



universidad
de león



Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Fin de Máster

Optimización del post procesado de piezas realizadas
por fabricación aditiva con tecnología Multijet

Optimization of the post-processing of pieces made
by additive manufacturing with Multijet technology

Autor: Laura Samaniego Ruiz Olalla
Tutores: Joaquín Barreiro García
Susana Martínez Pellitero

(Febrero, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Trabajo de Fin de Máster

ALUMNO: Laura Samaniego Ruiz Olalla

TUTOR: Joaquín Barreiro García y Susana Martínez Pellitero

TÍTULO: Optimización del post procesado de piezas realizadas por fabricación aditiva con tecnología Multijet

TITLE: Optimization of the post-processing of pieces made by additive manufacturing with Multijet technology

CONVOCATORIA: Febrero, 2022

RESUMEN:

Para derretir la cera que se encuentra en las piezas impresas mediante la máquina Projet MJP 5600 se procede a utilizar diversos métodos para poder detectar el más eficaz y eficiente manteniendo siempre la correcta geometría de la pieza y su rango de tolerancias. Se van a realizar pruebas de eliminación de cera mediante un removedor, aceite vegetal y aceite Johnson en unas máquinas de ultrasonidos, así mismo también se va a utilizar un horno para quitarla y un microondas. Una vez realizadas las pruebas pertinentes se van a comprobar mediante una prueba visual en el microscopio el estado de las piezas para visualizar fallos que no se pueden detectar a simple vista, con el ensayo de tracción se va a observar por donde rompe la pieza lo que va a dar una idea de las propiedades de las mismas, durante el de dureza se va a observar si los distintos métodos han afectado en las propiedades de las piezas viendo las distintas hendiduras que realiza en todas ellas y comprobando cual es la que debería de realizar y mediante la comprobación de la rugosidad, se va a observar si la pieza en función del ensayo es más o menos porosa. Una vez realizado todo se va a poder elegir el mejor y el peor método y se van a repetir ambas pruebas desde el inicio para verificar los resultados.

ABSTRACT:

To melt the wax found in the pieces printed by the Projet MJP 5600 machine, various methods are used to detect the most effective and efficient one, always maintaining the correct geometry of the piece and its range of tolerances. Wax removal tests will be carried out using a remover, vegetable oil and Johnson oil in ultrasound machines, likewise an oven will be used to remove it and a microwave. Once the relevant tests have been carried out, the state of the pieces will be checked by means of a visual test in the microscope to visualize faults that cannot be detected with the naked eye, with the tensile test it will be observed where the piece breaks what It will give an idea of the properties of the same, during the hardness it will be observed if the different methods have affected the properties of the pieces, seeing the different indentations that it makes in all of them and checking which is the one that should be made. and by checking the roughness, it will be observed whether the piece, based on the test, is more or less porous. Once everything is done, you will be able to choose the best and the worst method and both tests will be repeated from the beginning to verify the results.

Palabras clave: Fabricación aditiva, impresión 3D, cera, derretir, propiedades.

Firma del alumno:	VºBº Tutor/es:
--------------------------	-----------------------

Índice de contenidos

Índice de contenidos	4
Índice de figuras	6
Índice de cuadros y tablas.....	8
Índice de gráficos	9
Abreviaturas, signos y acrónimos.....	10
1. Introducción	11
2. Estado del arte.....	13
2.1. TÉCNICA MULTIJET	15
2.2.1. Aplicaciones.....	18
2.2. TÉCNICAS DE ENSAYO PARA MATERIALES POLIMÉRICOS	23
2.3. OBJETIVOS	24
3. Materiales, probetas y equipos	25
3.1. MATERIALES DE IMPRESIÓN	25
3.2. LÍQUIDOS DE LIMPIEZA.....	26
3.3. PROBETAS.....	26
3.4. EQUIPOS.....	28
3.4.1. Projet MJP 5600	28
3.4.2. Equipos de limpieza por ultrasonidos	30
3.4.3. Sistemas de calentamiento para eliminación de la cera de impresión .	31
3.4.4. Microscopio.....	33
3.4.5. Rugosímetro	34
3.4.6. Máquina Universal de Ensayos, para ensayos de tracción.....	35
3.4.7. Durómetro	36
4. Métodos.....	40
4.1. ELIMINACIÓN DE LA CERA CON MICROONDAS	41
4.2. ELIMINACIÓN DE LA CERA CON LÍQUIDOS DE LIMPIEZA	41
4.3. ELIMINACIÓN DE LA CERA EN HORNO	42
4.4. MICROSCOPIO	42
4.5. RUGOSIDAD	44
4.6. DUREZA	50
4.7. ENSAYO DE TRACCIÓN.....	56

5. Presupuesto.....	58
6. Resultados.....	61
7. Conclusiones y recomendaciones	65
8. Líneas futuras	67
9. Agradecimientos	70
Lista de referencias bibliográficas	71
Anexos	74
ANEXO I: PROJET MJP 5600	74
ANEXO II: ULTRASONIDOS ULTR-2L0-001	76
ANEXO III: ULTRASONIDOS 820HTD	77
ANEXO IV: HORNO DIGITHEAT-TFT MODELO 2001255 150L.....	78
ANEXO V: MICROONDAS LG MS-1924W.....	79
ANEXO VI: MICROSCOPIO LEICA Z16 APO	80
ANEXO VII: RUGOSÍMETRO SURFTEST SJ-500.....	83
ANEXO VIII: DURÓMETRO HH-337 SHORE D DIAL/COMPACT 811-335-10	85
ANEXO IX: MÁQUINA TRACCIÓN ME-420/5	86

Índice de figuras

Figura 1-1 Ciclo representativo de la evolución de la fabricación aditiva a lo largo del tiempo [5].....	12
Figura 2-1 Principios de FA de una o varias etapas [2].....	14
Figura 2-2 Rueda con dientes de las distintas durezas que puede otorgar la máquina MJP 5600 a las piezas.....	16
Figura 2-3 Proceso MJP [6].....	17
Figura 2-4 Caja con tapa móvil sin bisagras impresa mediante la MJP 5600	17
Figura 2-5 Construcción en 3D de un ala de avión [21]	21
Figura 2-6 Deflexión del chorro a 100 Hz utilizando 2 electrodos colocados a ambos lados de la captura [8]	22
Figura 2-7 Tabla de requerimientos de piezas plásticas [24]	23
Figura 3-1 Taco de cera y su geometría interna tras ser este soporte derretido..	26
Figura 3-2 Primeras probetas para la aplicación de los distintos métodos.....	27
Figura 3-3 Probeta tipo 1ª [26]	27
Figura 3-4 Projet MJP 5600 [25].....	28
Figura 3-5 Tiempo y material estimado para realizar las probetas necesarias.....	29
Figura 3-6 Probetas necesarias	30
Figura 3-7 Máquina Ultrasonidos ULTR-2L0-001	31
Figura 3-8 Máquina ultrasonidos 820HTD.....	31
Figura 3-9 Horno Digiheat-TFT modelo 2001255 150L.....	32
Figura 3-10 Microondas LG.....	32
Figura 3-11 Microscopio Leica Z16 APO.....	33
Figura 3-12 Rugosímetro Surfptest SJ-500	34
Figura 3-13 Palpador de 0,75 mN serie 178-396-2	35
Figura 3-14 Máquina de tracción ME-420/5	36
Figura 3-15 Durómetro tipo D utilizado.....	37
Figura 3-16 Penetrador durómetro tipo A [28]	38
Figura 3-17 Palpador durómetro tipo D [28]	38
Figura 4-1 Diagrama de flujo de la metodología seguida	40
Figura 4-2. Probetas quemadas tras derretir la cera	41
Figura 4-3. Probeta carcomida por el removedor de cera	43

Figura 4-4 Probeta dentro de tolerancias obtenida con Aceite Johnson	43
Figura 4-5 Probeta perfecta obtenida mediante aceite Johnson	44
Figura 4-6 Calibrador del palpador del rugosímetro	45
Figura 4-7 Máquina de tracción y probetas traccionadas.....	57
Figura 4-8 Probetas nuevas con post procesado de aceite Jonhson	57
Figura 6-1 Probetas rectangulares finales obtenidas mediante diferentes métodos	62
Figura 6-2 Probetas cumpliendo la norma	62
Figura 6-3 Probetas finales buenas y con defecto de impresión	63
Figura 8-1 Pieza corroboradora de resultados	67

Índice de cuadros y tablas

Tabla 2-1 Propiedades de los materiales utilizados en MJP [13]	20
Tabla 2-2 Propiedades de los materiales usados [21].....	22
Tabla 3-1 Dimensiones de las probetas de tracción tipo 1 ^a y 1AV [26]	27
Tabla 4-1 Dureza de las probetas acabadas obtenidas mediante los distintos métodos	51
Tabla 4-2 Dureza de las probetas corroboradoras obtenidas por aceite Johnson	54
Tabla 5-1 Presupuesto del proyecto.....	59
Tabla 6-1 Dimensiones probetas rectangulares	61
Tabla 6-2 Datos de obtención de probeta rectangular final	61
Tabla 6-3 Dimensiones y datos de las probetas finales	64

Índice de gráficos

Gráfico 4-1 4 rugosidades de Ra de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera.....	46
Gráfico 4-3 4 rugosidades de Rt de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera.....	47
Gráfico 4-4 Rugosidad Ra de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera	48
Gráfico 4-5 Rugosidad Rt de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera	48
Gráfico 4-6 Rugosidad Ra de las probetas obtenidas mediante eliminación de cera con aceite Johnson	49
Gráfico 4-7 Rugosidad Rt de las probetas obtenidas mediante eliminación de cera con aceite Johnson	49
Gráfico 4-8 Dureza de las probetas obtenidas mediante aceite vegetal	52
Gráfico 4-9 Dureza de las probetas obtenidas mediante el horno.....	52
Gráfico 4-10 Dureza de las probetas obtenidas mediante removedor de cera	53
Gráfico 4-11 Dureza de las probetas obtenidas mediante aceite Johnson	53
Gráfico 4-12 Dureza media de las probetas obtenidos mediante los 4 diferentes métodos	54
Gráfico 4-13 Dureza de las probetas corroboradoras obtenidas mediante aceite Johnson.....	55
Gráfico 4-14 Dureza media de las probetas corroboradoras obtenidas mediante aceite Johnson	55
Gráfico 7-1 Dureza de los distintos métodos.....	66

Abreviaturas, signos y acrónimos

Impresión 3D: Impresión en 3 dimensiones

SLA: Estereolitografía

UNE: Una Norma Española

EN: Norma Europea

ISO: International Organization for Standardization

STL: STereoLithography

FA: Fabricación Aditiva

TFM: Trabajo de Fin de Máster

ASTM: American Society for Testing and Materials

CAD: Computer Aided Design o Diseño Asistido por Ordenador

MJP: MultiJet Printing

FFF: Fused Filament Fabrication

FDM: Fused Deposition Modeling

CR-CL: Clear Polycarbonate-like Material

CE-NT: Elastomeric Natural

UHD: Ultra High Definition

UHDS: Ultra High Definition- Single

XHD: Xtreme High Definition

XHDS: Xtreme High Definition- Single

CE: Certificado Europeo

VAC: Corriente alterna

CTL: Control file

SLC: Set Location Counter

USB: Universal Serial Bus

IVA: Impuesto sobre el Valor Añadido

A: Aceite vegetal

J: Aceite Jonhson

R: Removedor de cera

H: Horno

1. Introducción

Habitualmente los términos fabricación aditiva e impresión 3D se utilizan como sinónimos, pero no son exactamente lo mismo. La fabricación aditiva hace referencia a la fabricación por adición de material y es empleada con el objetivo de producir nuevos componentes complejos mientras que la impresión hace alusión a la fabricación de modelos o piezas finales de modo rápido pero limitado a un tipo concreto de tecnología aditiva. Por tanto, la fabricación aditiva es una técnica que puede utilizarse durante el desarrollo de un producto en diversas áreas [1]. Consiste en una aportación de materiales, generalmente capa a capa, al contrario de los métodos tradicionales, que forman una pieza o un objetivo a partir de un modelo en 3D previamente diseñado [2].

En la actualidad, este método de obtención de piezas deseadas se encuentra en auge y hoy en día, están a disposición del cliente gran cantidad de máquinas diferentes que cumplen dicha función. Con esta tecnología se permite obtener los resultados deseados de la mayor calidad posible ya que al ir realizando la construcción capa a capa, puede hacer todo tipo de detalles sin dificultad, además la pieza final se obtiene de forma rápida ya que no se parte de un tocho que haya que ir eliminando material y no precisa de herramientas como por ejemplo brocas que haya que ir cambiándolas, sino que lo realiza todo mediante la adición de material por un único cabezal o por varios, en función de las capacidades de la máquina y los requerimientos del usuario, pero que no necesitan ser cambiados.

Desde el inicio de los tiempos, el ser humano ya utilizaba herramientas en su vida diaria que se han ido desarrollando con el paso de los años hasta llegar a nuestros días donde se encuentran gran variedad de objetos utilitarios.

Los prototipos, como elemento de representación tridimensional de la idea de un proyecto, es un elemento fundamental en su desarrollo, tanto para la concreción de las ideas como para la planificación del trabajo o la presentación a la propiedad. Cuando se plantean los primeros bocetos del proyecto, es conveniente también crear un prototipo. Además, suele ser muy versátil, ya que se suelen realizarán múltiples modificaciones hasta obtener cierto grado de satisfacción [3].

La primera técnica de Fabricación Aditiva, la SLA, se desarrolló en 1983 y es una de las técnicas más conocidas para crear prototipos y piezas en la fabricación

aditiva. Consiste en imprimir una resina fotopolimerizable, es decir, que se cura con luz ultravioleta, capa a capa. Existe una variante a esta que es la micro-SLA utilizada para producción a pequeña escala cuya calidad depende de la altura de capa, la orientación de la pieza al imprimirla, el tipo de resina utilizado y las operaciones de limpieza [4].

La fabricación aditiva empezó a tener un gran impulso en el siglo XXI donde las expectativas eran que su mayor pico fuera en el 2010, después hubiera una caída y el proceso fuera ascendiendo de nuevo. En el 2020 debido a la pandemia ocasionada por la COVID-19 hubo una recaída en todos los sectores excepto en la fabricación aditiva debido a su gran capacidad de obtener piezas a gran velocidad como las pantallas protectoras para el sector sanitario. Se estima que este modo de obtención de piezas aumente un 17% en los próximos 3 años. Estos datos se han recogido de 3 fuentes principalmente: Se realizó una encuesta en febrero de 2021 a 1504 empresas de ingeniería para ver las oportunidades y los impedimentos causados por la pandemia, se hizo una revisión sistemática de la información aportada por los medios para comprobar la dirección que llevan las industrias y se observó la tendencia en el mercado a través de una comparación de informes analistas de mercado para ver las principales fuerzas financieras que impulsan la fabricación aditiva [5]. En la figura 1-1 se puede observar la curva de tendencia dicha.

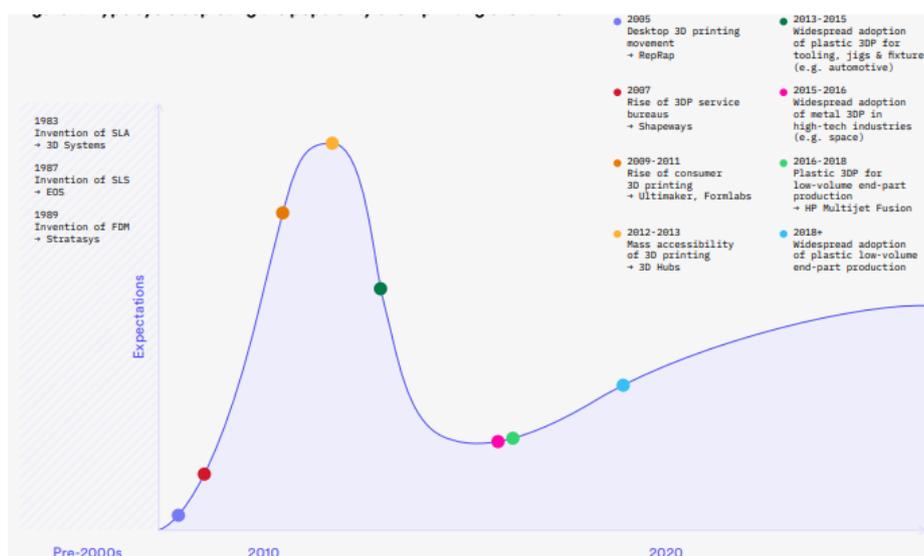


Figura 1-1 Ciclo representativo de la evolución de la fabricación aditiva a lo largo del tiempo [5]

2. Estado del arte

La fabricación aditiva es la tecnología con la que se va a trabajar en este Trabajo de Fin de Máster, la cual dispone de siete técnicas diferentes tal como indica la Norma UNE-EN ISO 17296-2:2017 [1]. Esta tecnología consiste en la fabricación de piezas capa a capa, a partir de un archivo digital. Las técnicas recogidas en la norma son las siguientes:

- Fotopolimerización en tanque o cuba: Proceso de fabricación aditiva mediante el cual, el fotopolímero líquido se cura en una cuba mediante polimerización activa por luz proveniente de radiación UV.
- Proyección de material: Proceso de fabricación aditiva en el cual se depositan selectivamente gotas del material de fabricación y se curan mediante radiación luminosa.
- Proyección de aglutinante: Proceso de fabricación aditiva donde un agente líquido aglutinante une materiales de polvo mediante una reacción química y/o térmica.
- Fusión de lecho de polvo: Proceso de fabricación aditiva donde la energía térmica funde ciertas zonas de un lecho de polvo.
- Extrusión de material: Proceso de fabricación aditiva en el cual, el material se inyecta a través de una boquilla u orificio.
- Deposición de energía focalizada: Proceso de fabricación aditiva en el cual se usa energía térmica para unir materiales mediante fusión y solidificación.
- Laminado de hojas: Proceso de fabricación aditiva en el cual el material en forma de láminas u hojas se une para formar un objeto.

Todos estos procesos se pueden realizar en una o en varias etapas. En la figura 2-1, se muestra una clasificación muy general de las técnicas aditivas en función de los materiales utilizados y las etapas de trabajo [2].

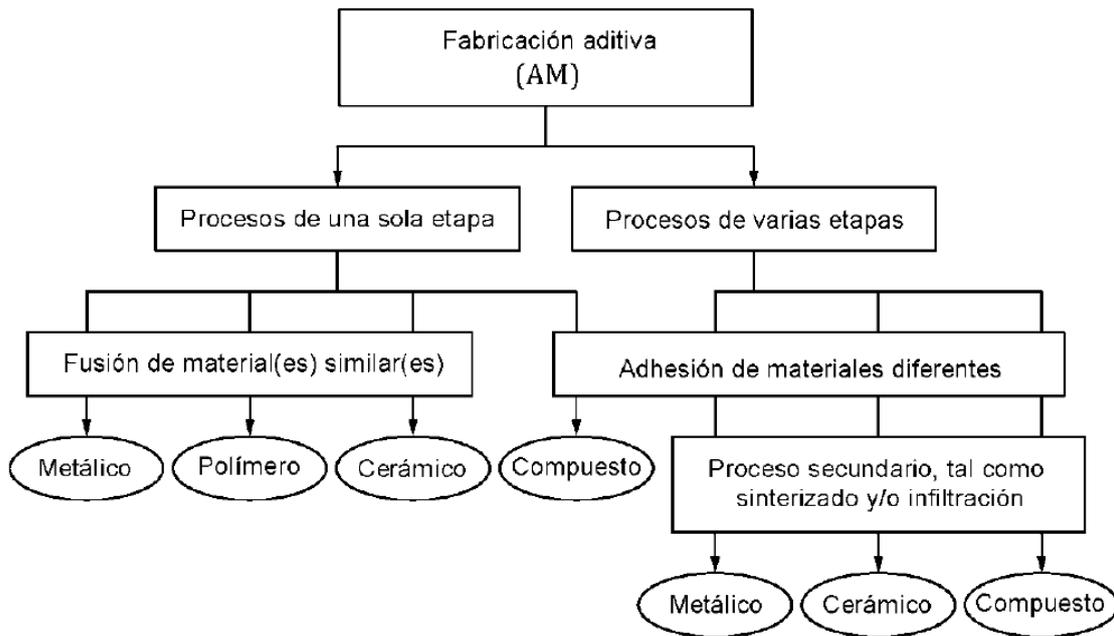


Figura 2-1 Principios de FA de una o varias etapas [2]

Para llevar a cabo cualquier técnica aditiva, es necesario seguir 6 etapas básicas [1]:

1. **Diseño:** Mediante un software específico de diseño por ordenador (Catia, Nx, AutoCAD, Fusion 360...) se realiza el diseño de la pieza que se quiere imprimir. En ocasiones, se puede partir de una pieza física escaneada y preparada mediante operaciones de ingeniería inversa.
2. **Conversión a STL:** La pieza ya diseñada se convierte a este formato (archivo de diseño que define la geometría de objetos 3D) que es el que lee cualquier máquina de fabricación aditiva.
3. **Laminado o slicing:** Una vez obtenido el diseño en el formato STL legible por la máquina, se introduce en otro software específico que es el que lamina o hace capas a la pieza y calcula el material que se va a utilizar y el tiempo de impresión. De esta etapa se obtendrá un programa con códigos ISO inteligibles por la máquina de impresión.
4. **Impresión:** Con el paso anterior ya realizado, se puede imprimir la pieza deseada enviándole a la máquina el programa de ejecución con los parámetros de diseño ajustados (relleno, velocidad, ...).
5. **Extracción:** Tras finalizar la impresión, el siguiente paso es extraer la pieza de la máquina.

6. **Acabado o post-proceado:** Por último, es necesario realizar a todas las piezas que lo necesiten un acabado o post-procesado que consiste entre otras cosas en eliminar los soportes que han sido necesarios para la correcta realización de esta, hacer un curado final para que obtenga todas las propiedades necesarias o simplemente limpiar los restos obtenidos en la impresión como por ejemplo eliminar la cera que recubre las piezas en alguna máquina que lo utiliza como aglutinante sin dañar la estructura final. Otros post-procesos utilizados habitualmente para la gran mayoría de procesos aditivos, son los tratamientos térmicos, infiltrados o la mejora de la calidad superficial.

En función del material y el método de post-procesado que se aplique, la norma UNE-EN ISO 17296-2:2017 [1] indica qué comprobaciones van a ser adecuadas para garantizar la calidad de la pieza impresa, que también vendrán determinadas por las especificaciones de diseño. Pueden ser tolerancias dimensionales, geométricas o físicas.

2.1. TÉCNICA MULTIJET

En esta técnica multijet, mediante unos inyectores se deposita un polímero fotopolimerizable que se va adhiriendo capa por capa con la ayuda de una luz ultravioleta y por último se crea una película de cera para proteger la pieza. Esta cera, también se va depositando para hacer de soporte en las zonas de la pieza que, por ejemplo, por estar en voladizo, necesita estructuras de apoyo. Posteriormente a la fabricación, es necesario eliminar esta cera para obtener el resultado final de la pieza sin varias sus propiedades.

La técnica Material Jetting Printing (MJP) empleado está basado en la utilización de técnicas de impresión de inyección de tinta para depositar gotas selectivamente a través de cabezales de impresión creando así un objeto físico en 3D [6],[7]. Las gotas son rápidamente polimerizadas después del proceso de deposición mediante curado UV. Además, utiliza un material de soporte de cera de parafina que en su mayoría se pueden eliminar con calor [8], introduciendo las piezas en el horno como post-procesado. [9–12] o mediante la utilización de una combinación de métodos basados en calentar la pieza a 60 °C [13], [14] y posteriormente sumergirla en

alcohol isopropílico para eliminar el material sobrante de cera. [13]

La máquina utilizada en este TFM es el modelo ProJet MJP 5600 de 3D Systems. Utilizaremos 3 materiales de diferentes características. Uno de la máxima dureza y otro de la mínima dureza que permite una impresión óptima, junto al material cera que ejerce de soporte. Mediante la aplicación suministrada por el fabricante, se selecciona la dureza que se le quiere dar a la pieza y la propia máquina mezcla los componentes y las cantidades adecuadas entre los dos primeros, hasta conseguir las propiedades de dureza y rigidez deseada. Por tanto, ProJet MJP 5600 ofrece la capacidad de combinar e imprimir simultáneamente fotorresinas rígidas con flexibles para lograr el rendimiento mecánico deseado. El máximo volumen de construcción es igual a 518 x 381 x 300 mm y la altura mínima de la capa que la impresora 3D puede manejar son 13 μm [15].

En la figura 2-2 se puede observar una ruleta con las distintas durezas a las que puede realizar la pieza.



Figura 2-2 Rueda con dientes de las distintas durezas que puede otorgar la máquina MJP 5600 a las piezas

El proceso que sigue esta técnica se puede observar en la figura 2-3 [6].

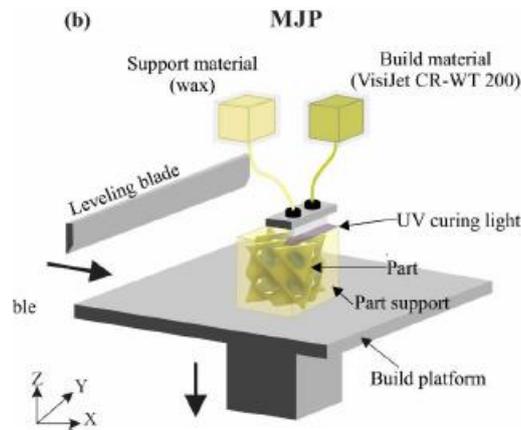


Figura 2-3 Proceso MJP [6]

También permite realizar piezas móviles sin necesidad de bisagras tal y como se puede observar en la figura 2-4 donde se ve una caja con tapa que se abre y cierra.

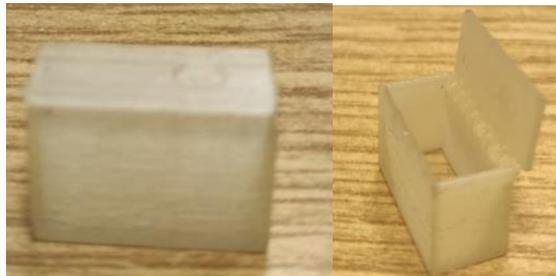


Figura 2-4 Caja con tapa móvil sin bisagras impresa mediante la MJP 5600

Otro aspecto importante para tener en cuenta es el acabado superficial de las piezas, puesto que muestras obtenidas mediante la técnica MJP alcanzan valores mucho más bajos en la rugosidad examinada que los obtenidos con la técnica FFF donde el parámetro S_a (que demuestra la diferencia de altura de cada punto del área examinada en comparación con la media aritmética de la superficie), es quince veces mayor en el FFF en comparación con el proceso MJP. Por último, debe tenerse en cuenta que la rugosidad de la superficie de la pieza construida utilizando la tecnología MJP es satisfactoria en muchas aplicaciones industriales; por lo tanto, no hay necesidad de procedimientos posteriores [6], ya que disponen de la más alta calidad en términos de precisión dimensional y rugosidad superficial [16].

Además, disponen de un comportamiento dúctil intenso con altas deformaciones que indican tasas de absorción de energía mejoradas y resistencia a choques potencialmente alta [16]. Por tanto, todas las propiedades mecánicas siguen una tendencia exponencial frente a la densidad relativa y presentan tasas de incrementos/decrementos casi similares [16].

Cabe destacar que la impresión con soportes no es una opción para FDM ya que no se podrían eliminar, por lo que un sustitutivo perfecto es la impresión MJP que utiliza una base de cera de parafina como material de apoyo (S500) lo que permite la fusión del soporte con el prototipo [13].

Por otro lado, una clara desventaja es la poca resistencia que posee la pieza a la flexión, debido a los defectos de impresión 3D. Las propiedades de flexión de las piezas obtenidas mediante la técnica MJP siguen un comportamiento exponencial frente a la densidad relativa aplicada. La flexión y los esfuerzos cortantes son los responsables de las fracturas del componente. Además, en piezas realizadas mediante MJP, a medida que aumenta la densidad relativa, también crece el alargamiento en la fuerza máxima resultando en una alta deformación de las probetas [15].

Otra desventaja es que las superficies producidas son extremadamente rugosas en comparación con las muestras producidas por FDM, lo que podría causar turbulencia en el flujo del fluido. Esto se produce cuando los chorros del cabezal de impresión se arrastran por la superficie de la pieza impresa. Además, en los prototipos formados por el MJP, es probable que los bloqueos sean causados por el material de soporte S500 no eliminado debido a su gran dificultad [13].

2.2.1. Aplicaciones

Esta técnica se utiliza en ámbitos como la medicina, ya sea para el desarrollo de una columna vertebral [17]-[20] o un pulmón artificial [12], así como en odontología para el diseño y la impresión de una guía de implante quirúrgica maxilar y mandibular [14] o estructuras reticulares quirúrgicas para explorar en ellas [13]. Además, esta técnica también se utiliza en el ámbito del transporte para realizar pruebas de validación o mejora en ellos [21]-[24] y por supuesto en el sector industrial para realizar todo tipo de pruebas.

En el ámbito sanitario, como bien se acaba de nombrar, se están desarrollando

robots de gran precisión (13 μm) con la máquina MJP 5600 para poder seguir investigando cánceres donde se observó que se debería realizar un correcto post-procesado basado en derretir la cera (material de soporte) para no dañar la estructura, colocando el componente en un horno a 65 $^{\circ}\text{C}$ y posteriormente aplicándole ultrasonidos a 60 $^{\circ}\text{C}$ para la limpieza [17],[18]. A pesar de ello se observó que este post-procesado no era el adecuado ya que al cabo de 3 meses estando la pieza bajo compresión constante la estructura era demasiado frágil (más fácil de romper durante la flexión o con menos ciclos de flexión) [19].

Por otro lado, estos investigadores detectaron que la rugosidad de los componentes impresos en 3D es un aspecto crítico, ya que afecta a la funcionalidad del espesor que la capa puede alcanzar (hasta 13 μm) con la impresora 3D MJP 5600 donde en la superficie de plano rizado de la hoja de la impresora es mucho más alta que el de otras superficies. La rugosidad de un componente impreso en 3D puede verse afectada por la esterilización, por ejemplo, la superficie puede estar rugosa debido a reacciones químicas cuando se utiliza la esterilización por gas [20].

Otra aplicación es la demostrada en la investigación realizada por I. Hernandez-Giron, J. Michiel den Harder, G. J. Streekstra, J. Geleijns, y W. J.H. Veldkamp, [12] donde utilizaron la técnica MJP de impresión 3D para crear un pulmón humano artificial de dimensiones 150x103x26 mm. El material de soporte fue retirado en un horno en torno a 60 grados el cual lo fundió sin dañar el modelo dando por correcto este método de eliminación de cera.

Otro estudio de este método es el realizado por L. Low, S. Ramadan, C. Coolens, y H. E. Naguib [13] donde se crearon estructuras reticulares complejas como método para generar canales porosos repetibles e interconectados, implantes permeables con permeabilidad ajustable utilizando métodos de fabricación aditiva (depositando material capa por capa) como el modelado por deposición fundida (FDM) e impresión de inyección de tinta a través de MultiJet Printing (MJP). Se determinó que ambos métodos cumplían con las expectativas deseadas destacando como mejor método el realizado mediante la técnica MJP donde la impresora utilizada fue la ProJet MJP 5500 de 3D Systems [25] que imprime con capas de 16 μm y una mezcla de VisiJet CR-CL y CE-NT con material de soporte VisiJet S500. Las densidades de los materiales estuvieron dentro del rango ideal para ser considerados similares a la HU del tejido hepático (Tabla 2-1) [13].

Tabla 2-1 Propiedades de los materiales utilizados en MJP [13]

Material	Densidad (g/cm ³)	Metodología
VisiJet CR-CL	1,18	MJP
VisiJet CE-NT	1,12	MJP
VisiJet S500	0,85-0,91	MJP

Los resultados de este estudio muestran que la fabricación aditiva es una opción viable, ya que proporciona una solución para crear estructuras reticulares adaptables, confiables y permeables para imágenes de diagnóstico, y esto justifica una mayor investigación para otras aplicaciones médicas. Aunque se deben estudiar otros procedimientos para eliminar los soportes de cera de los prototipos MJP que aseguren que el exceso de material de soporte se derrite [13].

T.Kim, S.Lee, G. Bae Kim, D. Hong, J. Kwon, J.-W. Park, y N. Kim, [14] en su trabajo usaron la técnica MJP en el ámbito odontológico para la obtención de guías quirúrgicas del maxilar y la mandíbula, donde la combinaron con los métodos de impresión PolyJet y SLA para comprobar la precisión de todas ellas.

En las guías simplificadas impresas con PolyJet, la media \pm desviación estándar de las diferencias fue de $0,03 \pm 0,08$ mm; la media del SLA y la desviación estándar de las diferencias fueron $0,03 \pm 0,11$ mm. Sin embargo, la media y la desviación estándar de las diferencias de las piezas impresas MJP fueron $0,30 \pm 0,35$ mm que fue el mayor error entre las guías simplificadas. Además, obtuvieron un espesor de capa de 0,030 mm para el PolyJet, 0,025 mm para el SLA y 0,032 mm para el MJP. Por lo tanto, de acuerdo con la media absoluta de este estudio, las guías simplificadas producidas por PolyJet y SLA son adecuadas para el uso clínico solicitado ya que cumplen con la precisión requerida. El sistema PolyJet tuvo mejor precisión y redujo el tiempo de impresión, sin embargo, la máquina y los materiales son caros; el SLA es menos preciso y toma más tiempo para imprimir que el sistema PolyJet, pero la máquina es relativamente de bajo costo.

Por otro lado, la diferencia de forma del MJP fue superior a los otros dos métodos, porque al quitar el soporte en post-procesamiento cuando la cera se eliminaba con calor, ocurrió una deformación en áreas delgadas o afiladas de las guías a la temperatura de 56 °C.

Las limitaciones del estudio incluyeron que los diversos ajustes para la impresión,

incluidos los ángulos de impresión, espesor y materiales para cada impresora 3D deben ser evaluados.

Otra investigación fue la realizada por Q. Ge, C. K. Dunn, H. J. Qi, y M. L. Dunn [21] donde observaron las propiedades de los materiales VisiJet CR-CL 200 y VisiJet CE-NT. Lo primero que hicieron fue realizar un prototipo de un ala de avión, la cual fue impresa por un Stratasys ProJet MJP 5600 [25] que es una impresora 3D multimaterial basada en tecnología de inyección de tinta. La figura 2-5 muestra la estructura interna del ala probada.

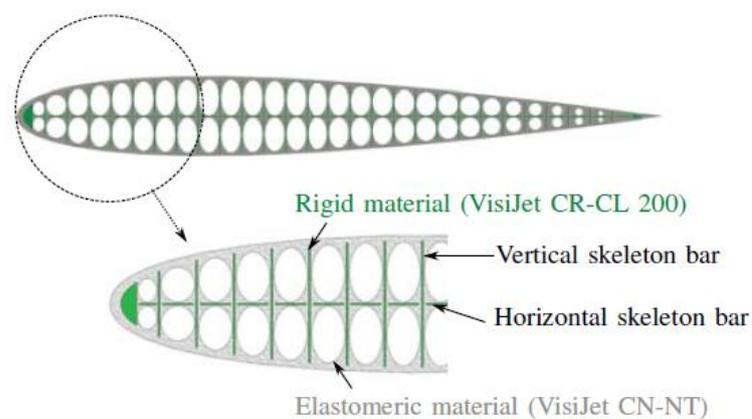


Figura 2-5 Construcción en 3D de un ala de avión [21]

La columna vertebral de la sección del ala es un esqueleto vertical y barras horizontales de un material rígido (VisiJet CR-CL 200) [22]. La forma y la estructura entre el esqueleto se hace de un material elastomérico (VisiJet CE-NT) y tiene una elongación a la rotura hasta 230%. Cada barra del esqueleto vertical está separada por una cámara de presión ovalada. En la vertical, las barras están dispuestas de forma continua desde el lado inferior hasta el lado superior del ala y aproximadamente a 1 milímetro hasta el borde de la superficie de esta. Estas barras verticales deben impedir la extensión del material blando en dirección vertical [21],[23].

En la tabla 2-2 se pueden observar las propiedades obtenidas de los materiales que han utilizado para esta investigación y que son de interés para la nuestra.

Tabla 2-2 Propiedades de los materiales usados [21]

Propiedades	Material	
	VisiJet CR-CL 200	VisiJet CE-NT
Densidad sólida	1,18	1,12
Resistencia a la tracción	37 - 47	0,2 - 0,4
Módulo de tracción	1000 - 1600	0,27 - 0,43
Elongación y rotura	7 - 16%	160 - 230%

En otra investigación realizada por L. Jiaying Tan, W. Zhu, y K. Zhou [8] se hizo un estudio del chorro de material que expulsan las máquinas de tecnología MJ la cual se puede utilizar para resinas fotosensibles, termoplásticos, cera y materiales reactivos, aunque esta revisión se centra únicamente en el uso de resinas fotosensibles que solidifican por fotopolimerización.

La capacidad de los sistemas MJ los convierte en una técnica versátil para fabricar materiales clasificados funcionalmente con baja rugosidad superficial y alta precisión dimensional a través de un control preciso de deposición de material.

Sintonizando el campo de la electrostática entre la boquilla y el sustrato, la trayectoria de la tinta el chorro se puede desviar y controlar en las posiciones de sustrato deseadas tal y como se observa en la figura 2-6 [8].

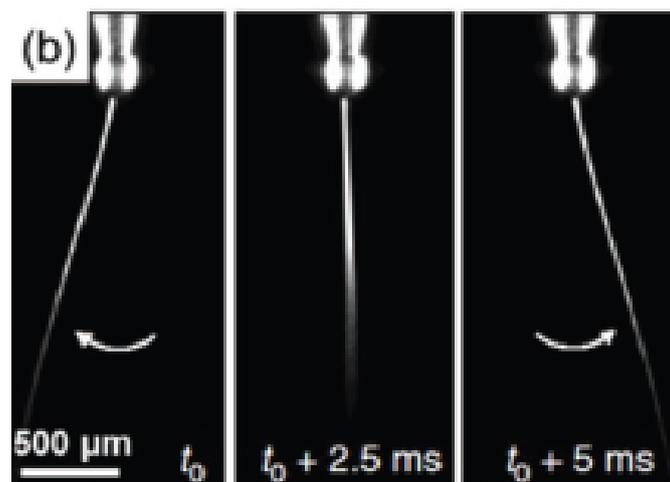


Figura 2-6 Deflexión del chorro a 100 Hz utilizando 2 electrodos colocados a ambos lados de la captura [8]

Además, el espesor del chorro no se ve afectado por el tamaño de la boquilla y puede ir por debajo 100 nm, lo que permite la fabricación de estructuras de paredes delgadas con relaciones altas de altura a espesor [8].

Como se puede observar, esta técnica multijet posee un gran campo de utilización para una amplia variedad de aplicaciones, pero todavía queda por investigar el método más idóneo para eliminar los soportes de cera que genera la máquina de impresión.

2.2. TÉCNICAS DE ENSAYO PARA MATERIALES POLIMÉRICOS

En esta investigación las probetas a utilizar son de un material plástico y según la norma UNE-EN ISO 17296-3 [24] para cada categoría de ensayo, deben cumplirse las características indicadas por el símbolo de la suma (+), se recomiendan las características indicadas por un círculo (o) y no son aplicables las características indicadas por el símbolo negativo (-). Además, cabe destacar que H hace referencia a los ensayos para piezas de altas prestaciones o seguridad crítica, M son ensayos para piezas funcionales que no son de seguridad crítica y L son los ensayos para diseños de piezas o prototipos. Por lo que en este caso es necesario que cumplan los requisitos geométricos, la dureza y la resistencia a tracción como requisitos mecánicos y la densidad como requisitos del material de fabricación por ser un prototipo (L). Todo esto se muestra en la figura 2-7 [24].

Tabla 2 - Piezas plásticas

Requisitos superficiales			Requisitos geométricos		Requisitos mecánicos											Requisitos del material de fabricación	
Aspecto	Textura superficial	Color	Tamaño, longitud y dimensión de los ángulos, tolerancias dimensionales	Tolerancias geométricas (desviaciones de forma y posición)	Dureza	Resistencia a la tracción	Resistencia al impacto	Resistencia a la compresión	Resistencia a la flexión	Resistencia a la fatiga	Fluencia	Envejecimiento	Coefficiente de fricción	Resistencia a la cizalla	Propagación de fisuras	Densidad	Propiedades físicas y fisicoquímicas
H	o	+	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
M	o	o	o	+	+	+	+	+	o	o	o	o	o	o	o	+	o
L	o	o	o	+	+	+	+	o	o	o	-	-	-	-	o	-	-

Figura 2-7 Tabla de requerimientos de piezas plásticas [24]

2.3. OBJETIVOS

Tal y como se ha descrito en este capítulo, la técnica multijet se utiliza en una gran cantidad de aplicaciones distintas. Como se ha demostrado en la literatura revisada, la eliminación de los soportes de cera, puede ser un obstáculo para la obtención de piezas con alta calidad, debido a las deformaciones que se producen al utilizar los métodos tradicionales de eliminación mediante horno. A pesar de esta problemática, no se han encontrado trabajos orientados a la mejora de esta etapa de eliminación de soportes de cera, por lo que se decide abordarlo en este TFM. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es el de analizar diferentes métodos de eliminación de cera con la intención de mejorar el proceso y conseguir piezas impresas de alta calidad dimensional, geométrica y superficial.

Para ello se utilizarán diversas metodologías como son la utilización de distintos líquidos de limpieza para la aplicación de ultrasonidos: aceite vegetal, aceite Johnson y el removedor de cera o wax remover [25]; o la utilización de microondas y horno.

Como objetivos específicos cabría destacar:

1. Profundizar en la técnica de impresión 3D mediante la máquina MultiJet 5600.
2. Encontrar el post-procesado más idóneo para obtener las mejores piezas finales.
3. Marcar los límites dimensionales de impresión de la técnica en función de la capacidad de eliminación de los soportes de cera.

3. Materiales, probetas y equipos

En este capítulo se van a explicar las principales características de los materiales utilizados para el desarrollo del proyecto, las dimensiones de las probetas utilizadas según lo indicado en la norma correspondiente, y los equipos usados para llevar a cabo el proyecto. Todas las fichas técnicas de los mismos se van a encontrar a lo largo de todo el apartado de ANEXOS.

3.1. MATERIALES DE IMPRESIÓN

Como se ha dicho, la técnica Multijet utilizada en este TFM permite trabajar con diferentes materiales de los que solo se van a utilizar los explicados a continuación:

- VisiJet CR-CL 200 (MJP): Es un polímero transparente rígido con capacidad de Clase VI que tiene utilidad en ciertas aplicaciones médicas, así como en otras aplicaciones no médicas donde se desea una función rígida y una flexión moderada. El acabado transparente ofrece una claridad de visualización, y se puede mejorar con un revestimiento transparente. [25].
- VisiJet CE-NT (MJP): Es un material elastomérico translúcido de color natural que ofrece el mejor rendimiento de la industria para la creación de prototipos funcionales cumpliendo con las exigentes aplicaciones de diseño e ingeniería. Dispone de increíbles propiedades de tracción, alto rendimiento, increíble elongación y dureza para el prototipo funcional en la fase de desarrollo del producto [25].
- VisiJet S500: Es la cera que utiliza la máquina para hacer los soportes de las piezas. No es tóxica ni al tacto ni al olfato, por lo que no es peligrosa aunque se recomienda el uso de guantes para su manipulación [25].

La mezcla de los materiales VisiJet CR-CL 200 y VisiJet CE-NT con diferentes durezas, permite obtener una pieza con zonas de diferente rigidez en función del porcentaje de cada uno de ellos. El sistema clasifica los rangos de dureza-rigidez en una escala de 40 a 75 (a partir de una mezcla proporcional y desconocida de los dos materiales base), además del estado de máxima flexibilidad (CE) y el de

máxima rigidez (CR) en los que no hay mezcla. Cabe destacar, que el grado de rigidez usado en las probetas de este TFM es de 70, lo que indica que es un material bastante rígido, con un pequeño rango de flexibilidad.

3.2. LÍQUIDOS DE LIMPIEZA

Se han utilizado diferentes líquidos de limpieza para poder comparar su eficiencia:

- Aceite vegetal de girasol marca Hacendado de la empresa alimentaria Mercadona.
- Aceite Johnson con Aloe Vera.
- Removedor de cera o Wax remover EZ Rinse-C vendido por 3DSystems [25], cuyo precio es potencialmente elevado en comparación con los otros dos y el rango de temperatura con el que trabaja (33-45°C) y el tiempo muy limitado.

3.3. PROBETAS

Para la realización de esta investigación, lo primero que se hizo fue derretir tacos de cera con una estructura interna de idénticas dimensiones para comprobar si los métodos que se desean utilizar son efectivos.

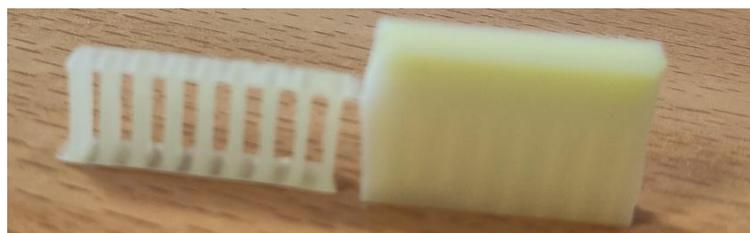


Figura 3-1 Taco de cera y su geometría interna tras ser este soporte derretido

Una vez comprobado que se podían utilizar, se realizaron dos tipos de probetas. Las primeras fueron unos rectángulos fáciles de medir de 48 mm de largo por 30 mm de ancho y 3 mm de alto para comprobar si se podía descartar algún método de eliminación de cera.

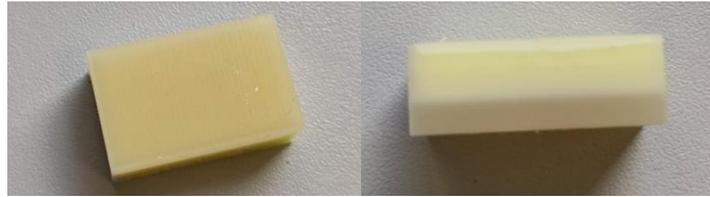


Figura 3-2 Primeras probetas para la aplicación de los distintos métodos

Después se hicieron otras según la norma UNE 116005:2012 [26] del tipo 1^o ya que son probetas de tracción, cuyas medidas principales fueron de 150 mm de longitud total, 20 mm de anchura en los extremos y 10 en la zona estrecha y 4 mm de espesor recomendado. El resto de las medidas y la geometría exacta se muestran en la figura 3-3 y en la tabla 3-1.

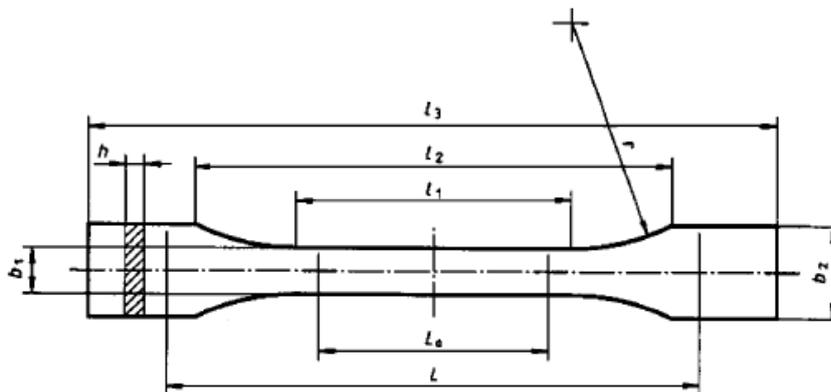


Figura 3-3 Probeta tipo 1^a [26]

Tabla 3-1 Dimensiones de las probetas de tracción tipo 1^a y 1AV [26]

Tipo de probeta	Medidas en milímetros	
	1A	1AV
l_1 Longitud de la zona paralela estrecha	80 ± 2	
l_2 Distancia entre zonas paralelas anchas	104 a 113	74 a 83
l_3 Longitud total	≥ 150	≥ 120
r Radio	20 a 25	
b_1 Anchura en la zona estrecha	$10 \pm 0,2$	
b_2 Anchura en los extremos	$20 \pm 0,2$	
h Espesor recomendado	$4 \pm 0,2$	$5 \pm 0,2$
L_0 Distancia entre marcas	$50 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$
L Distancia inicial entre mordazas	115 ± 1	85 ± 1

Estas probetas son las utilizadas para verificar que el método seleccionado como óptimo es el correcto, es decir, una vez acabado todo el estudio, se vuelven a imprimir 5 piezas de este tipo para corroborar los resultados obtenidos.

3.4. EQUIPOS

Por otro lado, se ofrece una breve descripción de los equipos que se van a utilizar para llevar a cabo los ensayos cuyas hojas de características se van a encontrar en los anexos.

3.4.1. ProJet MJP 5600

Esta máquina es la que se encarga de imprimir la pieza con una tecnología capa a capa con los materiales indicados anteriormente. Reduce el costo de las piezas hasta un 40% en comparación con las impresoras 3D para múltiples materiales de competencia [25].

La máquina tiene 4 niveles de impresión en los que el factor diferenciador es la precisión de cada una de ellas, en función de la que se necesite, se escoge uno u otro modo (UHD, UHDS, XHD, XHDS). Las dimensiones físicas de impresión de la máquina (xyz) son de 518 x 381 x 300 mm (lo que marca las limitaciones de la pieza de impresión) mientras que las dimensiones totales de la máquina son de 1700 x 900 x 1620 mm y su peso es de 935 kg, la máquina se puede ver en la figura 3-4.



Figura 3-4 ProJet MJP 5600 [25]

Esta máquina puede utilizar 5 materiales diferentes además de hacer una combinación entre ellos para obtener un total de 15 materiales distintos y los soportes que utiliza son de cera Visijet S500. Estos materiales se insertan a la máquina en botes de 2 kg cada uno, donde ella misma va obteniéndolos en función de lo que necesite, tal como muestra la figura 3-5. Gracias a estos materiales, el post procesado para la eliminación de los soportes de cera es sencillo y ecológico.

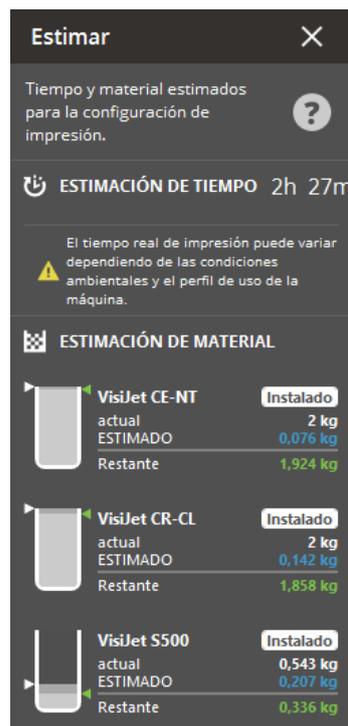


Figura 3-5 Tiempo y material estimado para realizar las probetas necesarias

El rango de temperaturas con el que trabaja la máquina es de 18-28 °C y realiza un ruido estimado inferior a 65 dB. El formato de entrada de archivo que acepta es stl, ctf, slc, 3sprint y un sistema operativo Windows 7, 8 u 8.1. Las principales características de su software es que posee fácil configuración de trabajos de construcción, envío y administración de colas de trabajos; colocación automática de piezas y herramientas de optimización de construcción, capacidad de apilado y anidamiento de piezas y también posee amplias herramientas de edición de piezas como son la generación automática de soporte y herramientas de informes de estadísticas laborales como se observa en la figura 3-6. [25].

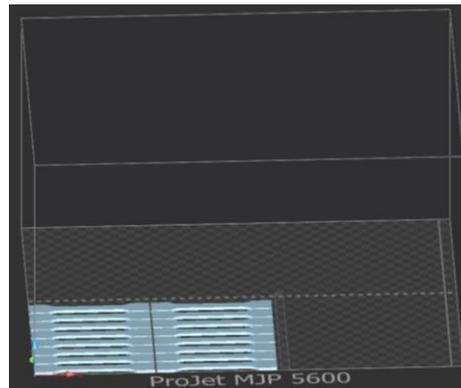


Figura 3-6 Probetas necesarias

3.4.2. Equipos de limpieza por ultrasonidos

Otros dos equipos utilizados fueron los de ultrasonidos, para optimizar la limpieza de la pieza y eliminar los restos de cera.

El primero que se va a describir es la máquina de limpieza de ultrasonidos modelo ULTR-2L0-001 obtenida por de la empresa lbx instruments cuyas dimensiones exteriores son de 175x160x210 mm, las del tanque son de 150x135x100 mm, dispone de una capacidad de 2 litros, una potencia de calefacción de 100 W y una de ultrasonidos de 80 W, además de un temporizador con un rango de 0-30 minutos y puede alcanzar hasta una temperatura de 80 °C. Tal y como se ve en la figura 3-7, dispone de un tanque donde se deposita el fluido, una tapa para evitar salpicaduras y mantener la temperatura, un panel de mandos de control donde encuentra por un lado un botón de encendido o apagado de calefacción con un indicador de calefacción, una pantalla digital que indica la temperatura actual y la deseada y unos botones para subir o bajar dicha temperatura y por otro lado, hay otro botón de encendido o apagado de ultrasonidos con su correspondiente indicador, pantalla digital y los botones para subir o bajar el tiempo de emisión de ultrasonidos. Además, este instrumento dispone de pies para apoyarlo en las superficies, agujeros de ventilación para evitar sobrecalentamientos de la máquina, un conducto con llave de apertura/cierre de drenaje del fluido y una manija para poder transportarlo. En la parte trasera se puede observar un interruptor de encendido/apagado, un fusible y un enchufe que va a la toma de corriente sin el cual no podría funcionar el equipo.

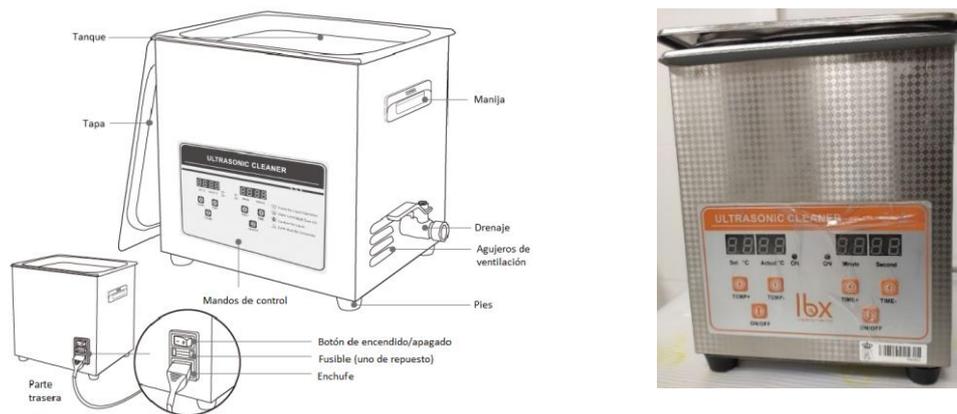


Figura 3-7 Máquina Ultrasonidos ULTR-2L0-001

Por otro lado, se describe el equipo de ultrasonidos modelo 820HTD de la empresa MLINK cuyas dimensiones exteriores son de 530x325x310 mm, las del tanque son de 490x290x140 mm, dispone de una capacidad de 20 litros, una potencia de calefacción de 500 W y una de ultrasonidos de 480 W; un temporizador con un rango de 0-99 minutos que puede alcanzar hasta una temperatura de 80 °C y su peso es de 15 kg. En cuanto a los elementos que dispone, son exactamente los mismos que el equipo de ultrasonidos modelo ULTR-2L0-001 tal y como se observa en la figura 3-8.



Figura 3-8 Máquina ultrasonidos 820HTD

3.4.3. Sistemas de calentamiento para eliminación de la cera de impresión

Otro equipo utilizado es el horno Digitheath-TFT modelo 2001255 150L de la empresa SELECTA el cual trae incorporados 2 bandejas con sus respectivas guías. Es una estufa de desecación por convección cuyo volumen interior es de 150 litros,

sus dimensiones exteriores son 700x950x680 mm y las interiores son de 500x600x500 mm y su peso es de 73 kg. Tiene un rango de temperaturas que va desde la temperatura ambiente más 5 grados hasta 250 °C con una resolución de 1 °C, una estabilidad de $\pm 0,1$ °C a 37 °C y una homogeneidad de $\pm 0,5$ °C a 37 °C. Aporta hasta 10 perfiles de temperatura de 6 segmentos de 1 minuto a 99 horas y dispone de un funcionamiento temporizado que puede ser por minutos, horas o semana hasta un máximo de 23 horas y 59 minutos. Su manejo es muy sencillo ya que dispone de una pantalla táctil donde se pueden insertar todos los parámetros deseados, un interruptor en un lateral de encendido/apagado y un cable que se enchufa a la toma de corriente tal y como se aprecia en la figura 3-9.



Figura 3-9 Horno Digitheat-TFT modelo 2001255 150L

Por otro lado, también se utilizó un microondas de la marca LG con referencia MS-1924W el cual no dispone de grill. Tiene 5 potencias diferentes siendo 1000 W la máxima y 500W la media y pudiendo poner un rango de tiempo de ente 0 y 60 minutos. En su interior se encuentra un plato de vidrio que gira cuando está en funcionamiento. Su capacidad es de 19 litros y sus dimensiones exteriores son 455x320x252 mm. Este equipo se observa en la figura 3-10.



Figura 3-10 Microondas LG

3.4.4. Microscopio

El microscopio estereoscópico utilizado para observar en gran detalle las probetas obtenidas tras el post procesado es uno industrial de la marca Leica KL 1500 LED plus concretamente Leica Z16 APO (Figura 3-11) donde sus características principales son que dispone de un zoom 16:1 con amplitud 0.57x-9.2x cuyo sistema incluye plena corrección apocromática con objetivos apocromáticos para un contraste, fidelidad cromática y riqueza de detalles perfectos. Además, tiene un aumento visual de 7.1x-115x un total de 2300x con objetivo plano 1x, oculares 10x y tubo en el eje Y de 1.25x. También, presta una máxima resolución de 336 hasta 672 Lp/mm y una apertura de 0.112-0.224. Por último, cabe destaca que dispone de unos aumentos oculares Leica 10447137 de hasta 25x de aumento.



Figura 3-11 Microscopio Leica Z16 APO

3.4.5. Rugosímetro

El rugosímetro utilizado para la comprobación de las probetas es el SurfTest SJ-500 (Figura 3-12) cuyo número de artículo es el 178-532-01-D de la empresa japonesa Mitutoyo y con un palpador de 0,75 mN de número de serie 178-396-2. Este es un instrumento de medición que permite medir con facilidad y precisión la rugosidad de la superficie. Se han realizado los ensayos de rugosidad utilizando un palpador con ángulo de punta de 60 grados y radio de punta de 2 μm .

La velocidad de medición está entre 0,02-5 mm/s y la de movimiento entre 0-20 mm/s, la rectitud transversal es de 0,2 $\mu\text{m}/50\text{ mm}$ y el rango de medida puede ser de 800 μm ; 80 μm ; 8 μm con un posicionado de $\pm 1,5$ grados de inclinación y 30 mm de subida y bajada. Los perfiles pueden ser P; R; W y R, W siguiendo las normas EN ISO, VDA, JIS, ANSI y ajustes personalizados. Por último, cabe destacar las longitudes de corte disponibles:

- λ_c : 0,025 mm; 0,08 mm; 0,25 mm; 0,8 mm; 2,5 mm; 8 mm; 25 mm.
- λ_s : 0,25 μm ; 0,8 μm ; 2,5 μm ; 8 μm ; 25 μm ; 80 μm ; 250 μm ; ninguno.
- λ_f : 0,08 mm; 0,25 mm; 0,8 mm; 2,5 mm; 8 mm; 25 mm; ninguno.

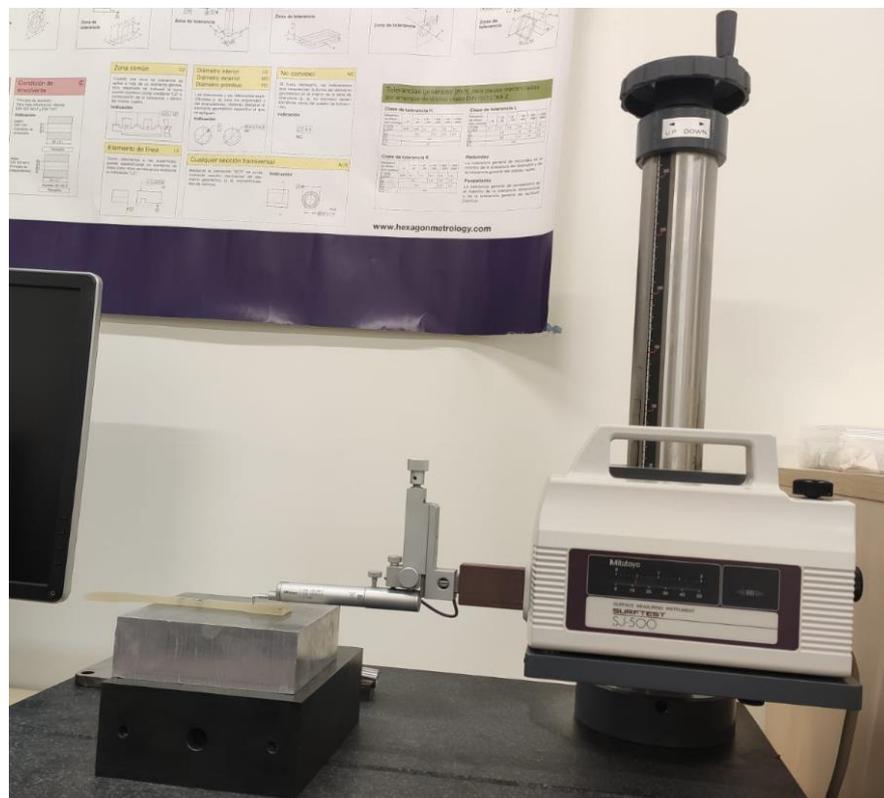


Figura 3-12 Rugosímetro SurfTest SJ-500

La figura 3-13 muestra el detalle de la punta del palpador sobre la pieza a inspeccionar.



Figura 3-13 Palpador de 0,75 mN serie 178-396-2

3.4.6. Máquina Universal de Ensayos, para ensayos de tracción

La máquina de tracción que se va a utilizar es de la serie ME-420/5 de la empresa Servosis Testing Machines (Figura 3-14). La precisión en la medida de los canales analógicos de fuerza y desplazamiento cumple con la Clase 1 de la Norma EN-7500-1[27]. La velocidad de desplazamiento puede variar entre una máxima de 100 mm/min y una mínima de 0,0001 mm/min. Opcionalmente se pueden conseguir 200 y 500 mm/min. La exactitud de medida tanto de la fuerza como de la posición es de $\pm 1\%$ y su carga máxima es de 50 kN. Esta máquina es controlada a través de software PCD2K mediante la opción de ensayos bajo norma y aporta los datos obtenidos en Excel, PDF e imágenes.



Figura 3-14 Máquina de tracción ME-420/5

3.4.7. Durómetro

En la norma UNE-EN ISO 868 [28] se encuentran todos los elementos y propiedades del instrumento que se va a utilizar para obtener la dureza de las probetas se denomina Shore.

Existen dos tipos diferentes, el tipo A cuyo modelo es HH-335 Shore A dial/compact 811-335-10, empleado para materiales más blandos ya que dispone de dureza HA, cuyo visualizador es analógico y tiene un peso de 0,3 kg y el tipo D cuyo modelo es HH-337 Shore D dial/compact 811-335-10, empleado para materiales más duros ya que dispone de dureza HD, cuyo visualizador es analógico y tiene un peso de 0,3

kg. Si no se sabe la dureza aproximada del material, es mejor emplear primero el durómetro de tipo A y si las mediciones son superiores a 90, se cambia al D como ocurre en este caso. Este aparato se observa en la figura 3-15.



Figura 3-15 Durómetro tipo D utilizado

Ambos durómetros se componen de los siguientes elementos [28]:

Pie de apoyo: Este se trata de un orificio de $3 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de diámetro, centrado a una distancia mínima de 6 mm de los bordes del pie.

Penetrador: Consta de una barra de acero endurecido de $1,25 \text{ mm} \pm 0,15 \text{ mm}$ de diámetro cuya forma y dimensiones se aprecian en las figuras 3-16 y 3-17 en función del tipo de penetrador.

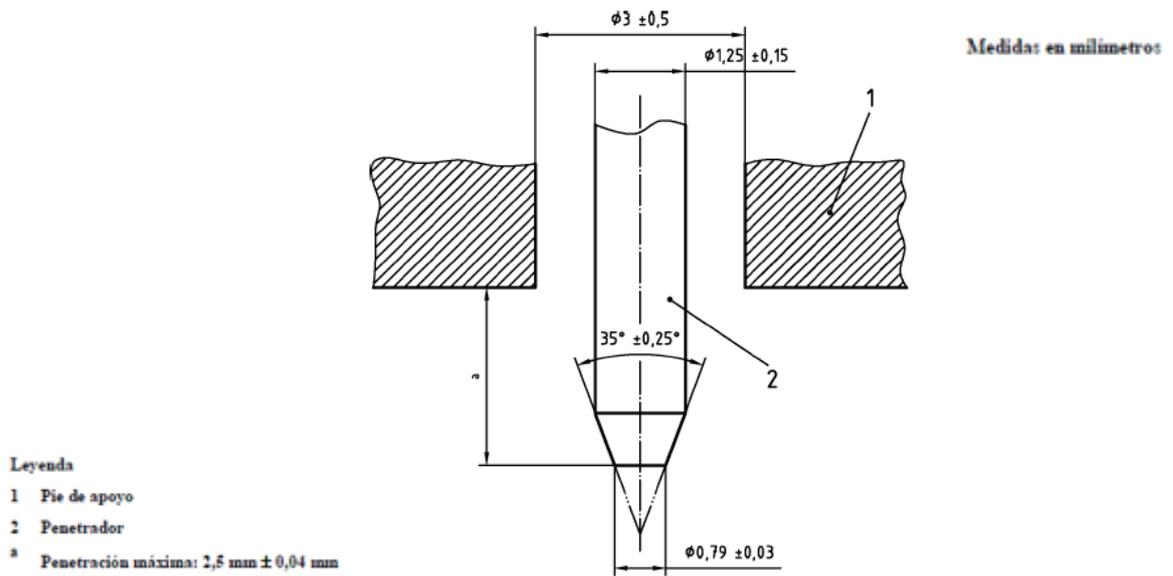


Figura 3-16 Penetrador durómetro tipo A [28]

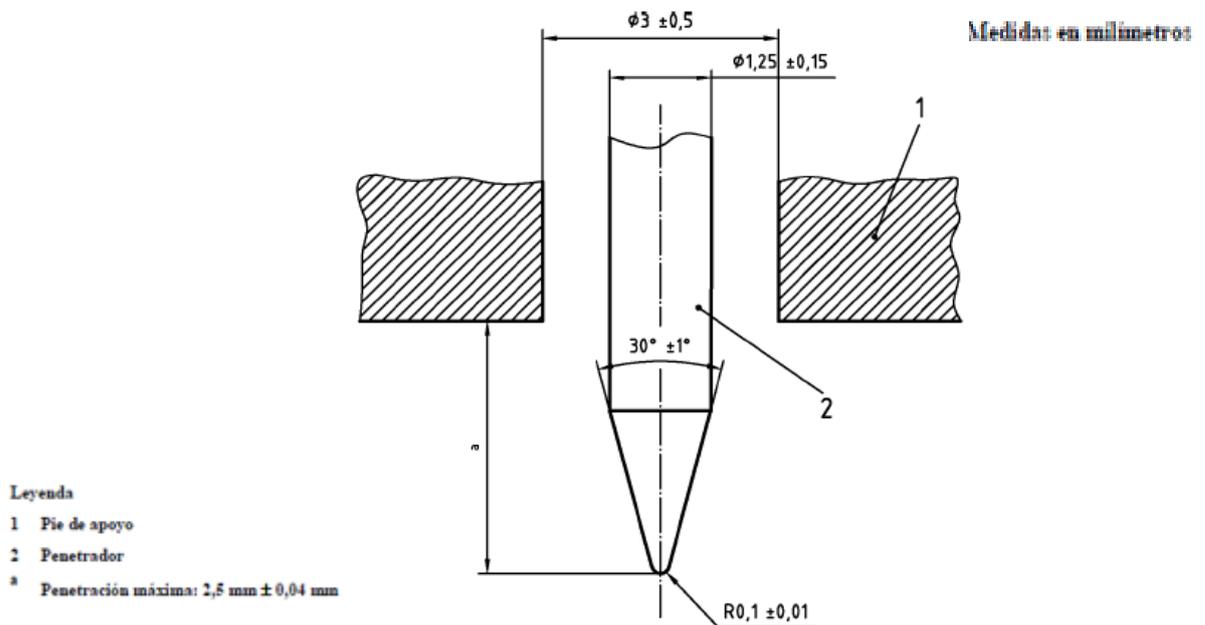


Figura 3-17 Palpador durómetro tipo D [28]

Dispositivo indicador: Este elemento permite leer el valor de penetración de la punta del penetrador en la probeta, más allá de la cara del pie de apoyo. Sus unidades van desde 0 para la máxima penetración de 2,5 mm ± 0,04 mm, hasta 100 para una penetración cero obtenida en vidrio plano.

Muelle calibrado: Aplica fuerza sobre el penetrador según las ecuaciones:

$$F = 550 + 75 H_A \quad (3-1)$$

Donde

F es la fuerza aplicada en milinewtons.

H_A es la dureza leída sobre el durómetro tipo A.

$$F = 445 H_D \quad (3-2)$$

Donde

F es la fuerza aplicada en milinewtons.

H_D es la dureza leída sobre el durómetro tipo D.

4. Métodos

Para cada método de derretir los soportes de cera se han usado cuatro probetas idénticas regidas por la norma UNE 116005:2012 [26] a pesar de que esta indique cinco, ya que se estima un número oportuno para validar resultados, pero primero se han realizado las pruebas con las probetas rectangulares para descartar posibles métodos.

Los ensayos que se van a realizar para derretir la cera y para la comprobación de las propiedades de la pieza vienen indicados por la norma UNE-EN ISO 17296-3 [24] donde muestra que se deben realizar estrictamente según la probeta elegida el ensayo de resistencia a la tracción y el de dureza; además se ha decidido realizar como estudio adicional la rugosidad de cada una de las piezas para comprobar si modifica mucho la pieza los materiales utilizados para la eliminación de la cera [6]. Cabe destacar que lo primero que hay que hacer una vez impresas las piezas es meterlas al congelador durante un rango de 10-15 minutos para que se puedan extraer de la base con facilidad. Una vez extraídas estas, ya se procede a aplicar los post-procesados oportunos explicados seguidamente. A continuación, se observa el diagrama de flujo de la metodología tal y como se muestra en la figura 4-1, donde los rectángulos indican tanto el inicio como la finalización del proceso.

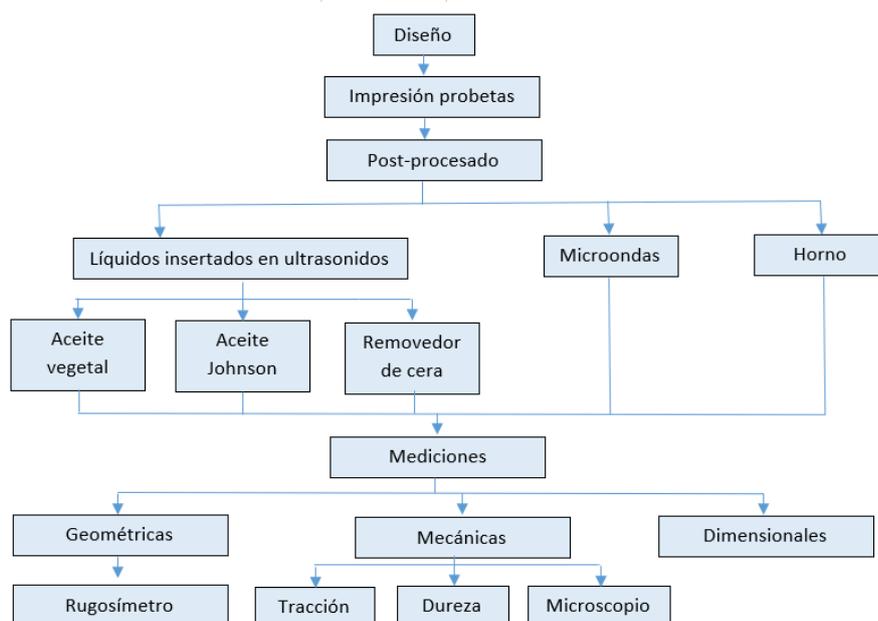


Figura 4-1 Diagrama de flujo de la metodología seguida

4.1. ELIMINACIÓN DE LA CERA CON MICROONDAS

Se ha utilizado el microondas para derretir la cera en las probetas rectangulares, donde el tiempo que ha requerido para eliminarla ha sido de aproximadamente 2 minutos, por lo que sería un método muy eficaz debido a su gran velocidad de eliminación de cera, si no tuviera el problema de que quema la pieza por dentro mientras derrite la cera y cambia completamente sus propiedades haciéndolas flexibles y deformables (Figura 4-2) ; por lo que no se usa este método con las otras probetas.

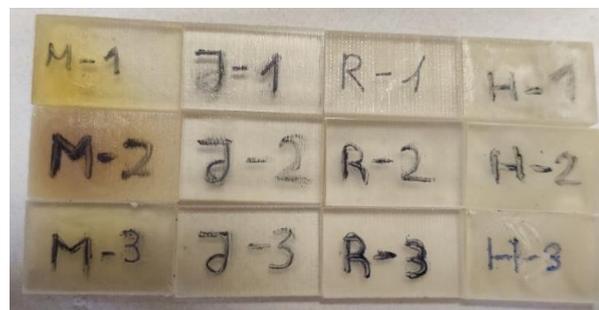


Figura 4-2. Probetas quemadas tras derretir la cera

4.2. ELIMINACIÓN DE LA CERA CON LÍQUIDOS DE LIMPIEZA

Otra prueba de derretir cera se hizo añadiendo aceite vegetal primero, y aceite Johnson después, en la máquina de ultrasonidos ULTR-2L0-001 cubriendo toda la pieza y calentándolo hasta 47 grados centígrados. Una vez el líquido se encuentra a dicha temperatura, se inserta la probeta y se dan vibraciones de 5 minutos, se espera a que baje la temperatura ya que esta no debe superar los 60 grados para que no pierda la probeta las propiedades, se mide el tiempo de espera porque la pieza está sumergida en el aceite y por tanto sufriendo un post-procesado y cuando llega a la temperatura deseada se vuelven a dar vibraciones repitiendo este proceso hasta que se haya eliminado completamente la cera de la probeta. Una vez finalizadas, se observa que la cera se ha derretido completamente y se retira la pieza con la ayuda de unas pinzas sin apretar mucho para evitar deformaciones en la pieza debido a su alta temperatura y se depositan en papel de cocina para su

posterior secado al aire libre. Este mismo proceso se repite en las piezas restantes. Al igual que sucede con los dos aceites anteriores, al usar el removedor de cera comercial, suministrado por el fabricante, al ser tóxico, es necesario aplicarlo con la ventana abierta y cerca de ella para que se vayan los vapores utilizando guantes y gafas obligatoriamente. Además, su rango de temperaturas es muy limitado ya que si no se respeta puede dañar la pieza siendo la temperatura inicial de 33 grados y la máxima de 45 y el intervalo de tiempo es el mismo que con los aceites. Por otro lado, es un material muy caro y tarda algo más que los anteriores en eliminar por completo la cera, aunque a simple vista parece que realiza su trabajo correctamente [29].

4.3. ELIMINACIÓN DE LA CERA EN HORNO

El horno es otro de los métodos utilizados para derretir la cera existente en las piezas. Se optó por derretir esta a 60 grados guiándose por referencia de piezas anteriores y sin rampa, es decir, se espera hasta que el horno se encuentre a la temperatura deseada y es ese el momento en el que se introduce la pieza y se empieza a contabilizar el tiempo que se encuentra en el interior hasta que se derrite gran parte de la cera, ya que el resto de esta, es necesario eliminarlo mediante un post-procesado extra como es mediante ultrasonidos sumergiéndolas tanto en aceite vegetal, como en Jonhson. Es importante tener en cuenta que al abrir y cerrar la puerta del horno se escapa el calor y entran ráfagas de viento frío por lo que varía hasta dos grados la temperatura durante un minuto más o menos, además es necesario poner la pieza sobre una rejilla de varillas planas para que no se quede la marca debido a la deformación momentánea que puede sufrir la pieza por el calor, por lo que teniendo esto en cuenta, es conveniente abrir de vez en cuando el horno para controlar la pieza pero no muy a menudo o tener un horno con cristal para permitir que se vea el interior y evitar esta acción.

4.4. MICROSCOPIO

Una vez derretida la cera de las probetas mediante los distintos tipos de métodos, se pasa a visualizar estas en el microscopio para ver la estructura que no se aprecia

a simple vista y poder obtener una mayor idea de los resultados de cada método. A simple vista lo único que se sacaba en claro, es que se obtenía el mismo color final de pieza con cualquier tipo de proceso de derretir cera y que al eliminar esta en el horno, había que tener cuidado con el tipo de rejilla que se utilizaba para situar la pieza encima para que no quedasen marcas de esta en la estructura. Pero una vez visualizadas en el microscopio, se pudieron observar algunas imperfecciones de algunas piezas, como las introducidas en el removedor de cera que las carcomía los extremos. Un ejemplo de estas imperfecciones se puede observar en la figura 4-3.

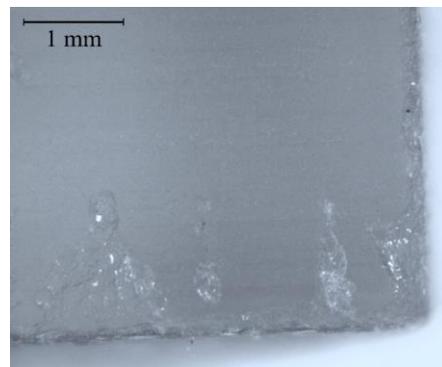


Figura 4-3. Probeta carcomida por el removedor de cera

Por otro lado, se observa que los mejores acabados obtenidos son en las piezas tratadas con aceite Johnson tal y como se muestra en las figuras 4-4 y 4-5, donde también sirve para demostrar que las probetas repetidas mediante este método dieron los mismos resultados, manteniendo sus dimensiones, por lo que se corrobora su correcto funcionamiento.

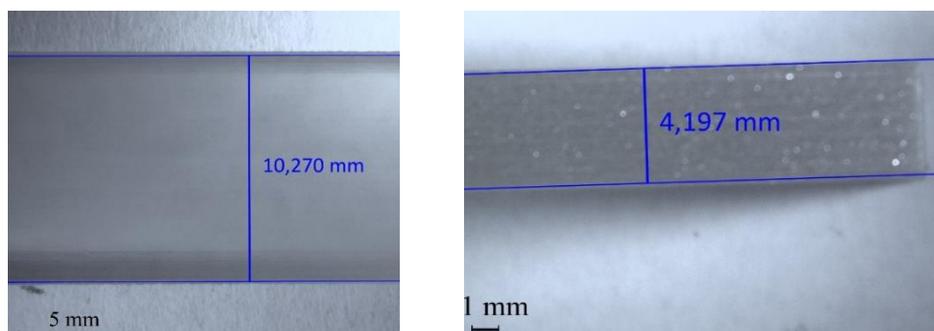


Figura 4-4 Probeta dentro de tolerancias obtenida con Aceite Johnson

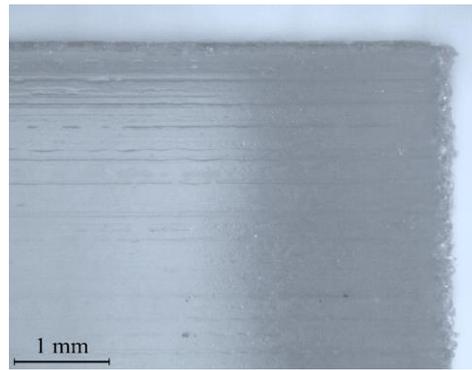


Figura 4-5 Probeta perfecta obtenida mediante aceite Johnson

4.5. RUGOSIDAD

Tras haber obtenido las probetas deseadas mediante la aplicación de los diversos métodos y haberlas observado en el microscopio, se procede a comprobar la rugosidad de estas para comprobar el acabado superficial que se obtiene con cada prueba. Esto se realiza mediante un aparato llamado rugosímetro que dispone de diversos palpadores muy sensibles que se usan en función de lo que indique la norma EN ISO 4288 [30], los cuales van a medir el grado de rugosidad del que dispone la pieza en cuestión.

En este caso, se va a utilizar el perfil de rugosidad R, el cual es aquel que resulta del filtrado electrónico de paso alto del perfil principal con una longitud de onda de corte λ_c ; este proceso elimina los componentes más largos de longitud de onda cuyos parámetros están asignados como R y evaluados dentro de la longitud de evaluación l_n , que generalmente consiste en cinco longitudes de muestreo l_r . La longitud de muestreo corresponde a la longitud de onda de corte λ_c del filtro de perfil. Los únicos parámetros que van a aportar valor en las pruebas van a ser R_a o valor de la media aritmética de rugosidad, que es la media en valores absolutos de las desviaciones de perfil Z_i respecto a la línea media del perfil de rugosidad y R_t o altura total del perfil de rugosidad, que es la diferencia entre la altura Z_p del pico más alto y la profundidad Z_v del valle más profundo dentro de la longitud de evaluación l_n . El resto de los parámetros son obtenidos de la norma y se pueden observar en las imágenes adjuntas en el Anexo VII.

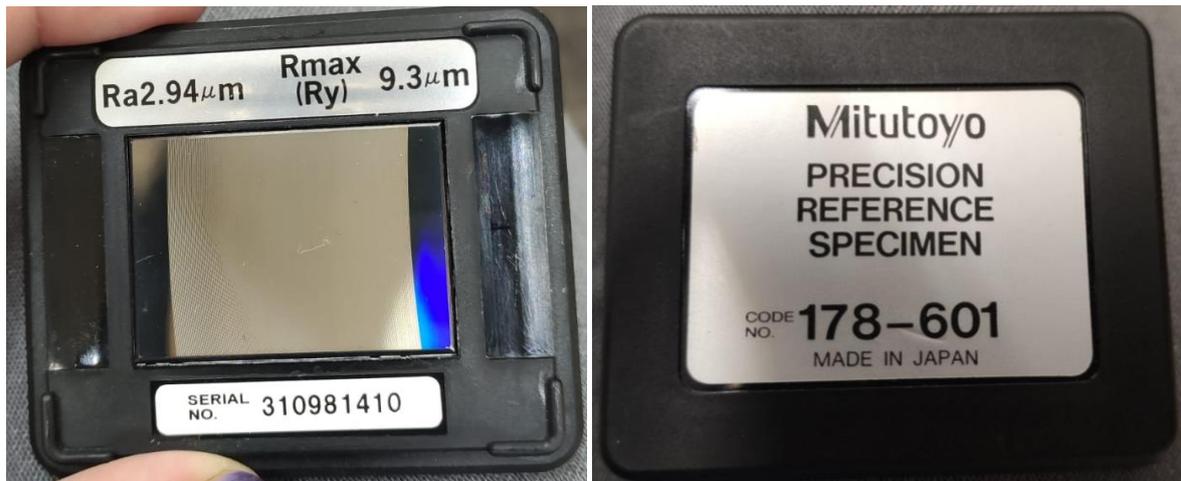


Figura 4-6 Calibrador del palpador del rugosímetro

El rugosímetro es una máquina que mide como su propio nombre indica la rugosidad de la pieza. Dispone de palpadores de distinta angulación y medida que se usan unos u otros en función de lo que indique la norma. Para empezar las mediciones es necesario realizar una calibración previa del conjunto máquina palpador para corregir los errores de precisión detectados en todas las piezas. Una vez detectado esto, el propio programa aplica dicha variación a todas las mediciones obtenidas dando lugar a valores reales y correctos (Figura 4-6). La velocidad de medición se ha puesto de 0,2 m/s ya que es precisa para las pruebas que se quieren realizar. Los demás parámetros son los obtenidos de la norma.

De la máquina, tal y como se ha explicado anteriormente, salieron cuatro piezas defectuosas que coincidieron con las que se encontraban en el borde trasero de la impresora. Estas piezas se distribuyeron entre las 4 pruebas de derretir cera al igual que las buenas, por lo que en cada medición se disponía de 4 probetas diferentes, 3 de ellas buenas y una mala. Se utilizó el mismo método para las correctas y las defectuosas. Tanto en el proceso de eliminación de cera, como en la observación con el microscopio, no se vio nada extraño fuera aparte de su geometría defectuosa, pero al realizar las pruebas de rugosidad en el rugosímetro, se tuvieron que descartar estas piezas ya que el palpador en ciertas partes no era capaz de medir correctamente las piezas y variaba los valores significativamente al de sus compañeras dando lugar a equívocos. Por ello se han descartado.

Para realizar los gráficos de la rugosidad de cada pieza, se procede a insertar la

media de los cinco valores de cada medición de cada una de las tres partes de cada pieza, es decir, la primera pieza en la que su cera se ha derretido en aceite (A-1) dispone de 3 mediciones en diferentes partes de esta, una en cada parte ancha de la pieza y otra en la parte estrecha, y cada una de esas mediciones, se compone de otras 5 sacando la media de estas. En los gráficos 4-1 y 4-2 se mete la media total de las mediciones de toda la pieza tanto de Ra, como de Rt respectivamente. Este mismo procedimiento es el que se utiliza para todas las demás probetas.

En todas las gráficas se designarán los ensayos con letras donde:

- A es aceite vegetal,
- H hace referencia al horno,
- R al removedor de cera y
- J indica las pruebas realizadas con el aceite Johnson's.

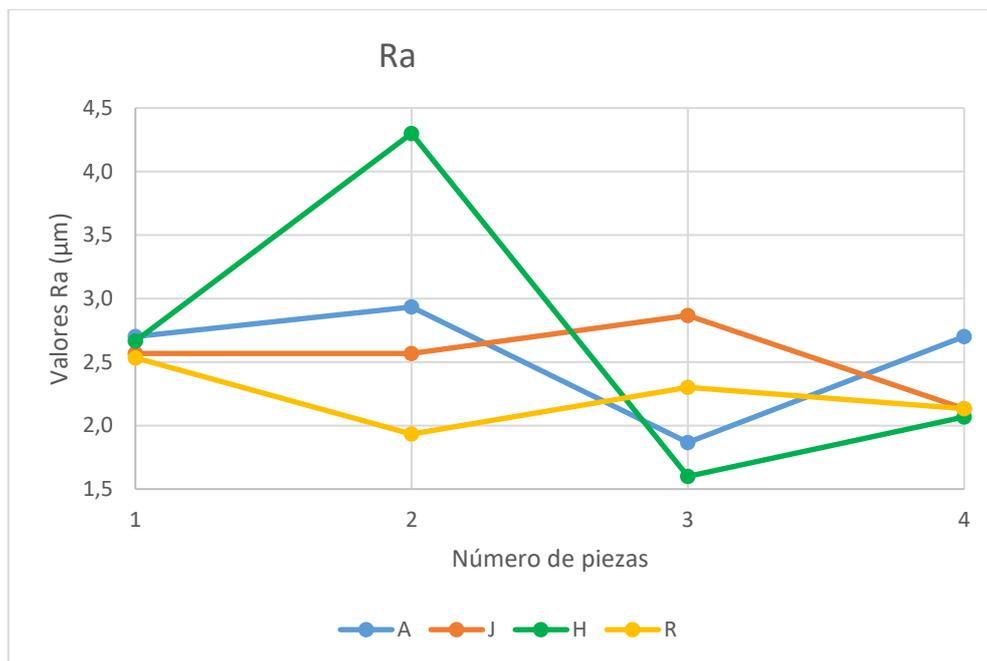


Gráfico 4-1 4 rugosidades de Ra de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera

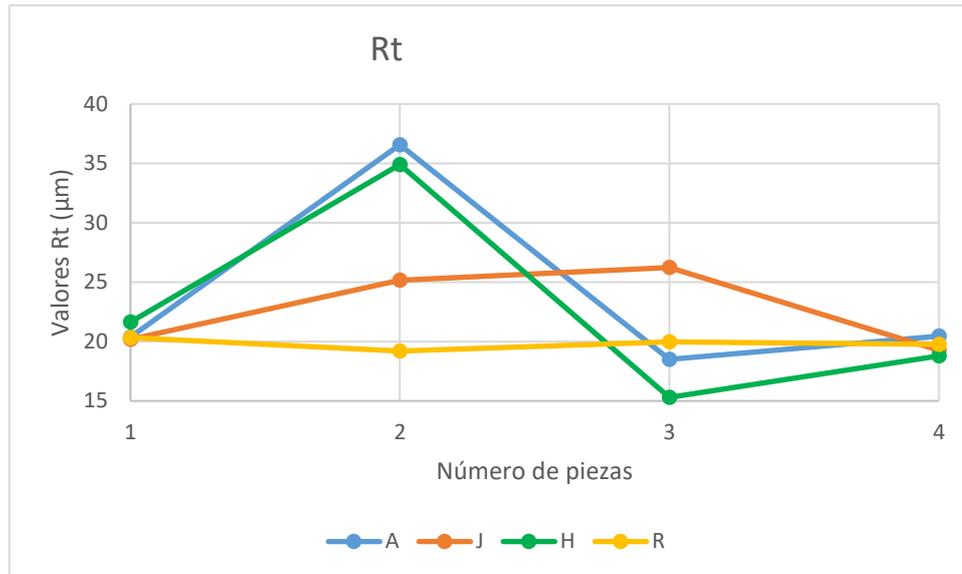


Gráfico 4-2 4 rugosidades de R_t de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera

Tal y como se puede percibir de los gráficos, las probetas que se ha derretido su cera en aceite vegetal disponen de una rugosidad un tanto mayor que las demás, mientras que la derretida en aceite Johnson son las que disponen de la menor rugosidad, es decir, son las más lisas.

En el gráfico 4-3 de los resultados de R_a y en el 4-4 de R_t , se pueden observar un máximo de 4 barras, cada una de ellas representa la media de todos los valores obtenidos en todas las piezas sometidas a un mismo procedimiento.

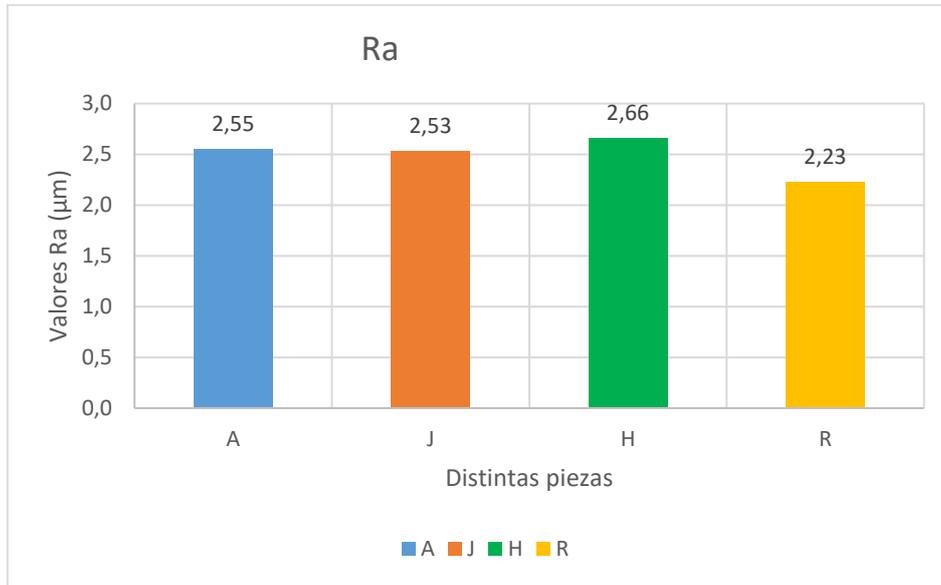


Gráfico 4-3 Rugosidad Ra de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera

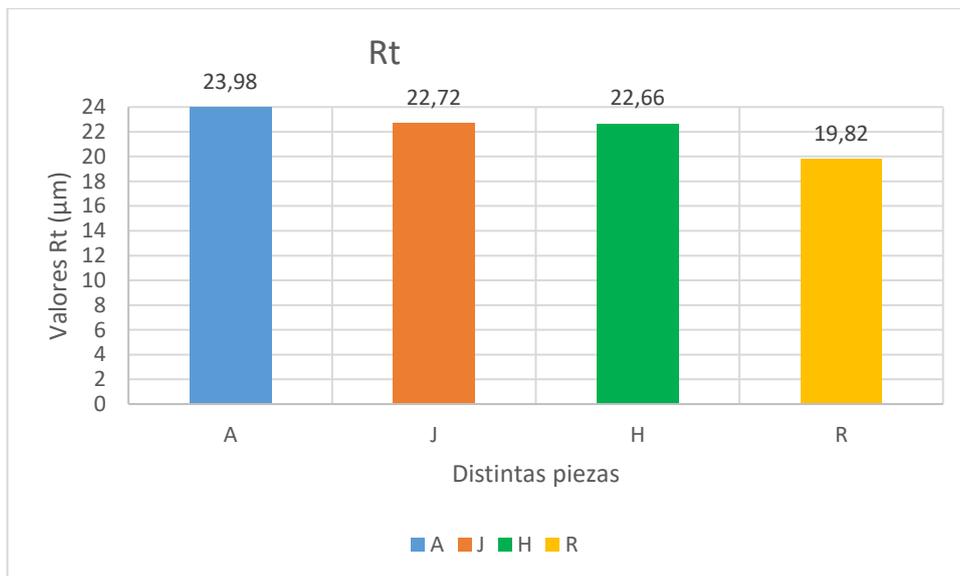


Gráfico 4-4 Rugosidad Rt de las probetas obtenidas mediante distintos métodos de eliminación de cera

Tras repetir el mejor proceso desde el principio, que como ya se está comentando es el realizado con aceite Johnson, se han obtenido los siguientes resultados.

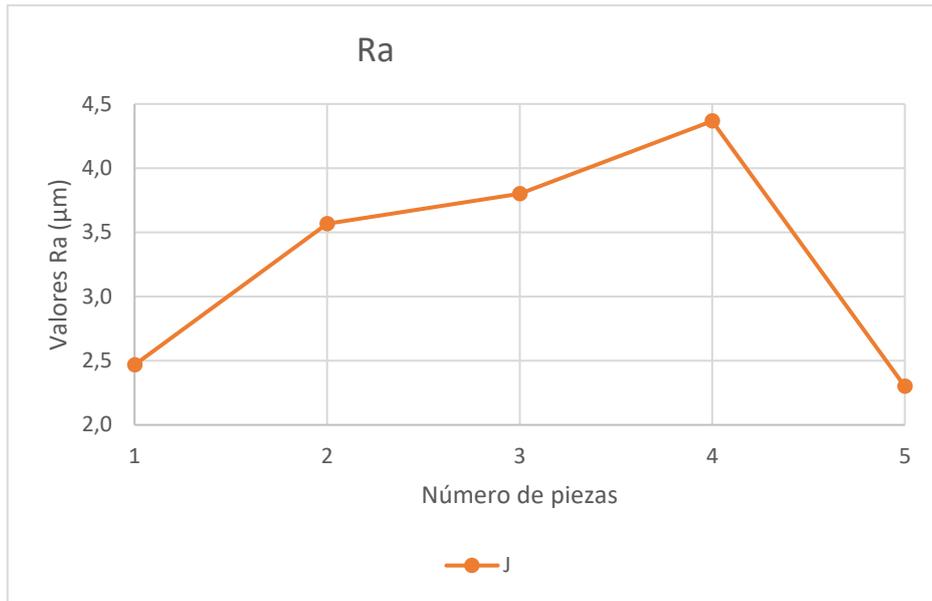


Gráfico 4-5 Rugosidad Ra de las probetas obtenidas mediante eliminación de cera con aceite Johnson

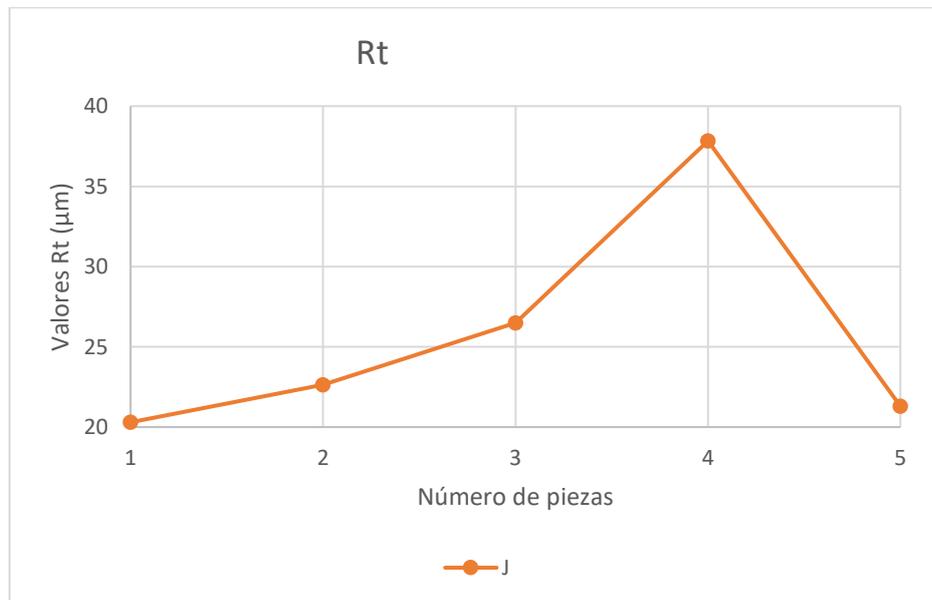


Gráfico 4-6 Rugosidad Rt de las probetas obtenidas mediante eliminación de cera con aceite Johnson

4.6. DUREZA

En este ensayo se va a utilizar un método concreto para probetas plásticas usando el aparato Shore basado en la norma UNE-EN ISO 868 [28] cuyo desarrollo se explica a continuación.

Lo primero de todo, cabe destacar que, al ser un elemento con verificación de calibración, no es necesario que lo realice el propio usuario.

Según la norma, la probeta se debe colocar en una superficie plana, horizontal y dura para evitar errores de medida importantes, después se debe tener en cuenta que es necesario realizar 5 mediciones de dureza, de las cuales se obtiene la media, con la punta del penetrador a una distancia mínima de 9 mm de cualquiera de los bordes de la probeta colocando el durómetro en posición vertical. Se aplica presión rápida, pero sin golpeo, suficiente para obtener un contacto firme entre el pie de apoyo y la probeta. Después se lee el valor máximo indicado al cabo de 1 segundo. Los elementos y detalles de este aparato se encuentran en el apartado 3.4.8. Durómetro.

Las probetas en la que se van a aplicar dicho ensayo poseen las dimensiones ya comentadas con anterioridad en el apartado 3.3 PROBETAS y se pueden observar en la tabla 4-1.

La temperatura ambiente del momento de la medición era de 21 grados con una humedad relativa del 57% aproximadamente ya que se realizó una medición en el interior de un edificio con calefacción. El durómetro empleado fue el tipo D puesto que las probetas poseen una dureza alta y el penetrador C.

El tiempo transcurrido desde la impresión de las probetas y la medición de sus durezas ha sido de aproximadamente 4 meses ya que hubo paradas por mantenimiento de maquinaria, pero para evitar cambios en las propiedades de estas, se mantuvieron encerradas en un cajón sin luz.

A continuación, se observan los valores obtenidos en las mediciones de las probetas en los que todos ellos son D/1 y el valor de dureza obtenido. El valor teórico es de 70, el cual se expresaría como D/1: 70 pero los valores reales son los que se observan en la siguiente tabla 4-1. Además, se muestra también la media de los valores de dureza de cada probeta en los gráficos 4-7, 4-8, 4-9 y 4-10, y una

gráfica de los resultados medios finales (gráfico 4-11).

Tabla 4-1 Dureza de las probetas acabadas obtenidas mediante los distintos métodos

		DUREZA					Media	Media Total
		1	2	3	4	5		
A	1	69,00	69,00	68,00	67,80	66,00	67,96	67,16
	2	67,00	67,10	64,00	66,00	67,00	66,22	
	3	68,00	68,10	68,50	65,00	66,90	67,30	
H	1	72,90	71,50	70,10	71,00	69,90	71,08	71,49
	2	72,10	71,50	71,20	71,00	71,90	71,54	
	3	73,00	71,20	71,80	71,30	72,00	71,86	
R	1	66,50	67,00	66,90	66,90	66,90	66,84	69,10
	2	68,50	67,90	70,00	68,00	69,00	68,68	
	3	71,90	72,00	72,00	72,00	71,00	71,78	
J	1	71,20	72,10	71,70	70,00	71,90	71,38	71,37
	2	71,90	71,00	71,20	70,40	71,00	71,10	
	3	72,00	72,00	71,10	71,10	71,90	71,62	

Donde

- A es aceite vegetal,
- H hace referencia al horno,
- R al removedor de cera y
- J indica las pruebas realizadas con el aceite Johnson's.

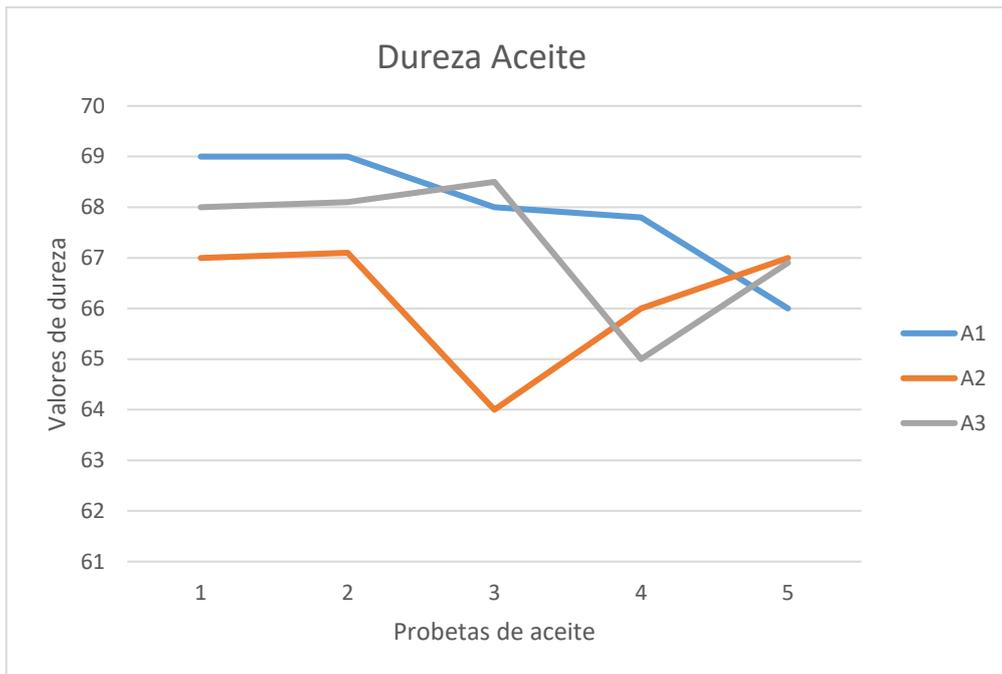


Gráfico 4-7 Dureza de las probetas obtenidas mediante aceite vegetal

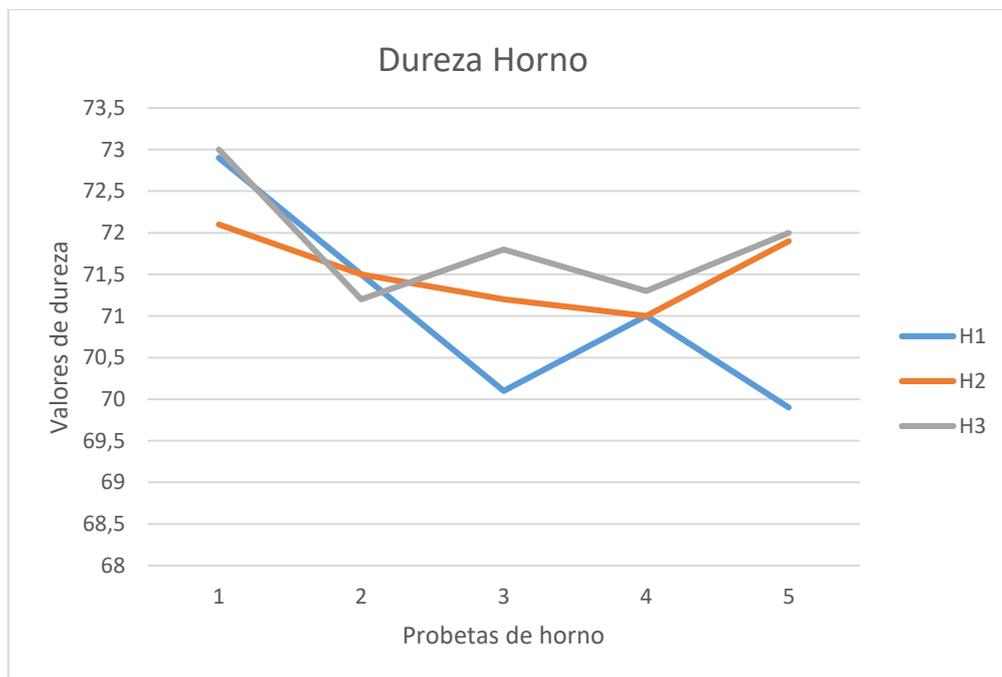


Gráfico 4-8 Dureza de las probetas obtenidas mediante el horno

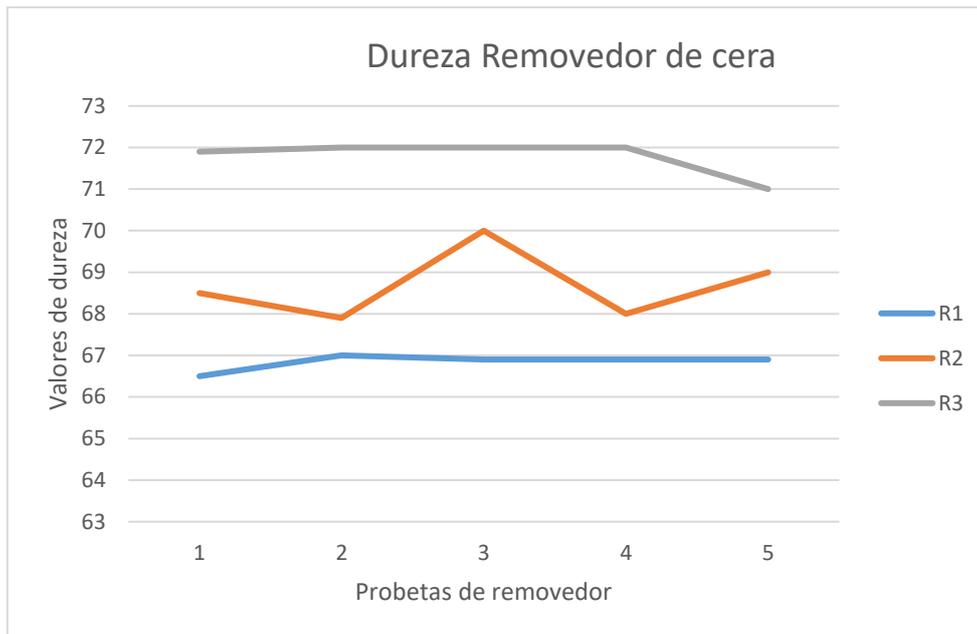


Gráfico 4-9 Dureza de las probetas obtenidas mediante removedor de cera

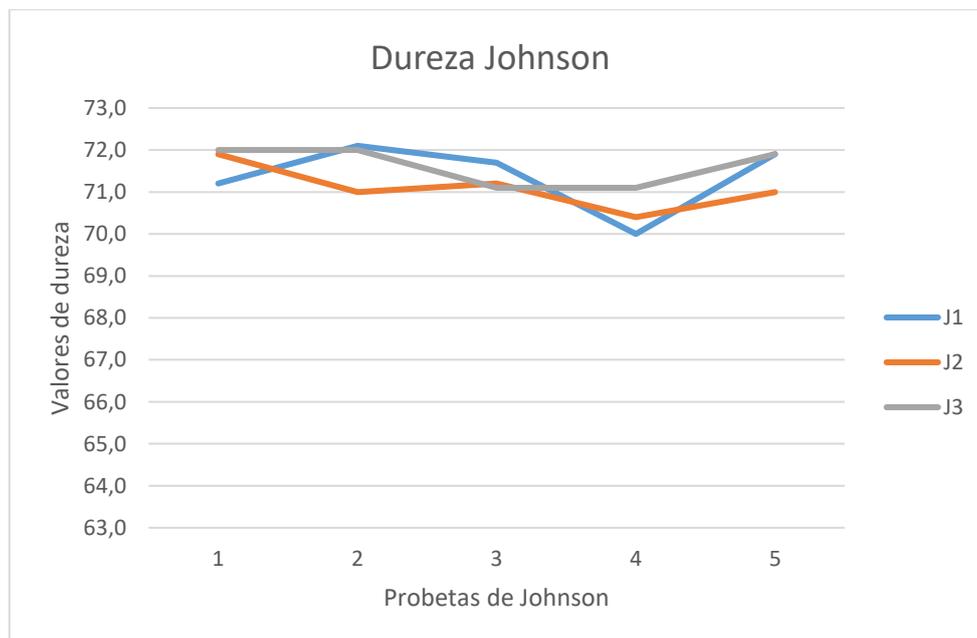


Gráfico 4-10 Dureza de las probetas obtenidas mediante aceite Johnson

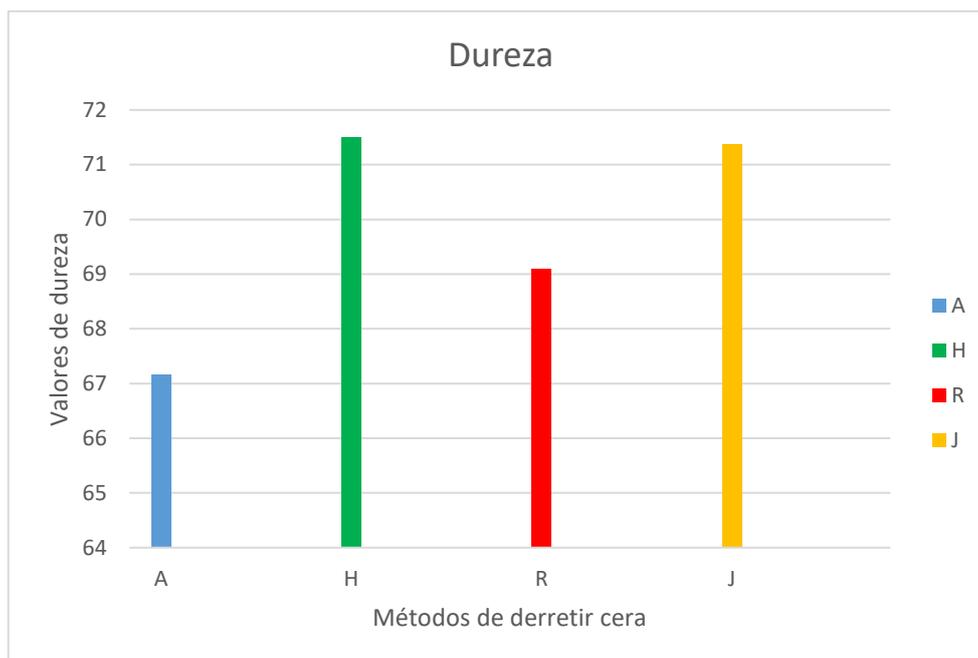


Gráfico 4-11 Dureza media de las probetas obtenidos mediante los 4 diferentes métodos

Tal y como se observa en todos los datos aportados en los gráficos, el mejor resultado es el obtenido mediante el aceite Johnson ya que cumple con todas las expectativas. Se repite el mejor proceso obtenido para comprobar si los valores conseguidos anteriormente son correctos y se obtienen los siguientes resultados observados en la tabla 4-2, con la que se realiza un gráfico con todas las medidas (gráfico 4-12), y otro de barras con la línea que marca la dureza teórica (70) cortando la barra (gráfico 4-13). Con estos datos se verifica que este proceso es correcto porque mantiene todas las propiedades de las probetas.

Tabla 4-2 Dureza de las probetas corroboradoras obtenidas por aceite Johnson

		DUREZA					Media	Media Total
		1	2	3	4	5		
J	5	69,90	70,10	70,00	69,80	72,00	70,36	70,42
	6	72,00	70,90	70,80	71,20	70,00	70,98	
	7	70,10	71,10	71,20	70,40	69,90	70,54	
	8	70,10	70,20	70,00	69,90	69,80	70,00	
	9	69,50	69,20	70,20	71,10	71,00	70,20	

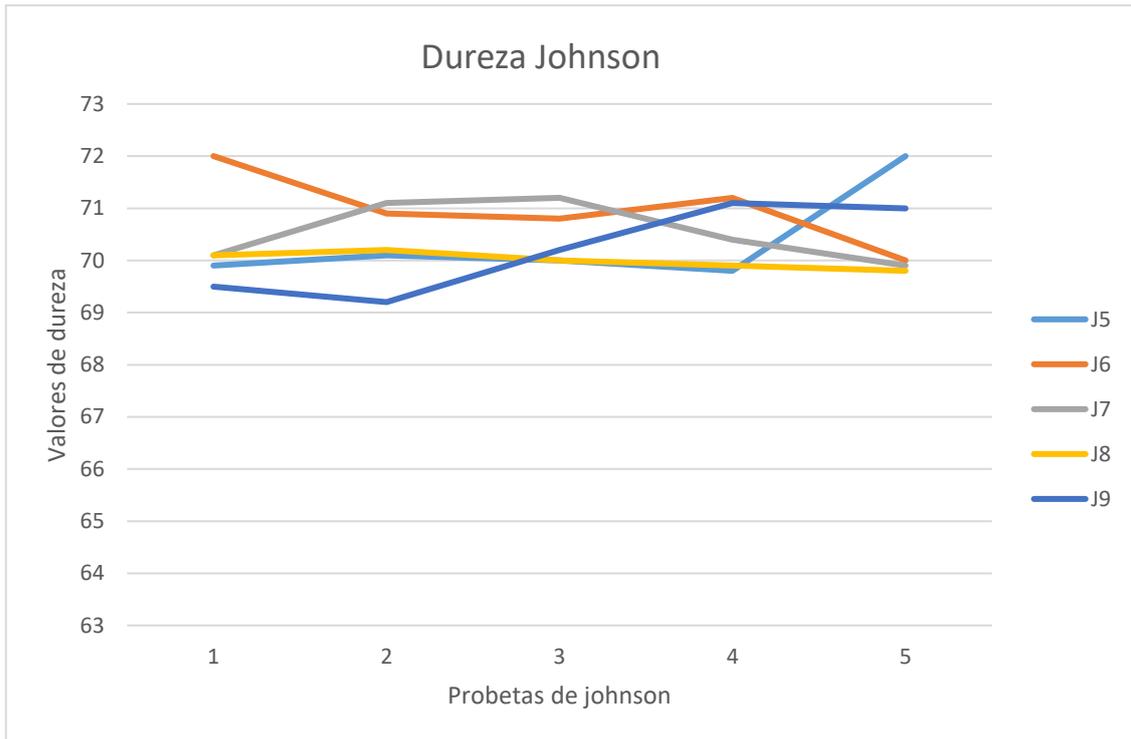


Gráfico 4-12 Dureza de las probetas corroboradoras obtenidas mediante aceite Johnson

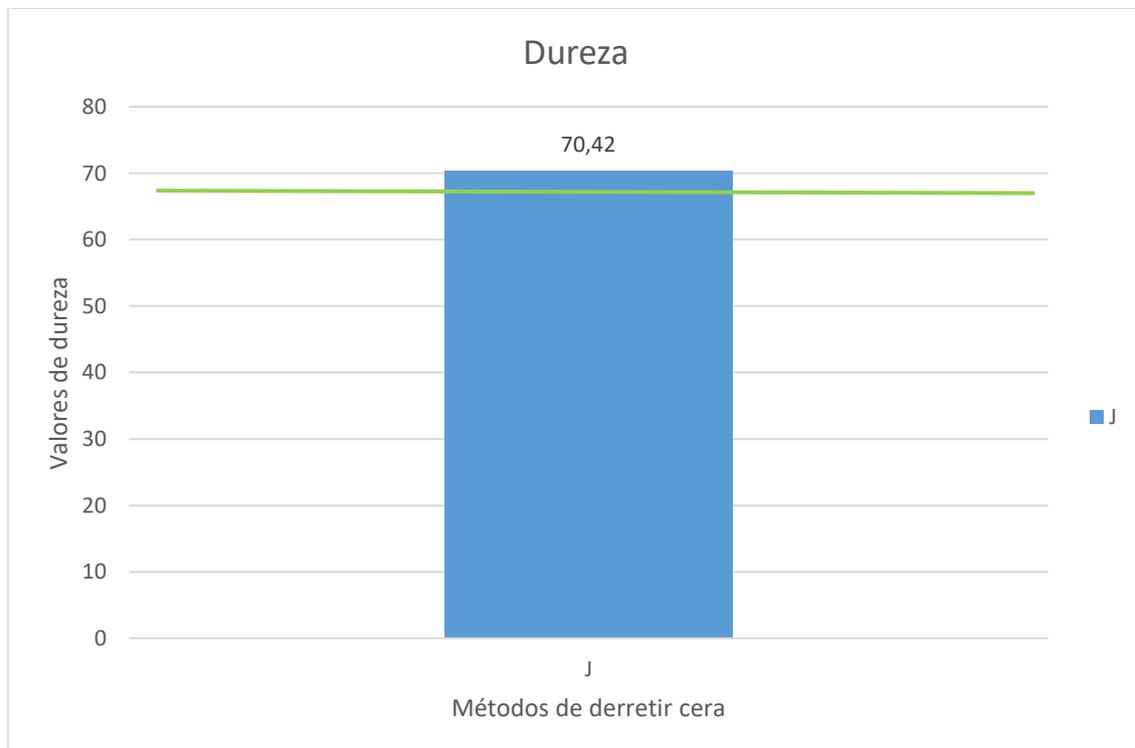


Gráfico 4-13 Dureza media de las probetas corroboradoras obtenidas mediante aceite Johnson

4.7. ENSAYO DE TRACCIÓN

Basándose en la norma UNE-EN ISO 527-1:2020 [31] se va a realizar el informe de este ensayo.

Como bien se ha comentado con anterioridad, el material de la probeta sometida a tracción es plástico fotopolimerizable cuyas propiedades están descritas en el apartado 3.1. Por otro lado, las dimensiones teóricas de las probetas junto a su geometría se encuentran señaladas en la sección 3.3 al igual de la explicación oportuna de fabricación de esta.

En este ensayo se van a traccionar 3 probetas de cada tipo, ya que como bien se ha explicado más veces, se consideró que eran suficientes para comprobar con un mínimo fallo si los métodos aplicados son los correctos o no.

Lo primero que se debe de hacer antes de traccionar las probetas, es elegir el método que se va a utilizar. En este caso se ha decidido hacer una tracción por fuerza en vez de por posición, ya que no se sabe la posición exacta de rotura, pero sí que la fuerza va a ser inferior a 10 kN. Por ello se selecciona dicho método y una vez aquí, lo que hay que hacer es meter en el programa su longitud inicial (L_0), su anchura (h), el espesor (e) y la velocidad de ensayo (va a ser de 3 MPa/s). Con todos estos datos medidos, se colocan las piezas en las mordazas y se procede a traccionarlas una a una. Una vez acabada dicha acción se obtiene una gráfica de rotura y un archivo PDF donde muestra todas las propiedades aportadas y adquiridas, se puede apreciar en ellos que la fuerza máxima aplicada para traccionar estas piezas se encuentra entre 1,01 y 1,13 kN. Estos archivos se pueden encontrar en el apartado ANEXO IX.

Tras la finalización de este proceso, se ha podido apreciar que todos los métodos excepto uno, el de aceite vegetal que su tracción se produce por la parte superior de la probeta, traccionan las probetas por el centro por lo que con este método se descarta claramente el método excepcional al resto y se corrobora la teoría de que el mejor método de post procesado es el realizado mediante aceite Johnson. Esto se puede observar en la figura 4-7.

Por otro lado, es necesario decir que las condiciones de realización eran similares a las de dureza pudiendo variar un grado entre salas.

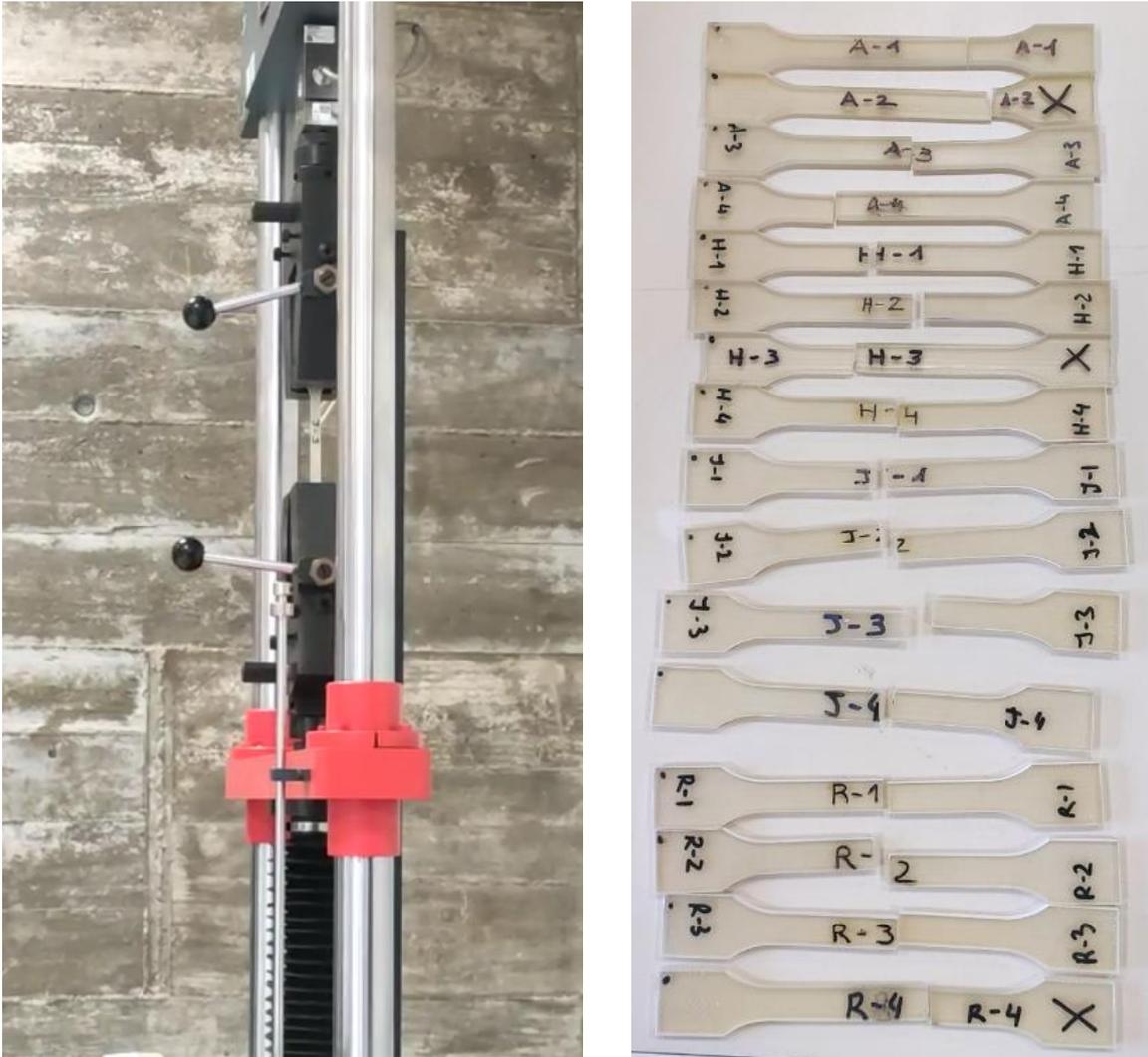


Figura 4-7 Máquina de tracción y probetas traccionadas

Una vez comprobadas todas las piezas, se observa que post procesado es el mejor (aceite Johnson) y se repite todo el proceso en otras 5 probetas iguales que las usadas para verificar los resultados, dando estas idénticas soluciones que las anteriores tal y como se observa en la figura 4-8.



Figura 4-8 Probetas nuevas con post procesado de aceite Jonhson

5. Presupuesto

El presupuesto es la estimación programada, de manera sistemática, de las condiciones de operación y de los resultados a obtener por un organismo en un periodo determinado [32].

Se deben tener en cuenta todos los materiales utilizados además de la mano de obra necesaria. En las siguientes notas se aclaran ciertos aspectos importantes:

NOTA 1: En la venta de productos de carácter y uso industrial, no se tiene en cuenta el IVA a la hora de aplicar al precio. Por ello se deben restar los suplementos del IVA, * 21%.

NOTA 2: ** Material desechado o reutilizado.

NOTA 3: Al precio de venta se le aplicará un beneficio industrial de entre un 10-20%.

A continuación, se muestra el costo total detallado.

Tabla 5-1 Presupuesto del proyecto

AMORTIZABLES							
	<i>Cantidad</i>	<i>Precio con IVA</i>	<i>Precio sin IVA *</i>	<i>Años de Amortización</i>	<i>Horas Laborales por Año</i>	<i>Horas de Proyecto</i>	<i>COSTE FINAL</i>
Equipos Informáticos							
Portátil ASUS	1	450,00 €	371,90 €	1	24.960	100	1,800 €
Ordenador ASUS	1	1.100,00 €	909,09 €	3	24.960	750	33,050 €
MultiJet MJP 5600	1	275.000,00 €	217.250,00 €	10	24.960	37	407,652 €
Ultrasonidos ULTR-2L0-001	1	78,99 €	63,19 €	1	24.960	10	0,032 €
Ultrasonidos 820 HTD	1	94,99 €	75,99 €	1	24.960	1	0,004 €
Microondas	1	32,45 €	25,96 €	1	24.960	0,5	0,001 €
Horno	1	1.880,94 €	1.504,75 €	5	24.960	1	0,075 €
Microscopio	1	3.799,99 €	3.039,99 €	7	24.960	5	0,760 €
Rugosímetro	1	12.600,00 €	10.080,00 €	15	24.960	10	5,050 €
Escáner	1	15.300,00 €	12.240,00 €	9	24.960	20	12,260 €
Durómetro	1	65,46 €	52,37 €	1	24.960	2	0,005 €
Máquina tracción	1	4.960,00 €	3.968,00 €	8	24.960	3	0,600 €
Licencias							
Catia	1	2.040,00 €/trim	1.700,00 €/trim		24.960	1	0,082 €
MATERIAL							
	<i>Cantidad</i>	<i>Precio con IVA por Unidad</i>	<i>Precio con IVA</i>	<i>Precio sin IVA *</i>			<i>COSTE FINAL</i>
Probetas							
Visijet CR-CL	2,00 kg	570,00 €	570,00 €	456,00 €			570,00 €
Visijet CE-NT	2,00 kg	570,00 €	570,00 €	456,00 €			570,00 €
Visijet S500	1,75 kg	228,00 €	228,00 €	182,40 €			228,00 €
Aceite vegetal	1,00 l	1,59 €	1,59 €	0,33 €			1,59 €
Aceite Johnson's	0,50l	3,99 €	3,99 €	3,19 €			3,99 €
Removedor de cera	1,30 kg	132,00 €	132,00 €	105,60 €			132,00 €
INVESTIGACIÓN							
	<i>Cantidad</i>	<i>€/h (Coste para empresa)</i>	<i>Horas de Proyecto</i>	<i>Coste Mano de Obra (€)</i>			<i>COSTE FINAL</i>
Alumnos	1	0	750	0			0 €

TOTAL EJECUCIÓN		1.966,95 €
	10% Gastos Generales.....	196,69€
	20% Beneficio Industrial.....	393,39€
	21% I.V.A.....	413,06€
VALOR FINAL DE VENTA		2.970,09€

6. Resultados

Al derretir exclusivamente tacos de cera, no se descartó ninguna prueba porque todas cumplían su cometido, por lo que se pasó a realizar las pruebas con probetas rectangulares donde se indican sus dimensiones en la tabla 6-1 y los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 6-2.

Tabla 6-1 Dimensiones probetas rectangulares

	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Volumen (mm ³)
Pieza	45,00	15,00	3,00	2025,00
Cera	45,00	15,00	6,00	4050,00

Tabla 6-2 Datos de obtención de probeta rectangular final

Materiales	Prueba	TAG	Tº inicial (°C)	Tiempo total (minutos)	Tº final (°C)	Tº Máx (°C)	Espesor final (mm)
Aceite Johnson's	1	J-1	47	5	57	57	2,99
	2	J-2	47	3	54	54	3,00
	3	J-3	46	6	59	59	2,99
Aceite vegetal	1	A-1	46	5+3(reposo)	57	57	2,99-2,96- 2,53
	2	A-2	47	6,2	60	60	2,99
	3	A-3	47	5	58	58	2,99
Removedor de cera	1	R-1	33	5	44	44	2,99
	2	R-2	33	3,5	43	43	2,99
	3	R-3	33	4	45	45	2,99
Horno	1	H-1	65	30	65	68	3,00 -3,20
	2	H-2	60	18	70	72	3,02-3,17
	3	H-3	61	28	63	65	3,04 - 3,18
Microondas	1	M-1	-	2+1	-	-	2,99-3,02
	2	M-2	-	1+1	-	-	2,80-3,00
	3	M-3	-	1+1+1	-	-	3,00

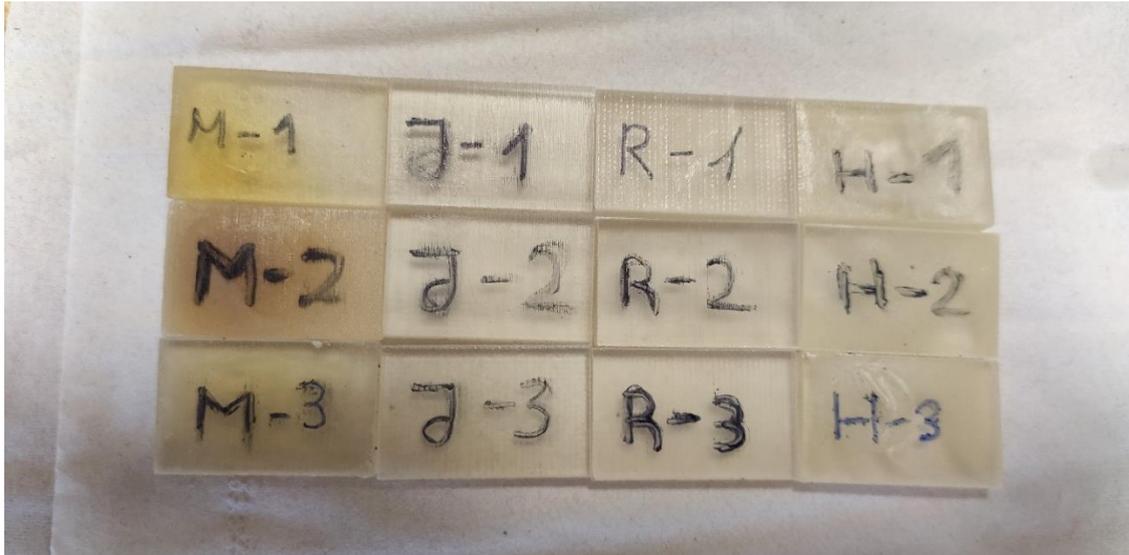


Figura 6-1 Probetas rectangulares finales obtenidas mediante diferentes métodos

En este caso se observó que las piezas cuya cera estaba derretida con el microondas se obtenían muy rápidamente libres de cera, pero se deformaban y su estructura interior se quemaba, por lo que dicho ensayo sirvió para descartar el microondas como método eficaz de post procesado. Por otro lado, todos los demás métodos eran óptimos para ser probadas con las probetas que manda la norma.

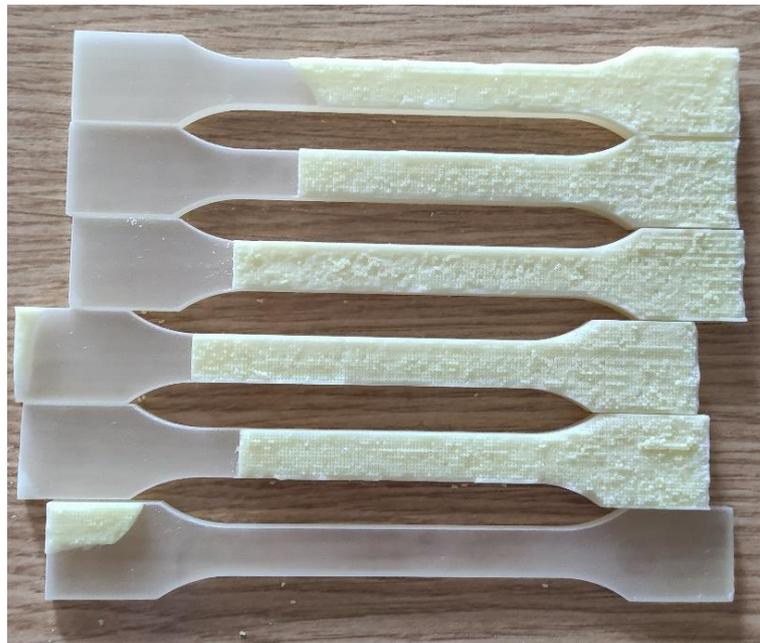


Figura 6-2 Probetas cumpliendo la norma

Estas probetas poseen las mediciones y la forma explicadas anteriormente en el apartado 4.3. y sus dimensiones tras aplicar los posts procesados son los que se muestran en la siguiente tabla 6-3 donde hay que tener en cuenta una serie de consideraciones explicadas a continuación.

Las cifras que aparecen son la media de 5 mediciones, las filas que están en rojo son deformaciones de máquina, es decir, ya han salido defectuosas desde la impresión cuyas piezas son marcadas con una X una vez derretida la cera para no confundirlas como se aprecia en la figura 6-3. Por otro lado, la columna de este color es porque el diseño se hizo ajustado al límite inferior sin tener en cuenta el error de máquina y el humano, por lo que se sale por 0,05 de tolerancias. Por último, cabe destacar que los tiempos de eliminación de cera varían ya que, al extraer las piezas de la base de la máquina, no salen todas con la misma capa de cera tal y como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 6-3 Probetas finales buenas y con defecto de impresión

Tabla 6-3 Dimensiones y datos de las probetas finales

Material	Prueba	TAG	Anchura b	Longitud total, l3	Espesor medio, h	Espesor esquina 1	Espesor esquina 2	Espesor esquina 3	Espesor esquina 4	Espesor zona paralela	Tº inicial (°C)	Tº máx (°C)	Tiempo (minutos)
Aceite vegetal	1	A1	9,97	149,83	3,90	3,93	3,84	3,92	3,88	3,93	47	58	5+14 (reposo)+5
	2	A2	9,90	149,78	3,72	3,84	3,95	3,93	3,95	2,92	47	59	5+14 (reposo)+5+1,27 (reposo)
	3	A3	9,92	149,68	3,87	3,81	3,93	3,74	3,92	3,96	47	55	5+10 (reposo)+5+1,30
	4	A4	10,00	149,97	3,97	4,01	3,96	3,96	3,93	3,97	47	57	5+3 (reposo) +4,40
Aceite Johnson's	1	J1	9,96	149,92	3,98	3,99	3,99	3,98	3,98	3,98	47	57	5+15 (reposo)+5+5 (reposo)+5
	2	J2	9,98	149,93	3,98	3,98	3,98	3,97	3,98	3,99	47	58	5+10 (reposo)+5+2
	3	J3	10,00	149,98	3,99	3,99	3,99	4,00	4,00	4,00	47	58	5+10 (reposo)+5
	4	J4	9,98	149,95	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	47	51	5+10 (reposo)+5+2
Horno	1	H1	9,98	149,8	3,98	3,96	3,97	3,99	3,96	4,00	55	60	38,5+1 minuto aceite johnson's
	2	H2	9,99	149,95	3,99	3,98	3,98	4,00	4,01	3,99	60	61	28,31+1 minuto aceite johnson's
	3	H3	10,00	149,94	3,64	3,91	3,62	3,87	3,59	3,20	60	62	23,1+2 minutos aceite johnson's
	4	H4	9,93	149,81	3,96	3,95	3,95	3,98	3,99	3,94	60	62	31,2+ 2 minutos aceite johnson's
Removedor de cera	1	R1	9,98	149,72	3,98	3,95	3,99	3,97	4,00	3,99	33	45	5+5 (reposo)+5+12 (reposo)+4
	2	R2	9,95	149,75	3,99	4,00	4,00	3,97	3,97	4,00	33	44	5+11,38 (reposo)+6
	3	R3	10,00	149,83	3,99	3,99	3,99	4,00	4,00	4,00	33	45	5+ 12 (reposo)+7
	4	R4	9,95	149,69	3,86	3,71	4,03	3,61	3,99	3,98	33	45	5+ 18,35 (reposo)+7

Con estos resultados, no se descartó ningún método, por lo que se aplicaron a todas estas piezas los métodos explicados anteriormente hasta que se llegó a una serie de conclusiones.

7. Conclusiones y recomendaciones

La primera conclusión a la que se ha llegado es que el microondas no es un buen elemento para derretir los soportes de cera ya que quema interna y externamente las estructuras y además las deforma, por lo que se descartó en la primera fase de desarrollo, mientras que los demás elementos se aprobaron para pasar a la siguiente fase.

Por otro lado, se ha observado que la utilización del horno es esencial para piezas de gran tamaño y para aquellas que poseen mucha cera para derretir gran parte de esta siempre que se tenga en cuenta que se va a necesitar otro post procesado extra como meter la pieza en la máquina de ultrasonidos con aceite vegetal para quitar la totalidad de esta. Además, es necesario tener mucha cautela para que no se queden marcadas las rejillas de este en la pieza por el calor que desprende.

La máquina de ultrasonidos es muy útil para derretir tanto la cera restante del horno como la totalidad de la cera que sale de la pieza recién impresa, aunque dispone de la limitación del tamaño. En esta máquina se ha observado que no difiere en tiempos la utilización de un producto u otro a simple vista, en tanto que, si una vez extraídas las piezas libres de cera se llevan a un microscopio, se puede ver que el removedor de cera carcome la pieza así que se descarta como material válido, mientras que los dos aceites distintos usados, aportan el resultado deseado.

También se ha observado que la planicidad, a simple vista, prácticamente no varía de unas a otras, aunque cabe destacar que la mejor de todas es la obtenida mediante el post procesado de aceite Johnson.

Al medir la dureza se ha observado que el post procesado de aceite vegetal no mantenía esta, sino que esas probetas disponían de una dureza inferior, y que el mejor rango ha sido el del post procesado de aceite Johnson, aunque el resto también mantenía dicha dureza de 70 aproximadamente como se observa en el gráfico de barras 7-1.

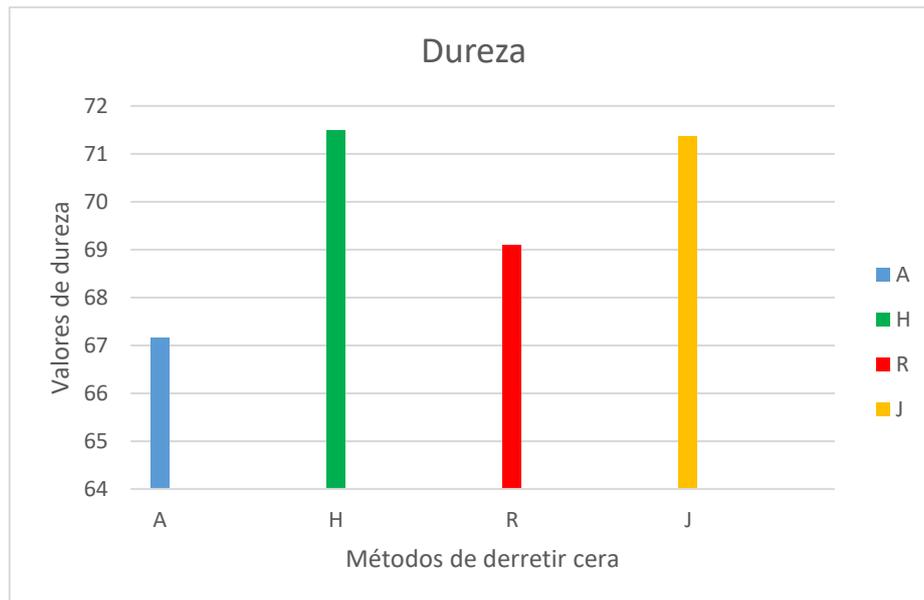


Gráfico 7-1 Dureza de los distintos métodos

Tras comprobar la fractura de las probetas en el ensayo de tracción, se ha llegado a la conclusión de que las probetas obtenidas por el post procesado de aceite vegetal han roto por el extremo superior, mientras que el resto de las probetas aplicadas con los otros posts-procesados, han roto por el medio.

Por tanto, como conclusión global, cabe decir que el mejor proceso de eliminación de cera es el del aceite Johnson ya que es económico, rápido y mantiene intactas todas las propiedades aportadas teóricamente en la probeta.

Recomendación: Meter las piezas una vez derretida toda la cera en agua con jabón para que queden todavía más limpias; si se utiliza el horno es mejor utilizar rejillas planas para evitar hendiduras en las probetas y por último es conveniente aplicar los procesados justo a continuación de sacar las piezas de la impresora ya que la cera se elimina más rápido.

8. Líneas futuras

Para dar por concluida esta investigación, es conveniente realizar modelos no normalizados de piezas con aristas redondeadas y agujeros de distintos diámetros pasantes y ciegos, para observar cómo se elimina la cera en estos casos. Por lógica, el método más correcto utilizado en las probetas normalizadas debería ser también el mejor para estas piezas. Por ello, se han diseñado unas probetas que tienen 2 espesores de pared distintos, diferentes diámetros en los cilindros y cilindros pasante y ciegos tal y como se observa en la figura 8-1.

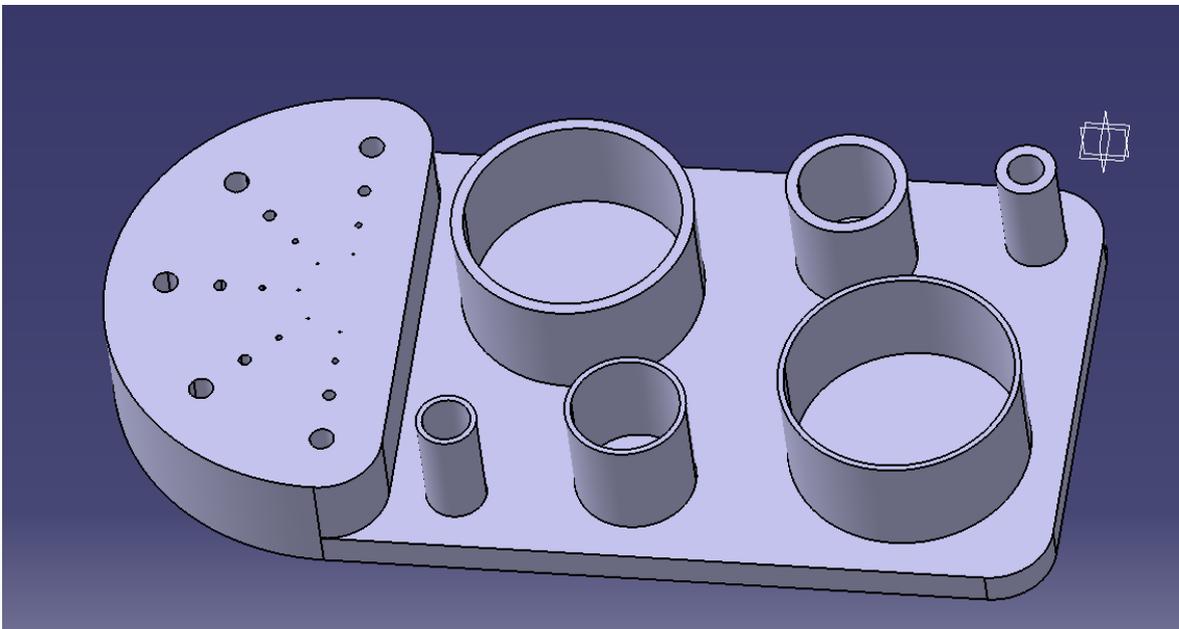


Figura 8-1 Pieza corroboradora de resultados

Estas nuevas piezas no se van a insertar en el congelador para evitar deformaciones por contracción de partículas, ya que solo se recomienda realizar esta práctica para extraer de manera más sencilla la pieza de la base. Además, se van a derretir nada más extraerlas de la impresora, dando esto como resultado una mayor velocidad de eliminación de cera, pero una peor extracción de la pieza de la base.

Todas las piezas tal y como se ve en la anterior imagen, disponen de 4 patrones circulares de 5 cilindros cada uno pasantes el espesor de la pieza (10,15,20 o 50 mm) de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm y 0,2 mm observados de exterior a interior

respectivamente y en la parte baja de la pieza cuyo espesor no varía se encuentran 6 cilindros ciegos de 10 mm de altura, 3 de los cuales tienen un espesor de pared de 0,5 mm y un diámetro de 5, 10 y 20 milímetros y los otros 3 son de estos mismos diámetros pero con un espesor de pared de 1 mm.

Se adjunta como línea futura ya que la máquina está estropeada y no imprime como debe, pero se han podido hacer algunas pruebas con piezas defectuosas de impresión porque al ser la pieza simétrica solo salía mal una mitad y la otra podía servir, por lo que se explican los resultados observados en estas piezas, pero es conveniente repetir el proceso, y por tanto mantener esto como línea futura cuando la impresora esté arreglada y salgan bien desde el principio.

La nueva pieza cuyo máximo espesor es de 10 mm se ha obtenido al cabo de 15 minutos con el post procesado de aceite Johnson, esta ha mantenido todas sus propiedades y ha conseguido eliminar la cera incluso de los orificios más pequeños, por lo que se puede observar que es capaz de eliminar la cera para un diámetro de 200 μm pasante 10 mm y ciegos de 5 mm de diámetro para espesores de pared tanto de 1 mm como de 2 mm.

Respecto a la pieza de espesor de 15 mm, se observa que no se es capaz de eliminar la cera de los cilindros ciegos de menor diámetro (5 mm) con un espesor de pared de 2 mm, ni de los pasantes de 200 μm aunque sí todos los demás.

En cuanto a la pieza de 20 mm de espesor ya se observa que no es capaz de derretir la cera de los cilindros ciegos de 5 mm de diámetro y tampoco, como es lógico, de los pasantes de 200 μm y 0,5 mm.

Por último, en la pieza de 50 mm de altura, no se puede eliminar la cera de ninguno de los cilindros pasantes ni de los cilindros ciegos de 5 mm de diámetro.

Por otro lado, las dimensiones geométricas las han mantenido todas ellas y la dureza dada también. Lo que da de conclusión que el aceite Johnson mantiene en todas las piezas sus propiedades y que es efectivo para eliminar cera de orificios de hasta 200 μm con una altura de hasta 10 mm y de cilindros pasantes de hasta 5 mm de diámetro y un espesor de pared de 1 mm. Para piezas por debajo de estas dimensiones, este método de impresión no es efectivo por la imposibilidad de eliminar los soportes por completo.

También conviene observar si la dirección de impresión varía exclusivamente en el ensayo de tracción o influyen en alguna prueba más. En las piezas defectuosas se

observa que esto solo influye en el método de tracción, ya que tras haber eliminado la cera con aceite Johnson y haber comprobado que todas sus propiedades comentadas durante la investigación se mantienen, se observa que tanto las que se imprimen en la misma dirección que la tracción y la que se hacen en perpendicular cumplen todas las tolerancias y se obtiene resultados muy similares donde hay que tener en cuenta los tipos de errores que existen.

Por último, se podría probar si varían las propiedades de las piezas si pasa mucho tiempo desde que están impresas hasta que se aplican los métodos de derretir cera o post procesados y si se realiza nada más obtenerlas la aplicación de los métodos. Todo ello se comprobará a lo largo de este año en cuanto la máquina funcione correctamente.

9. Agradecimientos

Tras año y medio de asignaturas del máster y un año de prácticas en el centro de impresión 3D, solo queda finalizar otra etapa con la presentación de mi trabajo de fin de máster.

A la primera persona que me gustaría darle las gracias es a mi profesor Joaquín Barreiro García, el cual fue el que me brindó la posibilidad de desarrollar prácticas en el MIC, además de aceptar ser mi tutor de TFM a pesar de la gran cantidad de trabajo que posee.

Después darle las gracias a Susana Martínez Pellitero por dedicar parte de su tiempo a desarrollar exitosamente el proyecto aportando todas sus ideas y conocimientos, además de por ser al igual que Joaquín tutora de este.

Por otro lado, para el desarrollo de esta investigación, he obtenido la ayuda de los técnicos del MIC como son Sofía Peláez Peláez, Jose Domínguez Delgado y Jara Quintanilla Rodríguez, quienes han desarrollado su función de la mejor manera posible, aportándome todas las explicaciones y el tiempo que he necesitado, así como también a Sara Giganto Fernández que es una chica doctorando que finaliza en este año 2022; por lo que veo completamente necesario expresarles toda mi gratitud.

Además, me gustaría adjuntar a estos agradecimientos a mi familia, la cual me ha apoyado en todo momento dándome ánimo y aguantándome siempre que lo he necesitado.

Por tanto, a todas estas personas solo me queda daros las gracias por vuestra dedicación y paciencia y gracias a todos por hacer de estas prácticas y este trabajo de fin de máster una experiencia única, placentera, productiva e inolvidable.

Lista de referencias bibliográficas

- [1] AENOR, *UNE-EN ISO 17296-2 “Fabricación aditiva Principios generales Parte 2: Visión general de categorías de procesos y de materias primas.”* 2017, pp. 3–6.
- [2] Asociación Española de Normalización y Certificación, “Norma Española Fabricación aditiva Principios generales ISO/ASTM 52900:2015,” 2017.
- [3] A. P. P. Santiago Muzzo B. , Engracia Rosales R. , Isabel Miranda P. , Lorena Yates B., “Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción,” *SciELO*, vol. 12, pp. 647–652, 2003, [Online]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872007001000005&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- [4] S. Martínez-pellitero, M. A. Castro, and A. I. Fernández-abia, “ScienceDirect Analysis of influence factors on part quality in micro-SLA technology,” vol. 00, pp. 28–30, 2017.
- [5] Hubs, “Additive manufacturing trend report 2021,” pp. 1–16, 2021.
- [6] N. Kladovasilakis, P. Charalampous, K. Tsongas, I. Kostavelis, D. Tzetzis, and D. Tzovaras, “Experimental and Computational Investigation of Lattice Sandwich Structures Constructed by Additive Manufacturing Technologies,” 2021.
- [7] Y.-L. Cheng, and K.-C. Huang, “Preparation and Characterization of Color Photocurable Resins for Full-Color Material Jetting Additive Manufacturing. *Polymers*,” 12, 650. 2020.
- [8] L. Jiaying Tan, W. Zhu, and K. Zhou, “Recent Progress on Polymer Materials for Additive Manufacturing, ” vol. 30, nos. 2003062, pp. 1–54, 2020.
- [9] 3D Systems. Available online: <https://www.3dsystems.com/> (accessed on 10 May 2021).
- [10] W. Wu, P. Geng, G. Li, D. Zhao, H. Zhang, and J. Zhao, “Influence of Layer Thickness and Raster Angle on the Mechanical Properties of 3D-Printed PEEK and a Comparative Mechanical Study between PEEK and ABS. *Materials*,” 8, 5834–5846, 2015.

- [11] V. Saroha, B.S. Pabla, and S.S. Bhogal, "Characterization of ABS for Enhancement of Mechanical Properties," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.* 8, 2019.
- [12] I. Hernandez-Giron, J. Michiel den Harder, G. J. Streekstra, J. Geleijns, and W. J.H. Veldkamp, "Development of a 3D printed anthropomorphic lung phantom for image quality assessment in CT," vol. 57, pp. 47–57, 2019.
- [13] L. Low, S. Ramadan, C. Coolens, and H. E. Naguib, "3D printing complex lattice structures for permeable liver phantom Fabrication," vol. 10, pp. 1–11, 2018.
- [14] T.Kim, BS, S.Lee, BS, G. Bae Kim, PhD, D. Hong, BS, J. Kwon, BS, J.-W. Park, DDS, PhD, and N. Kim, PhD, "Accuracy of a simplified 3D-printed implant surgical guide," vol. 124, Iss.2, pp. 196–202, 2020.
- [15] J.M. Barrios, and P.E. Romero, "Improvement of Surface Roughness and Hydrophobicity in PETG Parts Manufactured via Fused Deposition Modeling (FDM): An Application in 3D Printed Self-Cleaning Parts. *Materials*," 12, 2499, 2019.
- [16] Y.-L. Cheng, C.-H. Chang, and C. Kuo, "Experimental study on leveling mechanism for material-jetting-type color 3D printing. *Rapid Prototyp. J.* ," 26, 11–20, 2020.
- [17] J.P. Desai, J. Sheng, S. Shin Cheng, X. Wang, N. J. Deaton, and N. Rahman, "Toward Patient-Specific 3D-Printed Robotic Systems for Surgical Interventions," vol. 01,NO.2, pp. 1–11, 2019.
- [18] F. Rengier et al., "3D printing based on imaging data: Review of medical applications," *Int. J. Comput. Assisted Radiol. Surg.*, vol. 5, no. 4, pp. 335–341, 2010.
- [19] M. H. Lee et al., "Effects of low temperature hydrogen peroxide gas on sterilization and cytocompatibility of porous poly (D, L-lactic-co-glycolic acid) scaffolds," *Surface Coatings Technol.*, vol. 202, nos. 22–23, pp. 5762–5767, 2008.
- [20] J. R. C. Dizon, A. H. Espera, Jr., Q. Chen, and R. C. Advincula, "Mechanical characterization of 3D-printed polymers," *Additive Manuf.*, vol. 20, pp. 44–67, Mar. 2018.
- [21] Q. Ge, C. K. Dunn, H. J. Qi, and M. L. Dunn, "Active origami by 4D printing,"

- Smart Mater. Struct., vol. 23, no. 9, 2014, Art. no. 094007.
- [22] A. Kausche, and R. Bachmayer, "Working towards the design framework for an fluid actuated softwing," 2021.
- [23] 3D Systems. Projet mjp 5600 tech specs (english - us a4) <https://de.3dsystems.com/sites/default/files/2017-11/3d-systems-mjp-5600-tech-specs-usen-2017-10-12-web.pdf>.
- [24] U.-E. ISO 17296, *Norma Española Fabricación aditiva Principios generales Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes*. 2014, pp. 1–21.
- [25] 3dsystems, "3dsystems," 2021. <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-5600>.
- [26] AENOR, *UNE 116005:2012 Fabricación por adición de capas en materiales plásticos, Fabricación aditiva y preparación de probetas*. 2012.
- [27] AENOR, UNE-EN ISO 7500-1 "Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza." 2018, pp. 6–23.
- [28] U. Iso 868, *norma española*. 2003.
- [29] 3dsystems, "post-processing-part," 2021. <http://es.infocenter.3dsystems.com/projetmjp5600/post-processing-guide/post-processing-part>.
- [30] AENOR, UNE-EN ISO 4288 "Especificación geométrica de productos (GPS), Calidad superficial: Método del perfil, Regas y procedimientos para la evaluación del estado superficial " 1998, pp. 6–16.
- [31] AENOR, "Norma española - Plásticos. Determinación de las propiedades en compresión," 2003.
- [32] C. A. Fagilde, "Presupuesto Empresarial," *Presup. Empres. Un enfoque práctico para el aula Mater. apoyo Instr. para Estud. las Carreras Adm. y Contaduría Pública la UNELLEZ*, pp. 5–79, 2009, [Online]. Available: <http://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-3-Manual-de-Presupuesto-Empresarial.pdf>.

Anexos

ANEXO I: PROJET MJP 5600



ProJet® MJP 5600

Composite multi-material 3D printer



ProJet MJP 5600

Printing Modes UHD Mode UHDS Mode XHD Mode XHDS Mode	Ultra High Definition Ultra High Definition-Single Xtreme High Definition Xtreme High Definition-Single
Net Build Volume (xyz)*	20.4 x 15 x 11.8 in (518 x 381 x 300 mm)
Resolution (xyz) UHD Mode UHDS Mode XHD Mode XHDS Mode	600 x 600 x 1600 DPI; 16 µ layers 600 x 600 x 1600 DPI; 16 µ layers 750 x 750 x 2000 DPI; 13 µ layers 750 x 750 x 2000 DPI; 13 µ layers
Accuracy (typical)	±0.001-0.002 inch per inch (0.025-0.05 mm per 25.4 mm) of part dimension. Accuracy may vary depending on build parameters, part geometry and size, part orientation, and post-processing.
Build Materials Visijet CR-BK Visijet CR-WT 200** Visijet CR-CL 200** Visijet CE-BK Visijet CE-NT	Rigid Plastic Black Rigid Plastic White Rigid Plastic Clear Elastomeric Black Elastomeric Natural
Support Material	Visijet S500 non-toxic wax material for hands-free melt-away supports
Material Packaging	Build and support materials in clean 4.41 lbs (2 kg) bottles (printer holds 4 build and 4 support bottles with auto-switching)
Electrical	110-127 VAC, 50/60 Hz, 15A, single phase 200-240 VAC, 50 Hz, 10A, single phase Single C14 receptacle
Dimensions (WxDxH) 3D Printer Crated 3D Printer Uncrated	79 x 65 x 80 in (2007 x 1650 x 2032 mm) 66.9 x 35.4 x 63.8 in (1700 x 900 x 1620 mm)
Weight 3D Printer Crated 3D Printer Uncrated	2600 lbs (1180 kg) 2060 lbs (935 kg)
3D Sprint™ Software	Easy build job set-up, submission and job queue management; Automatic part placement and build optimization tools; Part stacking and nesting capability; Extensive part editing tools; Automatic support generation; Job statistics reporting tools
E-mail Notice Capability	Yes
Network Compatibility	Network ready with 10/100/1000 base Ethernet interface
Client Hardware Recommendation	Minimum 320Gb Internal hard drive capacity OpenGL 1.1 Compatible 1280 x 1024 resolution or better USB 2.0 host, single USB type A receptacle / 3.0 USB thumb drives supported at 2.0 USB speeds for export of log files
Client Operating System	Windows® 7, Windows 8 or Windows 8.1 (Service Pack)
Input Data File Formats Supported	stl, ct1, slc, 3dprint
Post-Processing	ProJet Finisher XL for easy removal of eco-friendly wax supports
Operating Temperature Range	64-82 °F (18-28 °C)
Noise	< 65 dBA estimated (at medium fan setting)
5-Year Printhead Warranty	Standard
Certifications	CE

* Maximum part size is dependent on geometry, among other factors

** Respectively replaces former Visijet® CR-WT and Visijet® CR-CL



Visijet® Base Materials for the ProJet MJP 5600

The Visijet composite family of materials is precisely mixed by the ProJet MJP 5600 print head on-the-fly to achieve superior mechanical properties and custom performance characteristics to meet your exacting specifications. This ingenious system simultaneously prints and blends together flexible and rigid material composites, layer-by-layer at the pixel level, in a variety of colors and shades including opaque, clear, black or white and numerous shades of gray.



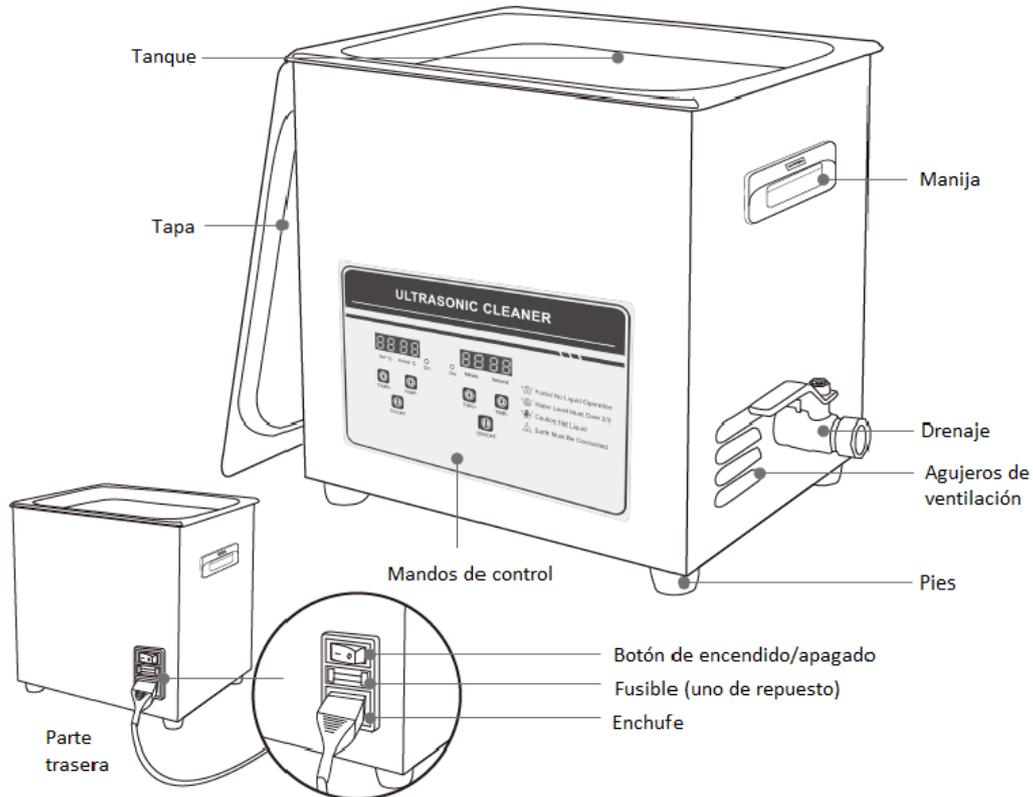
Properties	Condition	Visijet CR-BK	Visijet CR-WT 200*	Visijet CR-CL 200*	Visijet CE-NT	Visijet CE-BK
Composition		UV curable plastic	UV curable plastic	UV curable plastic	UV curable elastomeric	UV curable elastomeric
Description		Rigid ABS-like	Rigid ABS-like	Rigid polycarbonate-like	Elastomeric	Elastomeric
Color		Opaque black	Opaque white	Translucent clear	Translucent natural	Opaque black
Bottle Quantity (kg)		2	2	2	2	2
Solid Density (g/cm ³)		1.18	1.18	1.18	1.12	1.12
Tensile Strength (MPa)	ASTM D638	45-52	37-47	37-47	0.2-0.4	0.2-0.4
Tensile Modulus (MPa)	ASTM D638	2200-2900	1000-1600	1000-1600	0.27-0.43	0.27-0.43
Elongation at Break	ASTM D638	7-11 %	7-16 %	7-16 %	160-230 %	160-230 %
Flexural Strength (MPa)	ASTM D790	63-76	61-72	61-72	N/A	N/A
Flexural Modulus (MPa)	ASTM D790	1800-2100	1400-2000	1400-2000	N/A	N/A
Impact Strength (Notched Izod) (J/m)	ASTM D256	17-24	16-19	16-19	N/A	N/A
Shore A Hardness	ASTM 2240	N/A	N/A	N/A	27-33	27-33
Shore D Hardness	ASTM 2240	78-83	76-80	76-80	N/A	N/A
24 hr Water Absorption	ASTM D570	0.5%	0.5%	0.5%	0.9%	0.6%
Heat Distortion Temp @ 0.45 MPa @ 1.82 MPa	D648	61 °C 41 °C	46 °C 41 °C	46 °C 41 °C	N/A N/A	N/A N/A
Tear Resistance (kN/m)	ASTM D624	N/A	N/A	N/A	3.1 - 3.7	3.1 - 3.7

* Respectively replaces former Visijet® CR-WT and Visijet® CR-CL

DISCLAIMER: It is the responsibility of each customer to determine that its use of any Visijet® material is safe, lawful and technically suitable to the customer's intended applications. The values presented here are for reference only and may vary. Customers should conduct their own testing to ensure suitability for their intended application.

ANEXO II: ULTRASONIDOS ULTR-2L0-001

2.2 Especificaciones



*Válvula de drenaje disponible en los modelos de 6,5 L – 30 L

Modelo	Frecuencia	Transductor (uds)	Capacidad (L)	Tamaño tanque (mm)	Tamaño unidad (mm)	Potencia Calefacción (W)	Potencia Ultrasonidos (W)	Temporizador (M)	Temp. (°C)
ULTR-2L0-001	40	1	2	150x135x100	175x160x210	100	80	0-30	RT-80
ULTR-3L2-001	40	2	3.2	240x135x100	265x165x220	100	120	0-30	RT-80
ULTR-6L5-001	40	3	6.5	300x150x150	325x180x280	200	180	0-30	RT-80
ULTR-10L-001	40	4	10	300x240x150	325x265x280	200	240	0-30	RT-80
ULTR-15L-001	40	6	15	330x300x150	360x325x285	300	360	0-30	RT-80
ULTR-30L-001	40	10	30	500x300x200	530x325x325	500	600	0-30	RT-80

ANEXO III: ULTRASONIDOS 820HTD

Cubeta limpieza Ultrasonidos Tanque 20 LITROS Mod-820HTD

Cubeta GIGANTE de 20 LITROS de capacidad para limpieza por ultrasonidos.

El volumen de capacidad de la cubeta es hasta 20L.

Es ideal para limpiar circuitos electronicos, PCB, joyas, instrumentos quirurjicos, engranajes metalicos ,piezas de motor etc...

Características:

- * Utiliza ondas de ultrasonido para un mejor resultado de limpieza.
- * Cubeta y estructura de acero inoxidable.
- * Transductores de ultrasonido de alto rendimiento
- * Certificacion CE/FCC.
- * Doble Display digital con tecla memoria
- * Grifo para vaciado.

Especificaciones:

- Temporizador Digital 1-99 minutos ajustable
- Temperatura digital 0-80° C ajustable
- Entrada: 220V AC .
- Potencia ultrasonidos: 480 W.
- Potencia calefactora: 500W.
- Frecuencia: 40 KHz.
- Capacidad: 20 LITROS.
- Dimensiones tanque: 490(w) x 290(h) x 140(d) mm.
- Dimensiones exteriores: 530(w) x 325(h) x 310(d) mm .
- Peso: 15kg

ANEXO IV: HORNO DIGITHEAT-TFT MODELO 2001255 150L

Tipo:	ESTUFA DESECACIÓN CONVECCIÓN NATURAL				
	2001251	2001252	2001253	2001254	2001255
Modelo:					
Volumen interior: (L)	19	36	52	80	150
Interior: alto/ancho/fondo (cm)	30/25/25	40/30/30	33/47/33	50/40/40	50/60/50
Exterior: alto/ancho/fondo (cm)	50/60/44	60/65/49	53/82/52	70/74/59	70/95/68
Tensión de alimentación:	230 VAC 50Hz/60Hz (alimentación según etiqueta características)				
Potencia eléctrica (W):	600	900	1000	1200	2100
Peso: (Kg)	24	35	44	59	73
Fusible exterior:	Reemplazable (Tipo: 10x5mm)				
Rango de temperatura:	Desde... T ^a ambiente + 5°C ... hasta ... 250°C				
Resolución del display:	1°C				
Estabilidad	+- 0.1°C a 37°C				
Homogeneidad	+- 0.5°C a 37°C				
Funcionamiento temporizado:	Semanal, hora, minuto		máx 23h: 59m		
Perfiles de temperatura:	Hasta 10 perfiles de 6 segmentos. Segmento de 1m a 99horas.				
Registro de datos:	«Lápis» de memoria USB				

ANEXO V: MICROONDAS LG MS-1924W

Datos técnicos

	MS-1924W
Consumo eléctrico	230 V C.A., 50 Hz
Energía (NORMA IEC 60705)	700 W
Frecuencia de las microondas	2,450 MHz
Dimensiones exteriores (ancho x alto x profundo mm)	455 x 252 x 320
Consumo de energía	1,000 W

Especificaciones de LG MS-1924W

General

Marca	LG
Modelo	MS-1924W
Producto	Microondas
Idioma	Español
Tipo de archivo	PDF

Peso y dimensiones

Peso	12000 g ⓘ
Dimensión interior (Ancho x Profundidad x Altura)	256 x 255 x 180 mm

Otras características

Dimensiones (Ancho x Profundidad x Altura)	455 x 320 x 252 mm
--	--------------------

Características

Capacidad interior	19 L
Potencia del microondas	700 W
Tamaño plato giratorio	245 mm
Tipo de control	Giratorio
Color del producto	Blanco

ANEXO VI: MICROSCOPIO LEICA Z16 APO

Leica Z6 APO & Z16 APO

	Leica Z6 APO	Leica Z16 APO
Zoom	6.3:1	16:1
Factor de zoom	0.57x – 3.6x	0.57x – 9.2x
Diafragma Iris Integrado	✓	✓
Posiciones de zoom disponibles	0.57 / 0.8 / 1 / 1.25 / 1.6 / 2 / 2.5 / 3.2 / 3.6	0.57 / 0.8 / 1 / 1.25 / 1.6 / 2 / 2.5 / 3.2 / 4 / 5 / 6.3 / 8 / 9.2
Velocidad del zoom	–	–
Datos visuales con el objetivo apocromático plano 1x/oculares 10x/tubo Y 1.25x		
Aumento	7.1x – 45x	7.1x – 115x
Resolución	60 – 351 Lp / mm	51 – 336 Lp / mm
Ancho visible de la estructura	8.3 – 1.4 µm	9.8 – 1.49 µm
Apertura numérica	0.02 – 0.117 nA	0.017 – 0.112 nA
Campo visual ∅	32.3 mm – 5.1 mm	32.3 mm – 2.0 mm
Profundidad de campo (diafragma abierto)	3.1 mm – 0.09 mm	3.8 mm – 0.05 mm
Profundidad de campo (diafragma cerrado)	18.1 mm – 0.4 mm	18.4 mm – 0.4 mm
Datos visuales con el objetivo apocromático plano 2x/oculares 40x/tubo Y 1.25x		
Aumento	57x – 360x	57x – 920x
Resolución	120 – 702 Lp / mm	102 – 672 Lp / mm
Ancho visible de la estructura	4.2 – 0.7 µm	4.9 – 0.74 µm
Apertura numérica	0.04 – 0.234 nA	0.034 – 0.224 nA
Campo visual ∅	4.2 mm – 0.67 mm	4.2 mm – 0.26 mm
Datos con cámara digital Leica DFC490/objetivo apocromático plano 1x/tubo AS/objetivo de vídeo 0.63x		
Aumento		
Chip: preparación	0.36x – 2.3x	0.36x – 5.8x
Resolución digital*	33.3 – 210 Lp / mm	33.3 – 336 Lp / mm
Campo visual proyectado en el chip	24.5 mm × 18.4 mm/ 3.9 mm × 2.9 mm	24.5 mm × 18.4 mm/ 1.5 mm × 1.14 mm
Profundidad de campo (diafragma abierto)	1.06 mm – 0.03 mm	1.4 mm – 0.03 mm
Profundidad de campo (diafragma cerrado)	10.7 mm – 0.26 mm	10.9 mm – 0.3 mm

Características principales del Leica Z6 APO / Z16 APO

- Z16 (Z6): zoom 16:1 (6.3:1), amplitud del zoom 0.57x – 9.2x (0.57x – 3.6x)
 - Sistema de zoom de plena corrección apocromática y objetivos apocromáticos para un contraste, fidelidad cromática y riqueza de detalles impecables
 - Aumento: 7.1x – 115x (Z16 APO), 7.1x – 45x (Z6 APO) visualmente con objetivo apocromático plano 1x, oculares 10x, tubo en Y 1.25x
 - Aumento total visualmente con objetivo apocromático plano 5x, oculares 40x, tubo en Y 1.25x: 900x (Z6 APO), 2300x (Z16 APO)
 - Máxima resolución 351 Lp/mm (Z6 APO) o 336 Lp/mm (Z16 APO) visualmente* hasta un máximo de 1500 Lp/mm**
 - Máxima apertura numérica de 0.117* (Z6 APO) o 0.112* (Z16 APO) hasta un máximo de 0.5**
 - Gran distancia de trabajo: 97 mm*
 - Diafragma iris integrado para adaptación de la profundidad de campo
 - Enfoque motorizado (opcional)
 - Enfoque de precisión para un enfoque preciso con aumentos altos
 - Perfecto para aplicaciones de enfoque múltiple en diferentes preparados
 - Mayor fidelidad de reproducción que incrementa la precisión en mediciones, análisis y documentaciones
 - Imagen llana y exenta de distorsión de objetos planos y reflectantes con iluminación coaxial
 - Posiciones de zoom conectables para tareas repetitivas
 - ErgoTubo® con ángulo de observación variable 10° – 50°
 - Accesorios con estructura modular y compatibles con los accesorios del programa de microscopios estereoscópicos de la serie M de Leica
 - Gran base de episcopia con estructura de panel estable y ligera
 - Cámara digital de alto rendimiento y software de análisis de imágenes
- * con objetivo apocromático plano 1x
** con objetivo apocromático plano 5x

Delgado para el registro y la edición digitales

El sistema de zoom Leica Z6 APO con enfoque de precisión, objetivo apocromático plano, soporte y tubo AS, objetivo para vídeo con rosca c, cámara digital Leica DFC, base de episcopia y mando de ajuste preciso/aproximado

4



Accesorios ópticos para Leica Z6 APO & Z16 APO

	Leica Z6 APO & Z6 APO
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Apocromático plano 1×, 2×, 0.8×, 0.5×, 5× • Acromáticos serie M 0.63×, 0.5×, 0.32×, sin plomo 0.5×, 0.32×, sin plomo
Distancias de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • 187 mm (apocromático plano 0.5×) • 97 mm (apocromático plano 1×) • 112 mm (apocromático plano 0.8×) • 39 mm (apocromático plano 2×) • 19 mm (apocromático plano 5.0×)
Adaptador de objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • para acromáticos de la serie M • para objetivos HR 10× y 20× • para objetivos DM 10× y 20×
Objetivos DM (indicados sólo para la amplitud del zoom especificada arriba)	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivo DM N plano L 20×/0.40 corr • Objetivo DM N plano 10×/0.25-/A5.8
Enfoque micrométrico	Recorrido de 10 mm, opcional
Tubos binoculares, ergonómicos	<ul style="list-style-type: none"> • tubos binoculares inclinados y rectos • ErgoTubus® apocromático 10° – 50° con ajuste sincrónico de la distancia a los ojos • varios ErgoModule® (opcional)
Distancia interpupilar	55 mm – 75 mm
Ocular ergonómico gran angular para usuarios de gafas	10×/21, 16×/14, 25×/9.5, 40×/6, anteojeras extraíbles sin distorsión para proteger de infecciones

ErgoTubus® y ErgoModul® están registrados en la United States Patent and Trademark Office.

ANEXO VII: RUGOSÍMETRO SURFTEST SJ-500

Mitutoyo

Surftest SJ-500 [mm]

R2 μ m; 0,75mN

Número de artículo: 178-532-01D



Descripción

Instrumento de medición que le permite medir con facilidad y precisión la rugosidad de la superficie.

El SurfTest SJ-500 le ofrece las siguientes ventajas:

- Detector sin patín para medición del perfil primario (P), perfil de rugosidad (R), perfil de ondulación (W) y más.
- Unidad de lectura intuitiva para una medición precisa de la rugosidad superficial.
- Display color TFT LCD de largo **19 cm** [7.5"] con toda la funcionalidad que aporta una pantalla táctil "touch-screen".
- Menú de display sencillo y manejable.
- Conforme con normas como DIN EN ISO, VDA, ANSI, JIS, así como con normas personalizadas.
- El control mediante joystick permite un rápido posicionamiento. El tornillo manual de ajuste permite el posicionamiento fino del palpador para poder medir en el interior de pequeños orificios.
- La unidad del detector permite un desplazamiento del palpador. Ideal para medición piezas con limitación de espacios como árboles de levas, etc.
- El equipo puede emplearse en forma de sobremesa o montado en un soporte ajustable.

Características

Presión de medida (detector):	0.75 mN
Angulo de punta:	60°
Radio punta:	2 μm
Transversal:	50 mm
Velocidad de medición:	0.02 - 5 mm/s
Velocidad de movimiento:	0 - 20 mm/s or joystick operation
Rectitud transversal:	0,2 μm / 50 mm
Rango de medida:	800 μm; 80 μm; 8 μm (up to 2,4 mm with an optional stylus)
Posicionado:	\pm1.5° (tilting) 30 mm (up/down)
Palpador (sonda estándar):	Diamante, (60° / 2 μmR)
Metodo de medición:	Skidless - Differential inductance
Perfiles:	Primary Profile (P), Roughness Profile (R), Waviness (W), MOTIF (R, W) and more
Normas:	EN ISO, VDA, JIS, ANSI y ajustes personalizados
Graficos de analisis:	BAC, ADC
Filtro digital:	Gauss, 2CR75, PC75, RobustSpline
Longitud de cut-off:	λc : 0.025 mm; 0.08 mm; 0.25 mm; 0.8 mm; 2.5 mm; 8 mm; 25 mm λs : 0.25 μm; 0.8 μm; 2.5 μm; 8 μm; 25 μm; 80 μm; 250 μm; None λf : 0.08 mm; 0.25 mm; 0.8 mm; 2.5 mm; 8mm; 25mm; None
Impresora:	Thermal printer
Visualizador:	7.5" color TFT LCD con retroiluminación
Power supply report:	UN 38.3 Test Summary Report

Mitutoyo

Palpador 0,75 mN 0,75mN

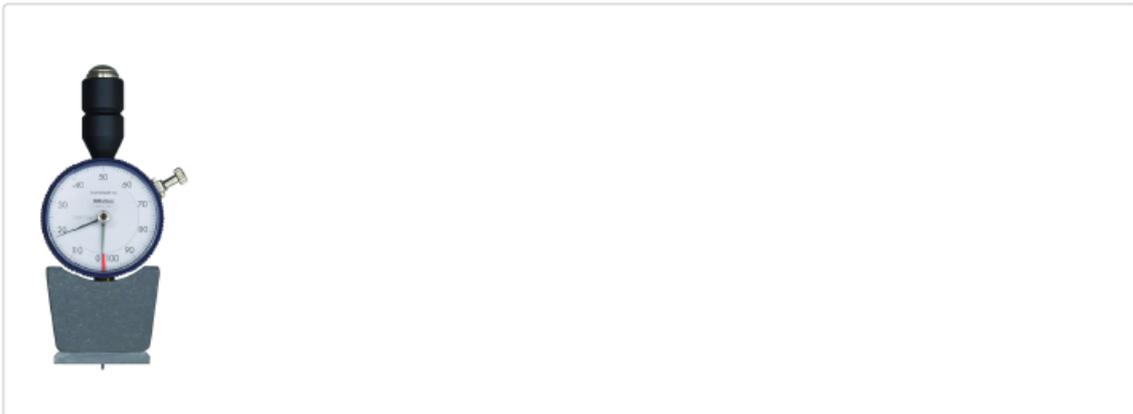
Número de artículo: 178-396-2



ANEXO VIII: DURÓMETRO HH-337 SHORE D DIAL/COMPACT 811-335-10



HH-337 Durometer Type D Compact/Analogue Shore Durometer HH-300 Series Número de artículo: 811-337-10



Descripción

Estos durómetros digitales / de dial compactos pueden probar una variedad de materiales diferentes y ofrecerle siguientes beneficios:

- Puede usarlos para probar la dureza de los materiales, incluido el caucho natural, el neopreno, poliésteres, PVC, cuero, tiokol, caucho de nitrito, cera, vinilo, acetatos de celulosa, poliestireno de vidrio, etc.
- Dureza Shore "A", "D" y "E".

Características

Visualizador:	Analog Dial
Modelo:	HH-337
Peso :	0,30 kg
Dureza:	HD

ANEXO IX: MÁQUINA TRACCIÓN ME-420/5



ME 402 características

	ME 402/0,1	ME 402/1	ME 402/2	ME 402/5	ME 402/10	ME 402/20	ME 402/30
Capacidad de carga (t)	0,1	1	2	5	10	20	30
Velocidad máx. de trabajo (mm/min)	200. Opcionalmente hasta 500 mm/min						
Exactitud de la medida	FUERZA: +/-1 % POSICION: +/- 1%						
Máx. luz axial libre (mm)	1000						
Recorrido útil del husillo (mm)	400 en modelos de suelo / 300 en modelos de sobremesa						
Luz lateral libre entre columnas (mm)	350	520	520	610	610	610	610
Luz lateral libre modelo sobremesa	350	350	350	350	350	n.d.	n.d.
Dimensiones marco de ensayos. Frontal /fondo/altura(mm)	650 / 400 / 1800	800 /500 /1800	800 /500 /2000	900 /500 /2050	900 /500 /2100	900 /500 /2150	900 /500 /2200
Dimensiones marco de ensayos modelo sobremesa (mm)	500 /400 /1500	500 /400 /1500	500 /400 /1500	550 /450 /1650	600 / 500 /1650	n.d.	n.d.
Peso aprox. Marco de ensayos(Kg)	180	310	410	610	710	790	980
Requisitos eléctricos	220/380 VAC / 50/60Hz +/- 10%						