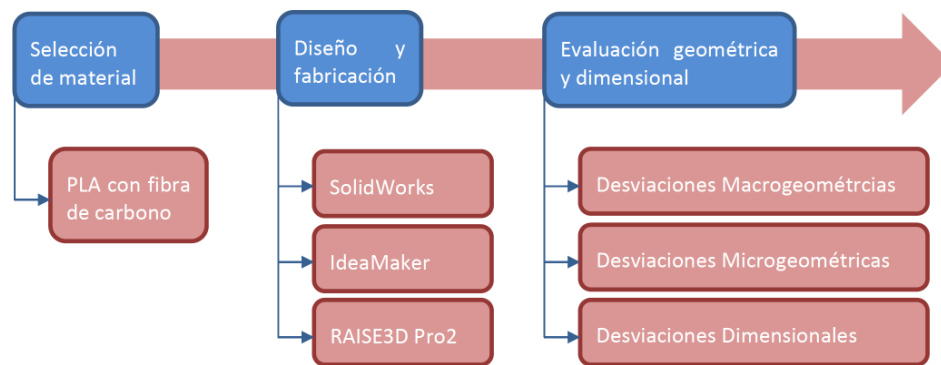


Figura 19: Metodología de fabricación y evaluación de las probetas [35]

Nuestro principal objetivo es el estudio y evaluación de las desviaciones geométricas de las probetas, dichas desviaciones de forma son:

- Tolerancia de rectitud.
- Tolerancia de planicidad.
- Tolerancia de redondez.
- Tolerancia de cilindridad.
- Tolerancia de forma de una línea.
- Tolerancia de forma de una superficie.
- Tolerancia de paralelismo.
- Tolerancia de perpendicularidad.

Para la realización de este trabajo se ha optado por utilizar filamento de Nylon PA6 de 1.75 mm, debido a que es uno de los materiales menos estudiados en FDM, además de ser uno de los más complejos a la hora de realizar probetas en dicho material.

### 5.1 Diseño

Para el diseño de las probetas se han seguido los distintos pasos expuestos a continuación, a la hora de desarrollar las probetas que van a ser utilizadas en el estudio

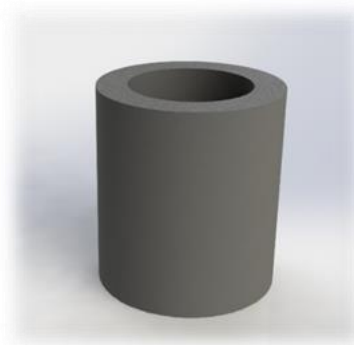
que se va a realizar. Para ello se realiza un modelado en 3D y su posterior laminado y edición del formato correcto para la impresión.

### 5.1.1 Diseño de la geometría de las probetas

Para el diseño de la geometría de las probetas, se ha optado por usar una geometría que ya ha sido usada en distintos estudios para tener una idea inicial y así poder comparar los datos obtenidos con otros estudios ya realizados con distintos materiales.

Se ha decidido realizar un cilindro hueco que permite hacer un estudio de la tolerancia dimensional tanto de la cara exterior como la interior, con lo que ayuda a la hora de toma de datos.

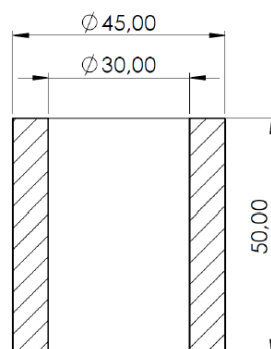
Además, esta geometría hace que el tiempo de impresión se reduzca, junto con el gasto de material, ya que se tiene mucha menos sección a imprimir.



*Figura 20: Vista final de la probeta.*

Las dimensiones de la probeta están definidas por los siguientes parámetros:

- Diámetro interior (mm): 30
- Diámetro exterior (mm): 45
- Altura (mm): 50



*Figura 21: Dimensiones de la probeta.*

### 5.1.2 Diseño de la probeta con el Software de modelado

En la realización de la pieza se ha optado por usar el software de Solidworks, ya que es uno de los software más usados y conocidos en el ámbito de la ingeniería.

Se realizan los siguientes pasos:

- 1) Para ello primero se abre un nuevo proyecto.
- 2) Definir la pieza en el mínimo de pasos posibles. Se ha optado por la realización de un cilindro hueco de un solo paso, realizando una extrusión de la diferencia entre las superficies de dos cilindros, y dando la altura requerida.
- 3) Definir los parámetros de nuestra probeta en Solidworks y modelado 3D (Figura 22).

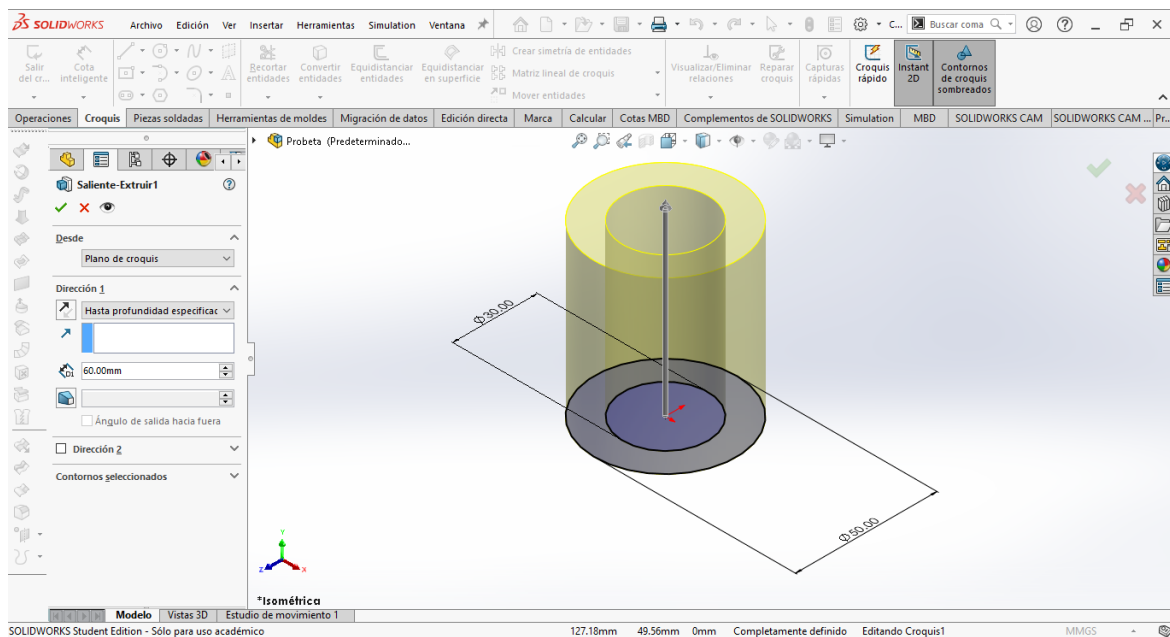


Figura 22: Definición de la probeta I.

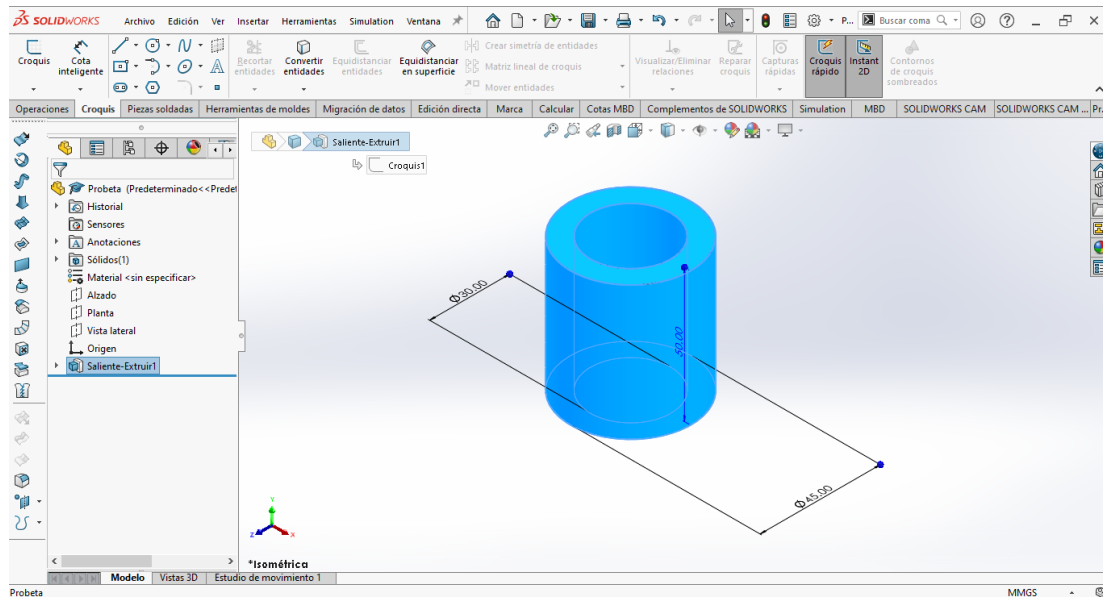


Figura 23: Definición de la probeta II.

4) Tras el modelado de la probeta se procede a guardar el archivo en formato .STL (Figura 24) para poder ejecutarlo con el programa de impresión en 3D, el Ideamaker.

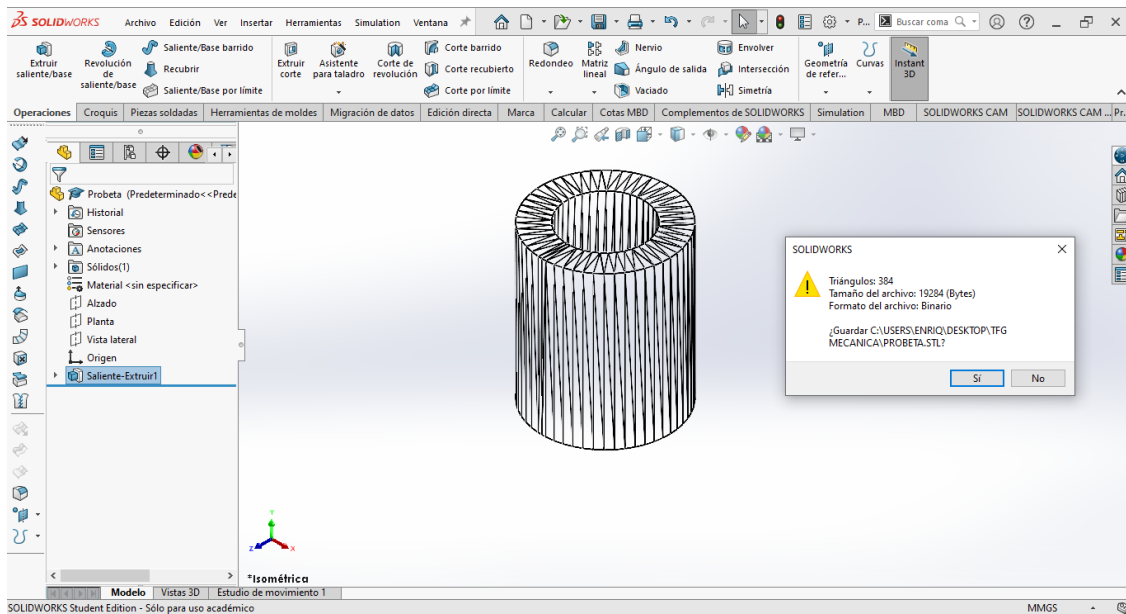


Figura 24: Guardado en formato STL.

### 5.1.3 Impresión e identificación de las probetas

En el presente trabajo se fabricaron un total de 18 probetas verticales, por lo que es necesario determinar un sistema para que puedan ser fácilmente identificados en las condiciones de producción de cada uno de ellos.

La identificación consiste en un código alfanumérico que representa diferentes variaciones de los parámetros de impresión, que se pueden encontrar en distintas bolsas.

Para ello se ha seguido la siguiente codificación:

#### **Nylon\_DG\_EXX\_TXXX\_VXX**

- Espesor de capa (E01, E02, E03) que corresponden con los espesores de 0.1 mm, 0.2 mm y 0.3 mm.
- Temperatura (T240, T255, T270) que corresponden con las temperaturas de extrusión de 240°C, 255°C y 270°C
- Velocidad (V40, V60) que corresponden con las velocidades de impresión de 40 mm/s y 60 mm/s



*Figura 25: Clasificación de todas las probetas.*

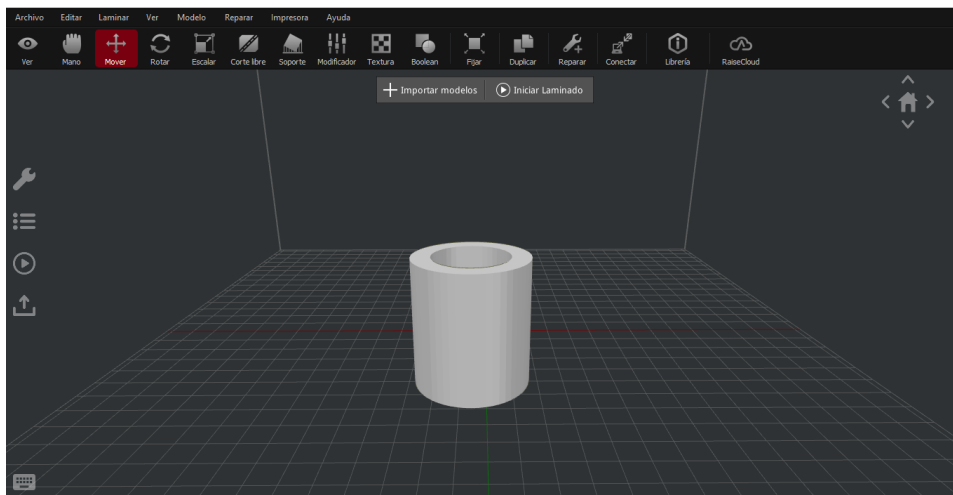
En la figura 25 se observan las probetas de 40 mm/s y 60 mm/s, donde para su estudio y clasificación son ordenadas por temperatura en fila (T240, T255, T270) y por espesor de capa en columna (E01, E02, E03).

#### 5.1.4 Software de laminado. Ideamaker.

Para este proceso se ha usado el programa Ideamaker, el cual es el predeterminado por la impresora de la marca Raiser3D. Para iniciar esta etapa se ha seguido los siguientes pasos:

- 1) Primero se guarda el modelo en .stl.
- 2) Una vez se ha obtenido el modelo, se exporta al programa de laminado.
- 3) Se crean las plantillas de laminado.
- 4) Configurar todos los parámetros de impresión necesarios.
- 5) Por último, se lamina la pieza y se guarda el G-Code.

Se procede a exportar el modelo .stl generado por Solidworks (Figura 24) al Ideamaker para iniciar su configuración, y se orienta en el espacio de trabajo del programa, como se observa en la imagen (Figura 26).



*Figura 26: Importar modelo stl.*

Una vez importado el modelo correctamente se continua con el laminado, para ello se crean las plantillas (Figura 27), las cuales son resultado de la combinación de los parámetros, para su posterior estudio.

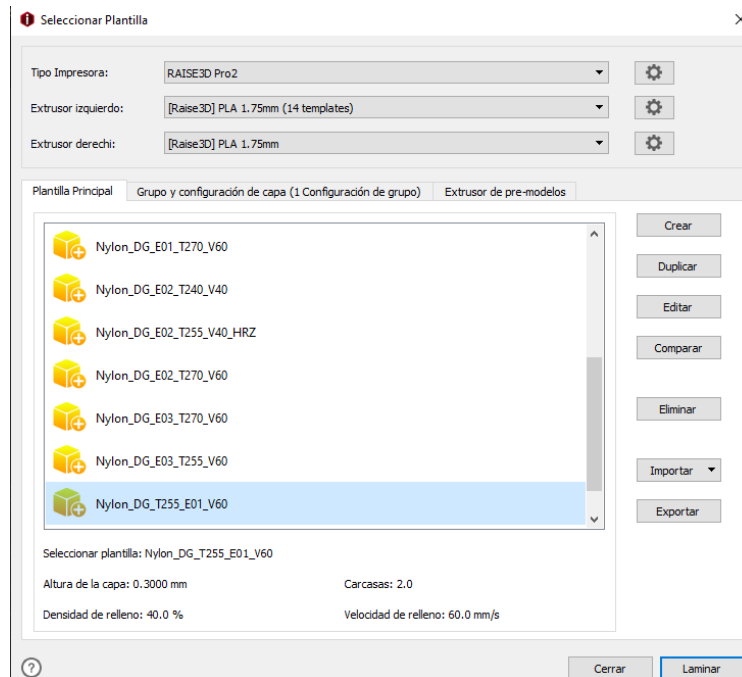


Figura 27: Plantilla de laminado.

En cuestión, se ha optado por un 40% de relleno y patrón concéntrico, ya que no se va a necesitar que dichas probetas aguanten tensión, sino que es un control de desviaciones geométricas, y así el tiempo de impresión se reduce considerablemente (Figura 28).

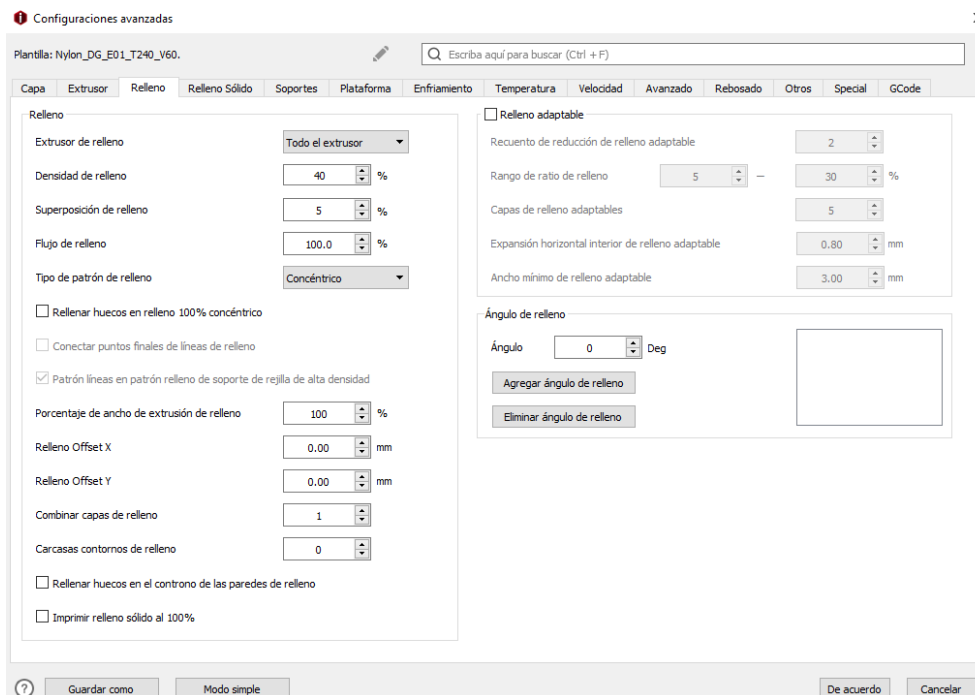


Figura 28: Ajustes del relleno.

Otro de los aspectos importantes a la hora de la impresión de Nylon es eliminar la ventilación del material a la salida del extrusor (Figura 29), ya que, debido a su rápido enfriamiento, provoca falta de adherencia entre capas, y debido a su retracción provoca falta de adherencia con la cama, provocando que la base de la probeta se despegue. Para mejorar este factor, se ha optado por una temperatura de cama de  $110^{\circ}\text{C}$  que es el máximo permitido para la impresora utilizada.

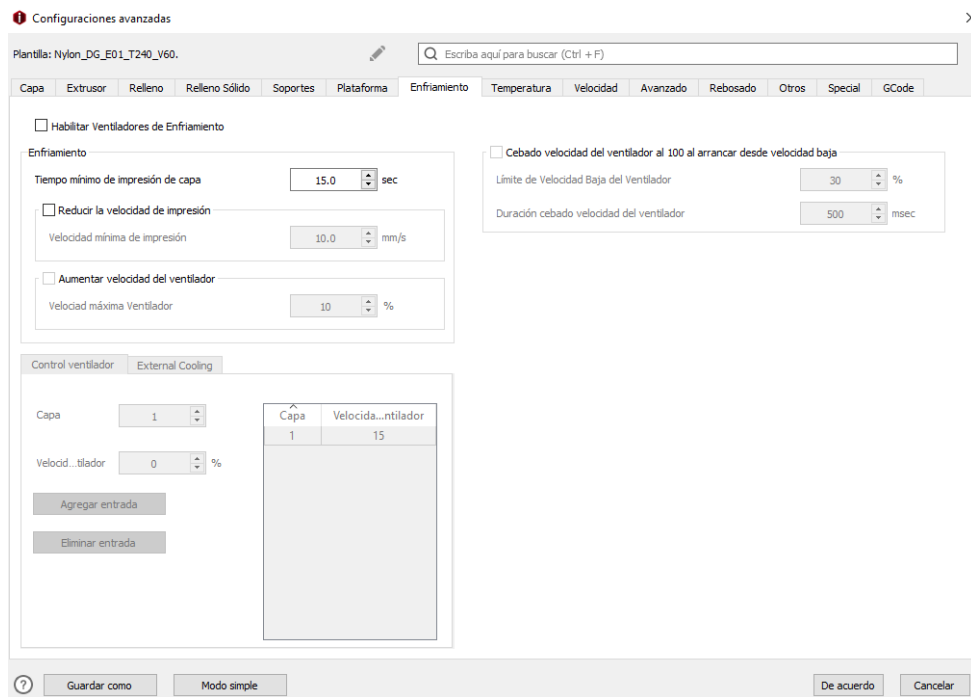


Figura 29: Ajuste de enfriamiento.

Una vez configurados estos parámetros, los cuales son comunes para todas las probetas que se van a fabricar, se realizan las plantillas, únicamente modificando los tres parámetros de estudio (Temperatura (Figura 30), Velocidad (Figura 31) y Espesor de capa (Figura 32)).

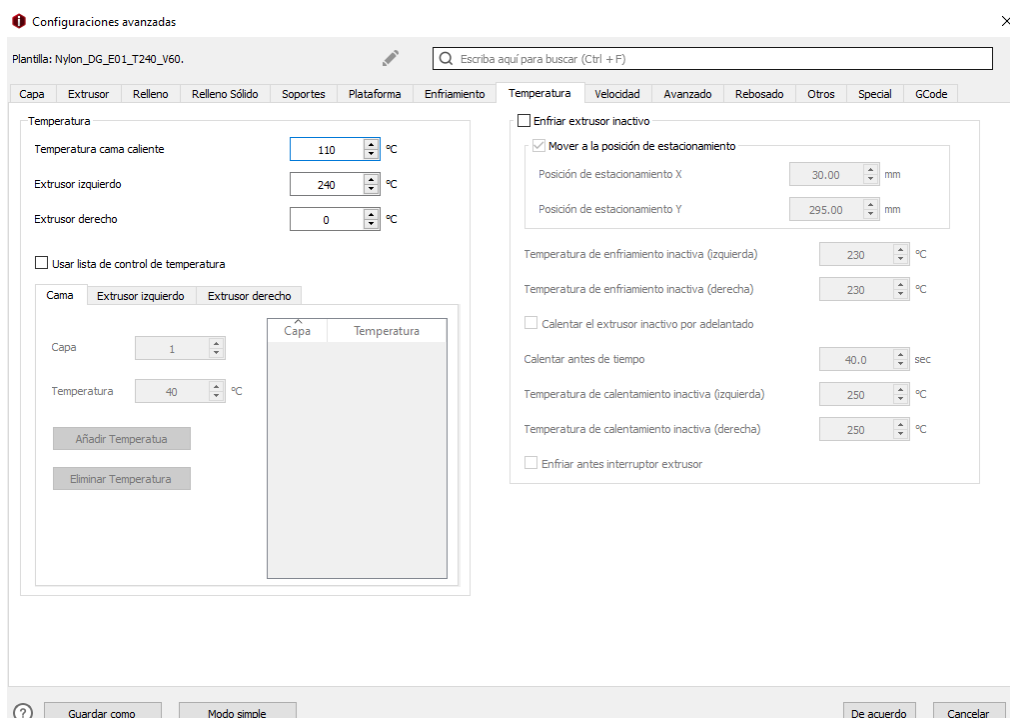


Figura 30: Ajuste de la temperatura.

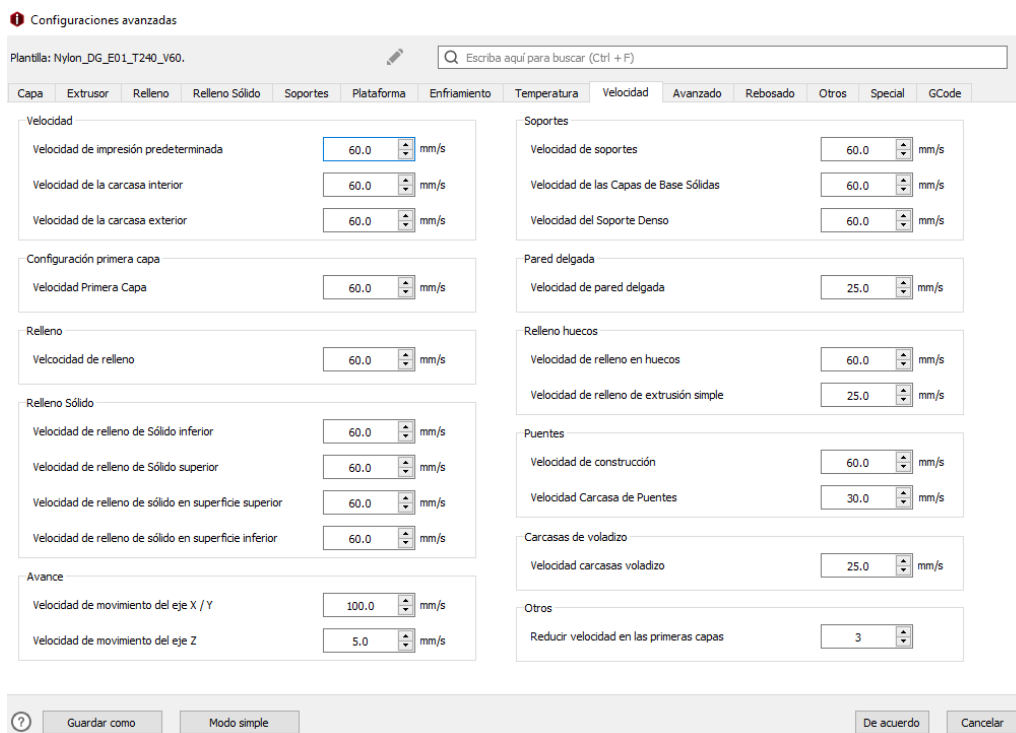
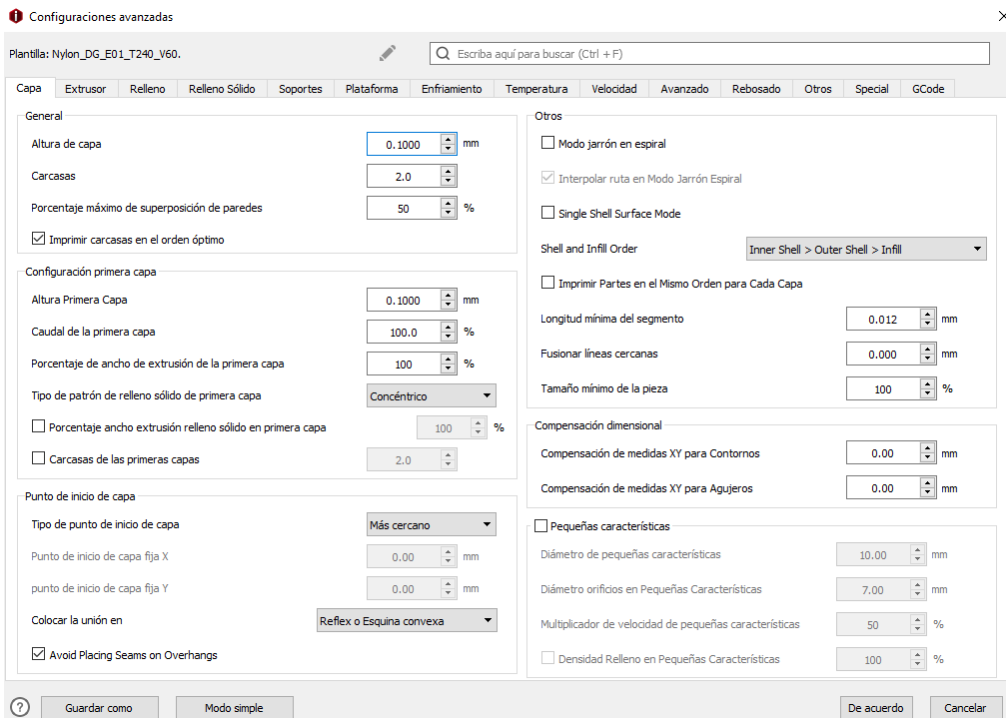
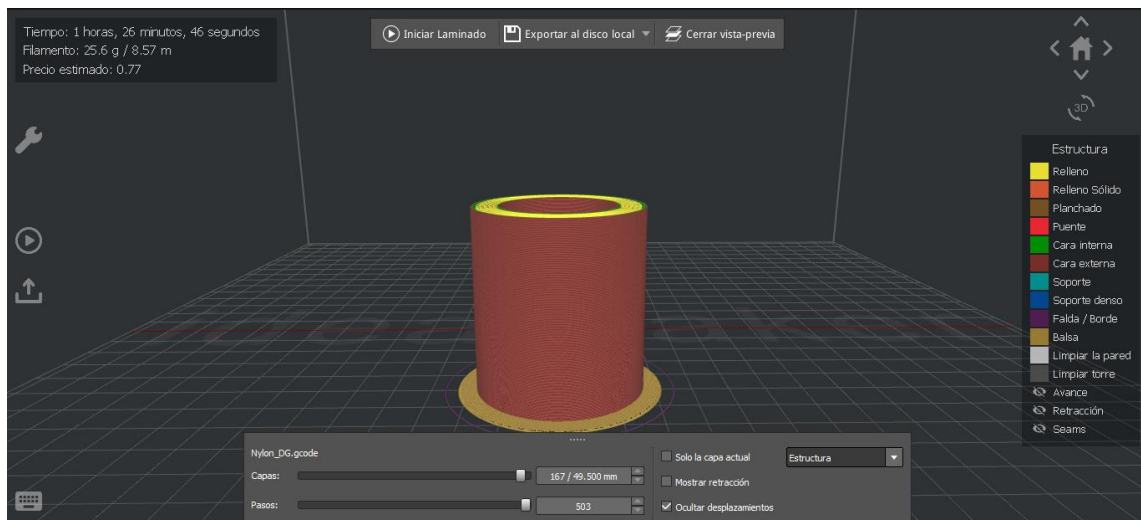


Figura 31: Ajuste de la velocidad.



**Figura 32: Ajuste de capa.**

Posteriormente se procede al laminado y previsualización de como quedaría la impresión (Figura 33).



**Figura 33: Previsualización del laminado.**

Una vez acabada la configuración se exporta el G-Code en una unidad extraíble y se introduce a la impresora para iniciar la impresión.

## 5.2 Fabricación

Una vez pasado el archivo G-Code a la impresora, se pasa a comprobar el estado de la impresora y se observa que el filamento de Nylon se encuentra en el extrusor izquierdo el cual, ha sido configurado para la fabricación de la probeta.

### 5.2.1 Impresora

Para la fabricación de las probetas se ha usado la impresora 3D “Raiser 3D PRO-2” (Figura 34), debido a que se está trabajando con Nylon, no todas las impresoras tienen las características para poder extruir este material, debido a que es un material cuyas propiedades físicas hacen que sea complicado su uso en este tipo de fabricación [36].



*Figura 34: Raiser3D PRO2*

Como se observa en la imagen anterior en esta impresora el extrusor se mueve sobre el eje X e Y, la cama es la que regula el eje Z únicamente.

### 5.2.2 Impresión de las probetas

Tras la configuración y la realización de los Gcode de las probetas se ha procedido a la fabricación de estas.

Se ha dividido inicialmente en las dos velocidades y se ha iniciado por la velocidad de 40 mm/s, seguidas de las de 60 mm/s (Tabla 8).

*Tabla 8: Parámetros de impresión probetas verticales*

|                       | Vel. de impresión<br>(mm/s) | Espesor de capa<br>(mm) | Temperatura<br>(°C) |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 40                          | 0.1                     | 240                 |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 40                          | 0.2                     | 240                 |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 40                          | 0.3                     | 240                 |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 40                          | 0.1                     | 255                 |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 40                          | 0.2                     | 255                 |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 40                          | 0.3                     | 255                 |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 40                          | 0.1                     | 270                 |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 40                          | 0.2                     | 270                 |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 40                          | 0.3                     | 270                 |

|                       |    |     |     |
|-----------------------|----|-----|-----|
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 60 | 0.1 | 240 |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 60 | 0.2 | 240 |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 60 | 0.3 | 240 |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 60 | 0.1 | 255 |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 60 | 0.2 | 255 |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 60 | 0.3 | 255 |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 60 | 0.1 | 270 |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 60 | 0.2 | 270 |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 60 | 0.3 | 270 |

Una vez configurados los parámetros se genera el Gcode para poder poner en marcha la impresora. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- 1) Comprobación de que el filamento de Nylon está cargado en el extrusor que se ha configurado.
- 2) Limpiar la cama. Para ello, retirar la cama de la impresora (Figura 35).



*Figura 35: Preparación limpieza de la cama*

Una vez retirada, utilizar papel y el producto de limpieza para la cama, El cual facilita la eliminación de residuos de las impresiones anteriores (Figura 36).



*Figura 36: Limpieza de la cama.*

3) Precalear la cama. Ya que es un proceso el cual requiere demasiado tiempo hasta llegar a las condiciones necesarias para iniciar la impresión (Figura 37).



*Figura 37: Menú control de impresora*

A través del panel táctil de la impresora iniciamos el precalentamiento y su posterior control respecto el estado en el que esta la impresora (Figura 38).



*Figura 38: Panel de estado de la impresora*

4) Añadir el pegamento o laca, ya que gracias a este se aumenta la adherencia de las primeras capas del soporte a la cama y se evita que se despegue de esta debido a la retracción del Nylon al enfriarse (Figura 39).



*Figura 39: Pegamento de impresión*

5) Cargar el Gcode y lanzar la impresión. El proceso de impresión de las probetas es, simplemente, esperar a que la impresora haga su trabajo. En el momento en el que están configurados todos los parámetros de forma adecuada y nos aseguramos de que la impresión no va a dar error o problemas, se le da la orden de comenzar el trabajo y se espera a que lo termine. Sin embargo, no está de más estar pendiente a la impresión por si alguna causa externa le afecta y falla.

Para la fabricación de las probetas, las cuales tienen una fina balsa en la cara inferior que consta de 3 capas algo más espesas que la de las propias probetas, la cual va a servir de soporte, de forma que se adhiere con mucha mayor facilidad a la cama de impresión, y evita, por tanto, una gran cantidad de errores. El post-procesado resulta bastante sencillo, pues es simplemente tirar de la balsa que sale con gran facilidad. En la figura 40 se encuentran clasificadas todas las probetas junto con las balsas.



*Figura 40: Probetas de velocidad: a) 40 mm/s b) 60 mm/s*

### 5.3 Control geométrico

Una vez fabricadas las probetas se procede al análisis geométrico, para ello se calculan las siguientes desviaciones, siendo estas el objetivo principal de estudio.

- Desviaciones dimensionales.
- Desviaciones macrogeométricas.
- Desviaciones microgeométricas.

#### 5.3.1 Desviaciones dimensionales

Para el cálculo de las desviaciones dimensionales se han utilizado dos instrumentos de medida (Detallados en el apartado “3.3.3 Aparatos de medida”):

- Calibre o pie de rey. IROKO D1 1081 (Figura 41 (a))  
División de escala: 0.01 mm  
Rango de uso: 0 – 150 mm
- Micrómetro de interiores de 3 contactos. MITUTOYO, MAH2. (Figura 41 (b))  
División de escala: 0.005 mm  
Rango de uso: 25-30 mm



*Figura 41: a) Pie de rey; b) Micrómetro de interiores*

Para ello, se han realizado mediciones en las distintas zonas de la pieza, tal y como tenemos en las hojas de datos (Anexo I), para obtener una medición completa de las probetas y así poder analizarlas con mayor precisión.

Con los instrumentos de medida, se han realizado las siguientes mediciones:

- Medición del diámetro interior.
- Medición del diámetro exterior.
- Medición de la altura.
- Medición del espesor superior.
- Medición del espesor inferior.

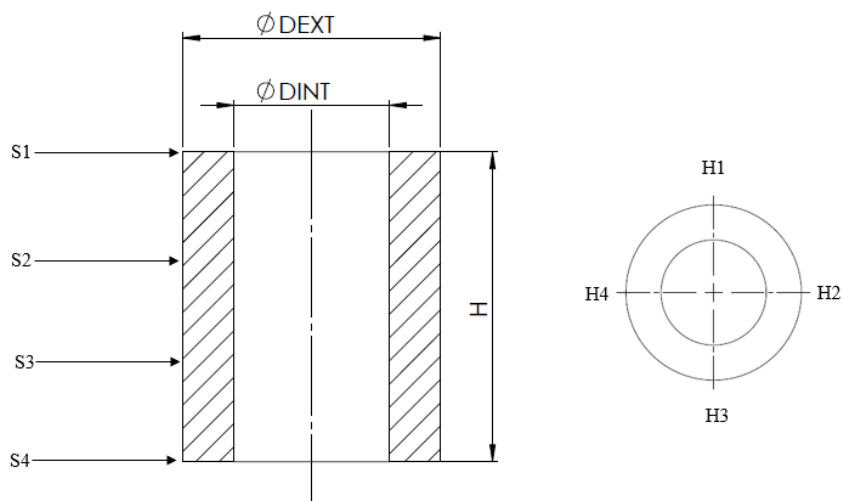


Figura 42: Esquema de alturas a medir [37]

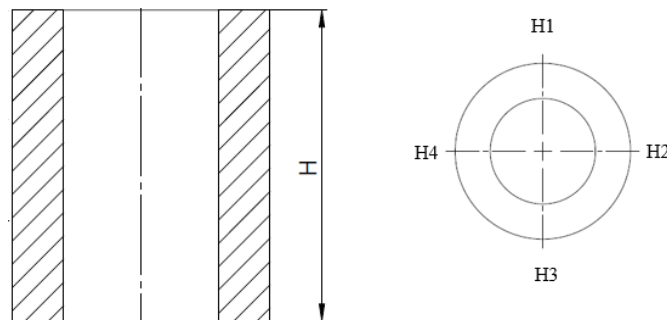


Figura 43: Disposición de medidas de las alturas [37]

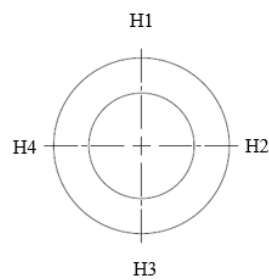


Figura 44: Disposición de medidas del espesor [37]

• **Medición del diámetro interior.**

Se ha realizado un total de 16 datos, correspondientes a cuatro mediciones, cuatro por cada una de las alturas diferentes, asegurando que estas alturas sean las mismas para todos (Figura 42).

Para ello hemos impreso un cilindro macizo que entra en el interior de 1 cm de altura para sacar todas mediciones necesarias.

• **Medición del diámetro exterior.**

Se ha realizado un total de 16 datos, correspondientes a cuatro mediciones como en el caso anterior, cuatro por cada una de las alturas diferentes, asegurando que estas alturas sean las mismas para todos (Figura 42).

Para ello hemos usado el calibre o pie de rey digital.

• **Medición de la altura.**

Para realizar un cálculo de la altura se han realizado 4 medidas a 0°C, 90°C, 180°C ya 270°C (Figura 43).

• **Medición del espesor superior e inferior.**

Para realizar el control del espesor se ha utilizado el calibre y se han realizado 4 medidas a 0°C, 90°C, 180°C ya 270°C (Figura 44).

### 5.3.2 Desviaciones macrogeométricas

Para el análisis de desviaciones macrogeométricas, llamados también errores de forma o errores de textura secundaria, se realizarán las medidas a través de una medidora de forma, que es un equipo que va palpando la superficie de la probeta, al mismo tiempo que va girando sobre la cama de nivelación y midiendo por coordenadas [38].

Se ha usado una medidora de forma de la marca ACCRETECH, modelo RONDCOM NEX (Figura 46).

Las máquinas medidoras de forma son diseñadas especialmente para medir piezas en revolución.

La máquina se compone de una columna (eje Z) y de un brazo extensible (eje X). En el extremo del brazo se acopla el elemento medidor, que es compuesto por un transductor eléctrico (de tipo inductivo), junto con el palpador. La sensibilidad del palpador es tan alta que es capaz de detectar desviaciones de hasta 0,01 micrómetro, haciendo un recorrido alrededor de la pieza en el que marca hasta 14.000 puntos de medición.

Las desviaciones geométricas que se han medido:

- Medición redondez exterior.
- Medición redondez interior.
- Medición rectitud exterior.
- Medición rectitud interior.
- Medición de coaxialidad exterior.
- Medición de coaxialidad interior.
- Medición de concentricidad exterior.
- Medición de concentricidad interior.
- Medición planicidad exterior parte superior.
- Medición planicidad exterior parte inferior.
- Medición planicidad interior parte superior.
- Medición planicidad exterior parte inferior.

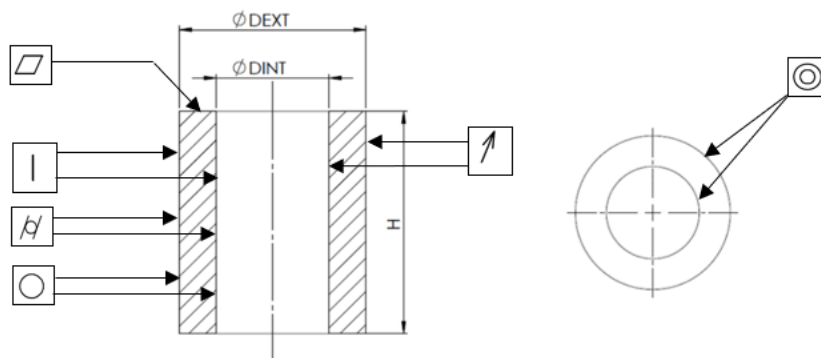


Figura 45: Desviaciones medidas [37]

Para la realización de dichas mediciones hay que seguir los siguientes pasos:

- 1) Antes de iniciar la medidora de forma se tiene que comprobar que tiene el aire encendido, tras verificarlo, se pone en marcha.



*Figura 46: Medidora de forma*

2) Abrir el programa de la medidora en el PC para que se inicie, y tras encender la medidora y realizar los movimientos iniciales, se fija la probeta al cabezal, donde gracias a la balsa de la probeta se facilita su fijación, para posteriormente configurar la posición del palpador y el origen de la máquina en el punto inferior ( $R = 22.5$  y  $Z = 0$ ), para poder nivelarla (Figura 47).

Esta parte se realiza a través del programa el cual indicara la cuantía de ajuste en el cabezal ( $C_x$ ,  $C_y$ ,  $T_x$  y  $T_y$ ), para iniciarse la medición correctamente.

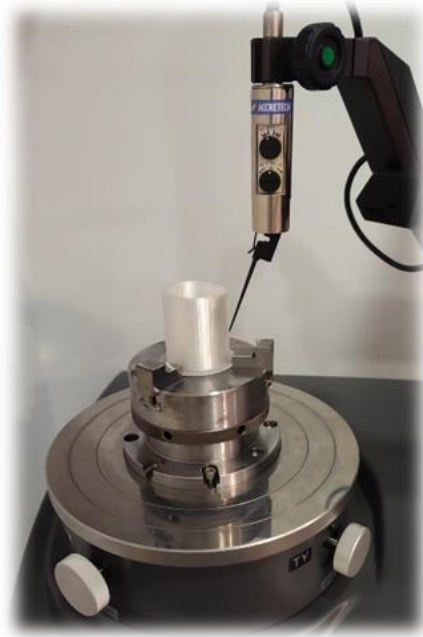


Figura 47: Puesta de la probeta en el cabezal.

3) Una vez nivelado el cabezal, se accede al programa de la medidora (Figura 48) el cual permite ver el estado del palpador y la posición de medición que se quiere realizar.

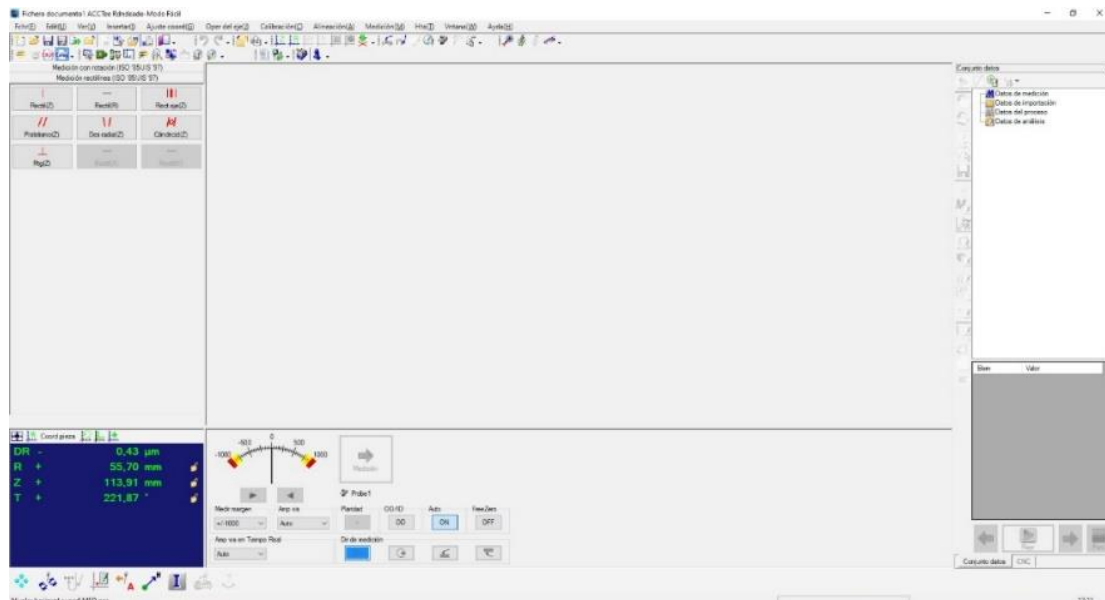


Figura 48: Interfaz de la medidora de forma

4) Cargar la plantilla de la pieza de estudio la cual se ha tomado de referencia de proyectos anteriores [35]. Dicha plantilla sigue el siguiente orden de medición:

- **Medición de la redondez exterior.**

Se han tomado nueve puntos de medición en el eje Z, separados entre sí por 5 mm, con origen en el punto  $z = 5$  mm y fin en el punto  $z = 45$  mm. Para realizar la medición el palpador se queda fijo y es la cama nivelada la que gira, cuando termina, el palpador se mueve hasta la posición siguiente. El palpador debe estar en posición vertical.

· **Medición de la rectitud exterior.**

Se han tomado doce puntos de medición, los cuales están agrupados en 3 grupos, en función de la posición en el eje Z, en el que se encuentre.

Las mediciones tienen una longitud de 10 mm verticales y se han tomado en 4 veces los puntos  $z = 5$  mm,  $z = 20$  mm y  $z = 35$  mm, separadas entre sí en  $90^\circ$ . Para realizar la medición el palpador se mueve 10 mm en el sentido vertical del eje z, luego la cama nivelada gira hasta la siguiente posición y el palpador baja los 10 mm para empezar la nueva medición. El palpador debe estar en posición vertical.

· **Medición de la redondez interior.**

Mismo procedimiento que la exterior

· **Medición de la rectitud interior.**

Mismo procedimiento que la exterior

· **Medición de la planicidad interior superior:**

Se toma un solo punto de medición, el borde interior de la cara superior. Para poder realizar esta medición el palpador se queda fijo y es la cama de nivelación la que gira. El palpador debe estar en posición horizontal.

· **Medición de la planicidad exterior superior:**

Mismo procedimiento que la interior superior.

· **Medición de la planicidad interior inferior:**

Mismo procedimiento que la interior superior.

· **Medición de la planicidad exterior inferior:**

Mismo procedimiento que la interior superior.

5) Ejecutar la plantilla y esperar a que realice todas las mediciones, la cual se tienen que activar una tras otra sucesivamente.

Para la planitud se debe girar el palpador y cambiar la configuración de toma de datos al palpado superior. La planitud se realiza en una plantilla independiente en la cual se analiza:

- Planitud superior.
- Planitud inferior. (Para esta retiramos la balsa y le damos la vuelta)

6) Una vez ejecutadas el programa devuelve la hoja de datos, de las mediciones realizadas por la medidora de forma.

### 5.3.3 Desviaciones microgeométricas

Para el análisis de desviaciones microgeométricas, que son la rugosidad superficial, se ha usado un rugosímetro MITUTOYO, modelo SURFTEST SJ-210 [39], [40].



Figura 49: Mitutoyo SurfTest SJ-210 [39]

Una vez conectado al ordenador se realizan las medidas y las obtenemos de la siguiente forma:

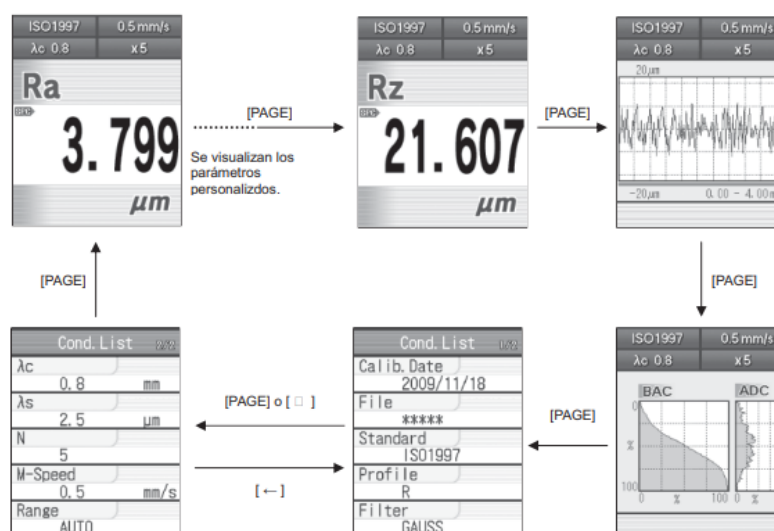


Figura 50: Visualización de las mediciones [39]

La longitud de medición ha sido de  $l = 25 \text{ mm}$  y se han hecho 8 mediciones en el interior y otras 8 en el exterior del cilindro, un total de 16. Se ha empleado un soporte para el palpador el cual se puede regular en las distintas alturas para obtener la rugosidad interior y exterior.



Figura 51: Soporte del rugosímetro [39]

De cada medición se obtienen los resultados de  $R_a$  y  $R_z$ . El orden de medición ha sido el mismo que en el caso anterior. Todos los resultados obtenidos se han guardado en el Anexo I: Hoja de Datos.

Dichos resultados los aporta el rugosímetro, este genera un Excel con el diagrama de flujo y la tabla de todos los puntos medidos. El diagrama de perfil de rugosidad sería de la siguiente forma:

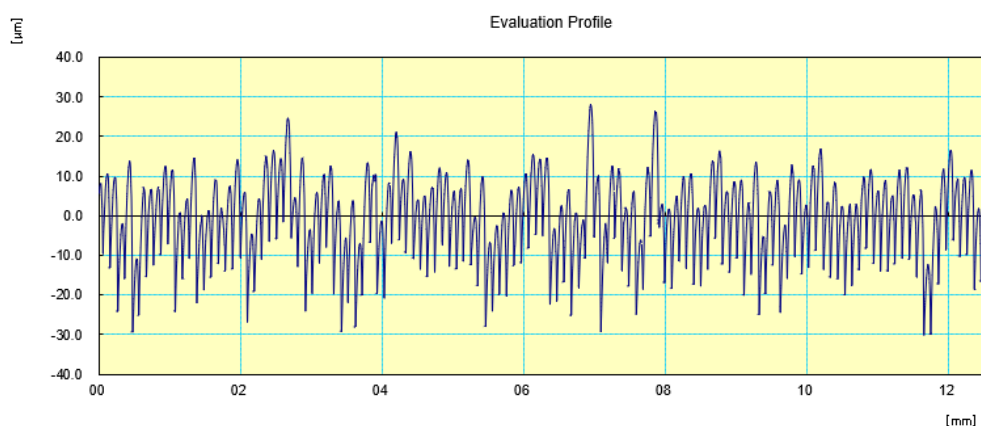


Figura 52: Diagrama de flujo de la rugosidad

## 5.4 El análisis relacional gris (GRA)

El Análisis de relacional gris, fue desarrollado por Julong Deng de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Huazhong. Es uno de los modelos más utilizados de la teoría del sistema gris. GRA utiliza un concepto específico de información. Define situaciones sin información como negro y aquellas con información perfecta como blanco. Sin embargo, ninguna de estas situaciones idealizadas ocurre nunca en problemas del mundo real. De hecho, las situaciones entre estos extremos, que contienen conocimiento disperso (información parcial), se describen como grises, confusas o borrosas. Una variante del modelo GRA, Taguchi-basado en el modelo GRA, es muy popular en ingeniería [41].

Se aplica a una gran variedad de campos desde ingeniería hasta estudios sobre industrias, meteorología, geografía, terremotos, medicina, etc.

Para realizar este análisis se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Normalizar el valor de todos nuestros parámetros mediante la ecuación:

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

- 2) Escoger el valor de referencia, seleccionando el valor máx. de  $Y_{pq}$  de nuestros datos a analizar.

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

- 3) Calcular la variación de los valores normalizados con la siguiente ecuación.

$$\Delta_{pq} = |Y_{pq} - R|$$

- 4) Se calcula el coeficiente identificador ( $\xi_{pq}$ ) con el uso de la ecuación.

$$\xi_{pq} = \frac{\min(\Delta_{pq}) + 0.5 * \max(\Delta_{pq})}{\Delta_{pq} + 0.5 * \max(\Delta_{pq})}$$

- 5) Se calcula el valor del GRG (coeficiente relacional gris) de la siguiente ecuación.

$$Y_{pq} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k(k) * \xi_{pq}$$

- 6) Por último se calcula el valor del GRC (coeficiente relacional gris), obtenida de la media de los coeficientes obtenidos.

$$GRC = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_{pq}}{n}$$

## 6. Resultados obtenidos

Una vez obtenidos todos los resultados de cada probeta y rellenas todas las hojas de datos que encontramos en el Anexo I, hemos procedido a realizar un estudio a través de gráficas y comparando los resultados de todas las probetas, para así hallar los parámetros óptimos. Para ello, hemos hecho uso de Excel y hemos dividido el proceso en los diferentes tipos de mediciones:

- Análisis dimensional.
- Análisis de desviaciones macrogeométricas.
- Análisis de desviaciones microgeométricas.
- Análisis de los resultados de las desviaciones.
- Análisis GRA.

### 6.1 Análisis dimensional de las probetas.

En este apartado, se analizará el control dimensional de tubos verticales, comprobando el diámetro interior y exterior, la altura y el espesor superior e inferior. Presentándose primero una tabla de promedios, luego un gráfico que los represente al final se comentarán las observaciones.

#### 6.1.1 Altura

Para la altura se presenta una tabla (Tabla 9) de las medias para ver qué probeta se ajusta mejor al valor nominal.

Tabla 9: Alturas medias

|                       | Altura |
|-----------------------|--------|
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 50.110 |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 49.877 |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 49.945 |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 49.995 |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 50.032 |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 50.017 |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 49.940 |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 49.865 |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 49.900 |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 49.915 |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 49.845 |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 50.010 |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 50.065 |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 50.015 |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 50.095 |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 49.990 |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 49.995 |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 50.075 |

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 9) la probeta que más se aproxima a la altura nominal es:

**Nylon\_DG\_E01\_T255\_V40** y **Nylon\_DG\_E02\_T270\_V60** (Altura nominal (50 mm)) cuyo valor es de 49.995 mm.

Para analizar el diámetro se va a empezar haciendo una gráfica del exterior y diámetro interior para ver que parámetros se ajustan mejor a las dimensiones nominales.

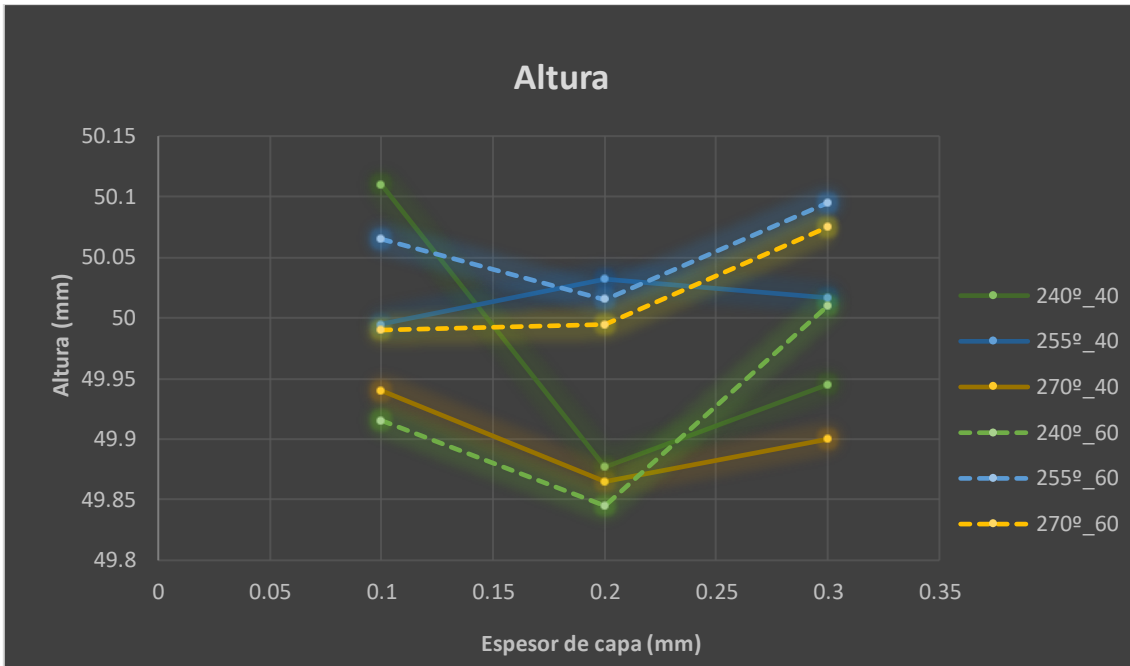


Figura 53: Alturas medias. Gráfica

A medida que aumenta el espesor de la capa, la altura de la muestra aumenta debido al valor de la altura, el número de capas y el valor del paso del motor paso a paso que mueve el eje z, si no son múltiplos, los niveles más altos o bajos (múltiplos de pasos altos) se compensarán hasta el número de capas para completar la programación.

En el caso de espesor 0.3 mm, tenemos  $50/0.3 = 166.66$  mm, por lo que en la impresión resultaría 167 mm, lo que da una mayor altura ya que no es múltiplo de espesor de la capa de la que se dispone, haciendo que dé una altura de 50.1 mm.

Para los espesores de 0.2 mm y 0.1 mm este problema no ocurriría.

Al analizar la gráfica anterior (Figura 53), se observa que para espesores de 0.1 mm, se aproximan bastante al valor nominal, esto se debe a la cantidad de capas y puesto que es menor la altura de capa, se consigue una mayor precisión consiguiendo reducir el error de la retracción del material, aunque el tiempo de impresión se incrementa. Sin embargo, en los espesores de 0.2 mm, es donde se observa la mayor desviación al nominal de todas las probetas obtenidas, especialmente a bajas velocidades de deposición de material.

En cuanto a la temperatura, un valor intermedio (255 °C) presenta mejor comportamiento que los valores extremos utilizados en el presente trabajo.

## 6.1.2 Diámetro

Para el diámetro se presenta una tabla de las medias, tanto interior como exterior para ver que probeta se ha ajustado mejor al valor nominal.

*Tabla 10: Diámetros medios*

|                       | Diámetro (mm) |          |
|-----------------------|---------------|----------|
|                       | Exterior      | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 44.635        | 30.168   |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 44.642        | 29.738   |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 44.532        | 29.963   |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 44.655        | 30.061   |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 44.572        | 29.997   |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 44.546        | 30.048   |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 44.714        | 30.077   |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 44.929        | 29.534   |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 44.718        | 29.640   |

|                       |        |        |
|-----------------------|--------|--------|
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 44.591 | 29.779 |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 44.612 | 29.693 |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 44.611 | 29.625 |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 44.838 | 29.841 |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 44.779 | 29.738 |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 44.746 | 29.669 |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 44.738 | 29.738 |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 44.644 | 29.767 |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 44.699 | 29.781 |

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 10) las probetas que más se aproximan a los diámetros nominales son:

**Nylon\_DG\_E02\_T270\_V40** (Diámetro nominal externo (45 mm)) cuyo valor es de 44.929 mm.

**Nylon\_DG\_E02\_T255\_V40** (Diámetro nominal interno (30 mm)) cuyo valor es de 29.997 mm.

Para analizar el diámetro se va a empezar haciendo una gráfica del exterior y diámetro interior para ver que parámetros se ajustan mejor a las dimensiones nominales.

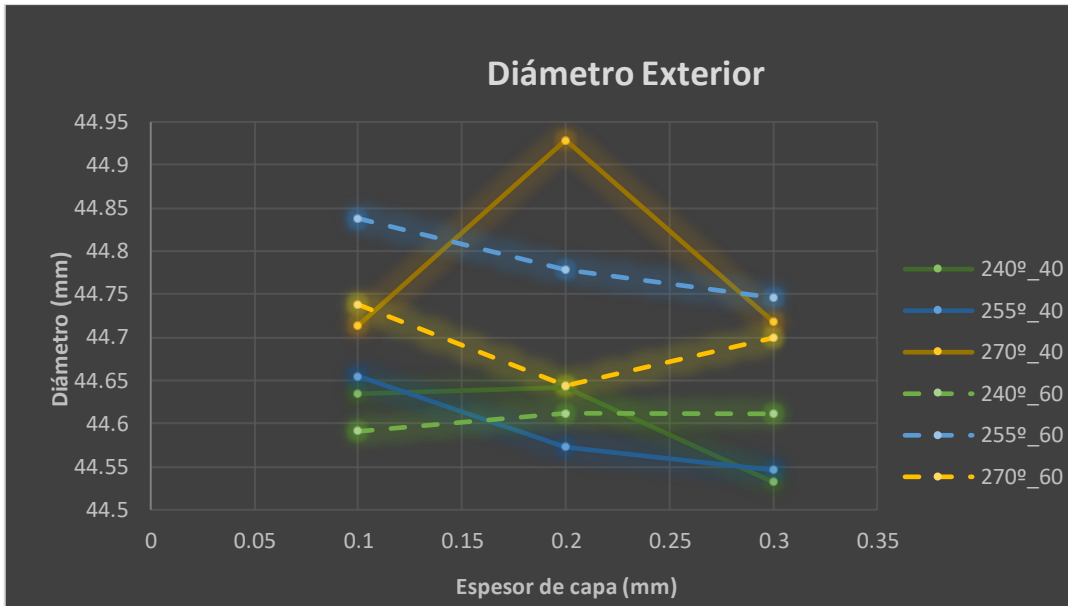


Figura 54: Diámetros exteriores medios. Gráfica

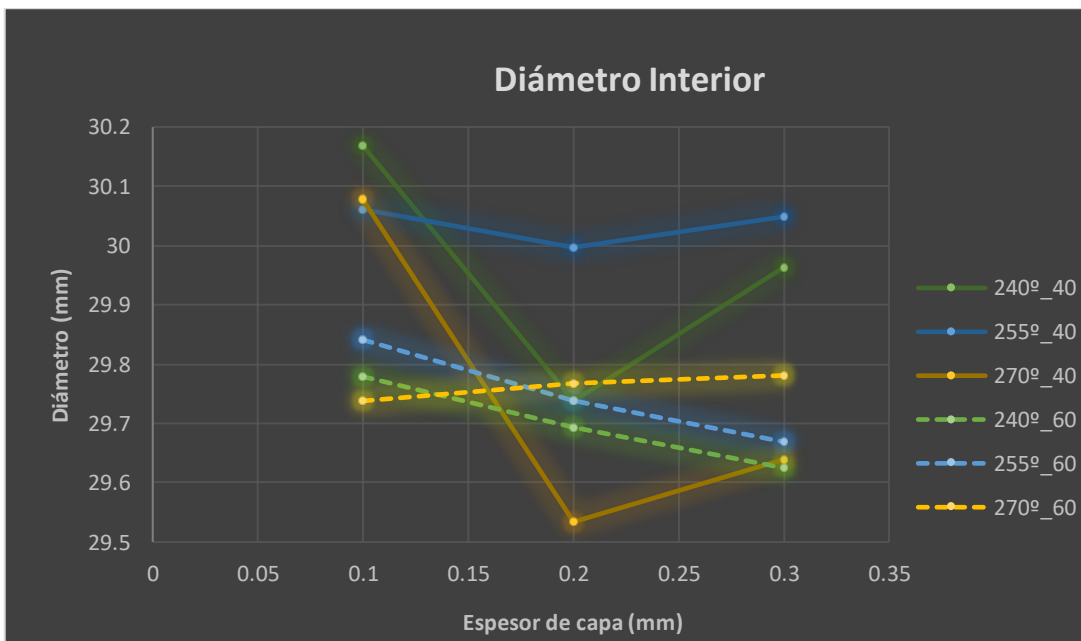


Figura 55: Diámetros interiores medios. Gráfica

En el diámetro exterior (Figura 54) se muestra que, a mayor espesor de capa, se encuentra una tendencia a alejarse del diámetro nominal. Esto puede deberse al propio proceso de impresión, cuando se realiza la deposición de nylon fundido en la capa, se va realizando a través de coordenadas previas en el G-Code, donde no se tienen en cuenta las retracciones volumétricas que sufre el material. El filamento de nylon, al enfriarse, se encogerá, disminuyendo el diámetro, por lo que a espesores mayores se encuentran mayores desviaciones.

En cuanto al diámetro interior (Figura 55), siguiendo el planteamiento anterior, debido a la retracción, ocurre lo mismo. Se puede observar como la gráfica tiende a descender, encontrándose que los valores en espesor de 0.3 mm son levemente menores a los de 0.2 mm y respectivamente con los de 0.1 mm.

Por otro lado, en cuanto a la temperatura no puede observarse una tendencia clara, tanto en la cara exterior como en la interior.

En un aspecto general, para el diámetro exterior los parámetros a temperatura de 255°C y velocidad 60 mm/s, muestran una línea de tendencia que se estabiliza más próximo a su valor nominal. Mientras que, para el diámetro interior, son los parámetros a una temperatura de 255°C y velocidad 40 mm/s, los que se aproximan más al (valor nominal).[EM1][SMB2]

### 6.1.3 Espesor

Para estudio del espesor se va a realizar una tabla de las medias, tanto superior como inferior para ver que probeta se ha ajustado mejor a las dimensiones nominales.

*Tabla 11: Espesores medios*

|                       | Espesor (mm) |          |
|-----------------------|--------------|----------|
|                       | Superior     | Inferior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 7.450        | 7.505    |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 7.595        | 7.775    |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 7.490        | 7.505    |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 7.432        | 7.525    |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 7.535        | 7.640    |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 7.482        | 7.632    |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 7.497        | 7.525    |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 7.902        | 7.850    |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 7.560        | 7.967    |

|                       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 7.447 | 7.565 |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 7.472 | 7.547 |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 7.517 | 7.682 |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 7.550 | 7.540 |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 7.507 | 7.650 |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 7.657 | 7.590 |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 7.540 | 7.597 |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 7.455 | 7.660 |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 7.565 | 7.500 |

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 11) las probetas que más se aproximan a los diámetros nominales son:

**Nylon\_DG\_E01\_T270\_V40** (Espesor nominal superior (7.500 mm)) cuyo valor es de 7.497 mm.

**Nylon\_DG\_E03\_T270\_V60** (Espesor nominal inferior (7.500 mm)) cuyo valor es de 7.500 mm.

Para analizar el espesor se va a empezar haciendo una gráfica del espesor exterior e interior para ver que parámetros se ajustan mejor a nuestras dimensiones nominales.

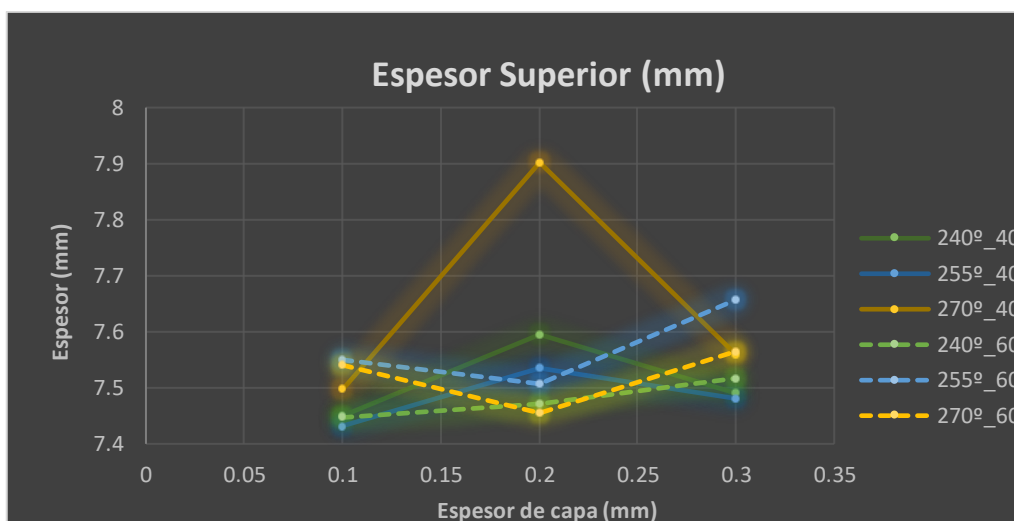


Figura 56: Espesor Superior. Gráfica

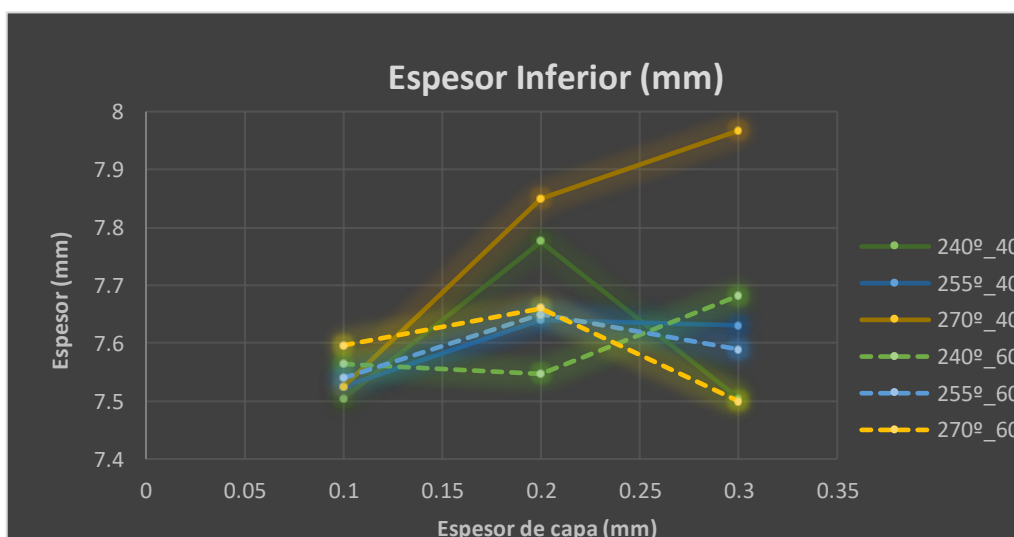


Figura 57: Espesor Inferior. Gráfica

Tras observar las gráficas del espesor superior (Figura 56) e inferior (Figura 57), es interesante observar cómo los resultados del espesor inferior son más altos que para el superior. Esto se debe al mismo proceso de impresión, aunque el filamento se vaya enfriando conforme se va avanzando en altura, éste sigue plastificado, y a medida que se van añadiendo capas en la parte superior, va aumentando el peso que soporta la base, cuyas capas tienden a aplastarse y sufrir un aumento en su superficie. Además, en la parte inferior, la probeta se encuentra apoyada en una balsa lo cual dificulta la posible contracción volumétrica al enfriarse.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia es más cercana al valor nominal serían para una temperatura de 240°C y velocidad 40 mm/s. Respecto al espesor inferior, sería para una temperatura de 255°C y velocidad 60 que se aproxima bastante al espesor nominal, aunque no hay gran diferencia con respecto a 255°C y velocidad [SMB3][EM4]40 mm/s.

## 6.2 Análisis de las desviaciones macrogeométricas

### 6.2.1 Cilindricidad

El requisito de cilindricidad especifica cuán exactamente circular y recto debe ser un cilindro de un objeto. Cualquier distorsión en un cilindro está representada por el valor.

En la siguiente tabla (Tabla 12) se recogen los valores medios de la cilindricidad en las caras interior y exterior para cada probeta.

*Tabla 12: Cilindricidad media*

|                       | Cilindricidad<br>[SMB5][EM6]( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|---|----------|
|                       | Exterior                                      | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 356.40  | 181.52   |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 345.45  | 298.32   |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 517.56  | 329.67   |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 245.11  | 139.35   |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 378.81  | 428.74   |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 399.66  | 339.76   |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 336.37  | 165.94   |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 444.34  | 526.76   |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 530.73  | 521.99   |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 522.92  | 328.85   |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 735.75  | 595.86   |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 546.93  | 376.14   |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 379.85  | 223.64   |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 509.97  | 669.95   |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 728.49  | 632.60   |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 392.88  | 189.99   |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 385.85  | 292.74   |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 481.99  | 439.82   |

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 17) las probetas cuya cilindricidad son menores son:

**Nylon\_DG\_E01\_T255\_V40** (Exterior) cuyo valor es de 245.11  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E01\_T255\_V40** (Interior) cuyo valor es de 139.35  $\mu\text{m}$ .

En la siguiente figura (Figura 58) se observa los datos de redondez exterior obtenidos de la medidora de forma.

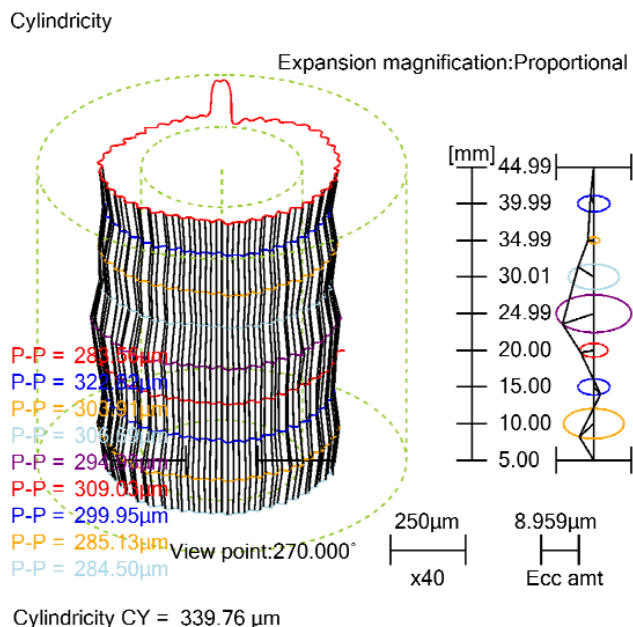


Figura 58: Cilindricidad interior de la probeta Nylon\_DG\_E03\_T255\_V40.

Para analizar la cilindricidad se va a empezar haciendo una gráfica la cilindricidad exterior (Figura 59) e interior (Figura 60) para ver que parámetros muestran un menor error en estas desviaciones (más cercano a 0 que sería el mínimo error).

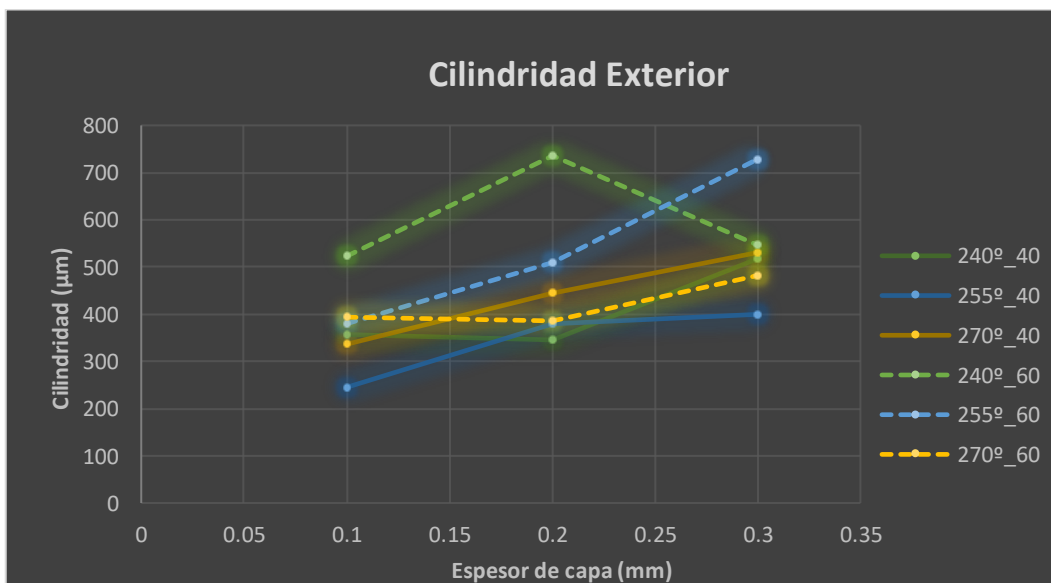


Figura 59: Cilindricidad exterior. Gráfica

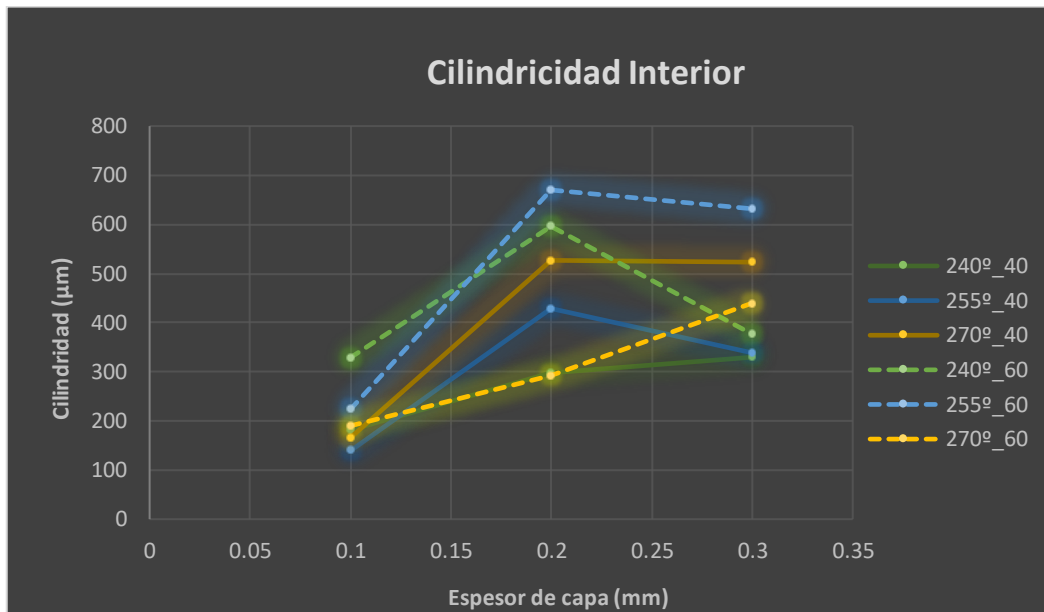


Figura 60: Cilindricidad Interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, la cilindruidad en el exterior (Figura 59) y en el interior (Figura 60), se observa que el parámetro más influyente es el espesor de capa. Al aumentar el espesor de capa, la desviación tiende a aumentar de forma generalizada. Esto se debe a que, a menor espesor de capa, el material depositado es menor, haciendo que el filamento se enfríe más rápidamente, reduciendo la retracción y manteniendo mejor su forma inicial.

También es curiosa la similitud entre ambas caras, ya que el rango de valores sufre muy poca variación, siendo levemente menores los de cilindruidad interior, y las líneas de tendencias de ambas gráficas, son relativamente parecidas.

Por otro lado, la temperatura de impresión parece no ser muy relevante en la cilindruidad, tanto exterior como interior.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima cilindruidad interior, sería para una temperatura de 255°C y velocidad 40 mm/s y para la cilindruidad exterior, sería para una temperatura de 240°C y velocidad 40 mm/s.

## 6.2.2 Redondez

El requisito de redondez especifica cuán perfectamente circular debe ser un objeto.

En la siguiente tabla se recogen los valores medios de la redondez en las caras interior y exterior para cada probeta.

*Tabla 13: Redondez media*

|                       | Redondez ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|----------------------------|----------|
|                       | Exterior                   | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 243.875                    | 122.828  |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 272.346                    | 244.560  |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 376.775                    | 286.855  |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 177.228                    | 104.293  |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 288.150                    | 276.754  |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 278.546                    | 280.258  |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 186.623                    | 111.265  |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 320.887                    | 358.120  |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 337.250                    | 365.258  |

|                       |         |         |
|-----------------------|---------|---------|
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 313.171 | 163.070 |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 339.854 | 347.933 |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 443.736 | 321.657 |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 254.338 | 128.662 |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 355.721 | 368.351 |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 488.750 | 411.476 |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 255.002 | 139.214 |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 291.510 | 226.302 |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 358.296 | 342.113 |

Como se observa en la tabla anterior (Tabla 13) las probetas cuya redondez son menores son:

**Nylon\_DG\_E01\_T255\_V40** (Exterior) cuyo valor es de 177.228  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E01\_T255\_V40** (Interior) cuyo valor es de 104.293  $\mu\text{m}$ .

En la siguiente figura (Figura 54) se observa los datos de redondez exterior obtenidos de la medidora de forma.

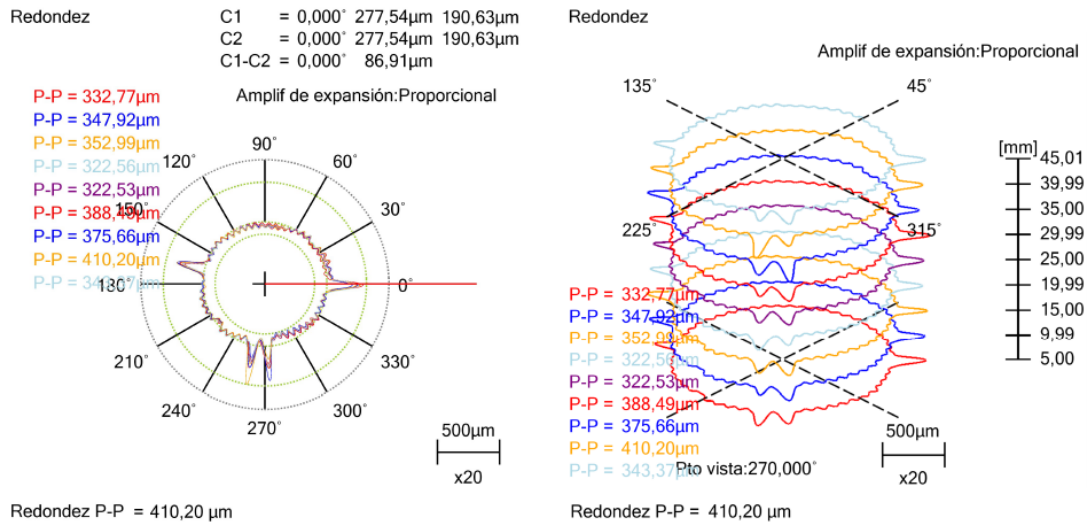


Figura 61: Redondez exterior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

Para analizar la redondez se va a realizar una gráfica para el exterior (Figura 62) y otra para el interior (Figura 63), como en el caso anterior, con los resultados, para ver que parámetros se aproximan más a 0, que sería el mínimo error.

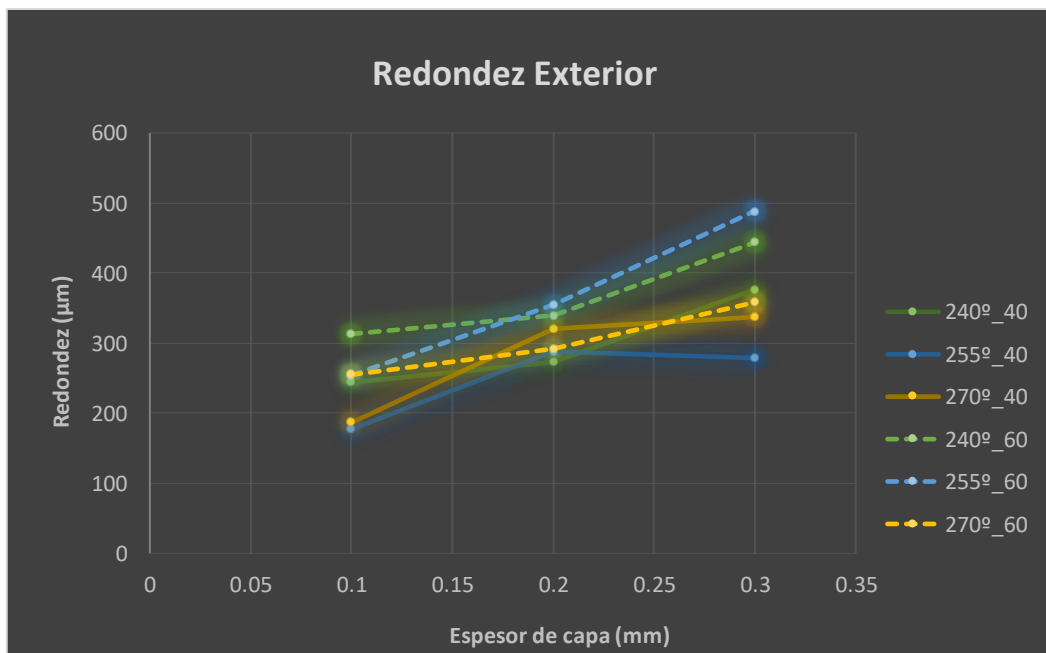


Figura 62: Redondez exterior. Gráfica

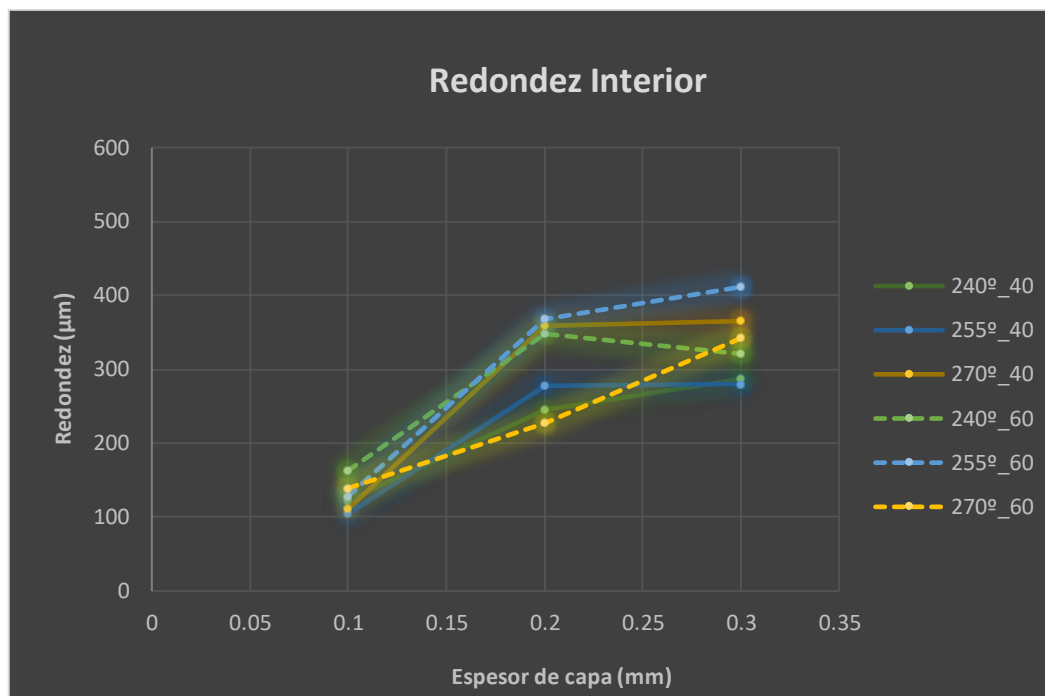


Figura 63: Redondez Interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, exterior (Figura 62) e interior (Figura 63), se observa que el parámetro más influyente es el espesor de capa. Al aumentar el espesor de capa la línea de tendencia tiende a aumentar. Esto se debe a que, a menor espesor de capa, el material depositado es menor, haciendo que el filamento se enfríe más rápidamente, reduciendo la retracción y manteniendo mejor su forma inicial.

Por otro lado, la temperatura de impresión parece no ser muy relevante en la cilindridad, tanto exterior como interior. Puede deberse en parte a la poca repetitividad de la fabricación de las probetas.

Además, se observa una clara diferencia entre las dos caras, teniendo en el exterior mayores valores de redondez que en la cara interior. Esto puede haberse debido a la influencia que tiene la forma en que se deposita y asienta el filamento sobre los respectivos bordes de la capa. A esto se le debe sumar el factor del diámetro ya que el exterior es mayor que el interior y la retracción del material.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima redondez exterior, sería para una temperatura de 255°C y velocidad 40 mm/s y para la redondez interior, sería para una temperatura de 240°C y velocidad 40 mm/s.

### 6.2.3 Rectitud

El requisito de rectitud especifica cuán perfectamente recto debe ser un objeto. Se aplica a líneas y no a planos, y representa una curva en la línea central o generatriz. Por lo tanto, la rectitud se usa para indicar la tolerancia de deformación de objetos largos.

En la siguiente tabla (Tabla 14) se recogen los valores medios de la rectitud en las caras interior y exterior para cada probeta.

*Tabla 14: Rectitud media*

|                       | Rectitud ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|----------------------------|----------|
|                       | Exterior                   | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 37.679                     | 28.986   |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 34.982                     | 42.300   |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 37.701                     | 35.020   |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 39.502                     | 36.989   |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 49.017                     | 37.429   |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 73.369                     | 57.656   |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 63.305                     | 67.560   |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 204.607                    | 214.858  |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 95.733                     | 206.465  |
|                       |                            |          |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 42.555                     | 61.635   |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 88.072                     | 37.827   |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 46.929                     | 36.771   |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 56.351                     | 66.115   |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 120.220                    | 162.388  |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 52.502                     | 130.562  |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 73.304                     | 61.587   |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 56.256                     | 58.875   |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 42.775                     | 80.745   |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya rectitud son menores son:

**Nylon\_DG\_E02\_T240\_V40** (Exterior) cuyo valor es de 34.982  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E01\_T240\_V40** (Interior) cuyo valor es de 28.986  $\mu\text{m}$ .

En la siguiente figura (Figura 55) se observa los datos de rectitud exterior obtenidos de la medidora de forma.

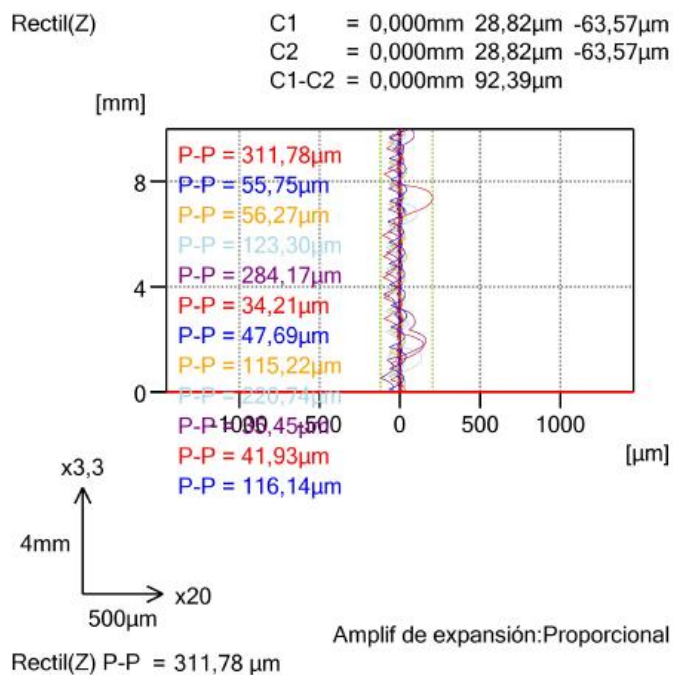


Figura 64: Rectitud exterior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

Para analizar la rectitud se va a realizar una gráfica para el exterior (Figura 65) y otra para el interior (Figura 66), como en el caso anterior, con los resultados, para ver que parámetros se aproxima más a 0, que sería el mínimo error.

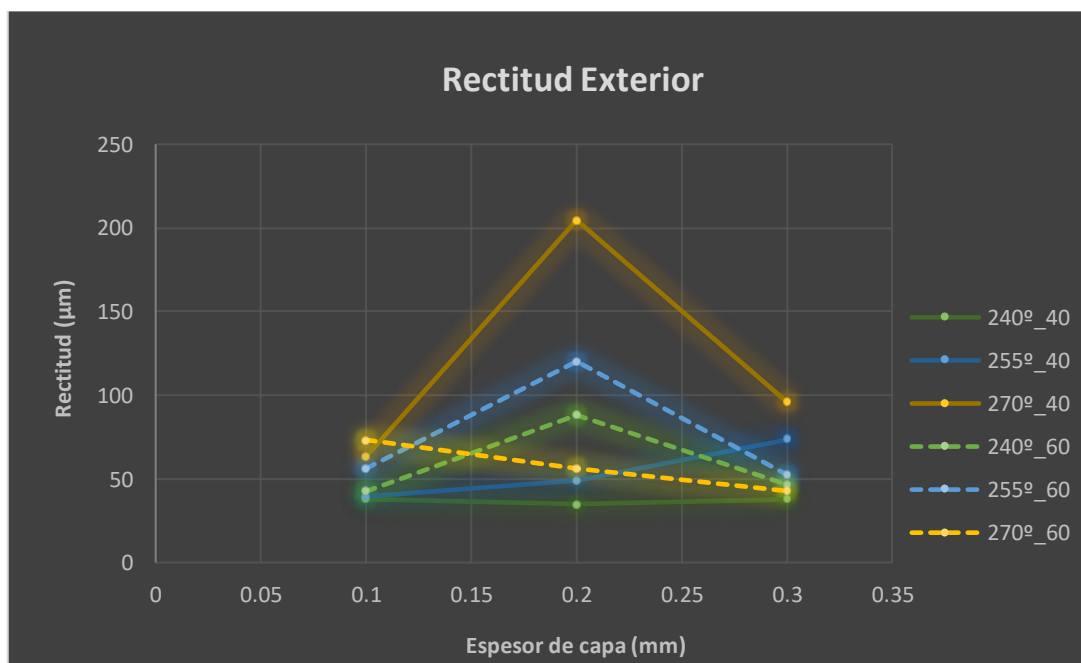


Figura 65: Rectitud exterior. Gráfica

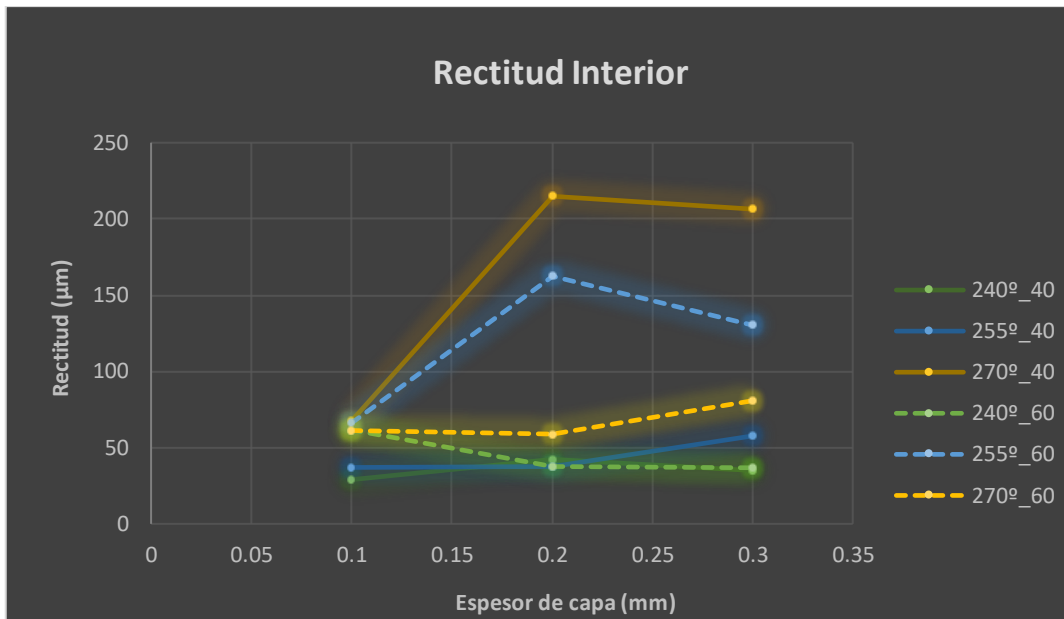


Figura 66: Rectitud interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas exterior (Figura 65) e interior (Figura 66), se observan que son bastante similares, donde el espesor de capa no es relevante en la rectitud, ya que las líneas tienden a ser horizontales. Cabe remarcar las dos combinaciones cuyos valores tienden a aumentar con el espesor de capa, la primera sería para una temperatura de 270°C y velocidad 40 mm/s y la segunda sería una temperatura de 255°C y velocidad 60 mm/s. Puede deberse en parte a la poca repetitividad de la fabricación de las probetas de cada condición.

Además, se observa una leve influencia de la temperatura en la rectitud de las dos caras. Ya que las líneas de influencia a temperatura de 240°C tienden a estar debajo de las líneas de 270°C, pero no es suficiente como para afirmarlo exactamente. Esto puede estar influenciado por el bajo número de repeticiones de cada condición.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima rectitud exterior, sería para una temperatura de 240°C y velocidad 40 mm/s y para la rectitud interior, sería una temperatura de 240°C y velocidad 40 mm/s.

## 6.2.4 Planicidad

Planicidad o Planitud es una condición de una superficie específica que tiene todos los elementos en un plano. Tolerancia de planitud proporciona una zona de tolerancia de valor especificado y definido por dos planos paralelos en donde la superficie especificada debe mentir.

En la siguiente tabla (Tabla 15), se recogen los valores medios de la planicidad en las caras superior e inferior para cada probeta.

*Tabla 15: Planicidad media*

|                       | Planicidad ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|------------------------------|----------|
|                       | Superior                     | Inferior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 139.97                       | 109.03   |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 366.90                       | 203.16   |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 208.04                       | 84.56    |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 51.71                        | 62.83    |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 182.30                       | 287.53   |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 191.95                       | 79.74    |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 38.45                        | 205.42   |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 386.69                       | 186.22   |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 240.93                       | 328.51   |
|                       |                              |          |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 120.26                       | 179.83   |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 169.57                       | 85.84    |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 295.51                       | 131.58   |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 177.99                       | 119.77   |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 309.85                       | 216.68   |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 324.79                       | 139.28   |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 149.69                       | 73.91    |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 224.81                       | 166.06   |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 385.71                       | 403.9    |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya planicidad son menores son:

**Nylon\_DG\_E01\_T270\_V40** (Superior) cuyo valor es de 38.45  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E01\_T255\_V40** (Inferior) cuyo valor es de 62.83  $\mu\text{m}$ .

En la siguiente figura (Figura 67, Figura 68), se observa los datos de planicidad exterior obtenidos de la medidora de forma.

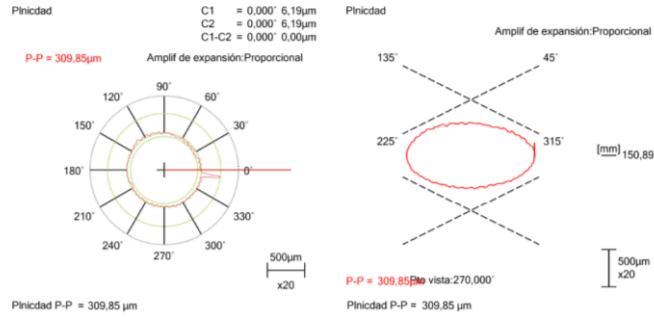


Figura 67: Planicidad superior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

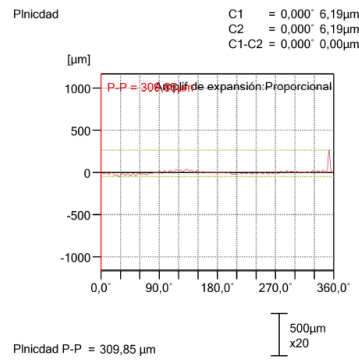


Figura 68: Planicidad superior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

Para analizar la planicidad o planitud se va a realizar una gráfica para la cara superior (Figura 69) y otra para la cara inferior (Figura 70), como en el caso anterior, con los resultados, para ver que parámetros se aproxima más a 0, que sería el mínimo error.

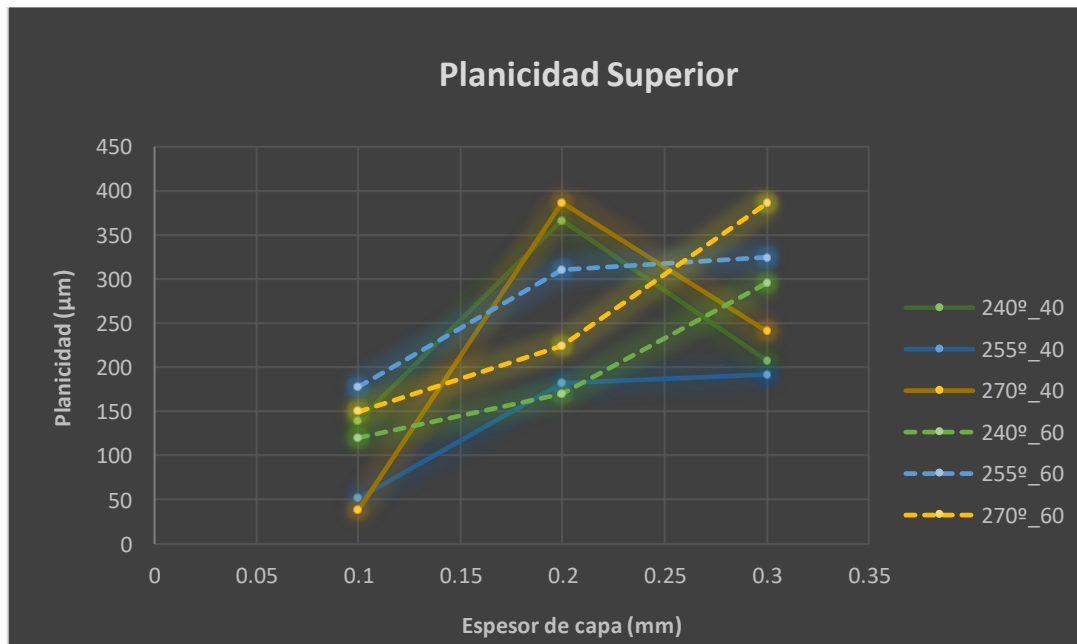


Figura 69: Planicidad superior. Gráfica

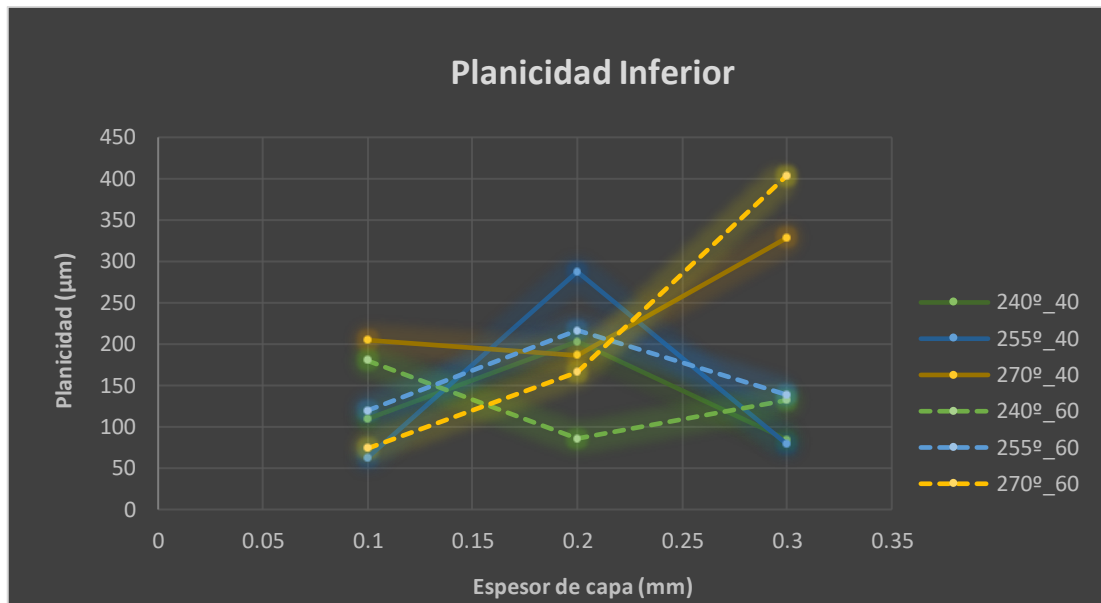


Figura 70: Planicidad inferior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, exterior (Figura 69) e interior (Figura 70), se observa que el parámetro más influyente es la temperatura. Las líneas de tendencia de las temperaturas mayores tienden a estar por encima de las temperaturas menores. Puede ser debido a la base sobre la que se apoya en la cama, cuando el nylon se encuentra a mayores temperaturas de extrusión las deformaciones en la parte inferior se acentúan levemente debido al extrusor y al propio peso de la probeta.

Además, se observa una clara similitud entre las dos gráficas, aunque se encuentra que en la cara superior los valores de desviaciones de planicidad son levemente superiores que en la cara inferior. Esto se debe al mismo proceso de impresión, aunque el filamento se vaya enfriando conforme se va avanzando en altura, éste sigue plastificado, y a medida que se van añadiendo capas en la parte superior, aumenta el peso que soportan las de la base, que tienden a aplastarse y aplanarse contra la balsa.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima planicidad exterior, sería para una temperatura de 255°C y velocidad 60 mm/s y para la planicidad interior, sería una temperatura de 240°C y velocidad 60 mm/s.

## 6.2.5 Coaxialidad

Diferencia entre un eje de rotación utilizado como referencia y la posición real del eje de una superficie de revolución. incluye defectos de inclinación entre ejes, así como defectos de excentricidad.

En la siguiente tabla (Tabla 16) se recogen los valores medios de la coaxialidad en las caras interior y exterior para cada probeta.

*Tabla 16: Coaxialidad media*

|                       | Coaxialidad ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|-------------------------------|----------|
|                       | Exterior                      | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 22.88                         | 25.76    |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 23.12                         | 72.88    |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 35.51                         | 26.35    |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 18.79                         | 25.62    |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 12.37                         | 19.48    |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 21.12                         | 17.92    |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 32.03                         | 40.20    |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 178.34                        | 134.66   |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 84.97                         | 147.74   |
|                       |                               |          |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 45.29                         | 48.01    |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 55.86                         | 68.24    |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 53.37                         | 37.60    |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 46.96                         | 55.23    |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 37.56                         | 65.60    |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 48.09                         | 118.70   |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 37.44                         | 26.11    |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 23.60                         | 17.51    |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 20.39                         | 65.45    |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya coaxialidad son menores son:

**Nylon\_DG\_E02\_T255\_V40** (Exterior) cuyo valor es de 12.37  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E02\_T270\_V60** (Interior) cuyo valor es de 17.51  $\mu\text{m}$ .

En las siguientes figuras (Figura 71, Figura 72) se observa los datos de coaxialidad exterior obtenidos de la medidora de forma.

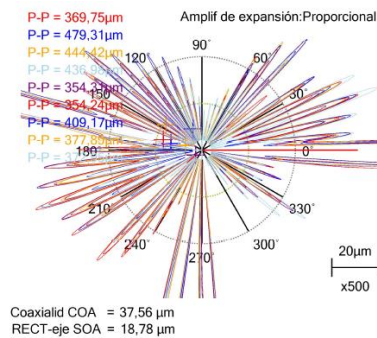


Figura 71: Coaxialidad exterior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

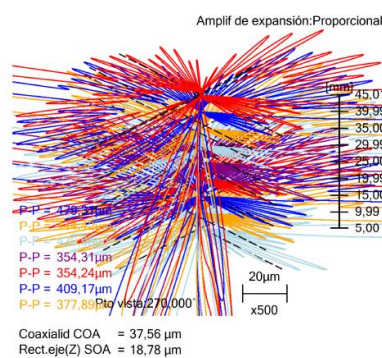


Figura 72: Coaxialidad exterior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

Para analizar la coaxialidad se va a empezar haciendo una gráfica la coaxialidad exterior (Figura 73) e interior (Figura 74) para ver que parámetros muestran un menor error en estas desviaciones (más cercano a 0 que sería el mínimo error).

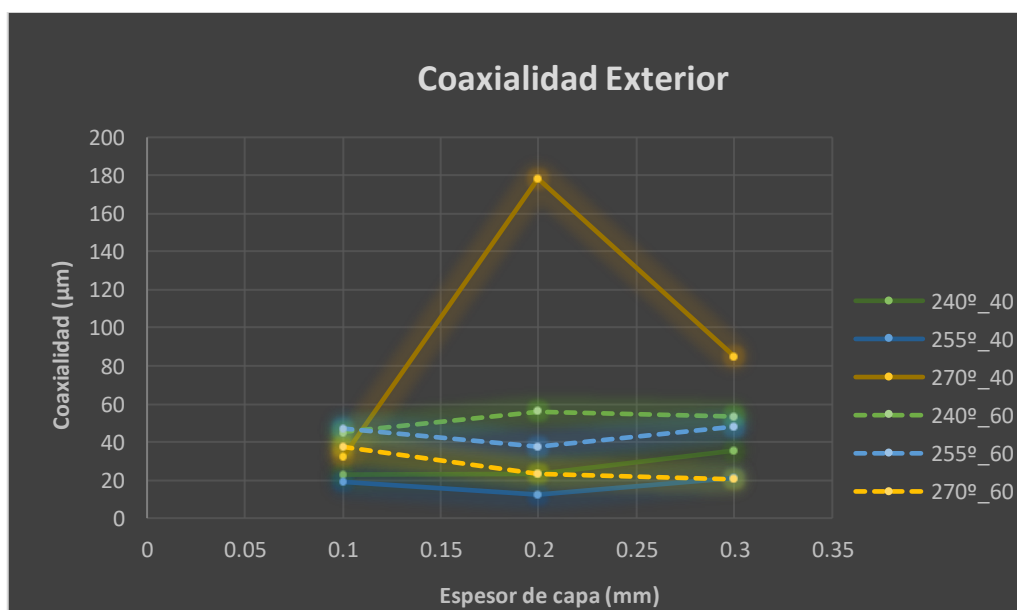


Figura 73: Coaxialidad exterior. Gráfica

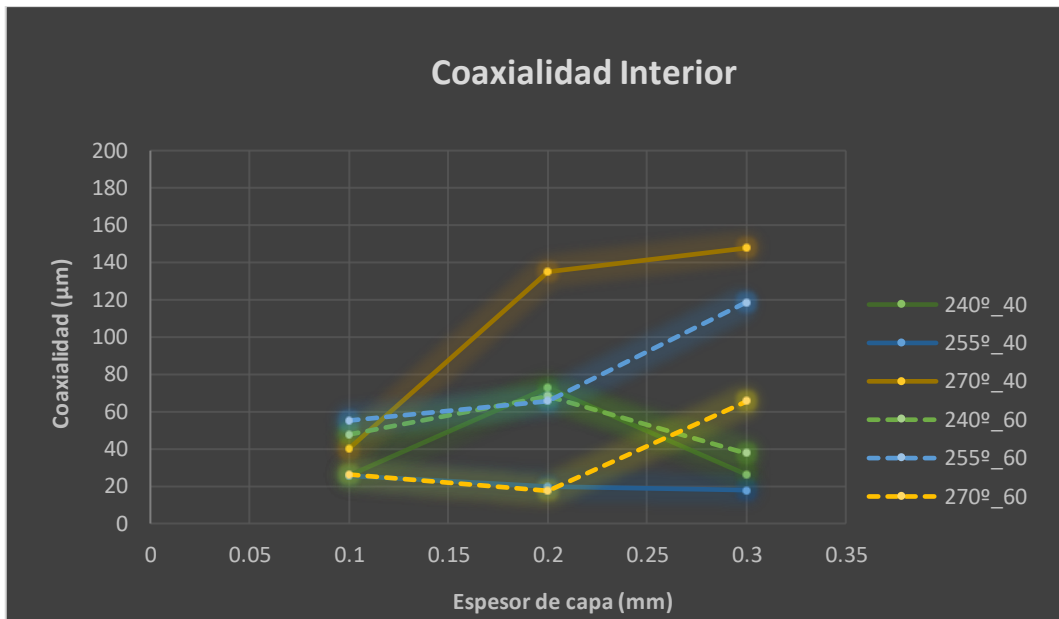


Figura 74: Coaxialidad interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, exterior (Figura 73) e interior (Figura 74), se observa una clara diferencia entre las dos gráficas, en el caso de la cara exterior tenemos una gráfica que es casi lineal, excepto por el resultado de la probeta fabricada a temperatura de 270°C, espesor de 0.2 mm y velocidad de 40 mm/s, el cual da un valor un poco atípico. Por lo tanto, se podría considerar que, de forma generalizada, la coaxialidad exterior no se ve influenciada por ninguno de los parámetros de estudio. Sin embargo, la coaxialidad interior si esta influenciada levemente por los espesores de capa, haciendo que aumente su desviación en función del aumento de espesor de capa.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima coaxialidad exterior, sería para una temperatura de 255°C y velocidad 60 mm/s y para la coaxialidad interior, sería una temperatura de 255°C y velocidad 60 mm/s.

### 6.2.6 Concentricidad

La concentricidad es el estado en el que el eje (o punto central) de un dato característico es congruente con los puntos medios de todos los elementos diametralmente opuestos de una figura o revolución, o los elementos correspondientemente ubicados de dos o más características dispuestas radialmente.

En la siguiente tabla (Tabla 17), se recogen los valores medios de la concentricidad en las caras exterior e interior para cada probeta.

Tabla 17: Concentricidad media

|                       | Concentricidad ( $\mu\text{m}$ ) |                               |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                       | Exterior                         | Interior                      |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 23.27                            | 77.66                         |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 57.49                            | 109.96                        |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 46.52                            | 37.35                         |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 90.34                            | 72.95                         |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 81.38                            | 84.35                         |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 26.68                            | 26.50                         |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 50.61                            | 57.43                         |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 182.19                           | 173.52                        |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 87.94                            | 741.19 <sub>[SMB7][EM8]</sub> |
|                       |                                  |                               |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 46.39                            | 151.85                        |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 48.51                            | 110.71                        |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 50.96                            | 70.96                         |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 52.49                            | 66.06                         |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 77.41                            | 110.41                        |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 41.07                            | 178.73                        |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 58.63                            | 61.02                         |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 73.29                            | 54.57                         |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 62.80                            | 183.81                        |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya concentricidad son menores son:

**Nylon\_DG\_E01\_T240\_V40** (Exterior) cuyo valor es de 23.27  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E03\_T255\_V40** (Interior) cuyo valor es de 26.5  $\mu\text{m}$ .

En la siguiente figura (Figura 75) se observa los datos de redondez exterior obtenidos de la medidora de forma:

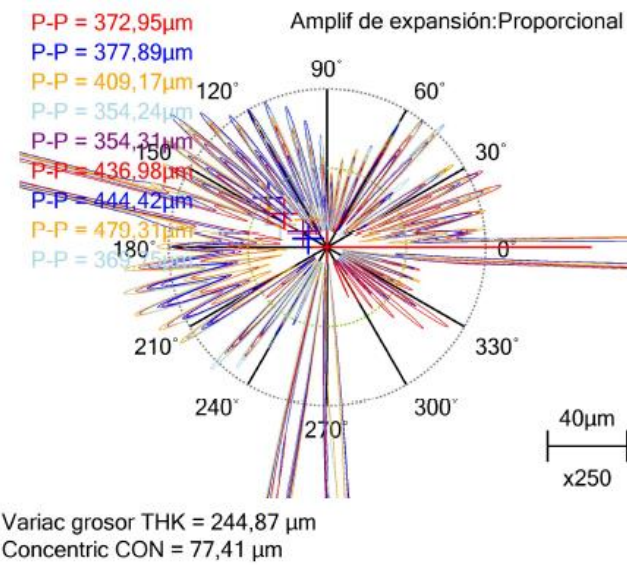


Figura 75: Concentricidad exterior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

Para analizar la concentricidad se va a empezar haciendo una gráfica la coaxialidad exterior (Figura 76) e interior (Figura 77) para ver que parámetros muestran un menor error en estas desviaciones (más cercano a 0 que sería el mínimo error).

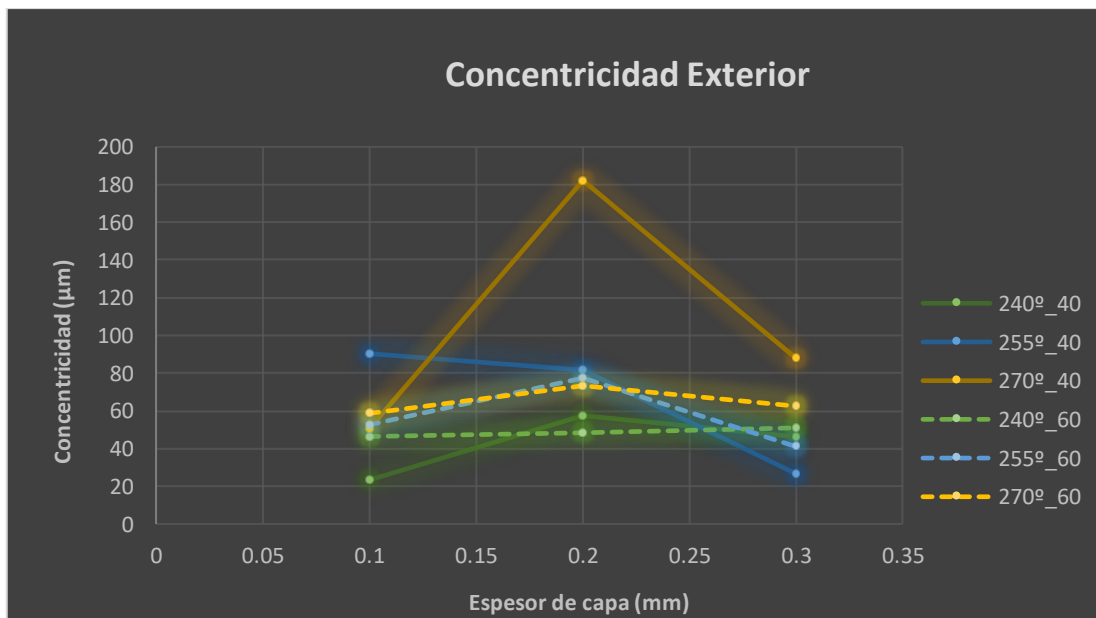


Figura 76: Concentricidad exterior. Gráfica

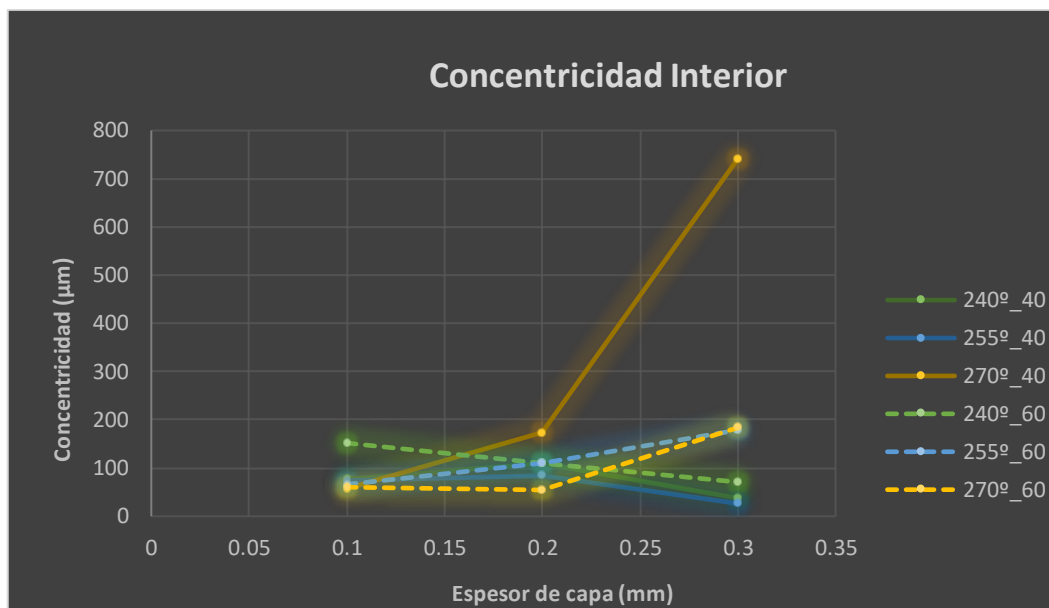


Figura 77: Concentricidad interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, exterior (Figura 76) e interior (Figura 77), se observan que son bastante similares, donde el espesor de capa no es relevante en la concentricidad, ya que las líneas tienden a ser horizontales, cabe remarcar las dos combinaciones cuyos valores muestran un resultado que se aleja de la línea de tendencia. Estas probetas corresponden con una temperatura de 270°C y velocidad 40 mm/s para espesores de capa de 0.2 mm y 0.3mm. Puede deberse en parte a la poca repetitividad de la fabricación de las probetas de cada condición.

Además, se observa que la temperatura no tiene gran influencia en la concentricidad de ambas caras.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima concentricidad exterior, sería para una temperatura de 240°C y velocidad 60 mm/s y para la concentricidad interior, sería una temperatura de 255°C y velocidad 60 mm/s.

## 6.2.7 Desviación radial

La desviación radial es el salto o excentricidad en una vuelta completa alrededor del eje de referencia A.

En la siguiente tabla (Tabla 18) se recogen los valores medios de la desviación radial en las caras interior y exterior para cada probeta.

*Tabla 18: Desviación radial. Gráfica*

|                       | Desv. Radial ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|--------------------------------|----------|
|                       | Exterior                       | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 13.27                          | 15.77    |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 19.32                          | 10.72    |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 34.76                          | 30.42    |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 18.36                          | 20.79    |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 18.71                          | 23.61    |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 34.29                          | 24.09    |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 20.18                          | 31.21    |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 86.54                          | 93.85    |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 140.03                         | 113.81   |
|                       |                                |          |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 68.73                          | 115.56   |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 77.90                          | 13.92    |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 66.75                          | 37.24    |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 38.93                          | 56.53    |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 27.37                          | 14.54    |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 28.05                          | 25.22    |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 20.21                          | 16.73    |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 9.21                           | 18.76    |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 15.69                          | 24.43    |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya desviación radial son menores son:

**Nylon\_DG\_E02\_T270\_V60** (Exterior) cuyo valor es de 9.21  $\mu\text{m}$ .

**Nylon\_DG\_E02\_T240\_V40** (Interior) cuyo valor es de 10.72  $\mu\text{m}$ .

En la siguiente figura (Figura 78) se observa los datos de desviación radial exterior obtenidos de la medidora de forma.

Des radial

Amplif de expansión: Proporcional

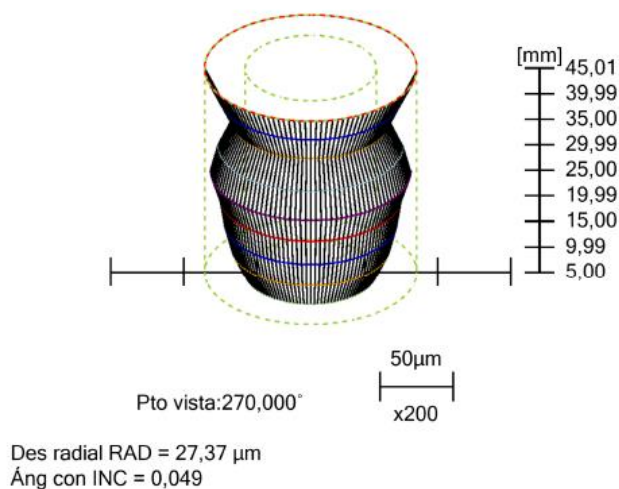


Figura 78: Desviación radial exterior de la probeta Nylon\_DG\_E02\_T255\_V60

Para analizar la desviación radial se va a empezar haciendo una gráfica la desviación radial exterior (Tabla 36) e interior (Tabla 37) para ver que parámetros muestran un menor error en estas desviaciones (más cercano a 0 que sería el mínimo error).

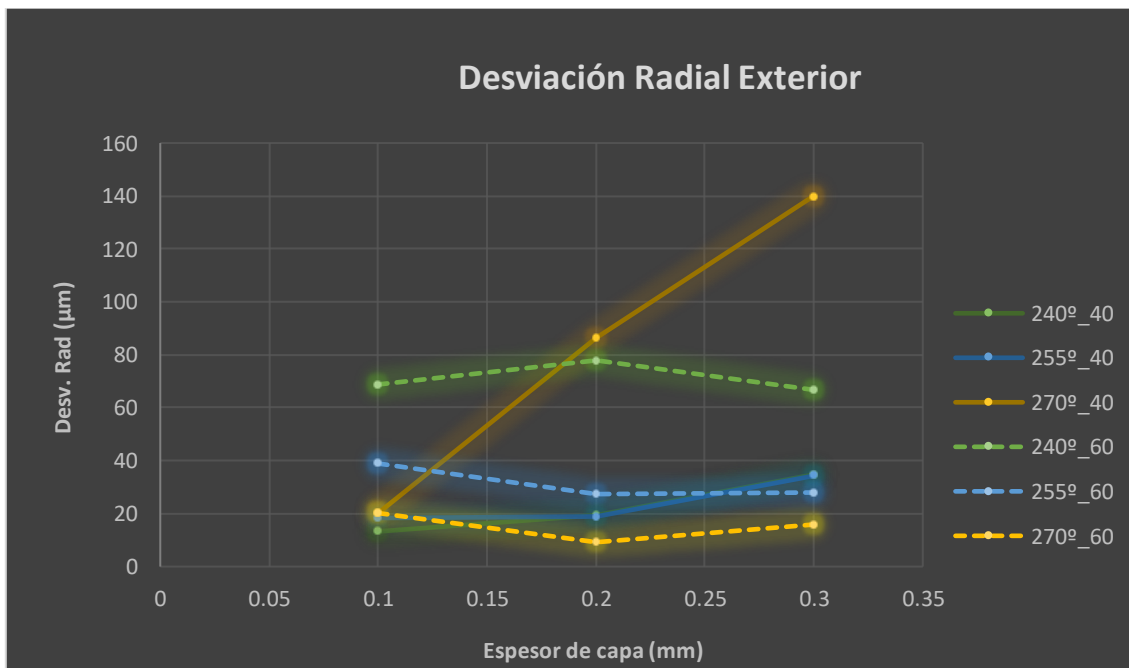


Figura 79: Desviación radial exterior. Gráfica

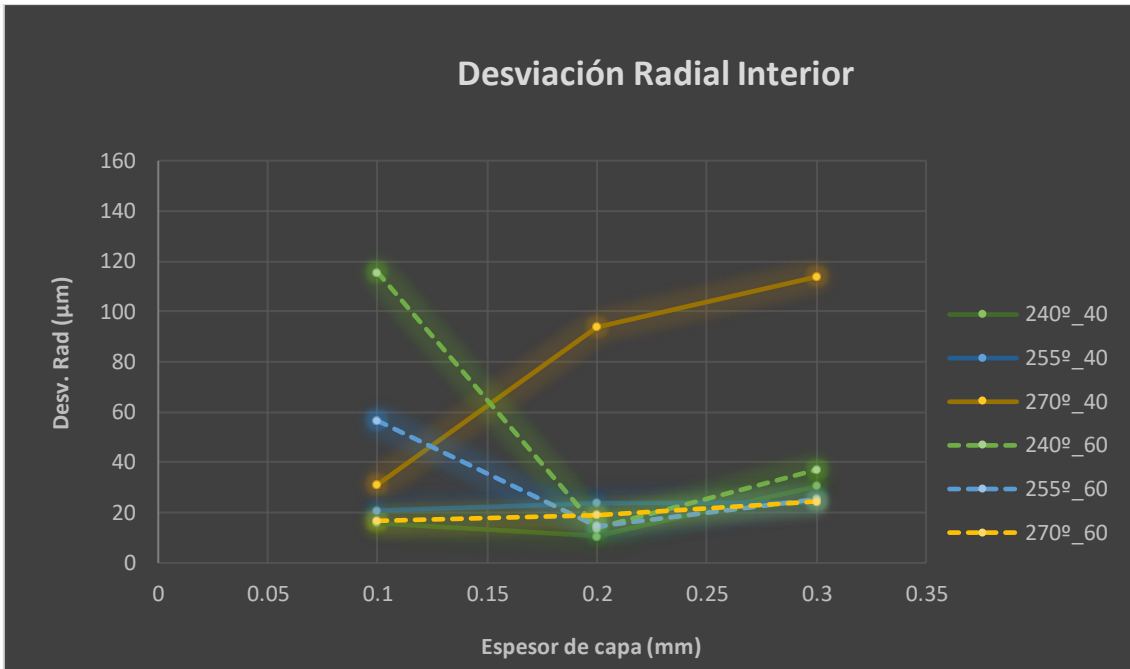


Figura 80: Desviación radial interior. Gráfica.

Tras analizar las gráficas de desviación radial exterior (Figura 79) e interior (Figura 80), se observa una clara diferencia entre las dos gráficas, en el caso de la cara exterior tenemos una gráfica que es casi lineal, excepto por el resultado de la probeta fabricada a temperatura de 270°C, espesor de 0.3 mm y velocidad de 40 mm/s, el cual da un valor atípico. Por lo tanto, se podría afirmar que la desviación radial exterior no se ve influenciada por ninguno de los parámetros de estudio. Sin embargo, la desviación radial interior, si esta influenciada levemente por los espesores de capa, aunque no podemos predecir una tendencia lineal. Esto puede estar influenciado a la hora de la fabricación, por el bajo número de repeticiones de cada condición.

Además, se observa una leve influencia de la temperatura en la desviación radial de la cara exterior. Ya que las líneas de influencia a temperatura de 240°C tienden a estar en una zona superior de las líneas de 255°C y estas a su vez por encima de las de 270°C para la velocidad de 60 mm/s. Para la velocidad de 40 mm/s no podemos afirmar esto.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima rectitud exterior, sería para una temperatura de 270°C y velocidad 60 mm/s y para la rectitud interior, sería una temperatura de 270°C y velocidad 60 mm/s.

## 6.3 Análisis de las desviaciones microgeométricas

### 6.3.1 Rugosidad media aritmética

En la siguiente tabla (Tabla 19) se especifican los valores medios de la rugosidad media aritmética. Tanto exterior como interior.

*Tabla 19: Rugosidad media aritmética.*

|                       | Ra ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|----------------------|----------|
|                       | Exterior             | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 7.889                | 7.824    |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 22.477               | 24.208   |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 23.368               | 24.250   |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 8.630                | 8.323    |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 22.942               | 23.456   |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 23.207               | 25.204   |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 12.060               | 12.472   |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 27.929               | 31.224   |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 23.247               | 24.59    |
|                       |                      |          |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 6.924                | 8.710    |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 63.163               | 13.662   |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 22.605               | 23.644   |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 22.771               | 23.644   |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 14.987               | 24.026   |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 22.973               | 27.947   |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 10.803               | 12.414   |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 14.723               | 13.893   |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 13.879               | 12.708   |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya Ra es menor son:

**Nylon\_DG\_E01\_T240\_V60** con un Ra de 6.924  $\mu\text{m}$ . (Exterior)

**Nylon\_DG\_E01\_T240\_V40** con un Ra de 7.824  $\mu\text{m}$  (Interior)

Para analizar la rugosidad media aritmética tanto exterior (Figura 81) como interior (Figura 82) vamos a realizar una gráfica como en el caso anterior, para ver que parámetros se aproxima más a 0 que sería el mínimo error.

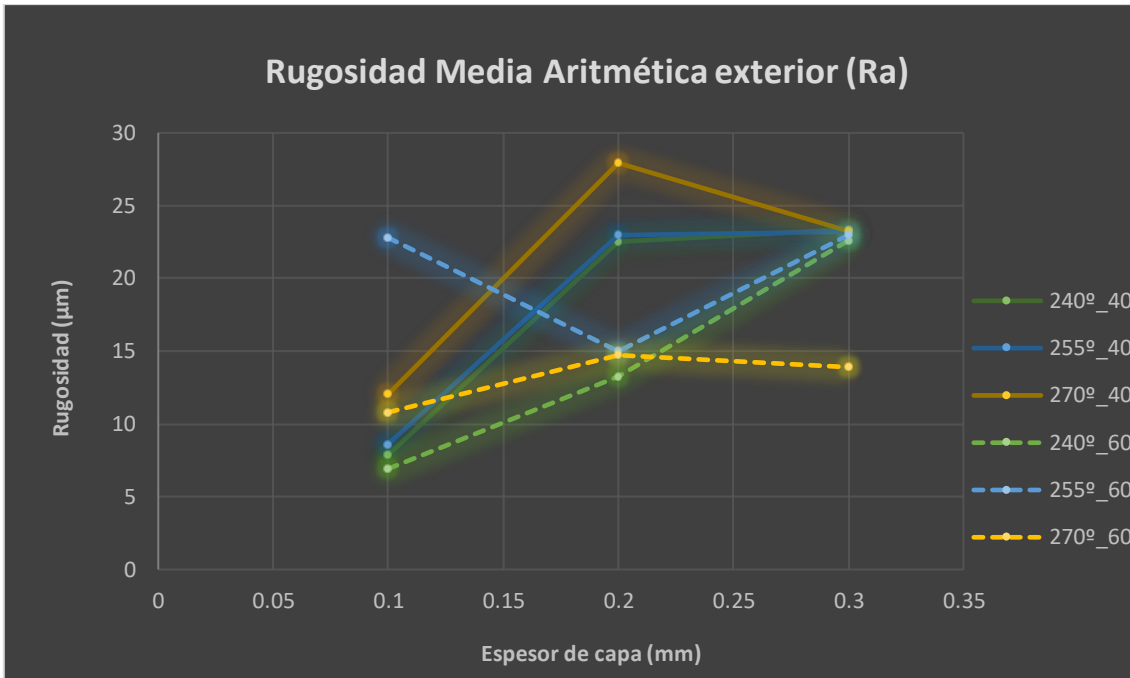


Figura 81: Rugosidad media aritmética exterior. Gráfica

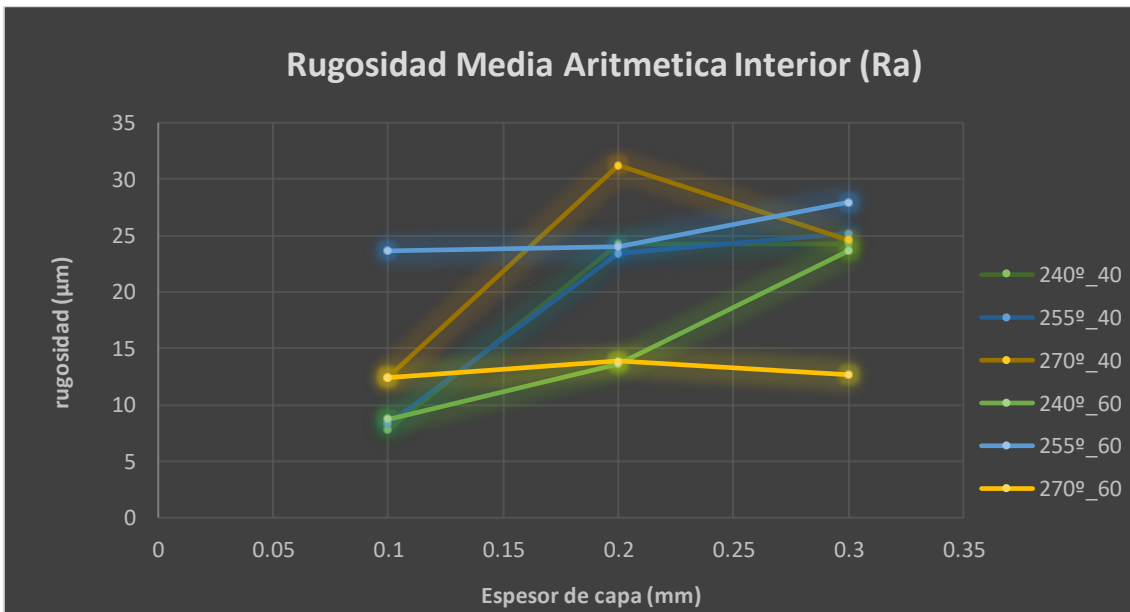


Figura 82: Rugosidad media aritmética interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, exterior (Figura 81) e interior (Figura 82), se observa que el parámetro más influyente es el espesor de capa. Al aumentar el espesor de capa, de forma generalizada la rugosidad media aritmética tiende a aumentar. Esto se debe a que, a menor espesor de capa menores serán los picos en el perfil de rugosidades, es decir, las probetas con un espesor de capa de 0.1 mm tienen mejor acabado superficial,



con menor rugosidad, que las fabricadas a 0.2 mm al igual que estas con respecto a las de 0.3 mm de espesor de capa.

Por otro lado, la temperatura de impresión parece no ser muy relevante en la rugosidad media aritmética. Puede deberse en parte a la poca repetitividad de la fabricación de las probetas.

Además, se observa una clara similitud en las tendencias de ambas caras, siendo estas dos muy parecidas, aunque teniendo en la cara exterior menores valores de rugosidad que en la cara interior.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima Ra exterior, sería para una temperatura de 240°C y velocidad 60 mm/s y para la Ra interior, sería para una temperatura de 270°C y velocidad 60 mm/s.

### 6.3.2 Altura media de la rugosidad

En la siguiente tabla (Tabla 20) se especifican los valores medios de la altura media de rugosidad. Tanto exterior como interior.

*Tabla 20: Altura media de la rugosidad.*

|                       | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |          |
|-----------------------|----------------------|----------|
|                       | Exterior             | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 51.453               | 48.002   |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 111.070              | 115.333  |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 106.978              | 108.976  |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 54.696               | 53.454   |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 105.112              | 111.151  |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 106.946              | 112.635  |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 81.433               | 87.023   |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 160.465              | 183.195  |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 112.515              | 135.096  |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 41.674               | 53.560   |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 65.126               | 67.418   |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 103.866              | 106.681  |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 112.281              | 92.808   |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 82.916               | 118.799  |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 117.205              | 156.872  |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 75.179               | 85.489   |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 74.635               | 70.493   |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 69.677               | 67.623   |

Como se observa en la tabla anterior las probetas cuya Rz es menor son:

**Nylon\_DG\_E01\_T240\_V60** con un Rz de 41.674  $\mu\text{m}$ . (Exterior)

**Nylon\_DG\_E01\_T240\_V40** con un Rz de 48.002  $\mu\text{m}$  (Interior)

Para analizar la altura media de la rugosidad, tanto exterior (Figura 83) como interior (Figura 84) vamos a realizar una gráfica como en el caso anterior, para ver que parámetros se aproxima más a 0 que sería el mínimo error.

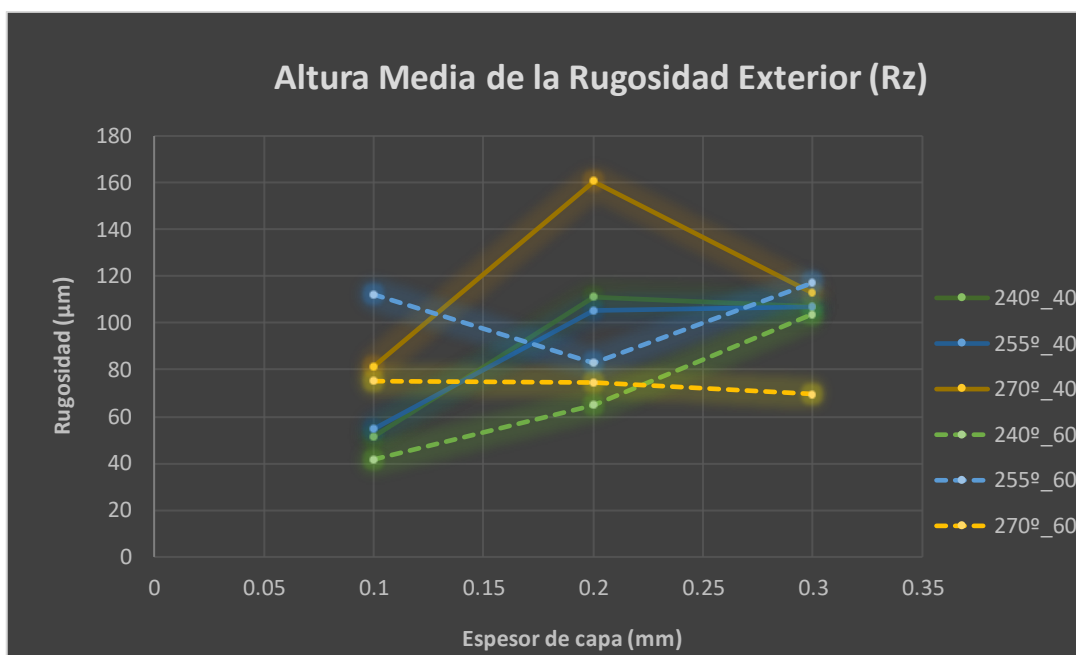


Figura 83: Rugosidad media exterior. Gráfica

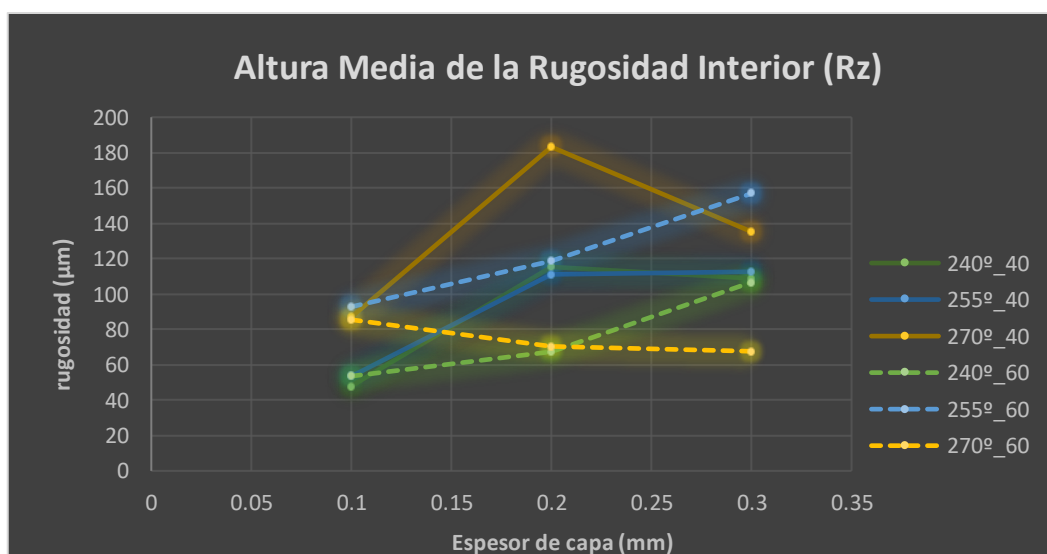


Figura 84: Rugosidad media interior. Gráfica

Tras analizar las gráficas, exterior (Figura 83) e interior (Figura 84), se observa que el parámetro más influyente es el espesor de capa. Al aumentar el espesor de capa la línea de tendencia tiende a aumentar. Esto se debe a que, a menor espesor de capa menores serán los promedios de las alturas entre picos y valles en el perfil de rugosidades, es decir, las probetas con un espesor de capa de 0.1 mm tienen mejor acabado superficial, con menor rugosidad (Rz), que las fabricadas a 0.2 mm al igual que estas con respecto a las de 0.3 mm de espesor de capa. }SMB9}[EM10]

Por otro lado, la temperatura de impresión parece no ser muy relevante en la altura media de la rugosidad (Rz). Puede deberse en parte a la poca repetitividad de la fabricación de las probetas.

Además, se observa una clara similitud en las tendencias de ambas caras, siendo estas dos gráficas muy parecidas, teniendo en la cara exterior valores similares de rugosidad que en la cara interior.

En un aspecto más general, los parámetros cuya línea de tendencia muestra la mínima Ra exterior, sería para una temperatura de 270°C y velocidad 60 mm/s y para la Ra interior, sería para una temperatura de 240°C y velocidad 60 mm/s.

#### 6.4 Análisis de los resultados de las desviaciones

Tras analizar todas las probetas en los distintos parámetros se ha visto que probeta cumple mejor con las distintas desviaciones geométricas y hemos obtenido las siguientes tablas agrupándolas respecto a los parámetros de temperatura y velocidad:

*Tabla 21: Análisis de la probeta con menor desviación I*

|          | Diámetro |          | Altura | Espesor  |          |
|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
|          | Exterior | Interior |        | Superior | Inferior |
| T240_V40 |          |          |        | X        |          |
| T255_V40 |          | X        |        |          |          |
| T270_V40 |          |          |        |          |          |
| T240_V60 |          |          |        |          |          |
| T255_V60 | X        |          |        |          |          |
| T270_V60 |          |          | X      |          | X        |

*Tabla 22: Análisis de la probeta con menor desviación II*

|          | Rugosidad (Ra) |          | Rugosidad (Rz) |          |
|----------|----------------|----------|----------------|----------|
|          | Exterior       | Interior | Exterior       | Interior |
| T240_V40 |                |          |                |          |
| T255_V40 |                |          |                |          |
| T270_V40 |                |          |                |          |
| T240_V60 |                | X        |                |          |
| T255_V60 |                |          |                |          |
| T270_V60 | X              |          | X              | X        |

Tabla 23: Análisis de la probeta con menor desviación III

|          | Redondez |          | Rectitud |          | Cilindricidad |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|----------|
|          | Exterior | Interior | Exterior | Interior | Exterior      | Interior |
| T240_V40 |          | X        | X        | X        |               | X        |
| T255_V40 | X        |          |          |          | X             |          |
| T270_V40 |          |          |          |          |               |          |
| T240_V60 |          |          |          |          |               |          |
| T255_V60 |          |          |          |          |               |          |
| T270_V60 |          |          |          |          |               |          |

Tabla 24: Análisis de la probeta con menor desviación IV

|          | Concentricidad |          | Coaxialidad |          | Desviación Rad |          |
|----------|----------------|----------|-------------|----------|----------------|----------|
|          | Exterior       | Interior | Exterior    | Exterior | Interior       | Interior |
| T240_V40 | X              |          |             | X        |                | X        |
| T255_V40 |                | X        | X           |          | X              |          |
| T270_V40 |                |          |             |          |                |          |
| T240_V60 |                |          |             |          |                |          |
| T255_V60 |                |          |             |          |                |          |
| T270_V60 |                |          |             |          |                |          |

Tabla 25: Análisis de la probeta con menor desviación V

|          | Planicidad |          | TOTAL |
|----------|------------|----------|-------|
|          | Superior   | Inferior |       |
| T240_V40 |            | X        | 9     |
| T255_V40 | X          |          | 7     |
| T270_V40 |            |          | 0     |
| T240_V60 |            |          | 1     |
| T255_V60 |            |          | 1     |
| T270_V60 |            |          | 5     |

Como se observa los parámetros donde mejores probetas han salido es a una temperatura de 240°C y velocidad 40 mm/s.

Analizando estas tablas podemos ver como a una mayor velocidad, es mejor una mayor temperatura, mientras que, a una velocidad menor, tenemos más precisión bajando la temperatura.

Debido a esto, se podría elegir los parámetros dependiendo de las necesidades, ya que a tenemos los tres valores de temperatura significativos:

- Velocidad 40 y temperatura de 240°C
- Velocidad 40 y temperatura de 255°C
- Velocidad 60 y temperatura de 270°C<sub>[SMB11]</sub><sub>[EM12]</sub>

## 6.5 Resultados GRA.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de calcular los coeficientes de relación gris (GRC) de cada parámetro de desviaciones, de la combinación de todos estos valores se obtiene el grado de relación gris (GRG), valor que indica el experimento óptimo. En la última columna de la tabla referida (Rank) se ha enumerado por orden de óptimo a menos de acorde al análisis relacional gris.

*Tabla 26: Análisis GRA I*

| Identificación               | Rugosidad (Ra) |          | Rugosidad (Rz) |          |
|------------------------------|----------------|----------|----------------|----------|
|                              | Exterior       | Interior | Exterior       | Interior |
| <i>Nylon_DG_E01_T240_V40</i> | 0.92           | 1.00     | 0.86           | 1.00     |
| <i>Nylon_DG_E02_T240_V40</i> | 0.40           | 0.42     | 0.46           | 0.50     |
| <i>Nylon_DG_E03_T240_V40</i> | 0.39           | 0.42     | 0.48           | 0.53     |
| <i>Nylon_DG_E01_T255_V40</i> | 0.86           | 0.96     | 0.82           | 0.93     |
| <i>Nylon_DG_E02_T255_V40</i> | 0.40           | 0.43     | 0.48           | 0.52     |
| <i>Nylon_DG_E03_T255_V40</i> | 0.39           | 0.40     | 0.48           | 0.51     |
| <i>Nylon_DG_E01_T270_V40</i> | 0.67           | 0.72     | 0.60           | 0.63     |
| <i>Nylon_DG_E02_T270_V40</i> | 0.33           | 0.33     | 0.33           | 0.33     |
| <i>Nylon_DG_E03_T270_V40</i> | 0.39           | 0.41     | 0.46           | 0.44     |
| <i>Nylon_DG_E01_T240_V60</i> | 1.00           | 0.93     | 1.00           | 0.92     |
| <i>Nylon_DG_E02_T240_V60</i> | 0.62           | 0.67     | 0.72           | 0.78     |
| <i>Nylon_DG_E03_T240_V60</i> | 0.40           | 0.43     | 0.49           | 0.54     |
| <i>Nylon_DG_E01_T255_V60</i> | 0.40           | 0.43     | 0.46           | 0.60     |
| <i>Nylon_DG_E02_T255_V60</i> | 0.57           | 0.42     | 0.59           | 0.49     |
| <i>Nylon_DG_E03_T255_V60</i> | 0.40           | 0.37     | 0.44           | 0.38     |
| <i>Nylon_DG_E01_T270_V60</i> | 0.73           | 0.72     | 0.64           | 0.64     |
| <i>Nylon_DG_E02_T270_V60</i> | 0.57           | 0.66     | 0.64           | 0.75     |
| <i>Nylon_DG_E03_T270_V60</i> | 0.60           | 0.71     | 0.68           | 0.78     |

Tabla 27: Análisis GRA II

| Identificación        | Redondez |          | Rectitud |          | Redondez |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                       | Exterior | Interior | Exterior | Interior | Exterior | Interior |
| Nylon_DG_E01_T240_V40 | 0.70     | 0.89     | 0.70     | 0.89     | 0.70     | 0.89     |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 | 0.62     | 0.52     | 0.62     | 0.52     | 0.62     | 0.52     |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 | 0.44     | 0.46     | 0.44     | 0.46     | 0.44     | 0.46     |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 | 1.00     | 1.00     | 1.00     | 1.00     | 1.00     | 1.00     |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 | 0.58     | 0.47     | 0.58     | 0.47     | 0.58     | 0.47     |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 | 0.61     | 0.47     | 0.61     | 0.47     | 0.61     | 0.47     |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 | 0.94     | 0.96     | 0.94     | 0.96     | 0.94     | 0.96     |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 | 0.52     | 0.38     | 0.52     | 0.38     | 0.52     | 0.38     |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 | 0.49     | 0.37     | 0.49     | 0.37     | 0.49     | 0.37     |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 | 0.53     | 0.72     | 0.53     | 0.72     | 0.53     | 0.72     |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 | 0.49     | 0.39     | 0.49     | 0.39     | 0.49     | 0.39     |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 | 0.37     | 0.41     | 0.37     | 0.41     | 0.37     | 0.41     |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 | 0.67     | 0.86     | 0.67     | 0.86     | 0.67     | 0.86     |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 | 0.47     | 0.37     | 0.47     | 0.37     | 0.47     | 0.37     |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 | 0.33     | 0.33     | 0.33     | 0.33     | 0.33     | 0.33     |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 | 0.67     | 0.81     | 0.67     | 0.81     | 0.67     | 0.81     |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 | 0.58     | 0.56     | 0.58     | 0.56     | 0.58     | 0.56     |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 | 0.46     | 0.39     | 0.46     | 0.39     | 0.46     | 0.39     |

Tabla 28: Análisis GRA III

| Identificación               | Concentricidad |          | Coaxialidad |          | Desviación Rad |          | Planicidad |          |
|------------------------------|----------------|----------|-------------|----------|----------------|----------|------------|----------|
|                              | Exterior       | Interior | Exterior    | Interior | Exterior       | Interior | Exterior   | Interior |
| <i>Nylon_DG_E01_T240_V40</i> | 1.00           | 0.86     | 0.89        | 0.89     | 0.94           | 0.89     | 0.63       | 0.79     |
| <i>Nylon_DG_E02_T240_V40</i> | 0.70           | 0.63     | 0.89        | 0.54     | 0.87           | 0.54     | 0.35       | 0.55     |
| <i>Nylon_DG_E03_T240_V40</i> | 0.77           | 0.58     | 0.78        | 0.88     | 0.72           | 0.88     | 0.51       | 0.89     |
| <i>Nylon_DG_E01_T255_V40</i> | 0.54           | 1.00     | 0.93        | 0.89     | 0.88           | 0.89     | 0.93       | 1.00     |
| <i>Nylon_DG_E02_T255_V40</i> | 0.58           | 0.48     | 1.00        | 0.97     | 0.87           | 0.97     | 0.55       | 0.43     |
| <i>Nylon_DG_E03_T255_V40</i> | 0.96           | 0.57     | 0.90        | 0.99     | 0.72           | 0.99     | 0.53       | 0.91     |
| <i>Nylon_DG_E01_T270_V40</i> | 0.74           | 0.91     | 0.81        | 0.74     | 0.86           | 0.74     | 1.00       | 0.54     |
| <i>Nylon_DG_E02_T270_V40</i> | 0.33           | 0.41     | 0.33        | 0.36     | 0.46           | 0.36     | 0.33       | 0.58     |
| <i>Nylon_DG_E03_T270_V40</i> | 0.55           | 0.41     | 0.53        | 0.33     | 0.33           | 0.33     | 0.46       | 0.39     |
| <i>Nylon_DG_E01_T240_V60</i> | 0.77           | 0.58     | 0.72        | 0.68     | 0.52           | 0.68     | 0.68       | 0.59     |
| <i>Nylon_DG_E02_T240_V60</i> | 0.76           | 0.37     | 0.66        | 0.56     | 0.49           | 0.56     | 0.57       | 0.88     |
| <i>Nylon_DG_E03_T240_V60</i> | 0.74           | 0.53     | 0.67        | 0.76     | 0.53           | 0.76     | 0.40       | 0.71     |
| <i>Nylon_DG_E01_T255_V60</i> | 0.73           | 0.76     | 0.71        | 0.63     | 0.69           | 0.63     | 0.56       | 0.75     |
| <i>Nylon_DG_E02_T255_V60</i> | 0.59           | 0.33     | 0.77        | 0.58     | 0.78           | 0.58     | 0.39       | 0.53     |
| <i>Nylon_DG_E03_T255_V60</i> | 0.82           | 0.35     | 0.70        | 0.39     | 0.78           | 0.39     | 0.38       | 0.69     |
| <i>Nylon_DG_E01_T270_V60</i> | 0.69           | 0.84     | 0.77        | 0.88     | 0.86           | 0.88     | 0.61       | 0.94     |
| <i>Nylon_DG_E02_T270_V60</i> | 0.61           | 0.63     | 0.88        | 1.00     | 1.00           | 1.00     | 0.48       | 0.62     |
| <i>Nylon_DG_E03_T270_V60</i> | 0.67           | 0.47     | 0.91        | 0.58     | 0.91           | 0.58     | 0.33       | 0.33     |

Tabla 29: Análisis de GRA IV

| Identificación               | GRC  | RANK |
|------------------------------|------|------|
| <i>Nylon_DG_E01_T240_V40</i> | 0.88 | 2    |
| <i>Nylon_DG_E02_T240_V40</i> | 0.62 | 11   |
| <i>Nylon_DG_E03_T240_V40</i> | 0.65 | 9    |
| <i>Nylon_DG_E01_T255_V40</i> | 0.92 | 1    |
| <i>Nylon_DG_E02_T255_V40</i> | 0.65 | 10   |
| <i>Nylon_DG_E03_T255_V40</i> | 0.67 | 7    |
| <i>Nylon_DG_E01_T270_V40</i> | 0.78 | 3    |
| <i>Nylon_DG_E02_T270_V40</i> | 0.39 | 18   |
| <i>Nylon_DG_E03_T270_V40</i> | 0.43 | 17   |
| <i>Nylon_DG_E01_T240_V60</i> | 0.73 | 5    |
| <i>Nylon_DG_E02_T240_V60</i> | 0.60 | 13   |
| <i>Nylon_DG_E03_T240_V60</i> | 0.58 | 14   |
| <i>Nylon_DG_E01_T255_V60</i> | 0.65 | 8    |
| <i>Nylon_DG_E02_T255_V60</i> | 0.51 | 15   |
| <i>Nylon_DG_E03_T255_V60</i> | 0.49 | 16   |
| <i>Nylon_DG_E01_T270_V60</i> | 0.75 | 4    |
| <i>Nylon_DG_E02_T270_V60</i> | 0.71 | 6    |
| <i>Nylon_DG_E03_T270_V60</i> | 0.61 | 12   |

Analizando los valores GRC individualmente se obtiene que para cada parámetro corresponde a cada una de las probetas fabricada con los distintos parámetros. Tras calcular el valor GRG obtenido de la media aritmética de valores GRC, se observa que los parámetros óptimos que presentan mejor combinación de valores respecto a desviaciones geométricas corresponden a:

- Temperatura: 255°C
- Espesor de capa: 0.1 mm
- Velocidad de extrusión: 40 mm/s

## 7. Conclusiones

Tras haber analizado los resultados obtenidos se han llegado a sacar distintas conclusiones.

En primer lugar, respecto al control dimensional se ha llegado a lo siguiente:

- Para la altura, se ve una clara influencia del espesor de capa. Esto puede estar condicionado porque el espesor de 0.3 mm, no es proporcional al paso del motor que mueve al eje Z. A esto se le suma la retracción del material. Esto quiere decir que, a mayor espesor de capa mayor retracción. Por lo que a menor espesor, menor retracción y mayor precisión.
- Para el valor del diámetro, tanto exterior como interior es menor al nominal, debido a que, a la hora de depositar el filamento se hace con las medidas nominales de la pieza, sin tener en cuenta la retracción del material.
- Para el valor del espesor, inferior es más alto que el superior. Esto se debe al mismo proceso de impresión, aunque el filamento se vaya enfriando conforme se va avanzando en altura, éste sigue plastificado, y a medida que se van añadiendo capas, va aumentando el peso que soporta la base, cuyas capas tienden a aplastarse y sufrir un aumento en su superficie. Además, a esto se le suma la presencia de la balsa que impide la retracción del material.

En segundo lugar, respecto las desviaciones macrogeométricas se ha llegado a lo siguiente:

- Para la cilindricidad y redondez, el parámetro más influyente es el espesor de capa. Esto se debe a que, a menor espesor de capa, el material depositado es menor, haciendo que el filamento se enfríe más rápidamente, reduciendo la retracción y manteniendo mejor su forma inicial.
- Para la rectitud, los valores en la cara interior y exterior son similares, ya que en ambas se deposita el filamento formando un círculo; para los diferentes espesores de capa y temperaturas no se encuentra una tendencia significativa.
- Para la planicidad, la temperatura es un parámetro importante, debido a la base sobre la que se apoya en la cama, cuando el nylon se encuentra a mayores temperaturas de extrusión las deformaciones en la parte inferior se acentúan levemente debido al extrusor y al propio peso de la probeta.
- Para la coaxialidad interior, está influenciada levemente por los espesores de capa, haciendo que aumente su desviación en función del aumento de espesor de capa.
- Para la concentricidad, no está influenciada por ningún parámetro de estudio.

- Para la desviación radial, la desviación radial exterior no se ve influenciada por ninguno de los parámetros de estudio. Sin embargo, la desviación radial interior, si esta influenciada levemente por los espesores de capa.

En tercer lugar, respecto a las desviaciones microgeométricas se ha llegado a lo siguiente:

- Para la rugosidad, tanto para Ra como para Rz, existe una tendencia clara y unos valores muy similares para los rangos de temperatura y velocidad, que muestran que, principalmente depende del espesor de capa, ya que, a mayor espesor de capa, mayor valor para la rugosidad. Esto es así porque, a mayor espesor de capa, mayores son la diferencia entre los picos y valles del perfil de rugosidad.

En cuarto lugar, respecto al análisis GRA se ha llegado a lo siguiente:

- Se trataron todos los datos obtenidos aplicando dicho método, llegando a la conclusión de que los parámetros que menores desviaciones geométricas presentaban corresponden a:

- Temperatura: 255°C
- Espesor de capa: 0.1 mm
- Velocidad de extrusión: 40 mm/s

Finalmente hay que indicar que, de entre los parámetros a estudiar, el espesor de capa y la temperatura de extrusión, el más determinante para la calidad superficial y geométrica de la pieza es el espesor de capa, observándose en la mayoría de los casos que para un mejor resultado lo mejor es disminuir el espesor.

## 8. Líneas futuras de investigación

El presente trabajo de fin de grado se ha centrado en el estudio de las tecnologías FDM las cuales son un sector en auge, el cual está teniendo una gran repercusión en el ámbito de la ingeniería.

Más concretamente se ha estudiado únicamente las desviaciones geométricas que surgen al variar los distintos parámetros del Nylon. Por lo que se abren muchas líneas posibles de investigación, en el entorno que se está desarrollando se puede ampliar el estudio en:

- Comportamiento del Nylon a fatiga.
- Comportamiento del Nylon a flexión.
- Comportamiento del Nylon a torsión.

De estos tres aspectos se han encontrado artículos los cuales están muy bien, pero sería necesario profundizar para ver su utilidad en el ámbito industrial.

Otro de los aspectos que se encuentran interesantes es el prototipado de Nylon debido a que es un material robusto, resistente y con flexibilidad. Lo que lo hace muy útil y versátil. Por lo que sería interesante ver su aplicación en cierres que entran a presión, herramientas con elementos de encaje y piezas resistentes a la vibración.

Otras líneas de investigación serían:

- Posibles tratamientos para cambiar algunas propiedades.
- Moldeo de herramientas, usillos, bisagras, engranajes, poleas...
- Debido a que es biocompatible, sería interesante el estudio de viabilidad a la hora de realización de prótesis o distintas piezas en contacto con la piel.
- Por último, debido a que es un material no abrasivo, es bueno para objetos o partes interiores de mucho uso, que tienden a desgastarse.

## 9. Bibliografía

- [1] «Fabricación aditiva: qué es, proceso y usos | VIU España». <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/fabricacion-aditiva-que-es-proceso-y-usos> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [2] «Fabricacion aditiva: Definición, procesos y beneficios | Electrónica Edimar». <https://edimar.com/fabricacion-aditiva-que-es/> (accedido 6 de junio de 2023).
- [3] «Guía completa: FDM o modelado por deposición fundida, ¡te explicamos todo! - 3Dnatives». <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [4] «Fabricación aditiva vs. fabricación sustractiva | Formlabs». <https://formlabs.com/es/blog/fabricacion-aditiva-vs-fabricacion-sustractiva/> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [5] «Las aplicaciones de la fabricación aditiva en la industria». <https://mintforpeople.com/noticias/que-aplicaciones-tiene-fabricacion-aditiva/> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [6] «ISO/ASTM 52900:2015 - Additive manufacturing — General principles — Terminology». <https://www.iso.org/standard/69669.html> (accedido 6 de junio de 2023).
- [7] «F2792 - 12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Te...» <https://tienda.aenor.com/norma-astm-f2792-12a-079966> (accedido 7 de junio de 2023).
- [8] «ISO/PRF 17296-1 Additive manufacturing — General principles — ...» <https://tienda.aenor.com/norma-iso-prf-17296-1-059524> (accedido 7 de junio de 2023).
- [9] «ISO 17296-2:2015 - Additive manufacturing — General principles — Part 2: Overview of process categories and feedstock». <https://www.iso.org/standard/61626.html> (accedido 6 de junio de 2023).
- [10] «UNE-EN ISO 17296-3:2017 Fabricación aditiva. Principios genera...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0058447> (accedido 6 de junio de 2023).
- [11] «ISO 17296-4:2014 - Additive manufacturing — General principles — Part 4: Overview of data processing». <https://www.iso.org/standard/61628.html> (accedido 7 de junio de 2023).

- [12] «ISO/ASTM 52901:2017 - Additive manufacturing — General principles — Requirements for purchased AM parts». <https://www.iso.org/standard/67288.html> (accedido 7 de junio de 2023).
- [13] «ISO/ASTM 52915:2016 - Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.2». <https://www.iso.org/standard/67472.html> (accedido 7 de junio de 2023).
- [14] «ISO/ASTM 52921:2013 Standard terminology for additive manufact...» <https://tienda.aenor.com/norma-iso-astm-52921-2013-062794> (accedido 6 de junio de 2023).
- [15] «UNE 116005:2012 Fabricación por adición de capas en materiales...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049159> (accedido 6 de junio de 2023).
- [16] «UNE-EN ISO/ASTM 52921:2017 Terminología normalizada para la fa...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0058449> (accedido 6 de junio de 2023).
- [17] «UNE-EN ISO 17296-2:2017 Fabricación aditiva. Principios genera...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0058446> (accedido 6 de junio de 2023).
- [18] «UNE-EN ISO 17296-3:2017 Fabricación aditiva. Principios genera...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0058447> (accedido 6 de junio de 2023).
- [19] «UNE-EN ISO 17296-4:2017 Fabricación aditiva. Principios genera...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0058448> (accedido 6 de junio de 2023).
- [20] «UNE-EN ISO/ASTM 52915:2017 Especificación para el formato de a...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0058758> (accedido 7 de junio de 2023).
- [21] «UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017 Fabricación aditiva. Principios gen...» <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059196> (accedido 7 de junio de 2023).
- [22] «Tecnologías fabricación aditiva. Ventajas e inconvenientes | Factoryza». <https://factoryza.wordpress.com/2015/03/02/tecnologias-fabricacion-aditiva-ventajas-e-inconvenientes/> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [23] «Las aplicaciones de la fabricación aditiva en la industria | Sicnova». <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/las-aplicaciones-de-la-fabricacion-aditiva-en-la-industria/> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [24] «Guía básica de introducción a la impresión 3D». <https://www.luisllamas.es/guia-basica-impresion-3d/> (accedido 27 de mayo de 2023).

- [25] «Fabricacion de filamentos para impresora 3D a partir de materiales reciclados.».
- [26] «Centro Español de Metrología | Innovando en metrología por un mundo más exacto». <https://www.cem.es/es> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [27] «vim-cem-2012web».
- [28] «Máquina de medición de forma - RONDCOM NEX Series - ZEISS Industrial Metrology - de planitud / de rugosidad / de redondez». <https://www.directindustry.es/prod/zeiss-industrial-metrology/product-5693-2354656.html> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [29] «Rugosidad Superficial».
- [30] S. Terekhina, I. Skorniyakov, T. Tarasova, y S. Egorov, «Effects of the Infill Density on the Mechanical Properties of Nylon Specimens Made by Filament Fused Fabrication», *Technologies (Basel)*, vol. 7, n.º 3, sep. 2019, doi: 10.3390/technologies7030057.
- [31] Z. Shakeri, K. Benfriha, M. Shirinbayan, M. Ahmadifar, y A. Tcharkhtchi, «Mathematical modeling and optimization of fused filament fabrication (Fff) process parameters for shape deviation control of polyamide 6 using taguchi method», *Polymers (Basel)*, vol. 13, n.º 21, nov. 2021, doi: 10.3390/polym13213697.
- [32] R. Kumar, N. Ranjan, y A. Babbar, «On investigations of 3D printed nylon 6 parts prepared by fused filament fabrication», en *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 1153-1156. doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.103.
- [33] J. Nagendra, M. K. Srinath, S. Sujeeth, K. S. Naresh, y M. S. Ganesha Prasad, «Optimization of process parameters and evaluation of surface roughness for 3D printed nylon-aramid composite», en *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 674-682. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.609.
- [34] M. J. Martín, J. A. Auñón, y F. Martín, «Influence of infill pattern on mechanical behavior of polymeric and composites specimens manufactured using fused filament fabrication technology», *Polymers (Basel)*, vol. 13, n.º 17, sep. 2021, doi: 10.3390/polym13172934.
- [35] «TFG - Miriam Alcántara Guerrero».
- [36] «Quick Start Guide Pro2-Series 3D Printer Pro2 Pro2 Plus». [En línea]. Disponible en: [www.raise3d.com/pages/download#down-quickguide](http://www.raise3d.com/pages/download#down-quickguide)
- [37] «TFG - Miriam Alcántara Guerrero».
- [38] «Índice. TEMA 11. Equipos de metrología dimensional Máquinas medidoras de formas. 1. Descripción de las máquinas medidoras de formas (MMF). - PDF Descargar libre».

- [39] «RUGOSIMETRO MITUTOYO SJ-210 - DCL metrología». <https://www.instrumentacion-metrologia.es/Rugosimetro-178-560-01-Mitutoyo-Surftest-SJ-210> (accedido 27 de mayo de 2023).
- [40] «Rugosidad Superficial».
- [41] «Análisis relacional gris Teoría del sistema gris y Referencias». [https://hmong.es/wiki/Grey\\_system\\_theory](https://hmong.es/wiki/Grey_system_theory) (accedido 2 de junio de 2023).



## 10. Anexo 1: Hoja de datos.

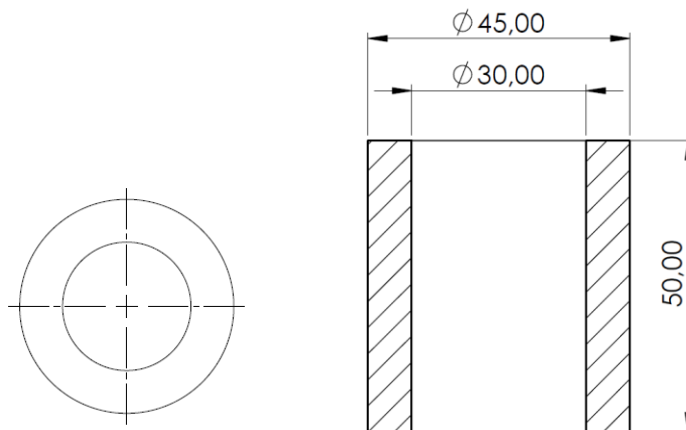
|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Nylon_DG_E01_T240_V40 ..... | 1  |
| Nylon_DG_E02_T240_V40 ..... | 5  |
| Nylon_DG_E03_T240_V40 ..... | 9  |
| Nylon_DG_E01_T255_V40 ..... | 13 |
| Nylon_DG_E02_T255_V40 ..... | 17 |
| Nylon_DG_E03_T255_V40 ..... | 21 |
| Nylon_DG_E01_T270_V40 ..... | 25 |
| Nylon_DG_E02_T270_V40 ..... | 29 |
| Nylon_DG_E03_T270_V40 ..... | 33 |
| Nylon_DG_E01_T240_V60 ..... |    |
| Nylon_DG_E02_T240_V60 ..... | 11 |
| Nylon_DG_E03_T240_V60 ..... | 12 |
| Nylon_DG_E01_T255_V60 ..... | 13 |
| Nylon_DG_E02_T255_V60 ..... | 14 |
| Nylon_DG_E03_T255_V60 ..... | 15 |
| Nylon_DG_E01_T270_V60 ..... | 16 |
| Nylon_DG_E02_T270_V60 ..... | 17 |
| Nylon_DG_E03_T270_V60 ..... | 18 |

# HOJA DE DATOS

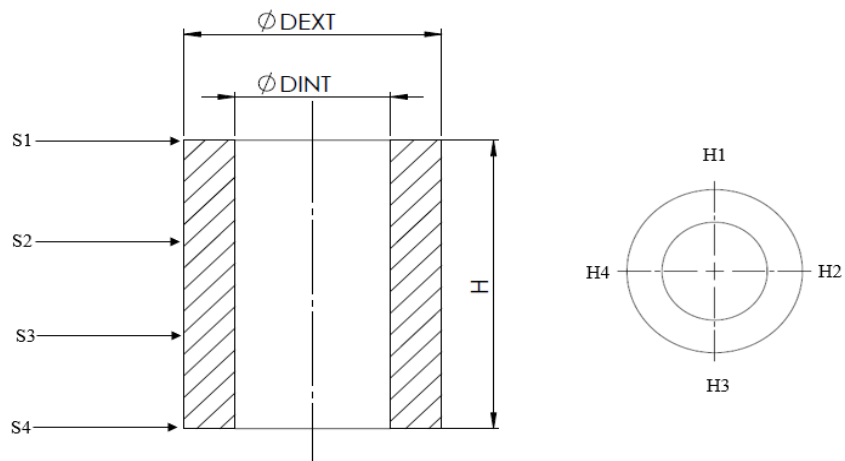
ID. ENSAYO

NYLON\_DG\_E01\_T240\_V40

|                      |       |                                |        |
|----------------------|-------|--------------------------------|--------|
| Material             | Nylon | Espesor de capa (mm)           | 0.1    |
| Bobina               | 1     | Velocidad de deposición (mm/s) | 40     |
| Tª de extrusión (°C) | 240   | Tiempo de impresión            | 2h 15m |
| Tª de la cama (°C)   | 110   | Repetición (nº)                | 0      |



## CONTROL DIMENSIONAL



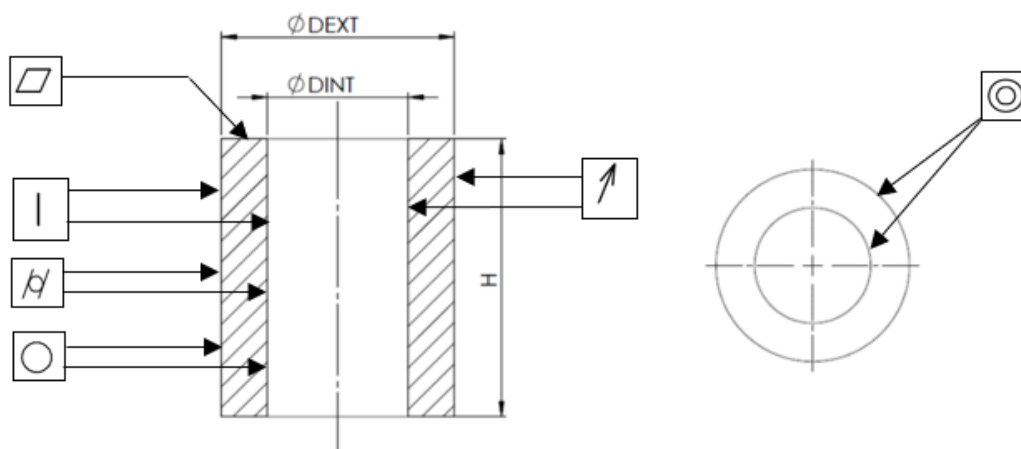
MEDIDA LONGITUDES (mm)

|              | Dext           |                |               |                | Dint           |                |                |                |
|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              | S1             | S2             | S3            | S4             | S1             | S2             | S3             | S4             |
| <b>M</b>     | 44.65          | 44.67          | 44.54         | 44.68          | 30.265         | 30.080         | 30.105         | 30.160         |
| <b>M2</b>    | 44.68          | 44.62          | 44.57         | 44.65          | 30.300         | 30.115         | 30.155         | 30.085         |
| <b>M3</b>    | 44.65          | 44.62          | 44.58         | 44.66          | 30.215         | 30.140         | 30.110         | 30.215         |
| <b>M4</b>    | 44.67          | 44.66          | 44.61         | 44.66          | 30.355         | 30.215         | 30.035         | 30.145         |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.6625</b> | <b>44.6425</b> | <b>44.575</b> | <b>44.6625</b> | <b>30.2837</b> | <b>30.1375</b> | <b>30.1013</b> | <b>30.1513</b> |

|              | H            | Esup        | Einf         |
|--------------|--------------|-------------|--------------|
| <b>M1</b>    | 50.23        | 7.47        | 7.50         |
| <b>M2</b>    | 50.05        | 7.40        | 7.51         |
| <b>M3</b>    | 50.13        | 7.47        | 7.49         |
| <b>M4</b>    | 50.03        | 7.46        | 7.52         |
| <b>MEDIA</b> | <b>50.11</b> | <b>7.45</b> | <b>7.505</b> |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 282.07         | 156.08         | 86.32         | 30.83         |
| 2                              | 279.92         | 122.68         | 28.87         | 32.1          |
| 3                              | 289.1          | 121.89         | 27.41         | 18.12         |
| 4                              | 288.98         | 120.01         | 28.59         | 30.08         |
| 5                              | 260.94         | 120.72         | 34.79         | 26.87         |
| 6                              | 226.17         | 115.42         | 31.46         | 26.2          |
| 7                              | 207.53         | 101.58         | 25.82         | 22.57         |
| 8                              | 209.09         | 103.96         | 30.78         | 33.28         |
| 9                              | 151.08         | 143.12         | 48.7          | 34.25         |
| 10                             |                |                | 36.39         | 24.59         |
| 11                             |                |                | 43.8          | 23.14         |
| 12                             |                |                | 29.22         | 45.81         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>243.875</b> | <b>122.828</b> | <b>37.679</b> | <b>28.986</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 356.4             | 181.52 | 23.27          | 77.66 | 22.88          | 25.76 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 13.27             | 15.77  | 139.97         |       | 109.03         |       |

## CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

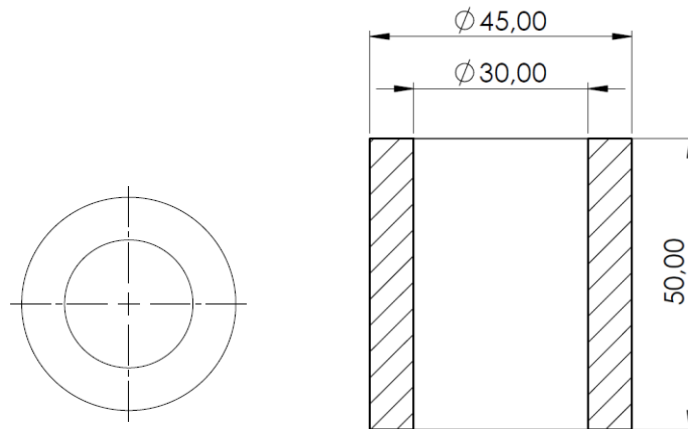
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 8.534                | 57.423               | 9.025                | 59.318               |
| <b>2</b>     | 7.62                 | 50.993               | 6.534                | 38.077               |
| <b>3</b>     | 7.11                 | 50.861               | 7.147                | 43.604               |
| <b>4</b>     | 7.862                | 51.032               | 7.376                | 45.862               |
| <b>5</b>     | 9.241                | 54.318               | 8.212                | 47.541               |
| <b>6</b>     | 6.027                | 37.557               | 7.808                | 48.716               |
| <b>7</b>     | 8.182                | 52.224               | 7.694                | 46.512               |
| <b>8</b>     | 8.537                | 57.223               | 8.797                | 54.39                |
| <b>MEDIA</b> | <b>7.889</b>         | <b>51.453</b>        | <b>7.824</b>         | <b>48.002</b>        |

## 1. OBSERVACIONES

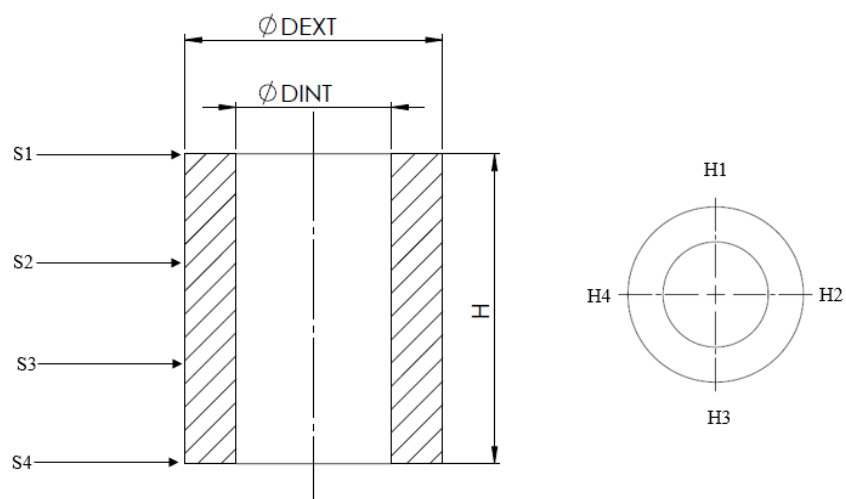
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E02_T240_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|                             |       |                                       |        |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|--------|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.2    |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40     |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 240   | <b>Tiempo de impresión</b>            | 1h 53m |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0      |

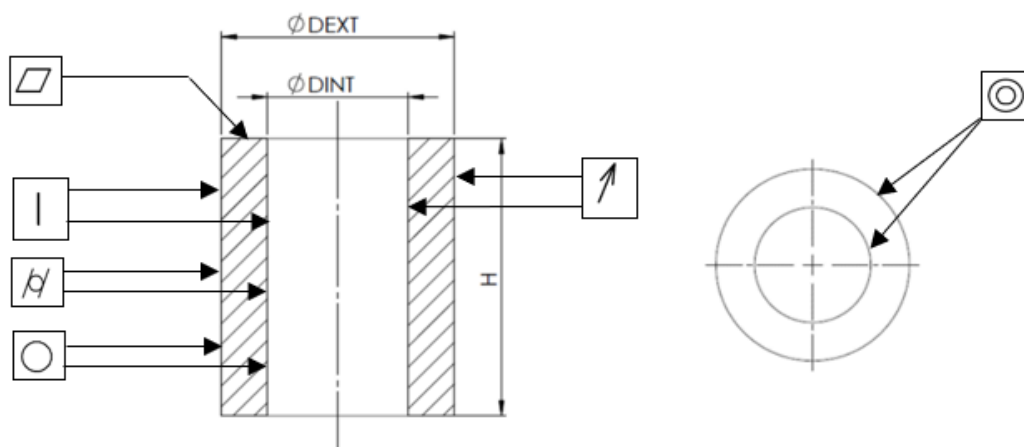


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |                |               |              |                |                |                |                |                |
|------------------------|----------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | Dext           |               |              |                | Dint           |                |                |                |
|                        | S1             | S2            | S3           | S4             | S1             | S2             | S3             | S4             |
| <b>M1</b>              | 44.93          | 44.54         | 45.04        | 44.68          | 29.590         | 29.770         | 29.63          | 29.725         |
| <b>M2</b>              | 44.65          | 44.43         | 44.46        | 44.66          | 29.515         | 29.815         | 29.875         | 29.695         |
| <b>M3</b>              | 44.67          | 44.66         | 44.54        | 44.64          | 29.540         | 29.830         | 29.970         | 29.760         |
| <b>M4</b>              | 44.68          | 44.47         | 44.56        | 44.67          | 29.545         | 29.960         | 29.850         | 29.755         |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.7325</b> | <b>44.525</b> | <b>44.65</b> | <b>44.6625</b> | <b>29.5475</b> | <b>29.8438</b> | <b>29.8313</b> | <b>29.7338</b> |
|                        | <b>H</b>       | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>  |                |                |                |                |                |
| <b>M1</b>              | 49.90          | 7.74          | 7.73         |                |                |                |                |                |
| <b>M2</b>              | 49.86          | 7.50          | 7.76         |                |                |                |                |                |
| <b>M3</b>              | 49.87          | 7.56          | 7.84         |                |                |                |                |                |
| <b>M4</b>              | 49.88          | 7.58          | 7.77         |                |                |                |                |                |
| <b>MEDIA</b>           | <b>49.8775</b> | <b>7.595</b>  | <b>7.775</b> |                |                |                |                |                |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



|              | Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |               |               |             |
|--------------|--------------------------------|---------------|---------------|-------------|
|              | REDONDEZ                       |               | RECTITUD      |             |
|              | EXTERIOR                       | INTERIOR      | EXTERIOR      | INTERIOR    |
| <b>1</b>     | 291.49                         | 254.3         | 32.86         | 24.55       |
| <b>2</b>     | 292                            | 238.86        | 35.38         | 27.29       |
| <b>3</b>     | 297.94                         | 246.91        | 27.65         | 24.92       |
| <b>4</b>     | 286.23                         | 253.79        | 38.37         | 49.44       |
| <b>5</b>     | 265.03                         | 249.63        | 28.68         | 25.39       |
| <b>6</b>     | 264.87                         | 242.21        | 27.31         | 34.28       |
| <b>7</b>     | 251.5                          | 241.88        | 21.73         | 28.43       |
| <b>8</b>     | 263.55                         | 249.88        | 49.97         | 45.4        |
| <b>9</b>     | 238.51                         | 223.58        | 33.52         | 31.56       |
| <b>10</b>    |                                |               | 40.94         | 45.94       |
| <b>11</b>    |                                |               | 31.96         | 110.52      |
| <b>12</b>    |                                |               | 51.42         | 59.89       |
| <b>MEDIA</b> | <b>272.346</b>                 | <b>244.56</b> | <b>34.982</b> | <b>42.3</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |        | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 345.45            | 298.32 | 57.49          | 109.96 | 23.12          | 72.88 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |        | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 19.32             | 10.72  | 366.9          |        | 203.16         |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

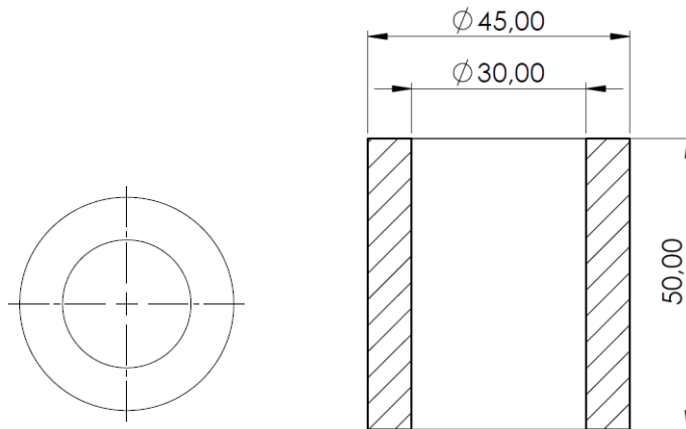
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 22.031               | 106.99               | 24.639               | 110.99               |
| <b>2</b>     | 23.708               | 112.25               | 23.76                | 123.52               |
| <b>3</b>     | 21.342               | 102.72               | 26.642               | 130.59               |
| <b>4</b>     | 25.157               | 119.45               | 20.566               | 99.741               |
| <b>5</b>     | 24.259               | 117.16               | 26.023               | 123.6                |
| <b>6</b>     | 20.019               | 97.907               | 24.742               | 114.77               |
| <b>7</b>     | 21.56                | 103.87               | 24.708               | 110.85               |
| <b>8</b>     | 21.745               | 128.22               | 22.588               | 108.61               |
| <b>MEDIA</b> | <b>22.477</b>        | <b>111.07</b>        | <b>24.208</b>        | <b>115.333</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

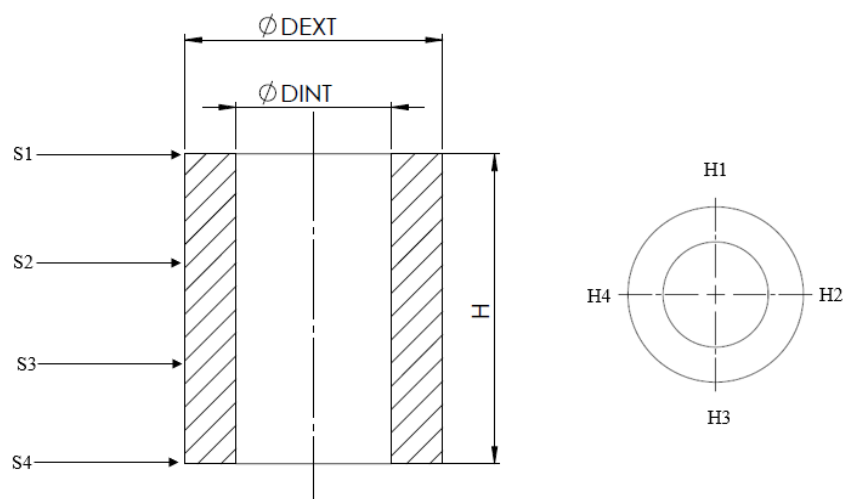
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E03_T240_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|  |       |                                       |        |
|--|-------|---------------------------------------|--------|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.3    |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40     |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 240   | <b>Tiempo de impresión</b>            | 1h 15m |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (n°)</b>                | 0      |

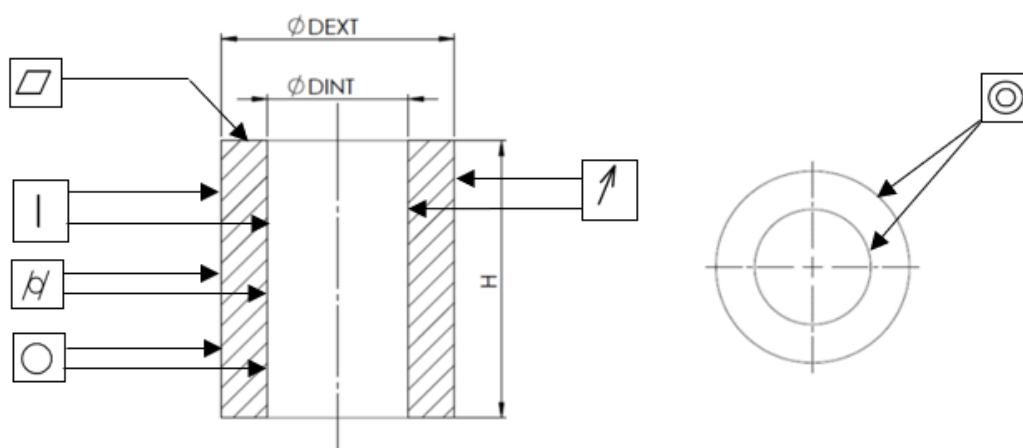


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |                |               |                |                |               |               |               |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
|                        | Dext          |                |               |                | Dint           |               |               |               |
|                        | S1            | S2             | S3            | S4             | S1             | S2            | S3            | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.54         | 44.61          | 44.51         | 44.58          | 29.825         | 29.935        | 29.925        | 29.945        |
| <b>M2</b>              | 44.53         | 44.60          | 44.48         | 44.56          | 29.895         | 29.940        | 29.990        | 29.885        |
| <b>M3</b>              | 44.50         | 44.53          | 44.45         | 44.50          | 29.860         | 30.040        | 29.980        | 29.920        |
| <b>M4</b>              | 44.53         | 44.57          | 44.50         | 44.53          | 29.805         | 30.065        | 30.505        | 29.900        |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.525</b> | <b>44.5775</b> | <b>44.485</b> | <b>44.5425</b> | <b>29.8462</b> | <b>29.995</b> | <b>30.100</b> | <b>29.912</b> |
|                        | <b>H</b>      | <b>Esup</b>    | <b>Einf</b>   |                |                |               |               |               |
| <b>M1</b>              | 49.90         | 7.47           | 7.47          |                |                |               |               |               |
| <b>M2</b>              | 49.88         | 7.45           | 7.56          |                |                |               |               |               |
| <b>M3</b>              | 50.02         | 7.54           | 7.54          |                |                |               |               |               |
| <b>M4</b>              | 49.98         | 7.50           | 7.45          |                |                |               |               |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>49.945</b> | <b>7.49</b>    | <b>7.505</b>  |                |                |               |               |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |              |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |              |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR     |
| 1                              | 430.12         | 281.5          | 33.02         | 28.58        |
| 2                              | 419.94         | 296.31         | 33.27         | 26.08        |
| 3                              | 425.28         | 288.73         | 40.5          | 26.51        |
| 4                              | 393.16         | 289.6          | 37.11         | 29.3         |
| 5                              | 393.55         | 284.2          | 47.84         | 42.73        |
| 6                              | 365.39         | 284.39         | 44.16         | 58.81        |
| 7                              | 333.85         | 287.71         | 39.28         | 37.91        |
| 8                              | 301.31         | 279.36         | 43.42         | 55.62        |
| 9                              | 328.38         | 289.9          | 41.31         | 27.87        |
| 10                             |                |                | 31.65         | 24.92        |
| 11                             |                |                | 29.22         | 28.56        |
| 12                             |                |                | 31.64         | 33.35        |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>376.775</b> | <b>286.855</b> | <b>37.701</b> | <b>35.02</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 517.56            | 329.67 | 46.52          | 37.35 | 35.51          | 26.35 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 34.76             | 30.42  | 208.04         |       | 84.56          |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

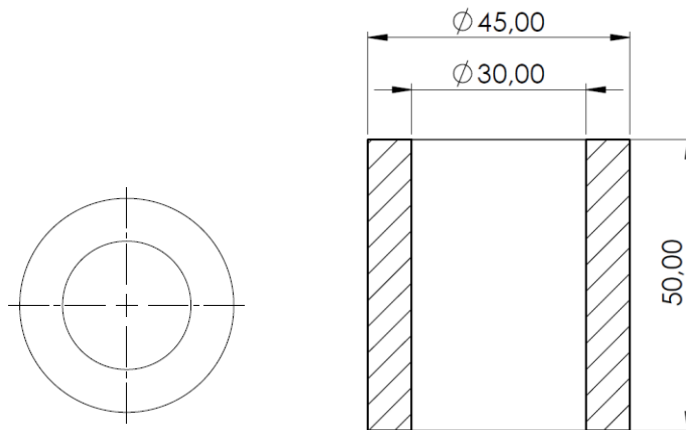
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 25.645               | 114.49               | 22.905               | 101.29               |
| <b>2</b>     | 22.554               | 102.78               | 24.974               | 108.55               |
| <b>3</b>     | 21.783               | 99.419               | 26.008               | 122.7                |
| <b>4</b>     | 21.875               | 98.85                | 22.599               | 103.27               |
| <b>5</b>     | 23.909               | 108.91               | 21.628               | 99.218               |
| <b>6</b>     | 22.944               | 117.08               | 26.328               | 117.8                |
| <b>7</b>     | 26.316               | 114.24               | 22.732               | 100.08               |
| <b>8</b>     | 21.925               | 100.06               | 26.833               | 118.9                |
| <b>MEDIA</b> | <b>23.368</b>        | <b>106.978</b>       | <b>24.25</b>         | <b>108.976</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

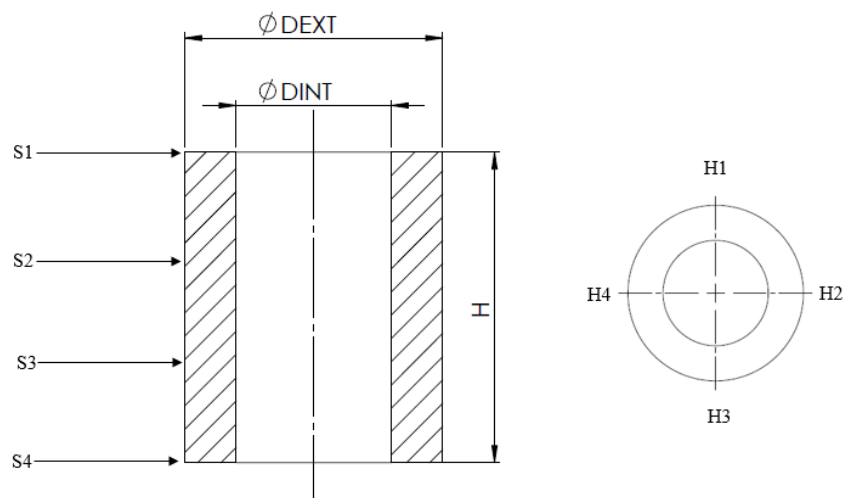
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E01_T255_V40</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|  |       |                                       |        |
|--|-------|---------------------------------------|--------|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.1    |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40     |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 255   | <b>Tiempo de impresión</b>            | 2h 25m |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0      |



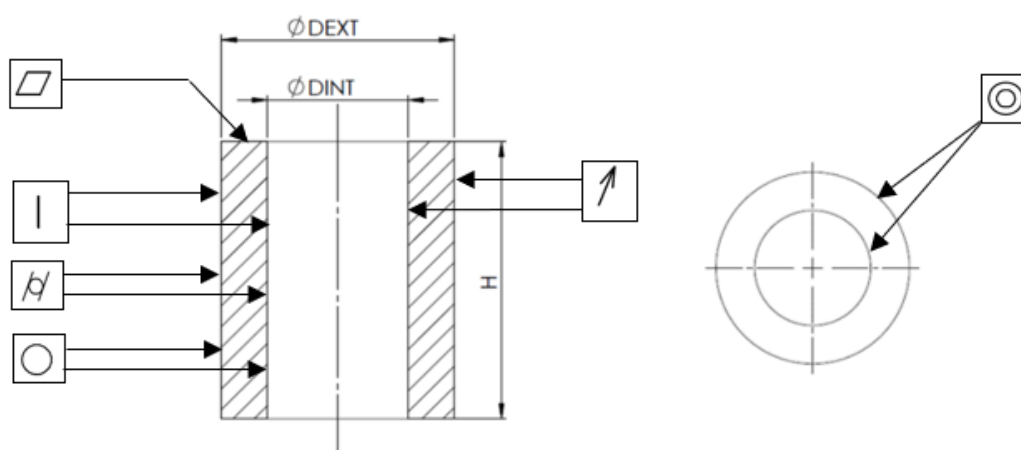
## CONTROL DIMENSIONAL



## MEDIDA LONGITUDES (mm)

|              | Dext          |              |                |              | Dint           |                |                |               |
|--------------|---------------|--------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|              | S1            | S2           | S3             | S4           | S1             | S2             | S3             | S4            |
| <b>M1</b>    | 44.57         | 44.65        | 44.58          | 44.74        | 30.195         | 30.085         | 30.015         | 29.890        |
| <b>M2</b>    | 44.49         | 44.55        | 44.60          | 44.75        | 30.140         | 30.115         | 30.090         | 29.915        |
| <b>M3</b>    | 44.64         | 44.73        | 44.57          | 44.76        | 30.190         | 30.135         | 30.050         | 29.925        |
| <b>M4</b>    | 44.68         | 44.75        | 44.64          | 44.79        | 30.165         | 30.050         | 30.120         | 29.910        |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.595</b> | <b>44.67</b> | <b>44.5975</b> | <b>44.76</b> | <b>30.1725</b> | <b>30.0963</b> | <b>30.0688</b> | <b>29.910</b> |
|              | H             | Esup         | Einf           |              |                |                |                |               |
| <b>M1</b>    | 50.04         | 7.4          | 7.48           |              |                |                |                |               |
| <b>M2</b>    | 49.93         | 7.47         | 7.56           |              |                |                |                |               |
| <b>M3</b>    | 50            | 7.44         | 7.57           |              |                |                |                |               |
| <b>M4</b>    | 50.01         | 7.42         | 7.49           |              |                |                |                |               |
| <b>MEDIA</b> | <b>49.995</b> | <b>7.432</b> | <b>7.525</b>   |              |                |                |                |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 151.67         | 115.86         | 34.57         | 34.13         |
| 2                              | 167.13         | 114.48         | 26.55         | 34.02         |
| 3                              | 186.7          | 104.62         | 36.93         | 42.48         |
| 4                              | 182.69         | 109.23         | 25.17         | 34.34         |
| 5                              | 188.71         | 97.58          | 39.84         | 38.84         |
| 6                              | 191.74         | 109.44         | 35.19         | 31.59         |
| 7                              | 159.63         | 101.17         | 49.85         | 30.79         |
| 8                              | 167.36         | 90.03          | 38.6          | 34.47         |
| 9                              | 199.43         | 96.23          | 45.56         | 43.29         |
| 10                             |                |                | 47.04         | 42.68         |
| 11                             |                |                | 51.23         | 40.55         |
| 12                             |                |                | 43.5          | 36.69         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>177.228</b> | <b>104.293</b> | <b>39.502</b> | <b>36.989</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 245.11            | 139.35 | 90.34          | 72.95 | 18.79          | 25.62 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 18.36             | 20.79  | 51.71          |       | 62.83          |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

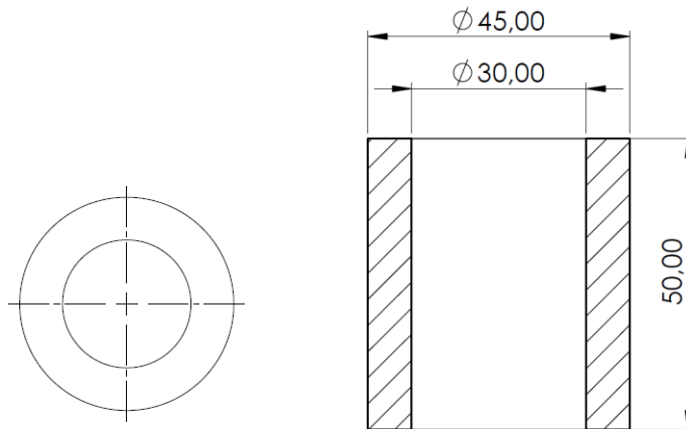
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 7.296                | 43.494               | 8.009                | 49.304               |
| <b>2</b>     | 9.887                | 59.558               | 9.35                 | 63.325               |
| <b>3</b>     | 8.208                | 49.373               | 9.997                | 62.815               |
| <b>4</b>     | 9.757                | 63.985               | 8.8                  | 59.905               |
| <b>5</b>     | 8.987                | 65.146               | 8.383                | 51.705               |
| <b>6</b>     | 8.024                | 49.176               | 7.512                | 47.804               |
| <b>7</b>     | 9.222                | 59.32                | 6.189                | 41.421               |
| <b>8</b>     | 7.664                | 47.52                | 8.344                | 51.353               |
| <b>MEDIA</b> | <b>8.63</b>          | <b>54.696</b>        | <b>8.323</b>         | <b>53.454</b>        |

**1. OBSERVACIONES**

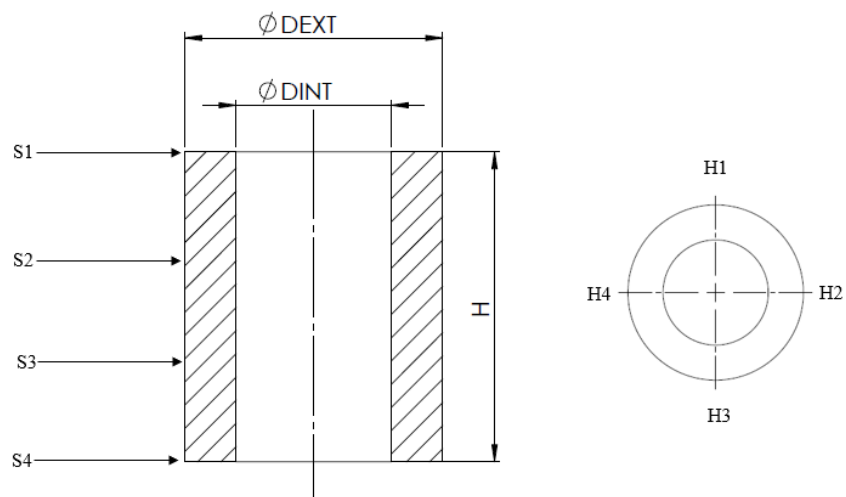
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E02_T255_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|  |       |                                       |        |
|--|-------|---------------------------------------|--------|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.2    |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40     |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 255   | <b>Tiempo de impresión</b>            | 1h 40m |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0      |

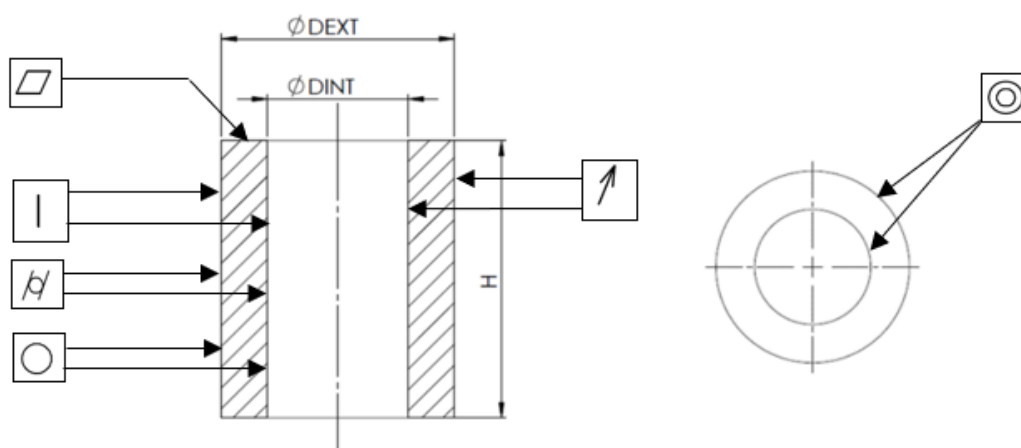


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |                |                |                |                |                |                |                |               |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|                        | Dext           |                |                |                | Dint           |                |                |               |
|                        | S1             | S2             | S3             | S4             | S1             | S2             | S3             | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.58          | 44.60          | 44.53          | 44.50          | 29.810         | 30.025         | 30.070         | 29.910        |
| <b>M2</b>              | 44.65          | 44.53          | 44.56          | 44.54          | 29.905         | 30.010         | 30.065         | 29.925        |
| <b>M3</b>              | 44.64          | 44.54          | 44.56          | 44.54          | 29.930         | 30.130         | 30.145         | 29.965        |
| <b>M4</b>              | 44.71          | 44.50          | 44.58          | 44.61          | 29.905         | 30.045         | 30.185         | 29.940        |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.645</b>  | <b>44.5425</b> | <b>44.5575</b> | <b>44.5475</b> | <b>29.8875</b> | <b>30.0525</b> | <b>30.1163</b> | <b>29.935</b> |
|                        | <b>H</b>       | <b>Esup</b>    | <b>Einf</b>    |                |                |                |                |               |
| <b>M1</b>              | 50.16          | 7.51           | 7.62           |                |                |                |                |               |
| <b>M2</b>              | 49.98          | 7.54           | 7.69           |                |                |                |                |               |
| <b>M3</b>              | 50.08          | 7.51           | 7.61           |                |                |                |                |               |
| <b>M4</b>              | 49.91          | 7.58           | 7.64           |                |                |                |                |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>50.0325</b> | <b>7.535</b>   | <b>7.64</b>    |                |                |                |                |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



|              | Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |               |               |
|--------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|              | REDONDEZ                       |                | RECTITUD      |               |
|              | EXTERIOR                       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| <b>1</b>     | 270.47                         | 386.92         | 39.16         | 42.24         |
| <b>2</b>     | 281.17                         | 247.62         | 175.02        | 41.55         |
| <b>3</b>     | 289.84                         | 255.34         | 47.02         | 41.44         |
| <b>4</b>     | 285.73                         | 274.84         | 43.19         | 37.98         |
| <b>5</b>     | 285.23                         | 261.8          | 29.89         | 29.79         |
| <b>6</b>     | 275.23                         | 249.29         | 34.19         | 37.47         |
| <b>7</b>     | 299.6                          | 261.48         | 24.41         | 31.49         |
| <b>8</b>     | 266.31                         | 281.27         | 32.51         | 29.79         |
| <b>9</b>     | 339.77                         | 272.23         | 41.01         | 39.04         |
| <b>10</b>    |                                |                | 52.92         | 53.01         |
| <b>11</b>    |                                |                | 30.33         | 36.01         |
| <b>12</b>    |                                |                | 38.56         | 29.34         |
| <b>MEDIA</b> | <b>288.15</b>                  | <b>276.754</b> | <b>49.017</b> | <b>37.429</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 378.81            | 428.74 | 81.38          | 84.35 | 12.37          | 19.48 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 18.71             | 23.61  | 182.3          |       | 287.53         |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

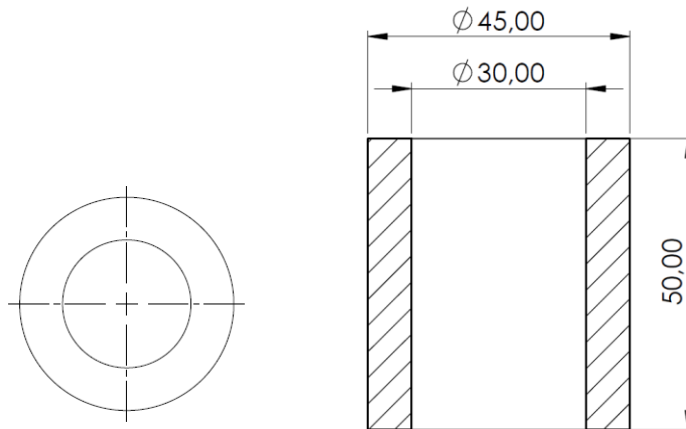
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 22.242               | 103.05               | 25.21                | 118.23               |
| <b>2</b>     | 22.382               | 103.12               | 20.927               | 99.074               |
| <b>3</b>     | 22.253               | 103.8                | 24.935               | 118.75               |
| <b>4</b>     | 22.159               | 101.1                | 24.088               | 111.54               |
| <b>5</b>     | 23.638               | 106.96               | 20.624               | 99.246               |
| <b>6</b>     | 24.721               | 112.06               | 23.465               | 113.52               |
| <b>7</b>     | 19.498               | 91.828               | 24.018               | 112.67               |
| <b>8</b>     | 26.65                | 118.98               | 24.388               | 116.18               |
| <b>MEDIA</b> | <b>22.942</b>        | <b>105.112</b>       | <b>23.456</b>        | <b>111.151</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

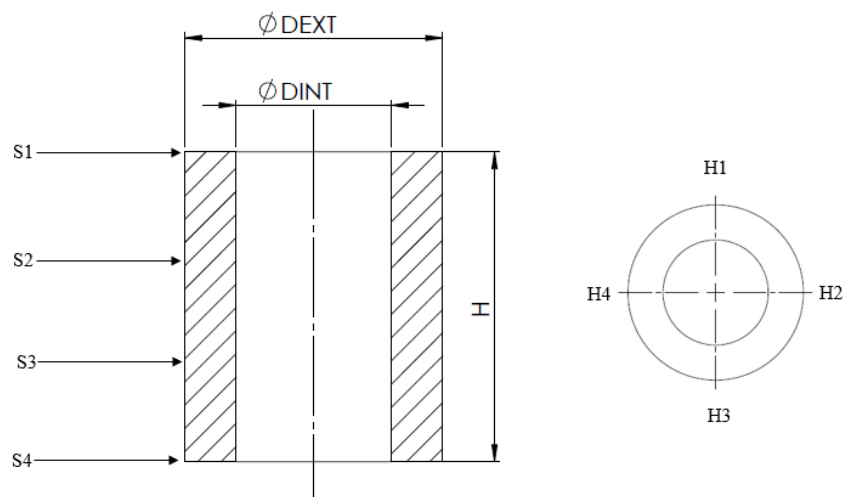
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E03_T255_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.3 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 255   | <b>Tiempo de impresión</b>            | -   |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

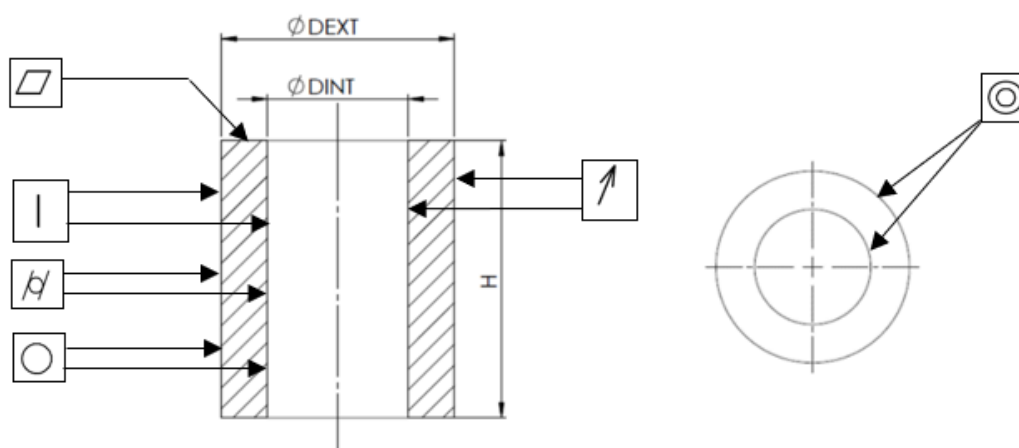


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |                |               |                |                |                |                |                |                |
|------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | Dext           |               |                |                | Dint           |                |                |                |
|                        | S1             | S2            | S3             | S4             | S1             | S2             | S3             | S4             |
| <b>M1</b>              | 44.61          | 44.50         | 44.53          | 44.48          | 30.000         | 30.075         | 30.145         | 29.945         |
| <b>M2</b>              | 44.59          | 44.56         | 44.56          | 44.61          | 29.955         | 30.090         | 30.120         | 29.995         |
| <b>M3</b>              | 44.52          | 44.54         | 44.54          | 44.56          | 29.965         | 30.140         | 30.140         | 30.000         |
| <b>M4</b>              | 44.54          | 44.54         | 44.56          | 44.50          | 29.975         | 30.150         | 30.190         | 29.905         |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.565</b>  | <b>44.535</b> | <b>44.5475</b> | <b>44.5375</b> | <b>29.9738</b> | <b>30.1138</b> | <b>30.1488</b> | <b>29.9613</b> |
|                        | <b>H</b>       | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>    |                |                |                |                |                |
| <b>M1</b>              | 50.00          | 7.53          | 7.65           |                |                |                |                |                |
| <b>M2</b>              | 49.98          | 7.49          | 7.60           |                |                |                |                |                |
| <b>M3</b>              | 50.02          | 7.47          | 7.75           |                |                |                |                |                |
| <b>M4</b>              | 50.07          | 7.44          | 7.53           |                |                |                |                |                |
| <b>MEDIA</b>           | <b>50.0175</b> | <b>7.4825</b> | <b>7.6325</b>  |                |                |                |                |                |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 281.55         | 268.15         | 52.57         | 37.6          |
| 2                              | 308.75         | 271.16         | 51.06         | 124.47        |
| 3                              | 271.37         | 280.05         | 38.72         | 40.9          |
| 4                              | 270.69         | 280.86         | 218.16        | 43.79         |
| 5                              | 318.18         | 279.91         | 35.49         | 61.17         |
| 6                              | 277.49         | 285.16         | 42.99         | 87.32         |
| 7                              | 197.06         | 281.92         | 29.82         | 36.6          |
| 8                              | 314.56         | 297.39         | 199.52        | 32.71         |
| 9                              | 267.27         | 277.73         | 33.73         | 33.2          |
| 10                             |                |                | 43.04         | 110.76        |
| 11                             |                |                | 27.5          | 31.76         |
| 12                             |                |                | 107.83        | 51.6          |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>278.546</b> | <b>280.258</b> | <b>73.369</b> | <b>57.656</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |      | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT  | EXT            | INT   |
| 399.66            | 339.76 | 26.68          | 26.5 | 21.12          | 17.92 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |      | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT  | EXT            | INT   |
| 34.29             | 24.09  | 191.95         |      | 79.74          |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

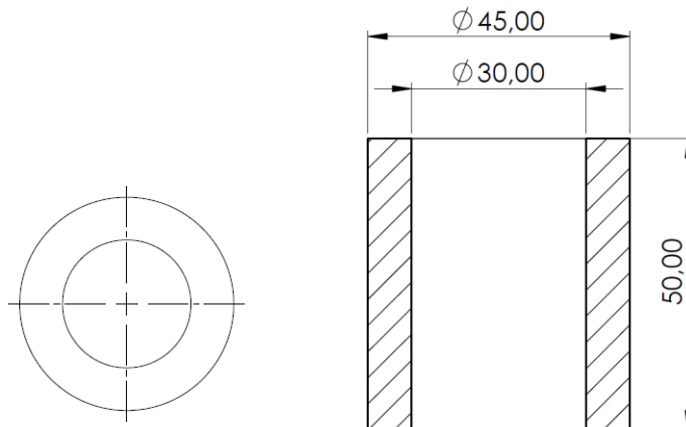
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 22.507               | 105.22               | 28.02                | 120.03               |
| <b>2</b>     | 21.993               | 99.217               | 26.282               | 113.36               |
| <b>3</b>     | 19.983               | 97.241               | 23.764               | 107.57               |
| <b>4</b>     | 26.75                | 117.78               | 26.494               | 114.8                |
| <b>5</b>     | 22.419               | 104.92               | 21.182               | 96.193               |
| <b>6</b>     | 21.606               | 102.32               | 24.808               | 116.34               |
| <b>7</b>     | 24.735               | 111.09               | 23.698               | 109.24               |
| <b>8</b>     | 25.664               | 117.78               | 27.385               | 123.55               |
| <b>MEDIA</b> | <b>23.207</b>        | <b>106.946</b>       | <b>25.204</b>        | <b>112.635</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

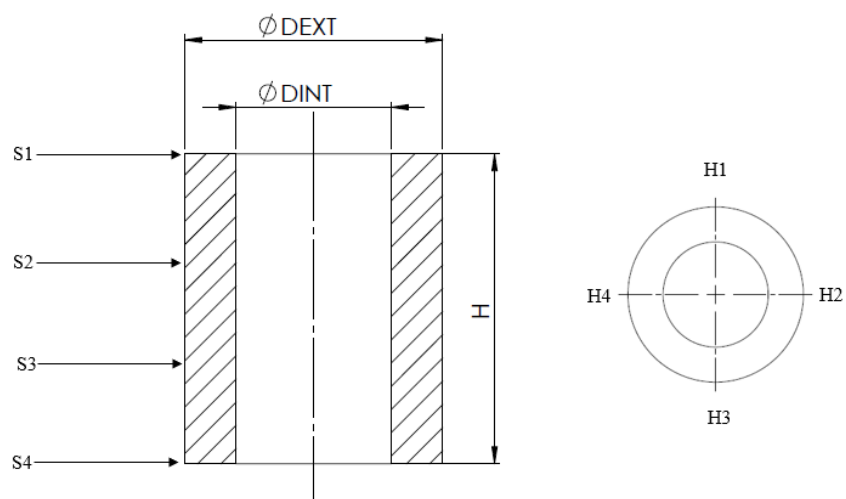
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E01_T270_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.1 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 270   | <b>Tiempo de impresión</b>            | -   |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

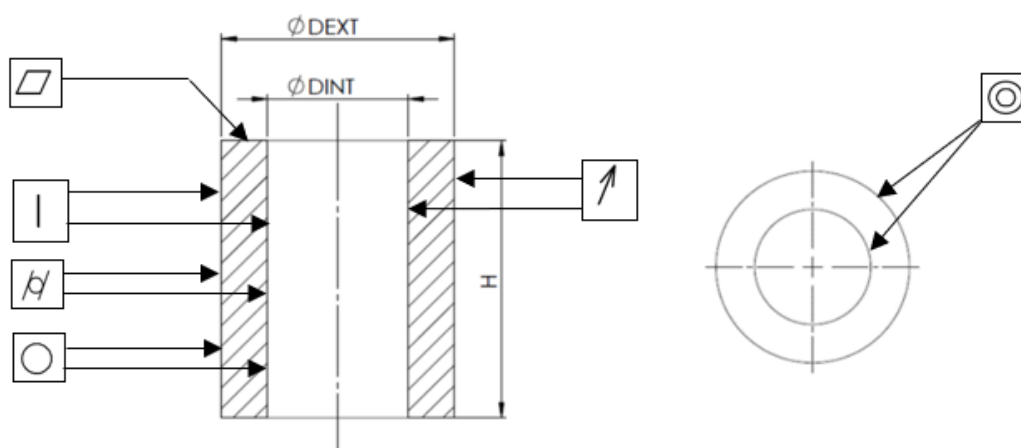


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |                |                |               |                |                |                |                |               |
|------------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|                        | Dext           |                |               |                | Dint           |                |                |               |
|                        | S1             | S2             | S3            | S4             | S1             | S2             | S3             | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.70          | 44.72          | 44.69         | 44.74          | 29.97          | 30.105         | 30.090         | 30.035        |
| <b>M2</b>              | 44.63          | 44.63          | 44.69         | 44.72          | 30.01          | 30.070         | 30.190         | 30.080        |
| <b>M3</b>              | 44.83          | 44.74          | 44.74         | 44.73          | 30.02          | 30.150         | 30.175         | 29.995        |
| <b>M4</b>              | 44.75          | 44.66          | 44.70         | 44.76          | 29.93          | 30.125         | 30.190         | 30.090        |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.7275</b> | <b>44.6875</b> | <b>44.705</b> | <b>44.7375</b> | <b>29.9825</b> | <b>30.1125</b> | <b>30.1613</b> | <b>30.050</b> |
|                        | <b>H</b>       | <b>Esup</b>    | <b>Einf</b>   |                |                |                |                |               |
| <b>M1</b>              | 49.90          | 7.47           | 7.65          |                |                |                |                |               |
| <b>M2</b>              | 49.96          | 7.54           | 7.45          |                |                |                |                |               |
| <b>M3</b>              | 49.92          | 7.46           | 7.54          |                |                |                |                |               |
| <b>M4</b>              | 49.98          | 7.52           | 7.46          |                |                |                |                |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>49.94</b>   | <b>7.4975</b>  | <b>7.525</b>  |                |                |                |                |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |              |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |              |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR     |
| 1                              | 143.62         | 92.8           | 47.46         | 74.54        |
| 2                              | 147.46         | 119.85         | 54.65         | 58.6         |
| 3                              | 155.58         | 113.23         | 50            | 69           |
| 4                              | 165.99         | 126.55         | 51.05         | 93.51        |
| 5                              | 178.78         | 94.95          | 55.03         | 57.47        |
| 6                              | 206.58         | 111.81         | 88.06         | 80.71        |
| 7                              | 186.01         | 123.92         | 79.08         | 59.98        |
| 8                              | 288.92         | 110.91         | 60.06         | 60.79        |
| 9                              | 206.67         | 107.37         | 88.74         | 61.24        |
| 10                             |                |                | 60.1          | 78.39        |
| 11                             |                |                | 57.65         | 66.77        |
| 12                             |                |                | 67.79         | 49.72        |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>186.623</b> | <b>111.265</b> | <b>63.305</b> | <b>67.56</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |      |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT  |
| 336.37            | 165.94 | 50.61          | 57.43 | 32.03          | 40.2 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |      |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT  |
| 20.18             | 31.21  | 38.45          |       | 205.42         |      |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

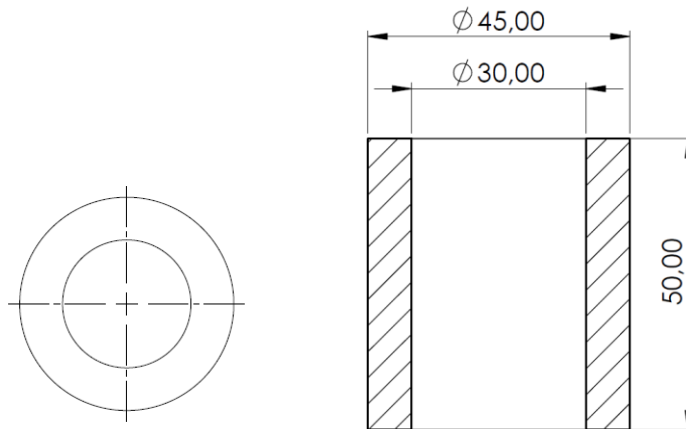
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 12.441               | 82.438               | 13.487               | 88.008               |
| <b>2</b>     | 11.937               | 85.276               | 13.385               | 81.057               |
| <b>3</b>     | 12.982               | 83.974               | 12.549               | 105.08               |
| <b>4</b>     | 11.472               | 76.8                 | 11.22                | 74.718               |
| <b>5</b>     | 11.195               | 76.075               | 14.254               | 106.72               |
| <b>6</b>     | 11.513               | 80.865               | 13.261               | 92.067               |
| <b>7</b>     | 12.532               | 82.987               | 10.657               | 72.6                 |
| <b>8</b>     | 12.414               | 83.056               | 10.963               | 75.937               |
| <b>MEDIA</b> | <b>12.06</b>         | <b>81.433</b>        | <b>12.472</b>        | <b>87.023</b>        |

**1. OBSERVACIONES**

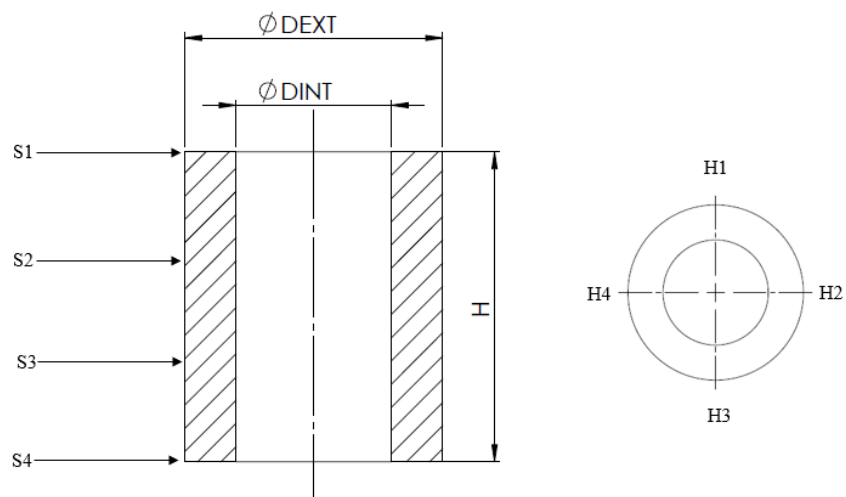
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E02_T270_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|  |       |                                       |     |
|--|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.2 |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40  |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 270   | <b>Tiempo de impresión</b>            | -   |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

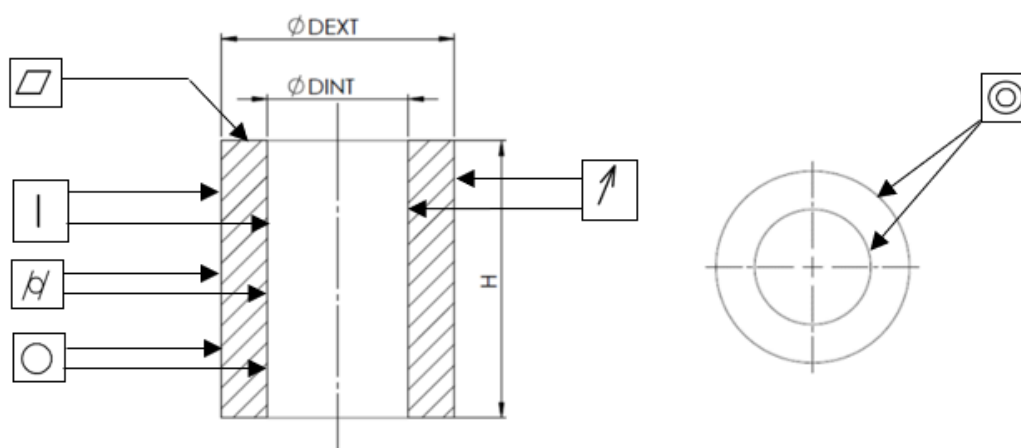


## CONTROL DIMENSIONAL



|              | MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |              |               |               |               |               |               |
|--------------|------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Dext                   |               |              |               | Dint          |               |               |               |
|              | S1                     | S2            | S3           | S4            | S1            | S2            | S3            | S4            |
| <b>M1</b>    | 45.04                  | 44.86         | 44.91        | 44.96         | 29.29         | 29.72         | 29.545        | 29.31         |
| <b>M2</b>    | 45.02                  | 44.87         | 44.9         | 45.02         | 29.295        | 29.83         | 29.6          | 29.43         |
| <b>M3</b>    | 45.01                  | 44.87         | 44.83        | 44.82         | 29.28         | 29.85         | 29.74         | 29.45         |
| <b>M4</b>    | 45.03                  | 44.91         | 44.88        | 44.95         | 29.3          | 29.755        | 29.745        | 29.415        |
| <b>MEDIA</b> | <b>45.025</b>          | <b>44.877</b> | <b>44.88</b> | <b>44.937</b> | <b>29.291</b> | <b>29.788</b> | <b>29.657</b> | <b>29.401</b> |
|              | <b>H</b>               | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>  |               |               |               |               |               |
| <b>M1</b>    | 49.81                  | 7.87          | 7.91         |               |               |               |               |               |
| <b>M2</b>    | 49.79                  | 7.92          | 7.91         |               |               |               |               |               |
| <b>M3</b>    | 49.90                  | 7.90          | 7.76         |               |               |               |               |               |
| <b>M4</b>    | 49.96                  | 7.92          | 7.82         |               |               |               |               |               |
| <b>MEDIA</b> | <b>49.865</b>          | <b>7.9025</b> | <b>7.85</b>  |               |               |               |               |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |               |                |                |
|--------------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| REDONDEZ                       |                |               | RECTITUD       |                |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR      | EXTERIOR       | INTERIOR       |
| 1                              | 252.61         | 310.88        | 144.46         | 190.97         |
| 2                              | 334.52         | 290.1         | 195.09         | 173.94         |
| 3                              | 350.3          | 289.1         | 125.47         | 217.78         |
| 4                              | 339.84         | 373.42        | 221.3          | 253.3          |
| 5                              | 326.31         | 365.03        | 137.98         | 139.68         |
| 6                              | 338.44         | 329.11        | 260.87         | 234.28         |
| 7                              | 335.75         | 419.27        | 231.65         | 224.51         |
| 8                              | 334.38         | 395.3         | 214.45         | 126.77         |
| 9                              | 275.84         | 450.87        | 250.72         | 237.16         |
| 10                             |                |               | 266.95         | 237.3          |
| 11                             |                |               | 207.79         | 323.6          |
| 12                             |                |               | 198.56         | 219.01         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>320.887</b> | <b>358.12</b> | <b>204.607</b> | <b>214.858</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |        | COAXIALIDAD    |        |
|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT    |
| 444.34            | 526.76 | 182.19         | 173.52 | 178.34         | 134.66 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |        | PLANICIDAD INF |        |
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT    |
| 86.54             | 93.85  | 386.69         |        | 186.22         |        |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

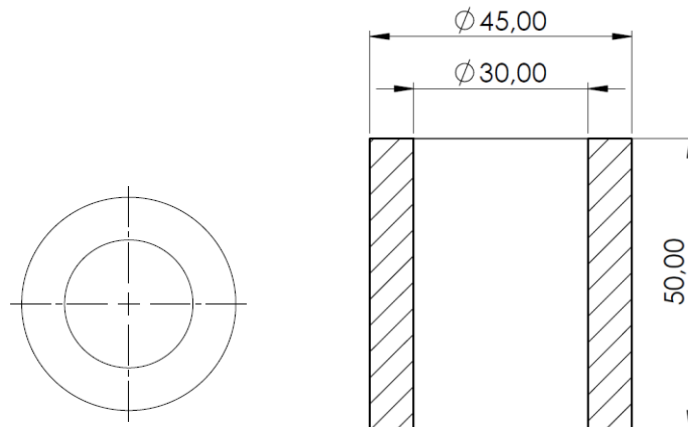
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 26.779               | 165.5                | 28.422               | 164.83               |
| <b>2</b>     | 27.697               | 160.82               | 30.518               | 182.31               |
| <b>3</b>     | 33.513               | 178.44               | 29.972               | 180.19               |
| <b>4</b>     | 29.322               | 161.02               | 35.167               | 215.4                |
| <b>5</b>     | 25.116               | 153.47               | 29.446               | 169.64               |
| <b>6</b>     | 29.948               | 173.9                | 31.579               | 174.58               |
| <b>7</b>     | 25.675               | 156.46               | 30.878               | 184.47               |
| <b>8</b>     | 25.388               | 134.11               | 33.817               | 194.14               |
| <b>MEDIA</b> | <b>27.929</b>        | <b>160.465</b>       | <b>31.224</b>        | <b>183.195</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

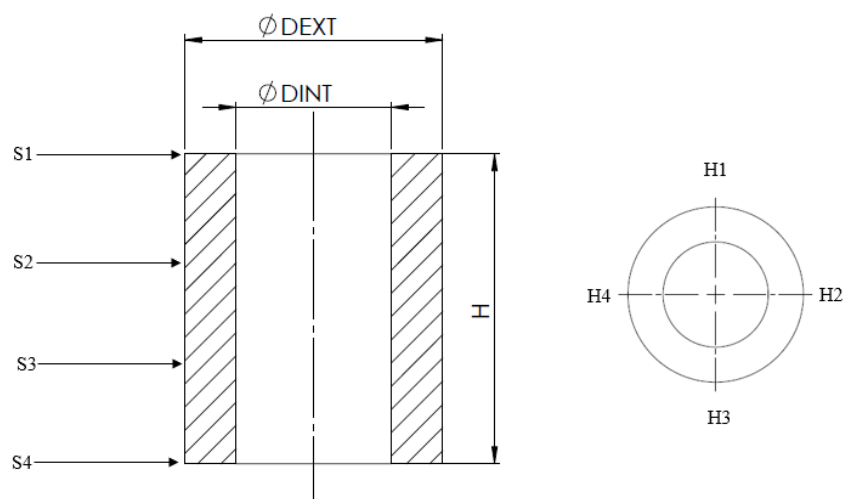
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E03_T270_V40</b> |
|-------------------|------------------------------|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.3 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 40  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 270   | <b>Tiempo de impresión</b>            | -   |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

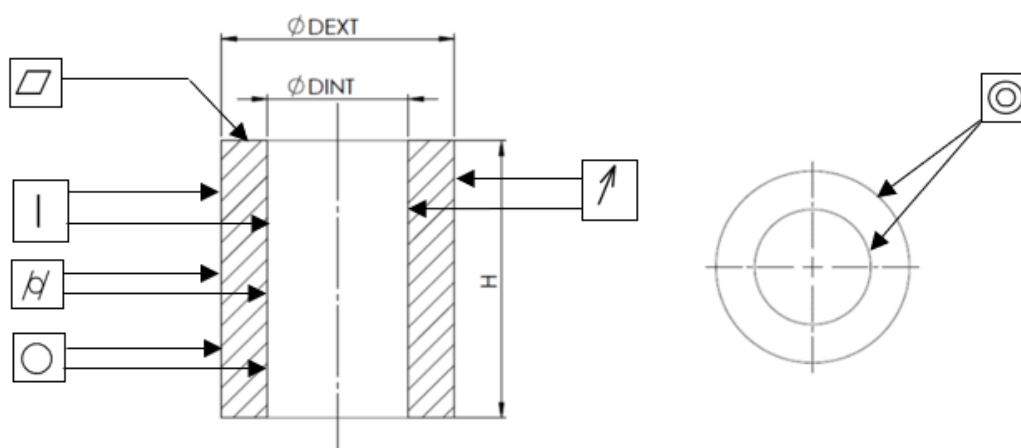


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |               |               |               |               |               |             |               |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
|                        | Dext          |               |               |               | Dint          |               |             |               |
|                        | S1            | S2            | S3            | S4            | S1            | S2            | S3          | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.79         | 44.63         | 44.58         | 45.23         | 29.625        | 29.865        | 29.56       | 29.445        |
| <b>M2</b>              | 44.68         | 44.58         | 44.6          | 44.99         | 29.65         | 29.88         | 29.455      | 29.5          |
| <b>M3</b>              | 44.59         | 44.6          | 44.66         | 44.92         | 29.55         | 29.835        | 29.635      | 29.43         |
| <b>M4</b>              | 44.52         | 44.66         | 44.6          | 44.87         | 29.675        | 29.935        | 29.75       | 29.455        |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.645</b> | <b>44.617</b> | <b>44.61</b>  | <b>45.002</b> | <b>29.625</b> | <b>29.878</b> | <b>29.6</b> | <b>29.457</b> |
|                        | <b>H</b>      | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>   |               |               |               |             |               |
| <b>M1</b>              | 49.83         | 7.59          | 8.01          |               |               |               |             |               |
| <b>M2</b>              | 50.04         | 7.58          | 7.93          |               |               |               |             |               |
| <b>M3</b>              | 49.86         | 7.53          | 7.92          |               |               |               |             |               |
| <b>M4</b>              | 49.87         | 7.54          | 8.01          |               |               |               |             |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>49.90</b>  | <b>7.56</b>   | <b>7.9675</b> |               |               |               |             |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |               |                |               |                |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| REDONDEZ                       |               |                | RECTITUD      |                |
|                                | EXTERIOR      | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR       |
| 1                              | 365.42        | 391.38         | 112.54        | 181.23         |
| 2                              | 315.04        | 389.57         | 124.77        | 234.52         |
| 3                              | 323.43        | 448.44         | 87.25         | 122.79         |
| 4                              | 376.5         | 300.56         | 133.58        | 233.68         |
| 5                              | 306.11        | 333.78         | 32.43         | 100.62         |
| 6                              | 315.99        | 376.64         | 59.85         | 213.74         |
| 7                              | 308.48        | 353.72         | 41.14         | 197.62         |
| 8                              | 361.99        | 356.93         | 40.59         | 243.29         |
| 9                              | 362.29        | 336.31         | 111.82        | 199.1          |
| 10                             |               |                | 127.75        | 262.49         |
| 11                             |               |                | 221.96        | 213.52         |
| 12                             |               |                | 55.117        | 274.98         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>337.25</b> | <b>365.258</b> | <b>95.733</b> | <b>206.465</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |        | COAXIALIDAD    |        |
|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT    |
| 530.73            | 521.99 | 87.94          | 741.19 | 84.97          | 147.74 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |        | PLANICIDAD INF |        |
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT    |
| 140.03            | 113.81 | 240.93         |        | 328.51         |        |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

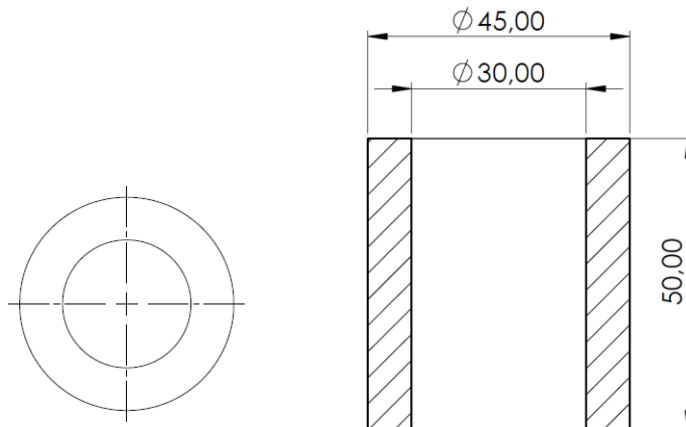
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 22.449               | 103.89               | 25.904               | 148.85               |
| <b>2</b>     | 21.867               | 103.36               | 22.125               | 113.16               |
| <b>3</b>     | 20.781               | 101.86               | 20.569               | 109                  |
| <b>4</b>     | 25.129               | 115.5                | 25.625               | 143.24               |
| <b>5</b>     | 30.008               | 167.23               | 25.352               | 130.34               |
| <b>6</b>     | 19.632               | 93.152               | 26.142               | 145.94               |
| <b>7</b>     | 24.194               | 110.69               | 26.803               | 160.2                |
| <b>8</b>     | 21.922               | 104.44               | 24.207               | 130.04               |
| <b>MEDIA</b> | <b>23.247</b>        | <b>112.515</b>       | <b>24.59</b>         | <b>135.096</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

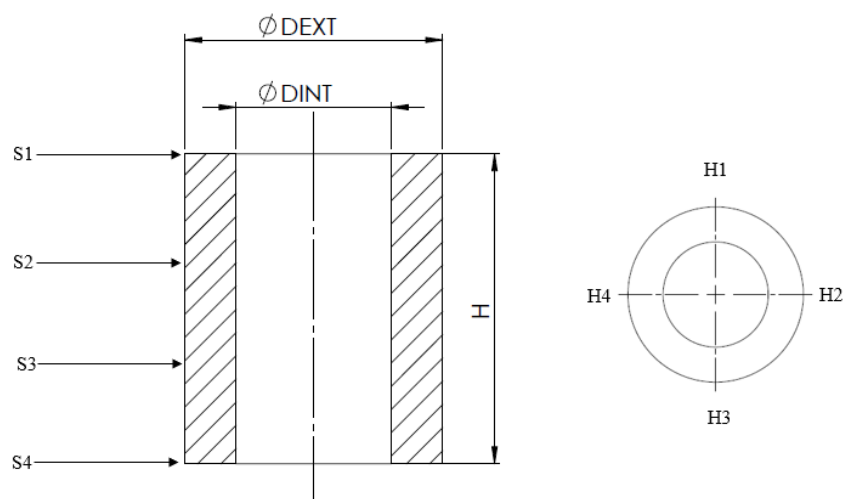
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E01_T240_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|  |       |                                       |     |
|--|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.1 |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 240   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

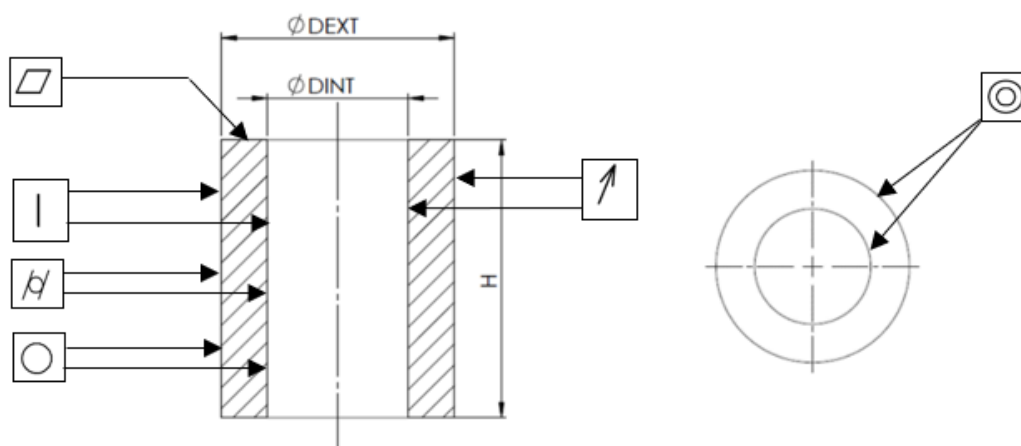


## CONTROL DIMENSIONAL



|              | MEDIDA LONGITUDES (mm) |              |              |              |               |               |              |              |
|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
|              | Dext                   |              |              |              | Dint          |               |              |              |
|              | S1                     | S2           | S3           | S4           | S1            | S2            | S3           | S4           |
| <b>M</b>     | 44.52                  | 44.58        | 44.57        | 44.64        | 29.9          | 29.85         | 29.8         | 29.63        |
| <b>M2</b>    | 44.54                  | 44.62        | 44.49        | 44.69        | 29.85         | 29.87         | 29.69        | 29.675       |
| <b>M3</b>    | 44.46                  | 44.6         | 44.72        | 44.58        | 29.835        | 29.9          | 29.79        | 29.77        |
| <b>M4</b>    | 44.55                  | 44.64        | 44.5         | 44.77        | 29.87         | 29.76         | 29.6         | 29.685       |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.517</b>          | <b>44.61</b> | <b>44.57</b> | <b>44.67</b> | <b>29.863</b> | <b>29.845</b> | <b>29.72</b> | <b>29.69</b> |
|              | <b>H</b>               | <b>Esup</b>  | <b>Einf</b>  |              |               |               |              |              |
| <b>M1</b>    | 49.87                  | 7.42         | 7.52         |              |               |               |              |              |
| <b>M2</b>    | 49.92                  | 7.43         | 7.56         |              |               |               |              |              |
| <b>M3</b>    | 49.93                  | 7.48         | 7.61         |              |               |               |              |              |
| <b>M4</b>    | 49.94                  | 7.46         | 7.57         |              |               |               |              |              |
| <b>MEDIA</b> | <b>49.915</b>          | <b>7.447</b> | <b>7.565</b> |              |               |               |              |              |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



Desviaciones ( $\mu\text{m}$ )

|              | REDONDEZ       |               | RECTITUD      |               |
|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
|              | EXTERIOR       | INTERIOR      | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| <b>1</b>     | 400.74         | 175.59        | 39.09         | 52.81         |
| <b>2</b>     | 371.5          | 172.86        | 29.08         | 27.59         |
| <b>3</b>     | 366.72         | 170.31        | 39.21         | 19.71         |
| <b>4</b>     | 345.6          | 149.32        | 29.33         | 27.46         |
| <b>5</b>     | 305.06         | 154.32        | 29.33         | 38.81         |
| <b>6</b>     | 272.34         | 124.74        | 26.29         | 27.03         |
| <b>7</b>     | 245.18         | 132.57        | 23.7          | 29.44         |
| <b>8</b>     | 234.61         | 104.49        | 22.26         | 35.25         |
| <b>9</b>     | 276.79         | 283.43        | 54.17         | 170.79        |
| <b>10</b>    |                |               | 69.67         | 170.2         |
| <b>11</b>    |                |               | 70.55         | 54.4          |
| <b>12</b>    |                |               | 77.99         | 86.13         |
| <b>MEDIA</b> | <b>313.171</b> | <b>163.07</b> | <b>42.555</b> | <b>61.635</b> |

| CILINDRICIDAD     |               | CONCENTRICIDAD |               | COAXIALIDAD    |              |
|-------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|--------------|
| EXT               | INT           | EXT            | INT           | EXT            | INT          |
| <b>522.92</b>     | <b>328.85</b> | <b>46.39</b>   | <b>151.85</b> | <b>45.29</b>   | <b>48.01</b> |
| DESVIACIÓN RADIAL |               | PLANICIDAD SUP |               | PLANICIDAD INF |              |
| EXT               | INT           | EXT            | INT           | EXT            | INT          |
| <b>68.73</b>      | <b>115.56</b> | <b>120.26</b>  |               | <b>179.83</b>  |              |

## CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS

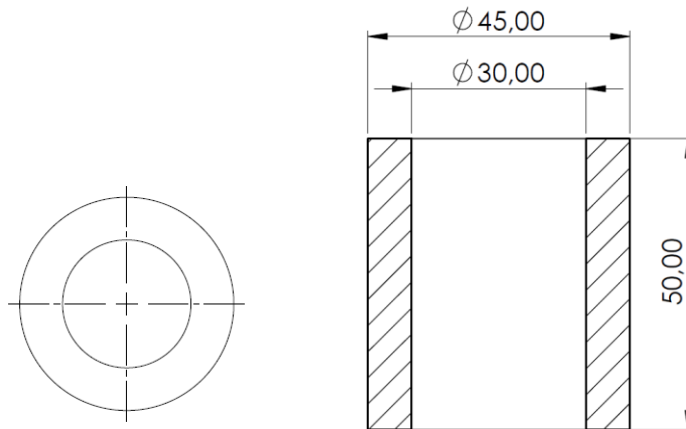
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 7.07                 | 40.294               | 7.93                 | 50.034               |
| <b>2</b>     | 6.57                 | 40.976               | 9.883                | 59.102               |
| <b>3</b>     | 6.78                 | 39.87                | 9.212                | 53.943               |
| <b>4</b>     | 7.473                | 45.821               | 9.459                | 59.619               |
| <b>5</b>     | 6.397                | 39.442               | 8.39                 | 51.73                |
| <b>6</b>     | 6.843                | 39.928               | 8.05                 | 49.517               |
| <b>7</b>     | 6.987                | 41.628               | 8.632                | 54.94                |
| <b>8</b>     | 7.275                | 45.437               | 8.13                 | 49.597               |
| <b>MEDIA</b> | <b>6.924</b>         | <b>41.674</b>        | <b>8.71</b>          | <b>53.56</b>         |

## 1. OBSERVACIONES

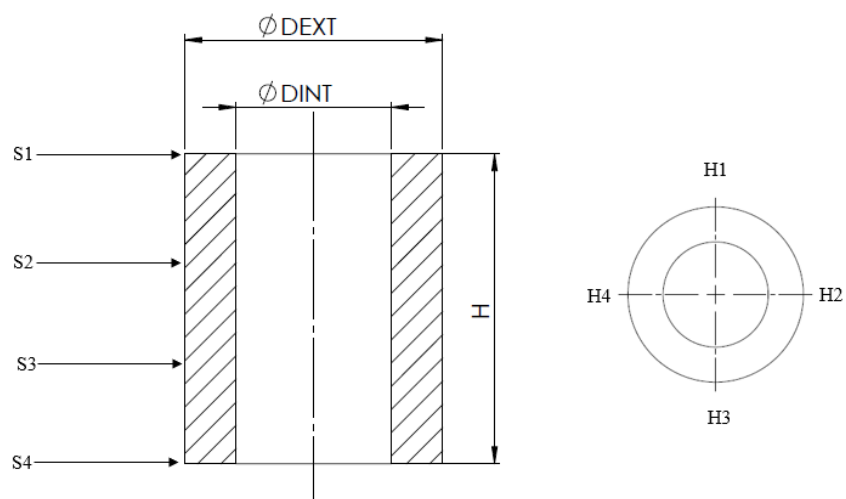
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E02_T240_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.2 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 240   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

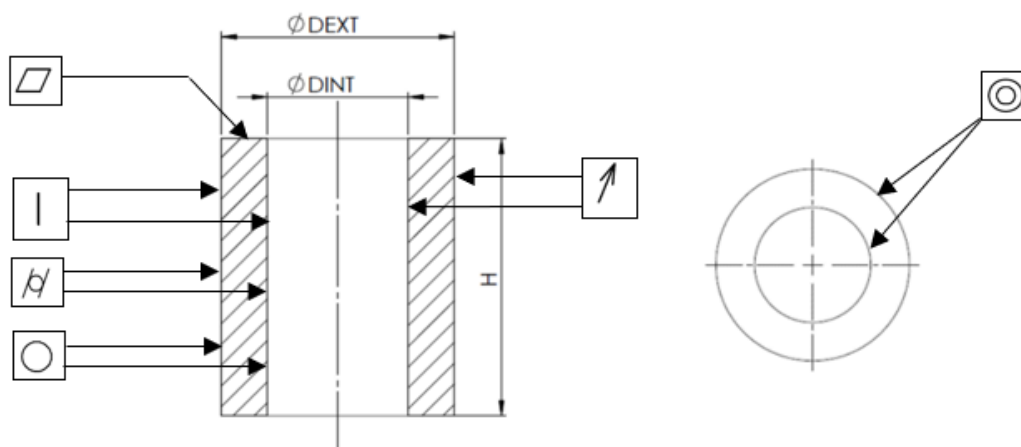


## CONTROL DIMENSIONAL



|              | MEDIDA LONGITUDES (mm) |              |               |               |               |               |               |               |
|--------------|------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Dext                   |              |               |               | Dint          |               |               |               |
|              | S1                     | S2           | S3            | S4            | S1            | S2            | S3            | S4            |
| <b>M1</b>    | 44.59                  | 44.62        | 44.64         | 44.7          | 29.7          | 29.8          | 29.69         | 29.47         |
| <b>M2</b>    | 44.55                  | 44.48        | 44.5          | 44.75         | 29.75         | 29.915        | 29.835        | 29.425        |
| <b>M3</b>    | 44.78                  | 44.53        | 44.65         | 44.59         | 29.625        | 29.95         | 29.565        | 29.475        |
| <b>M4</b>    | 44.72                  | 44.45        | 44.47         | 44.78         | 29.72         | 29.865        | 29.85         | 29.46         |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.66</b>           | <b>44.52</b> | <b>44.565</b> | <b>44.705</b> | <b>29.698</b> | <b>29.882</b> | <b>29.735</b> | <b>29.457</b> |
|              | <b>H</b>               | <b>Esup</b>  | <b>Einf</b>   |               |               |               |               |               |
| <b>M1</b>    | 49.88                  | 7.41         | 7.52          |               |               |               |               |               |
| <b>M2</b>    | 49.65                  | 7.48         | 7.58          |               |               |               |               |               |
| <b>M3</b>    | 49.92                  | 7.5          | 7.55          |               |               |               |               |               |
| <b>M4</b>    | 49.93                  | 7.5          | 7.54          |               |               |               |               |               |
| <b>MEDIA</b> | <b>49.845</b>          | <b>7.472</b> | <b>7.547</b>  |               |               |               |               |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 242.65         | 291.77         | 18.71         | 23.54         |
| 2                              | 271.6          | 293.73         | 29.08         | 17.98         |
| 3                              | 320.24         | 421.38         | 27.84         | 35.27         |
| 4                              | 331.9          | 307.36         | 26.66         | 36.45         |
| 5                              | 322.93         | 291.65         | 24.32         | 25.45         |
| 6                              | 339.96         | 337.96         | 21.33         | 28.62         |
| 7                              | 299.56         | 307.59         | 44.11         | 28.71         |
| 8                              | 312.75         | 333.09         | 74.23         | 29.61         |
| 9                              | 617.1          | 546.87         | 35.01         | 57.63         |
| 10                             |                |                | 98.16         | 44.67         |
| 11                             |                |                | 158.73        | 64.58         |
| 12                             |                |                | 498.69        | 61.42         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>339.854</b> | <b>347.933</b> | <b>88.072</b> | <b>37.827</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |        | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 735.75            | 595.86 | 48.51          | 110.71 | 55.86          | 68.24 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |        | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 77.9              | 13.92  | 169.57         |        | 85.84          |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

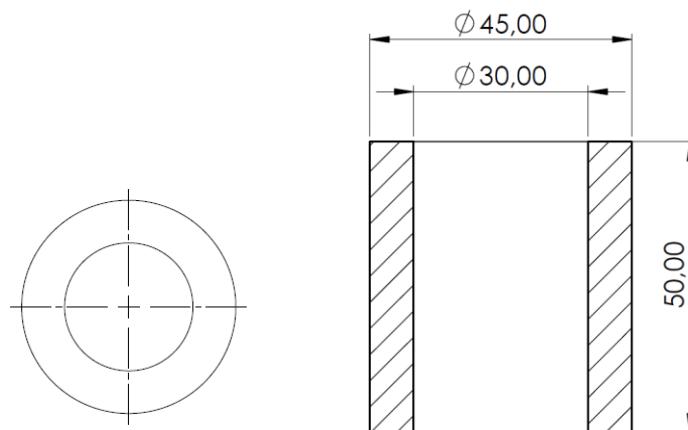
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 12.314               | 63.163               | 14.857               | 72.753               |
| <b>2</b>     | 14.465               | 69.676               | 13.939               | 72.431               |
| <b>3</b>     | 13.318               | 67.374               | 15.345               | 70.962               |
| <b>4</b>     | 12.59                | 60.011               | 11.228               | 58.213               |
| <b>5</b>     | 14.628               | 70.096               | 11.891               | 60.655               |
| <b>6</b>     | 12.413               | 62.008               | 13.528               | 62.988               |
| <b>7</b>     | 12.38                | 62.915               | 14.221               | 70.366               |
| <b>8</b>     | 13.911               | 65.772               | 14.289               | 70.979               |
| <b>MEDIA</b> | <b>63.163</b>        | <b>14.857</b>        | <b>72.753</b>        | <b>44.612</b>        |

**1. OBSERVACIONES**

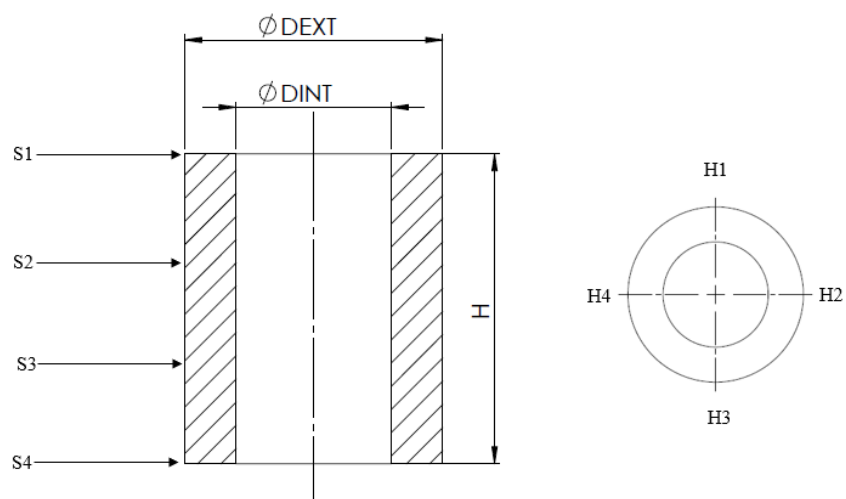
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E03_T240_V60</b> |
|-------------------|------------------------------|

|  |       |                                       |     |
|--|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.3 |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 240   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

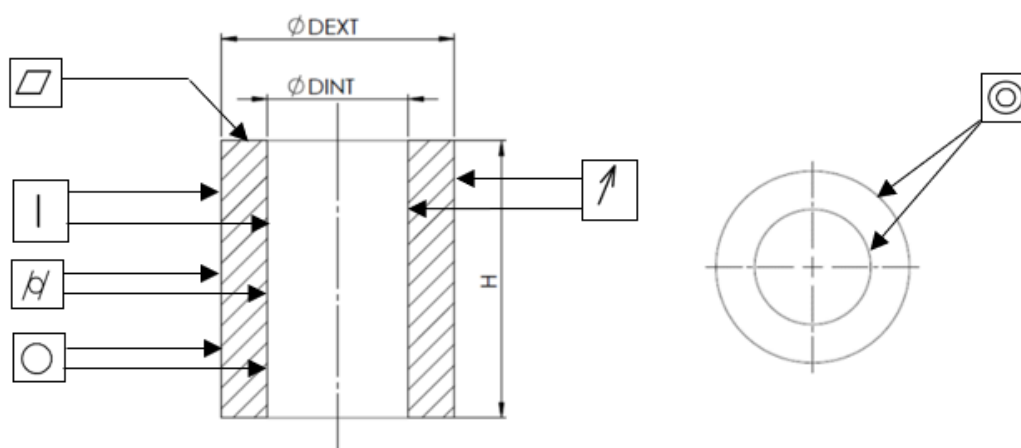


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |              |               |               |               |               |             |               |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
|                        | Dext          |              |               |               | Dint          |               |             |               |
|                        | S1            | S2           | S3            | S4            | S1            | S2            | S3          | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.66         | 44.65        | 44.64         | 44.55         | 29.58         | 29.595        | 29.57       | 29.68         |
| <b>M2</b>              | 44.65         | 44.54        | 44.59         | 44.6          | 29.555        | 29.7          | 29.585      | 29.78         |
| <b>M3</b>              | 44.59         | 44.6         | 44.66         | 44.74         | 29.61         | 29.67         | 29.565      | 29.535        |
| <b>M4</b>              | 44.6          | 44.61        | 44.49         | 44.62         | 29.475        | 29.685        | 29.68       | 29.745        |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.625</b> | <b>44.6</b>  | <b>44.595</b> | <b>44.627</b> | <b>29.555</b> | <b>29.662</b> | <b>29.6</b> | <b>29.685</b> |
|                        | <b>H</b>      | <b>Esup</b>  | <b>Einf</b>   |               |               |               |             |               |
| <b>M1</b>              | 49.97         | 7.62         | 7.65          |               |               |               |             |               |
| <b>M2</b>              | 49.99         | 7.47         | 7.71          |               |               |               |             |               |
| <b>M3</b>              | 49.99         | 7.53         | 7.76          |               |               |               |             |               |
| <b>M4</b>              | 50.09         | 7.45         | 7.61          |               |               |               |             |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>50.01</b>  | <b>7.517</b> | <b>7.682</b>  |               |               |               |             |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 505.25         | 332.78         | 44.42         | 41.38         |
| 2                              | 449.33         | 326.39         | 38.09         | 38.38         |
| 3                              | 490.15         | 328.9          | 39.91         | 40.9          |
| 4                              | 455.19         | 320.27         | 32.65         | 25.93         |
| 5                              | 450.24         | 296.15         | 31.45         | 30.52         |
| 6                              | 424.1          | 323.41         | 31.75         | 28.83         |
| 7                              | 411.41         | 306.68         | 31.89         | 28.52         |
| 8                              | 394.13         | 313.9          | 19.62         | 25.26         |
| 9                              | 413.83         | 346.44         | 45.02         | 41.82         |
| 10                             |                |                | 77.54         | 65.59         |
| 11                             |                |                | 81.23         | 43.6          |
| 12                             |                |                | 89.58         | 30.53         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>443.736</b> | <b>321.657</b> | <b>46.929</b> | <b>36.771</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |      |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT  |
| 546.93            | 376.14 | 50.96          | 70.96 | 53.37          | 37.6 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |      |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT  |
| 66.75             | 37.24  | 295.51         |       | 131.58         |      |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

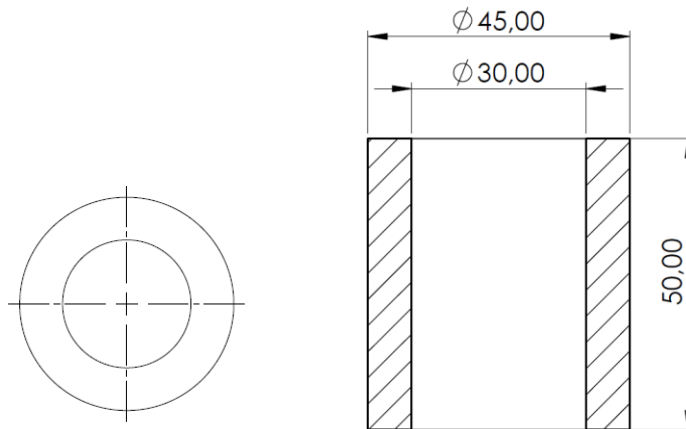
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 14.378               | 75.071               | 23.718               | 104.7                |
| <b>2</b>     | 29.704               | 123.81               | 27.901               | 118.62               |
| <b>3</b>     | 21.275               | 98.99                | 14.184               | 76.935               |
| <b>4</b>     | 19.735               | 88.716               | 25.212               | 107.35               |
| <b>5</b>     | 23.914               | 110.21               | 33.813               | 143.24               |
| <b>6</b>     | 33.259               | 155.36               | 22.235               | 104.22               |
| <b>7</b>     | 13.786               | 68.918               | 27.896               | 122.86               |
| <b>8</b>     | 24.79                | 109.86               | 14.2                 | 75.529               |
| <b>MEDIA</b> | <b>22.605</b>        | <b>103.866</b>       | <b>23.644</b>        | <b>106.681</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

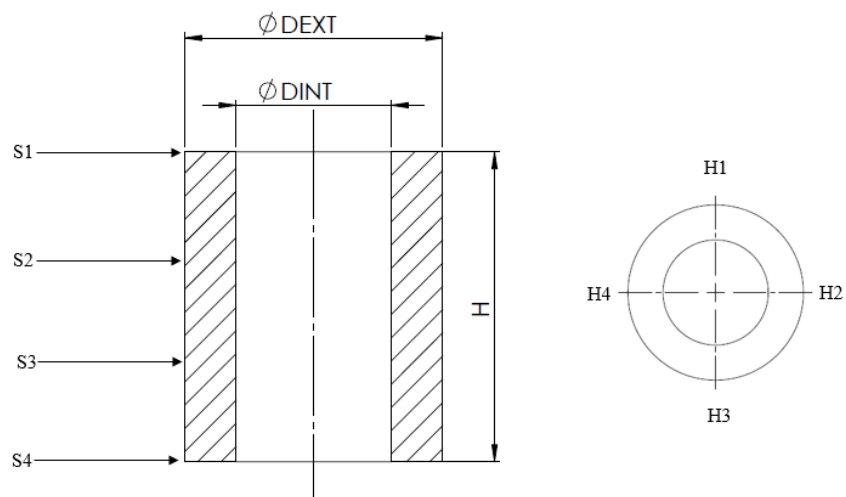
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E01_T255_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|  |       |                                       |     |
|--|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.1 |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 255   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

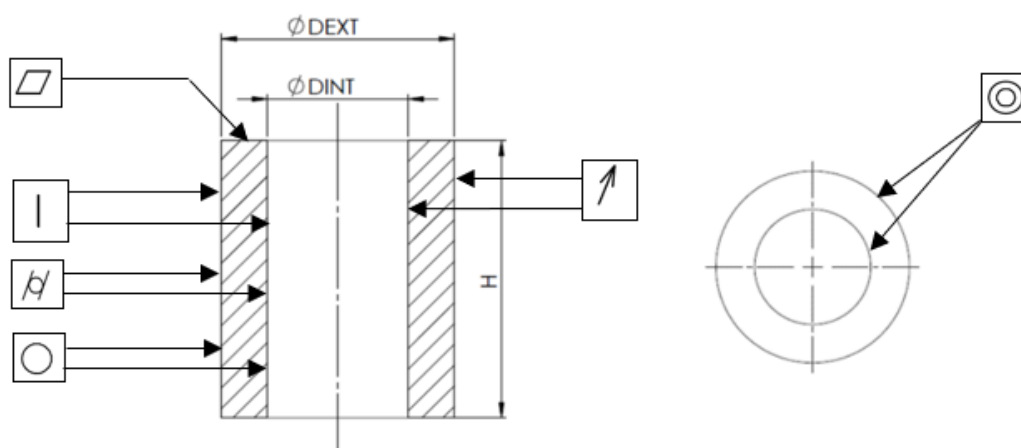


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |               |               |               |               |               |               |               |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                        | Dext          |               |               |               | Dint          |               |               |               |
|                        | S1            | S2            | S3            | S4            | S1            | S2            | S3            | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.92         | 45.05         | 45            | 44.69         | 29.825        | 29.855        | 29.85         | 29.805        |
| <b>M2</b>              | 45.06         | 44.81         | 44.77         | 44.77         | 29.82         | 29.89         | 29.87         | 29.8          |
| <b>M3</b>              | 44.78         | 44.93         | 44.82         | 44.65         | 29.835        | 29.86         | 29.855        | 29.81         |
| <b>M4</b>              | 44.9          | 44.8          | 44.71         | 44.75         | 29.815        | 29.9          | 29.885        | 29.795        |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.915</b> | <b>44.897</b> | <b>44.825</b> | <b>44.715</b> | <b>29.823</b> | <b>29.876</b> | <b>29.865</b> | <b>29.802</b> |
|                        | H             | Esup          | Einf          |               |               |               |               |               |
| <b>M1</b>              | 50.12         | 7.52          | 7.5           |               |               |               |               |               |
| <b>M2</b>              | 50.03         | 7.58          | 7.54          |               |               |               |               |               |
| <b>M3</b>              | 50.07         | 7.53          | 7.59          |               |               |               |               |               |
| <b>M4</b>              | 50.04         | 7.57          | 7.53          |               |               |               |               |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>50.065</b> | <b>7.55</b>   | <b>7.54</b>   |               |               |               |               |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 216.22         | 137.43         | 60.31         | 45.94         |
| 2                              | 265.54         | 120.43         | 52.74         | 64.01         |
| 3                              | 300.87         | 164.57         | 45.72         | 61.36         |
| 4                              | 219.17         | 100.54         | 51.52         | 64.4          |
| 5                              | 284.6          | 130.53         | 57.37         | 53.48         |
| 6                              | 259.74         | 120.9          | 56.15         | 87.86         |
| 7                              | 236.36         | 156.38         | 66.87         | 74.48         |
| 8                              | 236.71         | 108.57         | 59.73         | 97.36         |
| 9                              | 269.84         | 118.61         | 55.6          | 45.64         |
| 10                             |                |                | 65.02         | 74.69         |
| 11                             |                |                | 49.17         | 45.82         |
| 12                             |                |                | 56.02         | 78.35         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>254.338</b> | <b>128.662</b> | <b>56.351</b> | <b>66.115</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 379.85            | 223.64 | 52.49          | 66.06 | 46.96          | 55.23 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 38.93             | 56.53  | 177.99         |       | 119.77         |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

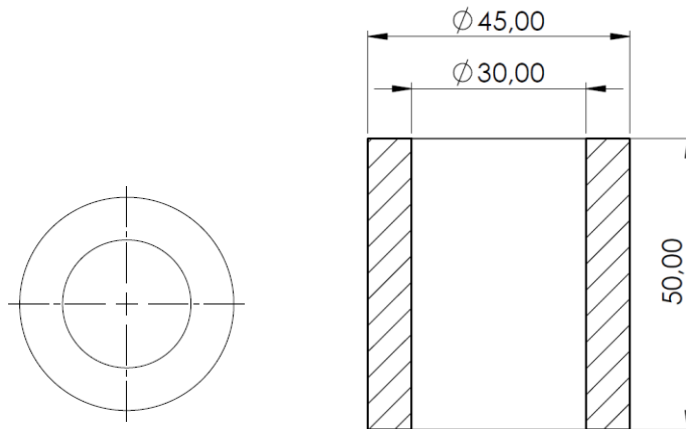
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 20.082               | 108.73               | 23.718               | 97.585               |
| <b>2</b>     | 22.486               | 113.03               | 27.901               | 106.53               |
| <b>3</b>     | 19.049               | 89.922               | 14.184               | 107.78               |
| <b>4</b>     | 14.902               | 79.944               | 25.212               | 88.788               |
| <b>5</b>     | 15.019               | 89.129               | 33.813               | 84.616               |
| <b>6</b>     | 27.189               | 128.96               | 22.235               | 70.519               |
| <b>7</b>     | 45.602               | 193.04               | 27.896               | 99.536               |
| <b>8</b>     | 17.843               | 95.497               | 14.2                 | 87.117               |
| <b>MEDIA</b> | <b>22.771</b>        | <b>112.281</b>       | <b>23.644</b>        | <b>92.808</b>        |

**1. OBSERVACIONES**

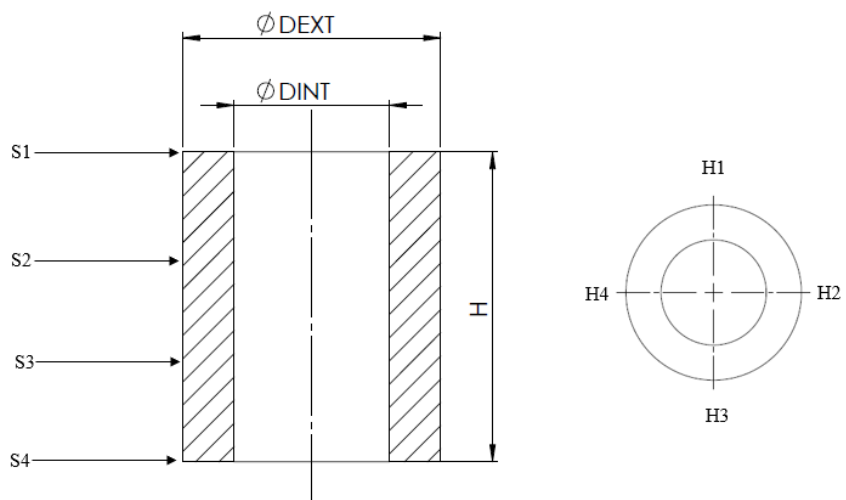
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E02_T255_V60</b> |
|-------------------|------------------------------|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.2 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 255   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |



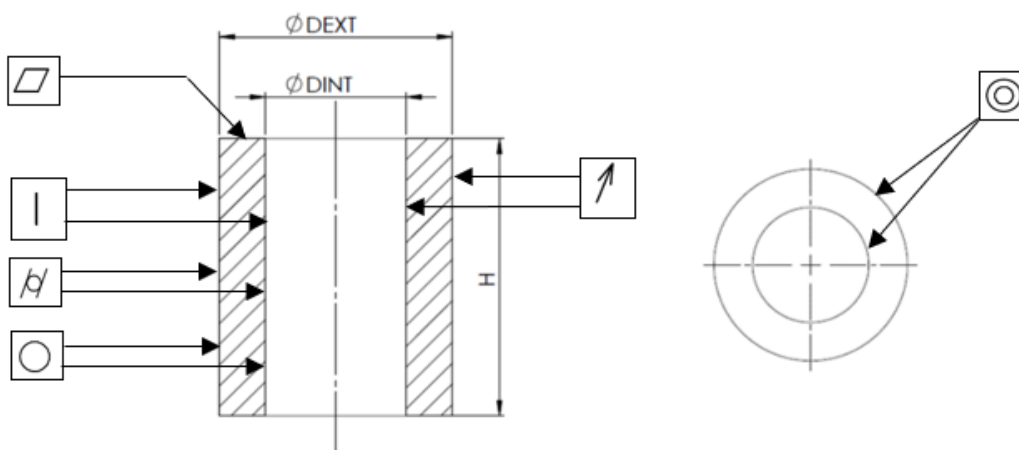
## CONTROL DIMENSIONAL



## MEDIDA LONGITUDES (mm)

|              | Dext          |               |               |              | Dint          |               |               |              |
|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
|              | S1            | S2            | S3            | S4           | S1            | S2            | S3            | S4           |
| <b>M1</b>    | 44.7          | 44.75         | 44.82         | 44.74        | 29.69         | 29.66         | 29.765        | 29.705       |
| <b>M2</b>    | 44.85         | 44.83         | 44.78         | 44.73        | 29.715        | 29.775        | 29.76         | 29.79        |
| <b>M3</b>    | 44.78         | 44.87         | 44.79         | 44.84        | 29.65         | 29.76         | 29.74         | 29.755       |
| <b>M4</b>    | 44.72         | 44.84         | 44.74         | 44.69        | 29.765        | 29.755        | 29.785        | 29.75        |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.762</b> | <b>44.822</b> | <b>44.782</b> | <b>44.75</b> | <b>29.705</b> | <b>29.737</b> | <b>29.762</b> | <b>29.75</b> |
|              | <b>H</b>      | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>   |              |               |               |               |              |
| <b>M1</b>    | 50.01         | 7.47          | 7.64          |              |               |               |               |              |
| <b>M2</b>    | 50            | 7.51          | 7.69          |              |               |               |               |              |
| <b>M3</b>    | 50.04         | 7.55          | 7.6           |              |               |               |               |              |
| <b>M4</b>    | 50.01         | 7.5           | 7.67          |              |               |               |               |              |
| <b>MEDIA</b> | <b>50.015</b> | <b>7.507</b>  | <b>7.65</b>   |              |               |               |               |              |

**CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS**



**Desviaciones (µm)**

|              | REDONDEZ       |                | RECTITUD      |                |
|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
|              | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR       |
| <b>1</b>     | 332.77         | 255.1          | 311.78        | 192.13         |
| <b>2</b>     | 347.92         | 535.53         | 55.75         | 24.79          |
| <b>3</b>     | 352.99         | 446.83         | 56.27         | 90.03          |
| <b>4</b>     | 322.56         | 273.08         | 123.3         | 52.6           |
| <b>5</b>     | 322.53         | 255.88         | 284.17        | 479.53         |
| <b>6</b>     | 388.49         | 252.75         | 34.21         | 19.9           |
| <b>7</b>     | 375.66         | 417.14         | 47.69         | 215.02         |
| <b>8</b>     | 410.2          | 548.35         | 115.22        | 61.25          |
| <b>9</b>     | 348.37         | 330.5          | 220.74        | 326.07         |
| <b>10</b>    |                |                | 35.45         | 23.96          |
| <b>11</b>    |                |                | 41.93         | 403.43         |
| <b>12</b>    |                |                | 116.14        | 59.95          |
| <b>MEDIA</b> | <b>355.721</b> | <b>368.351</b> | <b>120.22</b> | <b>162.388</b> |

| CILINDRICIDAD     |               | CONCENTRICIDAD |               | COAXIALIDAD    |             |
|-------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-------------|
| EXT               | INT           | EXT            | INT           | EXT            | INT         |
| <b>509.97</b>     | <b>669.95</b> | <b>77.41</b>   | <b>110.41</b> | <b>37.56</b>   | <b>65.6</b> |
| DESVIACIÓN RADIAL |               | PLANICIDAD SUP |               | PLANICIDAD INF |             |
| EXT               | INT           | EXT            | INT           | EXT            | INT         |
| <b>27.37</b>      | <b>14.54</b>  | <b>309.85</b>  |               | <b>216.68</b>  |             |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

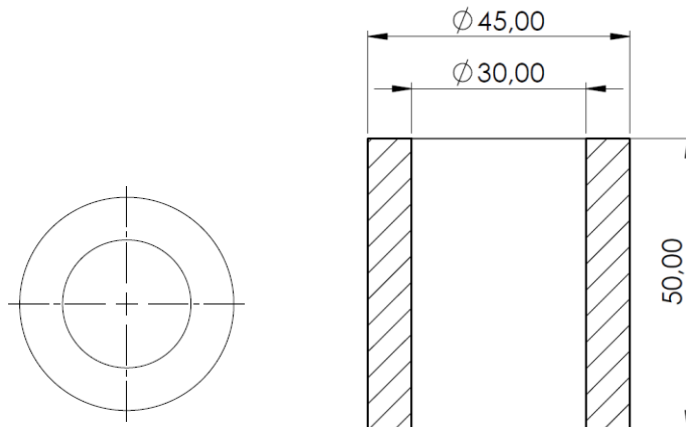
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 13.437               | 72.335               | 14.601               | 69.614               |
| <b>2</b>     | 15.006               | 83.788               | 30.231               | 137.86               |
| <b>3</b>     | 15.836               | 77.575               | 27.923               | 137.92               |
| <b>4</b>     | 13.081               | 71.7                 | 16.409               | 95.706               |
| <b>5</b>     | 14.011               | 82.842               | 24.263               | 111.15               |
| <b>6</b>     | 14.809               | 82.85                | 23.392               | 119.69               |
| <b>7</b>     | 18.612               | 104.09               | 14.431               | 68.566               |
| <b>8</b>     | 15.104               | 88.148               | 40.964               | 209.89               |
| <b>MEDIA</b> | <b>14.987</b>        | <b>82.916</b>        | <b>24.026</b>        | <b>118.799</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

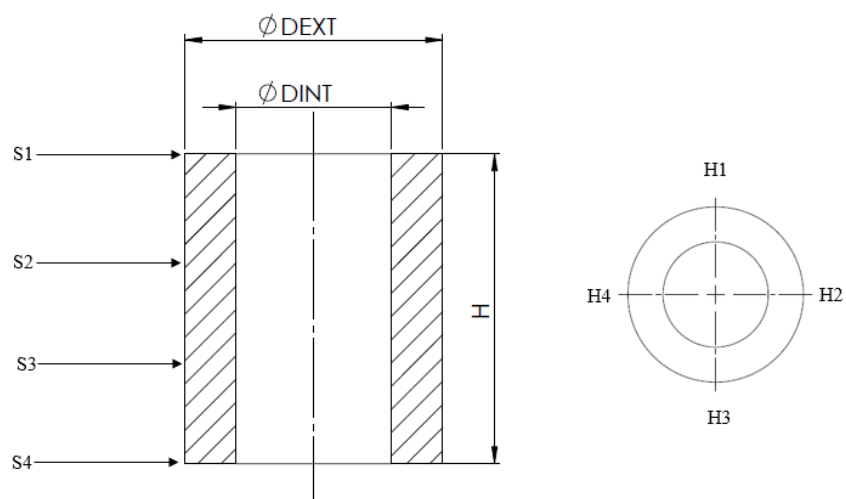
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E03_T255_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.3 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 255   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

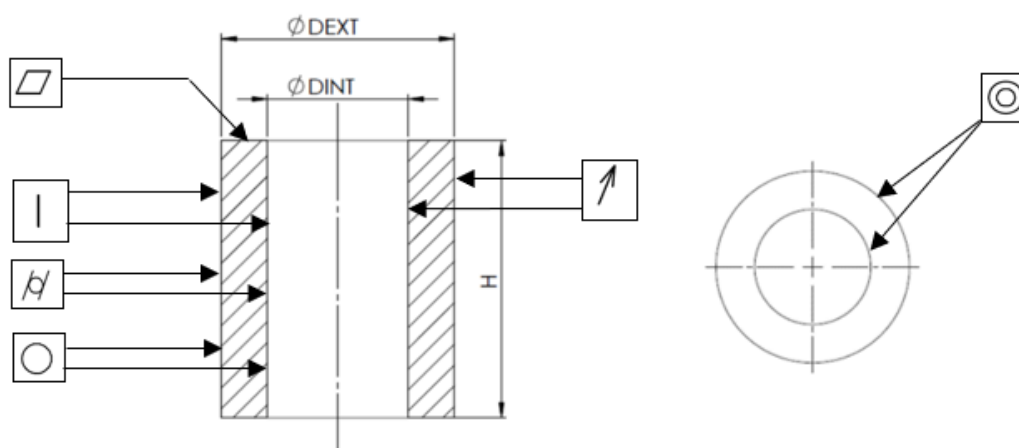


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |               |              |               |               |               |              |               |
|------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
|                        | Dext          |               |              |               | Dint          |               |              |               |
|                        | S1            | S2            | S3           | S4            | S1            | S2            | S3           | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.71         | 44.75         | 44.74        | 44.7          | 29.69         | 29.705        | 29.705       | 29.71         |
| <b>M2</b>              | 44.8          | 44.72         | 44.79        | 44.68         | 29.65         | 29.74         | 29.72        | 29.635        |
| <b>M3</b>              | 44.75         | 44.8          | 44.73        | 44.69         | 29.615        | 29.65         | 29.695       | 29.62         |
| <b>M4</b>              | 44.67         | 44.76         | 44.86        | 44.79         | 29.62         | 29.7          | 29.72        | 29.55         |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.732</b> | <b>44.757</b> | <b>44.78</b> | <b>44.715</b> | <b>29.643</b> | <b>29.698</b> | <b>29.71</b> | <b>29.628</b> |
|                        | <b>H</b>      | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>  |               |               |               |              |               |
| <b>M1</b>              | 50.07         | 7.76          | 7.55         |               |               |               |              |               |
| <b>M2</b>              | 50.08         | 7.56          | 7.62         |               |               |               |              |               |
| <b>M3</b>              | 50.12         | 7.66          | 7.67         |               |               |               |              |               |
| <b>M4</b>              | 50.11         | 7.65          | 7.52         |               |               |               |              |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>50.095</b> | <b>7.657</b>  | <b>7.59</b>  |               |               |               |              |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |               |                |               |                |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| REDONDEZ                       |               |                | RECTITUD      |                |
|                                | EXTERIOR      | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR       |
| 1                              | 364.87        | 333.23         | 53.97         | 31.85          |
| 2                              | 439.6         | 540.89         | 38.4          | 149.58         |
| 3                              | 562.59        | 438.12         | 70.52         | 54.7           |
| 4                              | 373.4         | 411.36         | 66.48         | 381.22         |
| 5                              | 611.32        | 523.06         | 57.85         | 26.8           |
| 6                              | 371.15        | 467.09         | 36.83         | 106.35         |
| 7                              | 574.14        | 347.33         | 52.07         | 70.65          |
| 8                              | 477.51        | 296.23         | 56.47         | 257.97         |
| 9                              | 624.17        | 345.98         | 61.49         | 43.74          |
| 10                             |               |                | 39.47         | 112.06         |
| 11                             |               |                | 43.35         | 106.17         |
| 12                             |               |                | 53.13         | 225.66         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>488.75</b> | <b>411.476</b> | <b>52.502</b> | <b>130.562</b> |

| CILINDRICIDAD     |       | CONCENTRICIDAD |        | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|-------|----------------|--------|----------------|-------|
| EXT               | INT   | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 728.49            | 632.6 | 41.07          | 178.73 | 48.09          | 118.7 |
| DESVIACIÓN RADIAL |       | PLANICIDAD SUP |        | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT   | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 28.05             | 25.22 | 324.79         |        | 139.28         |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

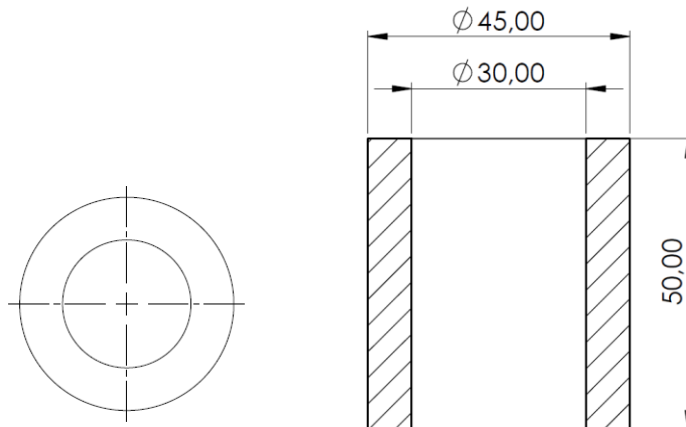
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 24.704               | 117.9                | 22.551               | 112.61               |
| <b>2</b>     | 21.224               | 115.84               | 26.834               | 146.21               |
| <b>3</b>     | 20.606               | 112.87               | 24.636               | 121.84               |
| <b>4</b>     | 25.771               | 123.59               | 30.721               | 190.87               |
| <b>5</b>     | 17.37                | 92.083               | 36.873               | 208.68               |
| <b>6</b>     | 30.119               | 153.14               | 23.275               | 123.65               |
| <b>7</b>     | 21.754               | 108.32               | 28.009               | 170.13               |
| <b>8</b>     | 22.238               | 113.9                | 30.68                | 180.99               |
| <b>MEDIA</b> | <b>22.973</b>        | <b>117.205</b>       | <b>27.947</b>        | <b>156.872</b>       |

**1. OBSERVACIONES**

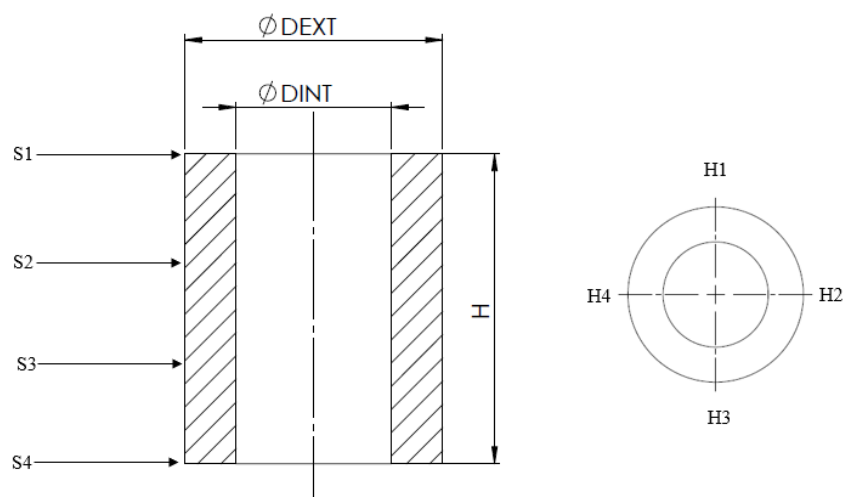
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E01_T270_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|                             |       |                                       |     |
|-----------------------------|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>             | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.1 |
| <b>Bobina</b>               | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>Tª de extrusión (°C)</b> | 270   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>Tª de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |



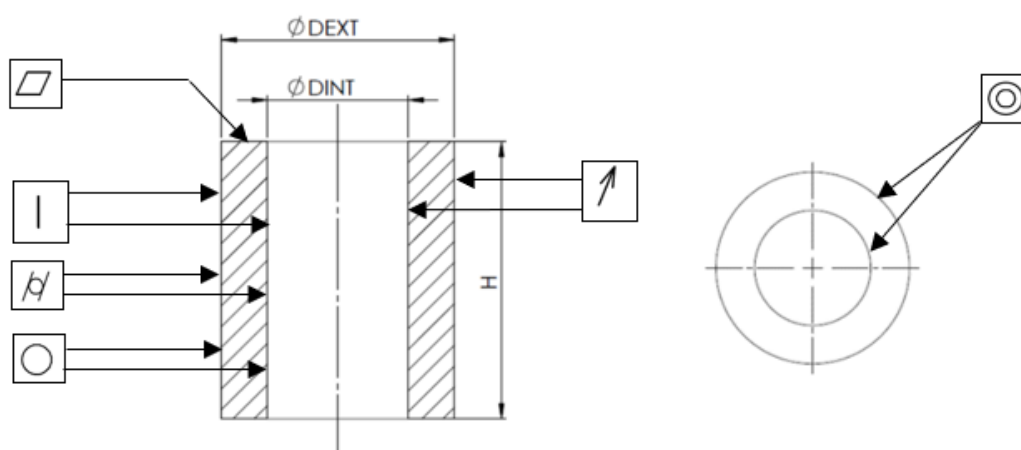
## CONTROL DIMENSIONAL



## MEDIDA LONGITUDES (mm)

|              | Dext          |               |               |              | Dint         |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|              | S1            | S2            | S3            | S4           | S1           | S2            | S3            | S4            |
| <b>M1</b>    | 44.72         | 44.78         | 44.71         | 44.68        | 29.785       | 29.775        | 29.695        | 29.75         |
| <b>M2</b>    | 44.73         | 44.81         | 44.67         | 44.71        | 29.74        | 29.81         | 29.75         | 29.7          |
| <b>M3</b>    | 44.74         | 44.73         | 44.68         | 44.8         | 29.735       | 29.82         | 29.61         | 29.78         |
| <b>M4</b>    | 44.7          | 44.7          | 44.96         | 44.69        | 29.7         | 29.735        | 29.67         | 29.755        |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.722</b> | <b>44.755</b> | <b>44.755</b> | <b>44.72</b> | <b>29.74</b> | <b>29.785</b> | <b>29.681</b> | <b>29.746</b> |
|              | <b>H</b>      | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>   |              |              |               |               |               |
| <b>M1</b>    | 50.01         | 7.56          | 7.56          |              |              |               |               |               |
| <b>M2</b>    | 49.97         | 7.51          | 7.57          |              |              |               |               |               |
| <b>M3</b>    | 50.03         | 7.56          | 7.59          |              |              |               |               |               |
| <b>M4</b>    | 49.95         | 7.53          | 7.67          |              |              |               |               |               |
| <b>MEDIA</b> | <b>49.99</b>  | <b>7.54</b>   | <b>7.597</b>  |              |              |               |               |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 362.65         | 163.99         | 41.46         | 38.99         |
| 2                              | 320.22         | 151.41         | 57.65         | 57.22         |
| 3                              | 301.98         | 126.18         | 43.06         | 39.56         |
| 4                              | 274.23         | 146.38         | 61.06         | 47.13         |
| 5                              | 254.82         | 129.81         | 55.62         | 36.9          |
| 6                              | 231.76         | 144.56         | 57.46         | 46.4          |
| 7                              | 209.68         | 144.48         | 48.97         | 41.86         |
| 8                              | 199.55         | 128.48         | 48.39         | 47.94         |
| 9                              | 140.13         | 117.64         | 130.21        | 97.74         |
| 10                             |                |                | 108.61        | 89.68         |
| 11                             |                |                | 80.59         | 62.6          |
| 12                             |                |                | 146.57        | 133.03        |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>255.002</b> | <b>139.214</b> | <b>73.304</b> | <b>61.587</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 392.88            | 189.99 | 58.63          | 26.11 | 37.44          | 26.11 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 20.21             | 16.73  | 149.69         |       | 73.91          |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

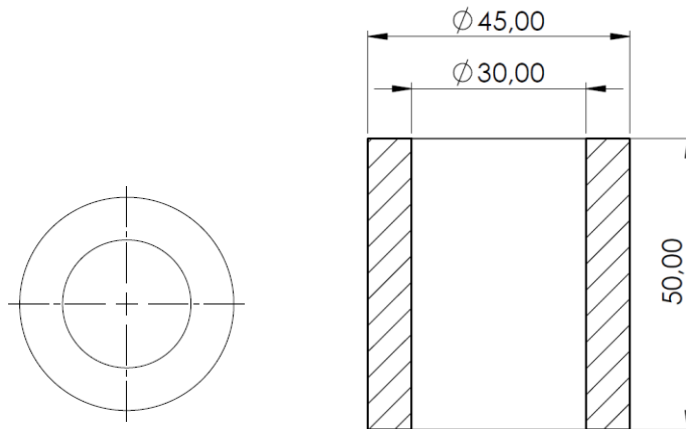
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 9.864                | 64.777               | 9.41                 | 59.811               |
| <b>2</b>     | 12.716               | 94.703               | 11.963               | 86.012               |
| <b>3</b>     | 8.083                | 78.484               | 11.997               | 77.269               |
| <b>4</b>     | 15.174               | 94.712               | 10.597               | 79.485               |
| <b>5</b>     | 11.761               | 76.075               | 13.34                | 82.417               |
| <b>6</b>     | 10.453               | 72.151               | 14.331               | 91.065               |
| <b>7</b>     | 9.426                | 63.829               | 13.044               | 103.71               |
| <b>8</b>     | 8.952                | 56.704               | 14.633               | 104.15               |
| <b>MEDIA</b> | <b>10.803</b>        | <b>75.179</b>        | <b>12.414</b>        | <b>85.489</b>        |

**1. OBSERVACIONES**

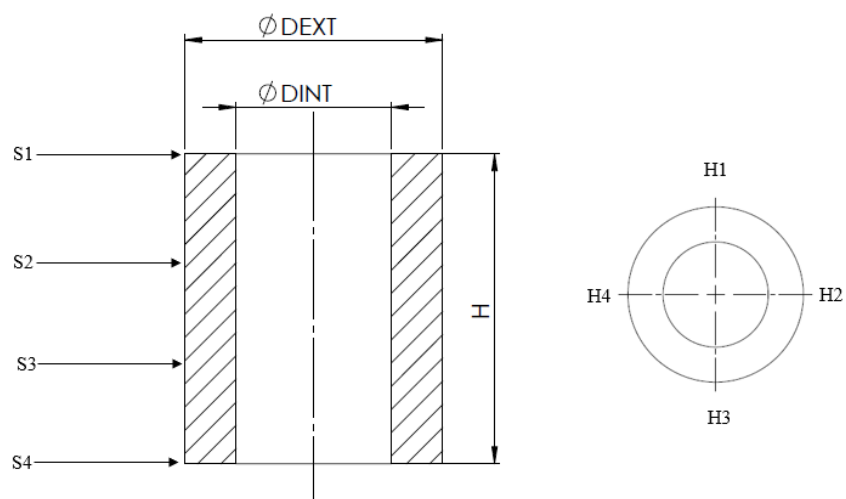
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E02_T270_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|  |       |                                       |     |
|--|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.2 |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 270   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

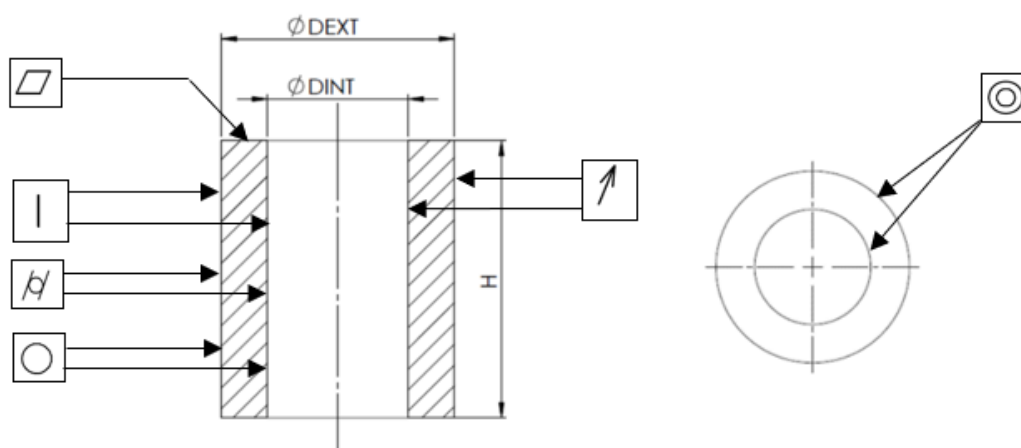


## CONTROL DIMENSIONAL



| MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |               |               |              |               |               |               |               |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                        | Dext          |               |               |              | Dint          |               |               |               |
|                        | S1            | S2            | S3            | S4           | S1            | S2            | S3            | S4            |
| <b>M1</b>              | 44.65         | 44.62         | 44.56         | 44.76        | 29.84         | 29.845        | 29.795        | 29.755        |
| <b>M2</b>              | 44.68         | 44.59         | 44.54         | 44.73        | 29.74         | 29.85         | 29.81         | 29.67         |
| <b>M3</b>              | 44.62         | 44.63         | 44.53         | 44.72        | 29.765        | 29.81         | 29.76         | 29.715        |
| <b>M4</b>              | 44.66         | 44.61         | 44.63         | 44.79        | 29.755        | 29.805        | 29.6          | 29.76         |
| <b>MEDIA</b>           | <b>44.652</b> | <b>44.612</b> | <b>44.565</b> | <b>44.75</b> | <b>29.775</b> | <b>29.827</b> | <b>29.741</b> | <b>29.725</b> |
|                        | H             | Esup          | Einf          |              |               |               |               |               |
| <b>M1</b>              | 49.99         | 7.41          | 7.76          |              |               |               |               |               |
| <b>M2</b>              | 50.07         | 7.51          | 7.59          |              |               |               |               |               |
| <b>M3</b>              | 49.97         | 7.44          | 7.64          |              |               |               |               |               |
| <b>M4</b>              | 49.95         | 7.46          | 7.65          |              |               |               |               |               |
| <b>MEDIA</b>           | <b>49.995</b> | <b>7.455</b>  | <b>7.66</b>   |              |               |               |               |               |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |               |                |               |               |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |               |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR      | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 339.06        | 225.45         | 35.76         | 51.01         |
| 2                              | 310.1         | 206.82         | 112.23        | 42.4          |
| 3                              | 301.28        | 228.12         | 39.99         | 49.23         |
| 4                              | 297.52        | 259.97         | 53.28         | 57.65         |
| 5                              | 289.89        | 221.45         | 28.78         | 44.39         |
| 6                              | 295.52        | 217.77         | 141.83        | 33.38         |
| 7                              | 263.62        | 226.56         | 26.24         | 28.07         |
| 8                              | 255.77        | 216.53         | 40.38         | 94.87         |
| 9                              | 270.83        | 234.05         | 21.52         | 49.75         |
| 10                             |               |                | 114.17        | 42.43         |
| 11                             |               |                | 32.49         | 31.72         |
| 12                             |               |                | 28.41         | 181.6         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>291.51</b> | <b>226.302</b> | <b>56.256</b> | <b>58.875</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |       | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 285.85            | 292.74 | 73.29          | 54.57 | 23.6           | 17.51 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |       | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT   | EXT            | INT   |
| 9.21              | 18.76  | 224.81         |       | 166.06         |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

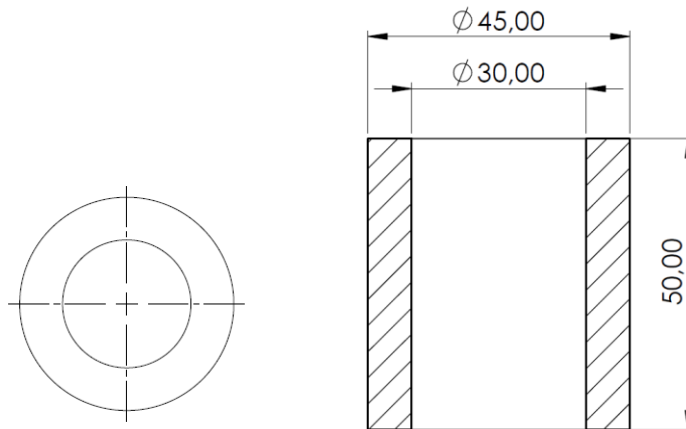
|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 17.194               | 86.546               | 12.142               | 60.685               |
| <b>2</b>     | 11.579               | 66.534               | 16.921               | 78.693               |
| <b>3</b>     | 18.138               | 85.138               | 14.451               | 76.314               |
| <b>4</b>     | 16.858               | 81.818               | 17.308               | 85.158               |
| <b>5</b>     | 12.687               | 68.244               | 11.58                | 69.165               |
| <b>6</b>     | 12.664               | 63.945               | 13.777               | 70.663               |
| <b>7</b>     | 12.669               | 62.338               | 12.998               | 64.184               |
| <b>8</b>     | 15.996               | 82.517               | 11.969               | 59.085               |
| <b>MEDIA</b> | <b>14.723</b>        | <b>74.635</b>        | <b>13.893</b>        | <b>70.493</b>        |

**1. OBSERVACIONES**

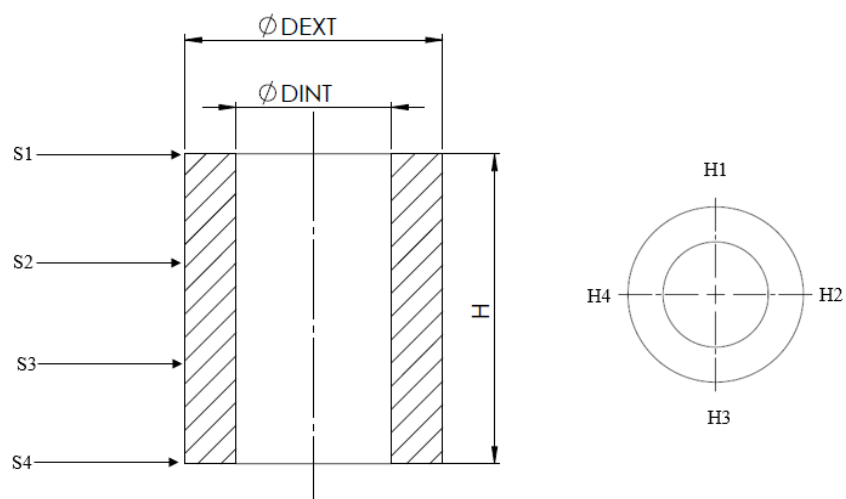
# HOJA DE DATOS

|                   |                              |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|
| <b>ID. ENSAYO</b> | <b>NYLON_DG_E03_T270_V60</b> |  |  |
|-------------------|------------------------------|--|--|

|  |       |                                       |     |
|--|-------|---------------------------------------|-----|
| <b>Material</b>                        | Nylon | <b>Espesor de capa (mm)</b>           | 0.3 |
| <b>Bobina</b>                          | 1     | <b>Velocidad de deposición (mm/s)</b> | 60  |
| <b>T<sup>a</sup> de extrusión (°C)</b> | 270   | <b>Tiempo de impresión</b>            |     |
| <b>T<sup>a</sup> de la cama (°C)</b>   | 110   | <b>Repetición (nº)</b>                | 0   |

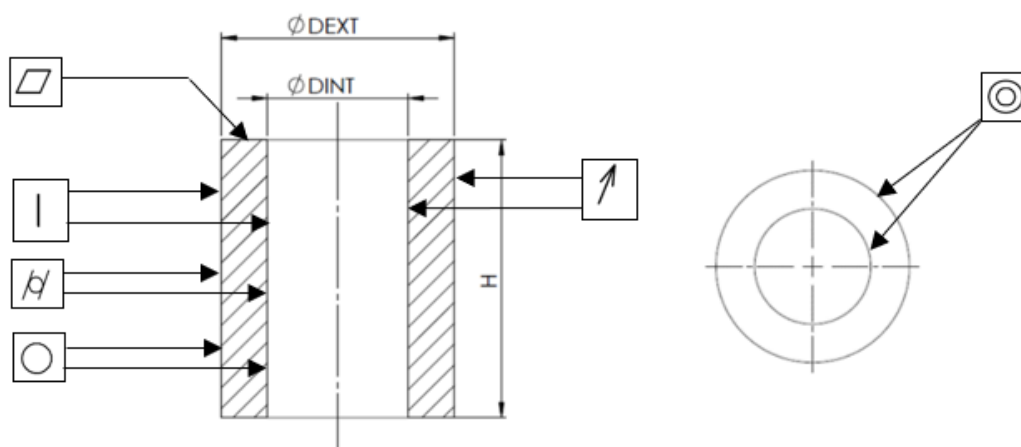


## CONTROL DIMENSIONAL



|              | MEDIDA LONGITUDES (mm) |               |              |               |               |               |              |              |
|--------------|------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
|              | Dext                   |               |              |               | Dint          |               |              |              |
|              | S1                     | S2            | S3           | S4            | S1            | S2            | S3           | S4           |
| <b>M1</b>    | 44.93                  | 44.71         | 44.65        | 44.66         | 29.805        | 29.78         | 29.79        | 29.73        |
| <b>M2</b>    | 44.71                  | 44.8          | 44.63        | 44.63         | 29.765        | 29.735        | 29.755       | 29.89        |
| <b>M3</b>    | 44.61                  | 44.89         | 44.57        | 44.59         | 29.825        | 29.685        | 29.735       | 29.905       |
| <b>M4</b>    | 44.64                  | 44.86         | 44.71        | 44.61         | 29.815        | 29.65         | 29.76        | 29.875       |
| <b>MEDIA</b> | <b>44.722</b>          | <b>44.815</b> | <b>44.64</b> | <b>44.622</b> | <b>29.802</b> | <b>29.712</b> | <b>29.76</b> | <b>29.85</b> |
|              | <b>H</b>               | <b>Esup</b>   | <b>Einf</b>  |               |               |               |              |              |
| <b>M1</b>    | 50.03                  | 7.56          | 7.52         |               |               |               |              |              |
| <b>M2</b>    | 50.08                  | 7.48          | 7.5          |               |               |               |              |              |
| <b>M3</b>    | 50.09                  | 7.56          | 7.47         |               |               |               |              |              |
| <b>M4</b>    | 50.1                   | 7.66          | 7.51         |               |               |               |              |              |
| <b>MEDIA</b> | <b>50.075</b>          | <b>7.565</b>  | <b>7.5</b>   |               |               |               |              |              |

### CONTROL DE DESVIACIONES MACROGEOMÉTRICAS



| Desviaciones ( $\mu\text{m}$ ) |                |                |               |               |
|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| REDONDEZ                       |                |                | RECTITUD      |               |
|                                | EXTERIOR       | INTERIOR       | EXTERIOR      | INTERIOR      |
| 1                              | 346.4          | 381.33         | 46.5          | 173.91        |
| 2                              | 424.76         | 353.63         | 29.97         | 33.17         |
| 3                              | 328.77         | 364.2          | 28.63         | 197.43        |
| 4                              | 362.05         | 325.23         | 31.22         | 36.07         |
| 5                              | 345.85         | 322.44         | 34.03         | 60.63         |
| 6                              | 330.86         | 331.69         | 32.15         | 34.58         |
| 7                              | 410.56         | 358.77         | 28.54         | 101.82        |
| 8                              | 367.29         | 317.05         | 32.2          | 29.84         |
| 9                              | 308.13         | 324.68         | 124.47        | 134.22        |
| 10                             |                |                | 37.99         | 45.98         |
| 11                             |                |                | 41.18         | 71.97         |
| 12                             |                |                | 46.43         | 49.32         |
| <b>MEDIA</b>                   | <b>358.296</b> | <b>342.113</b> | <b>42.775</b> | <b>80.745</b> |

| CILINDRICIDAD     |        | CONCENTRICIDAD |        | COAXIALIDAD    |       |
|-------------------|--------|----------------|--------|----------------|-------|
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 481.99            | 439.82 | 62.8           | 183.81 | 20.39          | 65.45 |
| DESVIACIÓN RADIAL |        | PLANICIDAD SUP |        | PLANICIDAD INF |       |
| EXT               | INT    | EXT            | INT    | EXT            | INT   |
| 15.69             | 24.43  | 385.71         |        | 403.9          |       |

**CONTROL DE DESVIACIONES MICROGEOMÉTRICAS**

|              | CARA EXTERIOR        |                      | CARA INTERIOR        |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) | Ra ( $\mu\text{m}$ ) | Rz ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>1</b>     | 10.586               | 60.008               | 11.599               | 70.67                |
| <b>2</b>     | 16.844               | 84.15                | 12.662               | 63.959               |
| <b>3</b>     | 13.492               | 65.568               | 13.381               | 67.376               |
| <b>4</b>     | 16.508               | 81.177               | 12.788               | 67.859               |
| <b>5</b>     | 11.654               | 63.92                | 16.526               | 80.415               |
| <b>6</b>     | 11.675               | 54.823               | 8.93                 | 51.855               |
| <b>7</b>     | 15.86                | 79.074               | 12.916               | 64.529               |
| <b>8</b>     | 14.418               | 68.699               | 12.862               | 74.328               |
| <b>MEDIA</b> | <b>13.879</b>        | <b>69.677</b>        | <b>12.708</b>        | <b>67.623</b>        |

## 1. OBSERVACIONES