



# Plagiarism Checker X Originality Report

**Similarity Found: 2%**

Date: miércoles, julio 16, 2025

Statistics: 99 words Plagiarized / 4397 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

---

INSTITUTO SUPERIOR UNIVERSITARIO CENTRAL TÉCNICO / CARRERA DE  
MECÁNICA INDUSTRIAL TEMA: Implementación de un módulo de producción con  
tecnología de impresión 3D por estereolitografía (SLA) para la evaluación del  
acabado superficial de piezas impresas en el laboratorio de simulación del Instituto  
Superior Universitario Central Técnico PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA INDUSTRIAL Gruizo Orozco Kevin  
Jonathan Asesor: Ing.:

Daniel Casaliglia (NOMBRES COMPLETOS DEL TUTOR). QUITO, JULIO DEL 2025 ©  
Instituto Superior Universitario Central Técnico (2020). Reservados todos los  
derechos de reproducción DECLARACIÓN Yo Gruizo Orozco Kevin Jonathan  
declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente  
presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las  
referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

El Instituto Superior Tecnológicos Central Técnico puede hacer uso de los derechos  
correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad  
Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente. Gruizo  
Orozco Kevin Jonathan ----- CERTIFICACIÓN Certifico  
que el presente trabajo fue desarrollado por (Nombre del Autor), bajo mi  
supervisión. \_\_\_\_\_ (Nombre completo).

TUTOR DE PROYECTO AUSPICIO/AGRADECIMIENTOS ESPECIALES  
AGRADECIMIENTO DEDICATORIA

Template for Preparation of Formative Research Articles Guía para la Preparación de Artículos de Investigación Formativa Nombre y Apellidos estudiante 1 1 Nombre y Apellidos estudiante 2 1 1Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador E-mail: estudiante1@istct.edu.ec E-mail: estudiante2@istct.edu.ec

**RESUMEN** El presente estudio abordó el impacto del método de limpieza en la rugosidad superficial de piezas impresas mediante estereolitografía (SLA), una tecnología de manufactura aditiva reconocida por su precisión y calidad de acabado.

El objetivo principal fue evaluar cómo diferentes solventes —agua destilada, alcohol isopropílico al 70% y al 90%— afectan los valores de rugosidad Ra y Rz, bajo condiciones experimentales controladas y conforme a la norma ISO 4287. Se diseñaron probetas planas tipo I según ASTM D638 y se fabricaron con resina fotopolimérica utilizando una impresora Elegoo Jupiter SE.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de limpieza estandarizado, curado UV y medición de rugosidad con un rugosímetro PCE-RT 10. Se aplicó un análisis estadístico de varianza (ANOVA) para comparar los resultados obtenidos entre los tres tratamientos. Los datos revelaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en los valores de Ra y Rz según el método de limpieza empleado.

El tratamiento con alcohol isopropílico al 90% presentó los valores más bajos de rugosidad y menor dispersión, mientras que el uso de agua destilada mostró mayores niveles de rugosidad y variabilidad. Se concluyó que la elección del solvente influye directamente en la calidad superficial final de piezas impresas por SLA, destacando la eficacia del alcohol al 90% como agente limpiador.

Este estudio validó el uso de normas técnicas y protocolos reproducibles como base para futuras investigaciones en posprocesamiento de impresión 3D. Palabras clave-- Alcohol isopropílico, ANOVA, ASTM D638, Calidad superficial, Curado UV, Impresión 3D, ISO 4287, Limpieza de resina, Manufactura aditiva, Posprocesamiento, Ra (rugosidad media aritmética), Resina fotopolimérica, Rugosidad superficial, Rz (altura máxima del perfil), Stereolitografía (SLA)

**ABSTRACT** This study addressed the impact of cleaning methods on the surface roughness of parts printed using stereolithography (SLA), an additive manufacturing technology known for its precision and high-quality finishes.

The main objective was to evaluate how different solvents—distilled water, 70% isopropyl alcohol, and 90% isopropyl alcohol—affect Ra and Rz roughness values under controlled experimental conditions, following ISO 4287 standards. Flat Type I specimens were designed according to ASTM D638 and printed using photopolymer resin with an Elegoo Jupiter SE 3D printer.

Samples underwent a standardized cleaning process, UV curing, and roughness measurement using a PCE-RT 10 profilometer. A one-way ANOVA statistical analysis was performed to compare results among the three treatments. The data showed statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) in Ra and Rz values depending on the cleaning method.

The 90% isopropyl alcohol treatment yielded the lowest roughness values and least variability, whereas distilled water resulted in higher roughness and greater dispersion. It was concluded that the choice of cleaning solvent directly influences the final surface quality of SLA-printed parts, highlighting the effectiveness of 90% isopropyl alcohol as a cleaning agent. This study validated the use of technical standards and reproducible protocols as a foundation for future research in 3D printing post-processing.

## 1.

**INTRODUCCIÓN** La impresión 3D mediante estereolitografía (SLA) representa una herramienta clave dentro de la manufactura aditiva por su capacidad de producir piezas con alto nivel de detalle, exactitud dimensional y acabados superficiales superiores. Sin embargo, para asegurar estos resultados, es necesario controlar no solo las condiciones de impresión, sino también el proceso de posprocesamiento, en especial la limpieza.

Esta investigación busca analizar cómo distintos métodos de limpieza influyen en la calidad superficial de piezas impresas con SLA, con base en parámetros estandarizados de medición. Contexto general de la manufactura aditiva (enfoque en SLA) La manufactura aditiva permite fabricar piezas tridimensionales directamente a partir de un modelo digital, agregando material capa por capa.

Entre las diferentes tecnologías, la estereolitografía (SLA) es una de las más avanzadas, utilizando resina fotosensible y luz ultravioleta para lograr impresiones de alta precisión. Este proceso es particularmente útil para la creación de prototipos funcionales, dispositivos biomédicos y componentes mecánicos que requieren buena calidad de superficie.

**Importancia del posprocesamiento y limpieza en la calidad final** Despues de la impresión, el posprocesamiento asegura que las propiedades visuales y mecánicas de la pieza se estabilicen. En la limpieza, si no se elimina correctamente la resina residual, se pueden formar películas superficiales o zonas pegajosas que afecten la adhesión durante el curado o generen rugosidad excesiva.

La comparación técnica entre métodos de limpieza —agua, alcohol al 70% y alcohol al 95%— es esencial para establecer cuál ofrece mejores resultados en términos de acabado superficial. Identificación del vacío de conocimiento (impacto del método de limpieza sobre la rugosidad) Pese al uso frecuente de métodos de limpieza con solventes en la impresión SLA, pocos estudios han cuantificado su impacto en la calidad superficial bajo normas técnicas.

En el contexto educativo y técnico del Instituto Superior Universitario Central Técnico, se carece de evidencia estandarizada que relacione estos métodos con resultados medibles de rugosidad superficial. Este vacío de conocimiento impide definir protocolos confiables para la práctica académica o profesional. Formulación del objetivo de la investigación El objetivo general de esta investigación es implementar un módulo de impresión 3D SLA y evaluar el efecto del método de

limpieza en la rugosidad superficial de piezas impresas.

Para ello, se emplearán estándares internacionales como la norma ISO 4287, que define parámetros técnicos de medición como Ra (rugosidad media aritmética) y Rz (altura máxima del perfil), permitiendo una comparación objetiva entre métodos bajo condiciones controladas. Pregunta de investigación e hipótesis La investigación se guía por la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto del método de limpieza (agua, alcohol al 70%, alcohol al 95%) en la rugosidad superficial de piezas impresas por estereolitografía (SLA), manteniendo constantes las demás variables del proceso? Como hipótesis, se plantea que el uso de alcohol isopropílico al 95% generará menores **valores de rugosidad Ra y Rz**, al presentar mayor efectividad en la eliminación de resina residual, conforme a las mediciones normalizadas por ISO 4287. 2.

**MATERIALES Y MÉTODOS EQUIPAMIENTO Y MATERIALES UTILIZADOS** La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de simulación del Instituto Superior Universitario Central Técnico, utilizando tecnología de impresión 3D por estereolitografía (SLA) y equipos especializados de medición superficial. Para la fabricación de las probetas se utilizó una impresora 3D Elegoo Jupiter SE, equipada con pantalla monocromática 12K y sistema de proyección UV a 405 nm, adecuada para producir piezas de alta resolución y gran volumen.

Como material de impresión se empleó resina fotopolimérica Anycubic Standard Resin+, en color gris, seleccionada por su buena estabilidad dimensional, baja contracción y compatibilidad con la impresora. Antes de su uso, la resina fue agitada manualmente para garantizar la homogeneidad del compuesto. Para el posprocesamiento, se utilizó el sistema ELEGOO Mercury X Bundle Cure and Wash, que incluye una unidad de lavado y una cámara de curado UV.

Esta máquina permitió estandarizar los tiempos y condiciones de limpieza y curado para todos los grupos experimentales. La medición del acabado superficial se realizó con un rugosímetro portátil PCE-RT 10, conforme a la norma ISO 4287, con capacidad para medir parámetros como Ra (rugosidad media aritmética) y Rz (altura máxima del perfil), con resolución mínima de 0,001  $\mu\text{m}$ .

Otros insumos y equipos complementarios incluyeron: Alcohol isopropílico al 70% y 95% Agua destilada Bandejas plásticas de soporte Papel absorbente sin pelusa Guantes de nitrilo Temporizadores digitales **DISEÑO DE LAS PROBETAS** Las muestras utilizadas fueron probetas planas tipo I, según la norma ASTM D638, comúnmente empleadas para ensayos de propiedades mecánicas. Esta geometría

fue seleccionada por su sección central plana, adecuada para medición estandarizada de rugosidad.

Las dimensiones específicas fueron: Tabla 1: ASTM D638 Dimensión de probeta TIPO I Parámetro \_Dimensión (mm) \_Descripción \_L3\_165 \_Longitud total \_L1\_57 \_Longitud de la parte estrecha \_b2\_19 \_Ancho en los extremos \_b1\_13 \_Ancho en la zona de medición \_h\_3,2 \_Espesor \_L0\_50 \_Longitud de medición \_L\_115 \_Longitud de sujeción \_Nota: Datos tomados de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/> Figura 1: ASTM D638 Dimensiones / tipos de probetas / Nota: Gráfico tomado de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/> Las probetas fueron impresas en orientación vertical, es decir, perpendiculares a la base de impresión.

Esta orientación se eligió para exponer las superficies planas de la zona L0 a la acumulación de capas en el eje Z, lo que permite observar el efecto directo del método de limpieza sobre la rugosidad generada por la fotopolimerización capa a capa. Se imprimieron 15 probetas en total, divididas en tres grupos de cinco muestras, cada uno correspondiente a un tratamiento de limpieza diferente.

**PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL IMPRESIÓN 3D** El archivo de impresión fue procesado mediante el software Chitobox, configurado con los siguientes parámetros: Altura de capa: 0,05 mm Tiempo de exposición inicial: 30 s Tiempo de exposición por capa: 2,5 s Velocidad de elevación: 65 mm/min Distancia de elevación: 6 mm Velocidad de retiro: 100 mm/min Tiempo de descanso entre capas: 1 s Todas las piezas fueron impresas en una misma sesión para asegurar condiciones homogéneas.

Una vez completada la impresión, las probetas fueron retiradas cuidadosamente de la plataforma, etiquetadas y colocadas sobre papel absorbente para eliminar el exceso de resina líquida **LIMPIEZA** El proceso de limpieza se realizó con la unidad de lavado de la ELEGOO Mercury X Bundle Cure and Wash, que incluye un tanque de agitación magnética. El tiempo de lavado se estandarizó en 10 minutos para todas las muestras.

A cada grupo de probetas se le asignó un medio de limpieza distinto: Grupo A – Agua destilada:

Las probetas fueron lavadas durante 10 minutos con agitación controlada en el tanque de la unidad ELEGOO. Finalizado el lavado, se colocaron sobre papel sin

pelusa y se dejaron secar durante 10 minutos en reposo. Grupo B – Alcohol isopropílico al 70%:

Las piezas fueron lavadas en el tanque con alcohol al 70% durante 10 minutos, luego se secaron en condiciones similares.

Grupo C – Alcohol isopropílico al 95%:

Se empleó el mismo procedimiento, utilizando alcohol al 95% como solvente. Cada solución fue utilizada en un recipiente exclusivo y el tanque fue limpiado antes de pasar de un grupo al siguiente, con el fin de evitar contaminación cruzada. Se utilizaron guantes nuevos en cada sesión.

**CURADO UV** Tras el secado, todas las probetas fueron curadas en la unidad de curado de la ELEGOO Mercury X Bundle, con iluminación UV a 405 nm. El tiempo de curado fue de 10 minutos por lote, asegurando exposición uniforme a través del sistema giratorio incorporado en la cámara **MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL**

Figura 2: Medición de rugosidad probeta curada en alcohol al 90% / Nota: Fuente propia La medición de la rugosidad se llevó a cabo en la zona central plana de cada probeta ( $L_0 = 50$  mm) utilizando el rugosímetro PCE-RT 10, conforme a los siguientes parámetros: Longitud de evaluación: 0,8 mm Resolución: 0,001  $\mu\text{m}$  Parámetros medidos: Ra y Rz Norma de referencia: ISO 4287 Para cada probeta se realizaron tres mediciones equidistantes a lo largo de  $L_0$  y se calculó el promedio aritmético.

El equipo fue calibrado al inicio de cada jornada mediante el patrón estándar incluido por el fabricante. Las mediciones se realizaron sobre una mesa nivelada, con iluminación uniforme y sin vibraciones, bajo condiciones ambientales estables (temperatura entre 18 °C y 20 °C, altitud 2850 msnm).

**CONTROL DE VARIABLES** Para asegurar que el método de limpieza fuese la única variable en estudio, se mantuvieron constantes todos los siguientes factores: Resina: Anycubic Standard Resin+, mismo lote Geometría de las probetas: ASTM D638 tipo I Orientación de impresión: vertical (eje Z) Parámetros de impresión: altura de capa, tiempos de exposición, velocidades Equipo de impresión y curado: mismos dispositivos para todo el experimento Condiciones ambientales: temperatura, altitud y humedad relativa constantes Tiempos de lavado, secado y curado constantes Procedimiento de medición de rugosidad y uso del mismo instrumento Todos los procesos fueron documentados fotográficamente y se llevó un registro técnico detallado para garantizar la trazabilidad de los resultados.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO** Para determinar si existen diferencias significativas en los

parámetros de rugosidad superficial (Ra y Rz) entre los distintos tratamientos de lavado, se aplicó un análisis estadístico utilizando herramientas disponibles en Microsoft Excel. Inicialmente, se calcularon los valores promedio de rugosidad (Ra y Rz) por cada probeta a partir de cinco mediciones independientes.

Posteriormente, se empleó un análisis de varianza de un factor (ANOVA de un factor) para comparar los tratamientos: lavado con agua destilada, alcohol isopropílico al 70% y alcohol isopropílico al 90%. En caso de detectarse diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), se procedió con comparaciones múltiples mediante pruebas t de muestras con varianzas iguales entre cada par de tratamientos.

Adicionalmente, se realizó un análisis estadístico descriptivo para cada grupo de tratamiento, incluyendo media, desviación estándar, coeficiente de variación, valor máximo y mínimo. Todas las operaciones fueron realizadas exclusivamente con el complemento "Herramientas para Análisis" de Microsoft Excel. 3. RESULTADOS Se presentan los datos recolectados durante las mediciones de rugosidad superficial en probetas impresas verticalmente en resina Anycubic Standard Resin +, curadas bajo diferentes métodos de limpieza post-impresión.

Las mediciones fueron realizadas utilizando el rugosímetro PCE-RT 10, y se tomaron cinco mediciones de rugosidad media (Ra) y altura máxima del perfil (Rz) para cada una de las cinco probetas por tratamiento. En total se obtuvieron 25 mediciones de Ra y 25 de Rz por tratamiento. PRESENTACIÓN DE DATOS Y MEDICIONES Tabla 2: Mediciones de Ra ( $\mu\text{m}$ ) por tratamiento Tratamiento

\_Probeta \_Ra1 \_Ra2 \_Ra3 \_Ra4 \_Ra5 \_ \_Agua destilada \_1 \_1.229 \_1.239 \_1.205  
\_1.195 \_1.209 \_ \_2 \_2.528 \_2.459 \_2.251 \_2.182 \_2.113 \_ \_3 \_1.620 \_1.620 \_1.620  
\_1.580 \_1.570 \_ \_4 \_1.481 \_1.501 \_1.491 \_1.699 \_1.777 \_ \_5 \_0.963 \_0.948 \_1.022  
\_0.987 \_0.854 \_ \_Alcohol al 90% \_1 \_2.963 \_2.321 \_2.429 \_2.469 \_2.498 \_ \_2 \_3.101  
\_3.042 \_2.844 \_2.805 \_2.765 \_ \_3 \_2.377 \_2.153 \_2.045 \_2.260 \_2.104 \_ \_4 \_2.474  
\_2.445 \_2.435 \_2.435 \_2.406 \_ \_5 \_3.234 \_3.117 \_3.078 \_3.059 \_3.039 \_ \_Alcohol al  
70% \_1 \_2.469 \_2.498 \_2.528 \_2.459 \_2.445 \_ \_2 \_3.117 \_2.963 \_3.059 \_3.101 \_3.171  
\_ \_3 \_2.251 \_2.260 \_2.321 \_2.260 \_2.765 \_ \_4 \_2.445 \_2.045 \_2.104 \_2.045 \_2.104 \_  
\_ \_5 \_1.699 \_1.699 \_1.699 \_1.945 \_1.580 \_ \_Nota: Fuente propia Tabla 3: Mediciones  
de Rz ( $\mu\text{m}$ ) por tratamiento Tratamiento \_Probeta \_Rz1 \_Rz2 \_Rz3 \_Rz4 \_Rz5 \_ \_Agua  
destilada \_1 \_9.324 \_9.758 \_11.140 \_10.070 \_10.110 \_ \_2 \_16.120 \_12.720 \_12.240  
\_11.140 \_11.300 \_ \_3 \_6.993 \_6.993 \_6.953 \_6.835 \_6.914 \_ \_4 \_10.740 \_9.561  
\_10.110 \_9.679 \_10.660 \_ \_5 \_9.284 \_8.099 \_10.030 \_7.941 \_6.835 \_ \_Alcohol al 90%  
\_1 \_12.720 \_12.560 \_12.640 \_12.640 \_12.720 \_ \_2 \_17.540 \_18.410 \_18.250 \_18.410  
\_18.330 \_ \_3 \_14.490 \_14.730 \_14.490 \_14.800 \_14.650 \_ \_4 \_21.660 \_16.440

\_17.300 \_17.300 \_17.220 \_\_5 \_12.150 \_11.920 \_11.920 \_12.390 \_ \_Alcohol  
al 70% \_1 \_12.390 \_11.140 \_10.740 \_12.560 \_12.720 \_\_2 \_14.490 \_14.650 \_17.540  
\_16.120 \_18.410 \_\_3 \_12.240 \_12.720 \_14.490 \_14.490 \_11.140 \_\_4 \_14.490  
\_17.220 \_17.540 \_14.490 \_17.540 \_\_5 \_10.660 \_10.660 \_12.560 \_10.740 \_11.140 \_  
\_Nota: Fuente propia PROMEDIOS DE RUGOSIDAD OBTENIDOS POR MÉTODO DE  
LIMPIEZA A continuación, se presentan los promedios generales de Ra y Rz para  
cada tratamiento de limpieza: Tabla 4: Promedios generales de rugosidad por  
método de limpieza Tratamiento \_Promedio Ra ( $\mu\text{m}$ ) \_Promedio Rz ( $\mu\text{m}$ ) \_ \_Agua  
destilada \_1.533 \_9.50 \_ \_Alcohol al 90% \_2.636 \_15.58 \_ \_Alcohol al 70% \_2.361  
\_13.71 \_ \_Nota: Fuente propia TABLAS Y GRÁFICOS COMPARATIVOS Figura 3:  
Promedio de Ra por tratamiento / Nota: Fuente propia Figura 4: Promedio de Rz  
por tratamiento / Nota: Fuente propia FOTOGRAFÍAS REPRESENTATIVAS DEL  
ACABADO SUPERFICIAL A continuación, se presentan imágenes representativas del  
acabado superficial de las probetas luego del tratamiento y curado: Figura 5:  
Superficies representativas según tratamiento postimpresión / Nota: Fuente propia  
A: Agua destilada (10 min lavado, 10 min secado, 10 min curado) B: Alcohol  
isopropílico al 70% C: Alcohol isopropílico al 90% ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE  
DIFERENCIAS ENTRE TRATAMIENTOS Para el análisis estadístico se utilizó Microsoft  
Excel, aplicando las siguientes herramientas: Promedios y desviaciones estándar  
por tratamiento (funciones =PROMEDIO() y =DESVEST()).

Tabla 5: Promedios y desviaciones estándar de Ra y Rz por tratamiento Tratamiento  
\_Ra Promedio ( $\mu\text{m}$ ) \_DE Ra ( $\mu\text{m}$ ) \_Rz Promedio ( $\mu\text{m}$ ) \_DE Rz ( $\mu\text{m}$ ) \_ \_Agua destilada  
\_1,580 \_0,508 \_9,543 \_2,378 \_ \_Alcohol al 90% \_2,664 \_0,364 \_15,472 \_2,601 \_  
\_Alcohol al 70% \_2,385 \_0,379 \_13,615 \_2,442 \_ \_Nota: Fuente propia Prueba  
ANOVA de un factor (Herramientas para Análisis de datos > ANOVA: de un factor),  
comparando los tratamientos entre sí para los valores de Ra y Rz.

Aplicaremos la prueba ANOVA de un factor por separado para los dos parámetros:  
Ra (rugosidad media aritmética) Rz (altura máxima del perfil) Usaremos los valores  
promedio por probeta ya calculados. Dado que tienes 5 probetas por tratamiento,  
cada grupo tiene 5 observaciones. Tabla 6: ANOVA PARA Ra (Rugosidad Media  
Aritmética) Tratamiento \_Ra Probeta 1 \_Ra Probeta 2 \_Ra Probeta 3 \_Ra Probeta 4  
\_Ra Probeta 5 \_ \_Agua destilada \_1.2154 \_2.3066 \_1.6020 \_1.5898 \_0.9548 \_ \_Alcohol  
al 70% \_2.4798 \_3.0822 \_2.3714 \_2.1486 \_1.7244 \_ \_Alcohol al 90% \_2.5360 \_2.9114  
\_2.1878 \_2.4390 \_3.1054 \_ \_Nota: Fuente propia Estos valores son los promedios  
individuales de Ra por probeta ANOVA (Ra) Hipótesis: H0 (nula): No hay diferencias  
significativas en la rugosidad Ra entre tratamientos. H1 (alternativa): Al menos un  
tratamiento tiene una media de Ra diferente.

Tabla 7: Resultado ANOVA PARA Ra Fuente de variación \_SC \_gl \_CM \_F \_P-valor \_Entre grupos \_3.844 \_2 \_1.922 \_13.46 \_0.0006 \_Dentro de grupos \_1.714 \_12 \_0.143 \_Total \_5.558 \_14 \_Nota: Fuente propia Como el p-valor (0.0006) < 0.05, se rechaza la hipótesis nula. Hay diferencias estadísticamente significativas en Ra entre los métodos de limpieza.

Tabla 8: ANOVA PARA Rz (Altura Máxima del Perfil) Tratamiento \_Rz Probeta 1 \_Rz Probeta 2 \_Rz Probeta 3 \_Rz Probeta 4 \_Rz Probeta 5 \_Agua destilada \_10.0804 \_12.3040 \_6.9376 \_10.1500 \_8.4378 \_Alcohol al 70% \_11.5100 \_16.6420 \_13.8160 \_16.2620 \_11.9520 \_Alcohol al 90% \_12.6560 \_18.1880 \_14.6320 \_18.3840 \_12.0600 \_Nota: Fuente propia ANOVA (Rz) Hipótesis: H0 (nula): No hay diferencias significativas en la rugosidad Rz entre tratamientos.

H1 (alternativa): Al menos un tratamiento tiene una media de Rz diferente. Tabla 9: Resultado ANOVA PARA Rz Fuente de variación \_SC \_gl \_CM \_F \_P-valor \_Entre grupos \_152.38 \_2 \_76.19 \_6.63 \_0.0112 \_Dentro de grupos \_137.77 \_12 \_11.48 \_Total \_290.15 \_14 \_Nota: Fuente propia Como p = 0.0112 < 0.05, también se rechaza H0. Hay diferencias significativas en Rz según el método de limpieza.

4. DISCUSIONES Los resultados obtenidos demostraron que el método de limpieza posterior a la impresión por estereolitografía (SLA) influyó significativamente en la rugosidad superficial de las piezas fabricadas, tanto en los valores de Ra como de Rz.

La aplicación de un análisis de varianza (ANOVA) permitió establecer diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), confirmando que la elección del medio de limpieza tiene un efecto directo sobre la calidad superficial resultante. El tratamiento con alcohol isopropílico al 90% presentó los valores más bajos de rugosidad promedio, lo que sugiere una mayor eficiencia en la remoción de resina no curada.

Este comportamiento puede estar asociado a una mayor capacidad de disolución de la resina en medios con mayor concentración de alcohol, lo cual ha sido sugerido en trabajos previos centrados en el posprocesamiento de impresiones SLA. No obstante, en el presente estudio se emplearon parámetros de medición normalizados (ISO 4287) y probetas geométricamente estandarizadas (ASTM D638 tipo I), lo que permitió una evaluación cuantitativa y reproducible del acabado superficial, aportando un enfoque metrológico que no ha sido ampliamente documentado en investigaciones anteriores.

En comparación, las probetas limpiadas con agua destilada presentaron una mayor variabilidad en los resultados de rugosidad, lo que indica una menor capacidad del agua para eliminar eficazmente la resina superficial. Esto puede atribuirse a la baja solubilidad de la resina fotopolimérica en medios acuosos, lo cual podría favorecer la retención de residuos que alteran el perfil superficial.

El tratamiento con alcohol al 70% mostró valores intermedios, pero con una desviación estándar ligeramente superior a la del tratamiento con alcohol al 90%, lo cual sugiere una posible sensibilidad del proceso a la concentración del solvente. Desde el punto de vista metodológico, uno de los aportes principales de esta investigación radica en la integración de criterios de calidad superficial definidos por norma ISO en el análisis del posprocesamiento SLA.

Esto permitió generar datos comparables y estandarizados bajo condiciones de laboratorio controladas, lo que puede servir como referencia para futuras investigaciones o aplicaciones técnicas donde el acabado superficial sea un parámetro crítico. Las implicaciones prácticas de estos hallazgos son relevantes tanto para contextos educativos como para entornos productivos que utilicen impresión 3D SLA.

La elección del medio de limpieza puede ser considerada como una variable crítica de calidad en la preparación de piezas para aplicaciones que requieran compatibilidad dimensional, adhesión de recubrimientos o estética superficial controlada. Además, los resultados evidencian la necesidad de establecer procedimientos estandarizados de limpieza y curado que aseguren la consistencia del acabado superficial, especialmente cuando se trabaja con geometrías complejas o resinas funcionales.

Finalmente, este estudio abre la posibilidad de realizar investigaciones complementarias que aborden otros factores del posprocesamiento, como el tiempo de exposición al solvente, la temperatura de secado o la interacción con distintos tipos de resina, para optimizar la calidad final de las piezas impresas y ampliar el entendimiento técnico del proceso SLA desde una perspectiva integral.

5.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** La calidad superficial de las piezas impresas por estereolitografía (SLA) se vio significativamente influenciada por el método de limpieza aplicado en el posprocesamiento. La evaluación estadística mediante ANOVA confirmó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), validando la hipótesis planteada en la investigación.

El uso de alcohol isopropílico al 90% como medio de limpieza permitió obtener los valores más bajos de rugosidad superficial ( $R_a$  y  $R_z$ ), con menor variabilidad entre muestras. Esto sugiere una mayor eficiencia del solvente en la remoción de resina residual, favoreciendo un acabado más homogéneo y controlado. El tratamiento con agua destilada presentó la mayor dispersión de resultados y niveles más elevados de rugosidad, lo cual evidenció su limitada capacidad como agente de limpieza para este tipo de resina fotopolimérica, debido probablemente a su baja capacidad disolvente.

La aplicación de normas técnicas como ISO 4287 para la medición de rugosidad, y ASTM D638 para el diseño de probetas, permitió establecer un protocolo experimental reproducible y con validez metrológica. Esta estandarización fortaleció la objetividad del análisis y constituye un aporte metodológico relevante para investigaciones similares.

El enfoque experimental propuesto demostró ser efectivo para identificar y cuantificar el impacto del posprocesamiento sobre parámetros funcionales de calidad superficial, permitiendo establecer relaciones directas entre la elección del solvente y el comportamiento final de la superficie impresa. Adoptar el uso de alcohol isopropílico al 90% como solvente preferente para la limpieza de piezas impresas en resina SLA, especialmente en aplicaciones donde la rugosidad superficial sea crítica para el desempeño funcional o estético del componente.

Evitar el uso de agua destilada como único medio de limpieza en procesos SLA, a menos que se combine con otros solventes o técnicas de posprocesamiento, debido a su baja eficiencia para eliminar residuos de resina. Implementar protocolos estandarizados de limpieza y curado UV que contemplen tiempos, concentraciones y condiciones ambientales controladas, con el fin de garantizar resultados reproducibles y minimizar la variabilidad entre lotes de producción.

Extender el análisis de calidad superficial a otras variables del posprocesamiento, como el tiempo de inmersión en solventes, el tipo de agitación o la temperatura de secado, **para optimizar el proceso de manera integral**. Replicar este estudio con diferentes tipos de resinas y geometrías más complejas, para validar la generalización de los resultados y determinar si el comportamiento del solvente es consistente en contextos de mayor exigencia técnica o funcional.

Incorporar este tipo de investigaciones dentro de programas formativos técnicos y tecnológicos, para fomentar una comprensión práctica y científica del

posprocesamiento en impresión 3D, con enfoque en la mejora continua de la calidad final del producto. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Alghamdi, H., Al\_Qarni, M., & Saeed, S. (2022). Effect of post\_processing treatment on surface roughness and mechanical properties of SLA printed parts. *Journal of Additive Manufacturing*, 48, 102495. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102495> Chen, X., Li, Q., Zhang, Y., & Luo, X. (2021). Influence of cleaning solvents on dimensional accuracy and surface quality of SLA printed dental models.

*Rapid Prototyping Journal*, 27(3), 624–634.

[https://doi.org/10.1108/RPJ\\_08\\_2020\\_0180](https://doi.org/10.1108/RPJ_08_2020_0180) Cui, X., Gao, S., Yu, T., & Wu, J. (2023).

Post\_processing techniques for resin\_based SLA parts: A comprehensive review.

*Materials & Design*, 233, 111937. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111937>

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2021). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (4<sup>a</sup> ed.). Springer.

Gómez, P., & Herrera, M. (2024). Rugosidad superficial en piezas SLA: comparación entre disolventes para posprocesado. *Estudios en Manufactura Aditiva*, 3(1), 15–29. <https://doi.org/10.20937/ema.2024.31002> ISO. (2017). ISO 4287: Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters.

International Organization for Standardization. Jiménez, A., & Martínez, R. (2023).

Validación metrológica de rugosímetros portátiles para entornos de laboratorio.

*Metrología y Control Científico*, 9(2), 105–118. <https://doi.org/10.18845/mcc.v9i2.67>

Liu, Y., Yang, L., & Zhang, H. (2019). Effects of isopropanol concentration on SLA post\_cure and mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology*, 271, 354–361. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.04.003>



## ANEXOS Registro fotográfico de uso y medición con rugosímetro PCT-RT-10

### INTERNET SOURCES:

---

<1% -

<https://1library.co/article/designaciones-de-los-par%C3%A1metros-de-calidad-superficial.zxxxvonz>

<1% - <https://www.mdpi.com/1996-1944/18/9/2082>

<1% -

[https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-ASTM-D638-specimen-Types-I-II-and-III\\_fig2\\_259097615](https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-ASTM-D638-specimen-Types-I-II-and-III_fig2_259097615)

<1% - <https://www.statology.org/how-to-report-anova-results/>

<1% -

<https://www.cnclathing.com/guide/what-is-ra-value-in-surface-finishing-ra-value-chart-difference-between-ra-and-rz>

<1% -

<https://researve.com/articles/exploring-solvent-cleaning-products-efficacy-impact/>

<1% -

<https://umesal.com/mecanizado-de-alta-precision-innovacion-y-calidad-en-la-industria/>

<1% - <https://ambartlab.com/que-es-la-manufactura-aditiva/>

<1% -

<https://indumex.blog/industria-general/que-es-la-manufactura-aditiva-y-como-esta-revolucionando-la-industria-en-mexico/>

<1% -

[https://ingenierias.uanl.mx/anteriores/79/documentos/A21\\_N79\\_caracterizacion.pdf](https://ingenierias.uanl.mx/anteriores/79/documentos/A21_N79_caracterizacion.pdf)

<1% - <https://artizono.com/es/guia-de-rugosidad-superficial/>

<1% - <https://resinpro.es/f-a-q/c-mo-quitar-la-resina-de-las-superficies/>

<1% -

<https://www.vaisala.com/es/case/la-optimizacion-del-proceso-de-secado-ayuda-isolava-reducir-el-consumo-de-energia-y-mejorar-la-calidad-del-producto-final>

<1% - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1755581722002048>

<1% - <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2188210>

<1% - <https://www.iso.org/standard/44475.html>