



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero
Automotriz**

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Cristhian Jordán Vinueza Alvarez

Tutor: Wernher Téllez Gómez

**Impresión 3D en Resina para la Fabricación de una Pieza
Automotriz**

Certificado de Autoría

Yo, Cristhian Jordán Vinueza Alvarez, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Cristhian Jordán Vinueza Alvarez

C.I.: 0930776364

Aprobación del Tutor

Yo, Wernher Téllez Gómez certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Wernher Téllez Gómez, M.Sc.

C.I.: 1708593734

Director de Proyecto

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, por su apoyo incondicional y por enseñarme el valor
del esfuerzo y la constancia.

A mis profesores, por compartir su conocimiento y guiarnos con sabiduría en este
camino.

A mis amigos, por su compañerismo y por estar siempre a mi lado, incluso en los
momentos más difíciles.

Y, finalmente, a todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a la
realización de este proyecto.

Cristhian Vinuesa

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos que han hecho posible la ejecución de este proyecto. Agradezco a Dios por darme la salud y la fortaleza necesarias para llevar a cabo este trabajo.

A mis padres, por su constante apoyo, paciencia y por ser la fuente inagotable de inspiración y motivación en mi vida.

A mi tutor, el Ing. Wernher Téllez Gómez, por su guía y valiosos consejos a lo largo de este proceso.

A mis compañeros, por su amistad y por los momentos vividos que enriquecieron esta experiencia académica.

Cristhian Vinuesa

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract	xv
Capítulo I	1
Antecedentes	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2 Formulación del Problema	4
1.2.3 Sistematización del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación	5
1.4.1 Justificación Teórica.....	6
1.4.2 Justificación Metodológica.....	7
1.4.3 Justificación Práctica	7
1.4.4 Delimitación Temporal	7

1.4.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	7
1.4.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	8
	Capítulo II	10
	Marco Referencial.....	10
2.1	Marco Teórico.....	10
2.1.1	<i>Conceptos Preliminares</i>	10
2.1.2	<i>Impresión 3D en la Industria Automotriz</i>	12
2.1.3	<i>Impresión 3D por SLA</i>	13
2.1.4	<i>Resina para Impresión 3D</i>	14
2.1.5	<i>Beneficios de Imprimir Piezas de Automóviles</i>	15
2.2	Marco Conceptual.....	16
2.2.2	<i>Estereolitografía</i>	16
2.2.3	<i>Fundamentos de la Impresión 3D en Automoción</i>	18
2.2.3	<i>Materiales SLA</i>	19
2.2.4	<i>Ventajas de la Impresión con Resina</i>	20
2.2.5	<i>Desventajas de la Impresión con Resina</i>	21
2.2.6	<i>Diseños y Prototipos</i>	22
2.2.7	<i>Materiales a Base de Resina</i>	23
2.2.7	<i>Estereolitografía: Características Técnicas</i>	23
2.2.8	<i>Procesamiento Digital de Luz (DLP)</i>	25
2.2.8	<i>Pantalla de Cristal Líquido (LCD) / mSLA</i>	26
2.2.9	<i>Manipulación de Resinas</i>	27
	Capítulo III.....	28
	Procesos de Impresión 3D en Resina.....	28
3.1	<i>Estereolitografía (SLA)</i>	29

3.1.1	<i>Características del Proceso SLA</i>	29
3.2	Digital Light Processing (DLP)	29
3.2.1	<i>Características del Proceso DLP</i>	29
3.3	Masked Stereolithography (MSLA)	29
3.3.1	<i>Características del Proceso MSLA</i>	30
3.4	PolyJet.....	30
3.4.1	<i>Características del Proceso PolyJet</i>	30
3.5	Continuous Liquid Interface Production (CLIP)	30
3.5.1	<i>Características del Proceso CLIP</i>	30
3.6	Aplicaciones en la Industria Automotriz	30
3.7	Impresora Halot One	31
2.2.9	<i>Impresora 3D SLA</i>	32
3.8	Componentes de la Impresora 3D Halot One	32
	Capítulo IV.....	35
	Proceso de Impresión 3D por Estereolitografía	35
4.1	Descripción	35
4.2	Preparación del Modelo 3D	35
4.3	Preparación en el Software de Corte (Slicing).....	36
4.4	Preparación de la Impresora SLA	37
4.5	Reemplazo de Película de Liberación (FEP)	40
4.5	Impresión	41
4.6	Posprocesamiento	44
4.7	Retiro de Soportes y Acabado Final	44
4.7	Inspección de la Pieza Final.....	45
	Conclusiones	47

Recomendaciones	48
Bibliografía	49

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Fabricación de Piezas</i>	3
Figura 2 <i>Mercado de Impresión 3D en Automoción</i>	4
Figura 3 <i>Historia de la Impresión 3D y Desarrollo de Polímeros para la Impresión 3D</i>	11
Figura 4 <i>Impresión de Piezas de Automóviles</i>	13
Figura 5 <i>Impresión 3D Transparente</i>	14
Figura 6 <i>Proceso de Impresión 3D SLA</i>	17
Figura 7 <i>Geometrías y Estructuras Complejas</i>	19
Figura 8 <i>Proceso de Carga y Descarga</i>	22
Figura 9 <i>Materiales Funcionales para Impresión 3D DLP-SLA</i>	23
Figura 10 <i>Representación Esquemática del Funcionamiento de los Procesos de Impresión DLP y SLA</i>	25
Figura 11 <i>Representación Esquemática del Funcionamiento de los Procesos de Impresión mSLA</i>	26
Figura 12 <i>Tipos de Impresión 3D con Resina</i>	28
Figura 13 <i>Impresora 3D Halo One</i>	32
Figura 14 <i>Componentes de la Impresora 3D HALOT ONE</i>	33
Figura 15 <i>Preparación del Modelo 3D</i>	35
Figura 16 <i>Modelo 3D</i>	36
Figura 17 <i>STL a G-Code para Impresión 3D</i>	37
Figura 18 <i>Preparación de la Impresora SLA</i>	37
Figura 19 <i>Preparación de la Impresora SLA</i>	38
Figura 20 <i>Preparación de la Impresora SLA - Configuración de Impresión</i>	38
Figura 21 <i>Carga de Resina</i>	39
Figura 22 <i>Resina para Impresoras 3D</i>	40

Figura 23 <i>Reemplazo de la Película Desprendible</i>	41
Figura 24 <i>Proceso de Impresión</i>	41
Figura 25 <i>Proceso de Impresión - Información del Interfaz</i>	42
Figura 26 <i>Inicio del Proceso de Impresión</i>	42
Figura 27 <i>Impresión - Elevado de la Plataforma</i>	43
Figura 28 <i>Posprocesamiento</i>	44
Figura 29 <i>Elementos de Limpieza</i>	45
Figura 30 <i>Inspección de la Pieza Final</i>	45

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Características Técnicas de la Estereolitografía</i>	24
Tabla 2 <i>Especificaciones de Creality HALOT-ONE</i>	31

Resumen

El proyecto de titulación trata acerca de la impresión 3D de una pieza automotriz usando una impresora Halot One para conocer el uso de la tecnología de impresión 3D. Se realiza el reconocimiento de los procesos de impresión 3D en resina en comparación con los métodos de fabricación convencionales, para la creación de diseños más complejos y personalizados de piezas automotrices con precisión y calidad. Se describe las partes de una impresora 3D en resina, enfocándose en su funcionamiento y mantenimiento. Este análisis permite asegurar la correcta operación del equipo y la calidad de las piezas producidas. Se detalla el proceso de impresión 3D por estereolitografía (SLA), siguiendo los procedimientos técnicos establecidos, garantizando resultados óptimos en la fabricación de piezas automotrices. Con esto se busca demostrar la viabilidad de esta tecnología destacando sus beneficios en términos de precisión y personalización, como alternativa para la industria automotriz.

Palabras Clave: Impresión 3D, resina, pieza automotriz, fabricación.

Abstract

The degree project is about 3D printing in resin for the manufacture of an automotive part using a Halot One printer that aims to explore the use of 3D printing technology in the automotive field. It focuses on three key areas: firstly, the recognition of resin 3D printing processes, which allow the creation of more complex and personalized designs compared to conventional manufacturing methods. These processes are especially useful for manufacturing automotive parts that require precision and fine details. Secondly, the project describes the main parts of a resin 3D printer, such as the Halot One, detailing its operation and the key aspects of its maintenance. This analysis is essential to ensure the correct operation of the equipment, and the quality of the parts produced. Finally, the work specifies the 3D printing process by stereolithography (SLA), following established technical procedures, which guarantee optimal results in the manufacturing of automotive parts. The project seeks to demonstrate the viability of this technology as an effective solution for the automotive industry, highlighting its benefits in terms of precision and customization.

Keywords: 3D printing, resin, automotive part, manufacturing.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Impresión 3D en resina para la fabricación de una pieza automotriz.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

La impresión 3D en resina ha surgido como una tecnología promisorio en la elaboración de piezas automotrices, brindando algunas ventajas como la personalización, la eficiencia en la producción y la creación de geometrías complejas. Este proceso no está libre de desafíos y restricciones que demandan una atención cuidadosa para asegurar la calidad y la funcionalidad de las piezas resultantes. Se muestra un análisis del problema asociado con la impresión 3D en resina para la fabricación de piezas automotrices.

1.2.1 Planteamiento del Problema

Actualmente las tecnologías de impresión 3D están experimentando un crecimiento económico y utilizando en todas las industrias, y debido a la complejidad de algunas piezas es necesario buscar un proceso de fabricación aditiva alternativo que modelen y combinen para formar formas 3D. Los factores que promueven el crecimiento de este mercado son la investigación y el desarrollo y la creciente demanda de aplicaciones de creación de prototipos de industrias como la sanitaria, la automoción, la defensa y la aeroespacial (Grandviewresearch, 2023).

No cabe duda de que la fabricación aditiva se ha convertido en una capacidad importante para las empresas automotrices. Un documento técnico de 2016 (1) aborda "Cinco formas en que la impresión 3D está transformando la industria automotriz". En el orden indicado en el documento, los elementos son diseño optimizado flexible, herramientas rápidas, personalización rápida, ayudas de producción y pruebas en el mundo real.

La creación de prototipos es un área de aplicación bien establecida para la impresión 3D. La extensa gama de materiales y la complejidad de diseño prácticamente ilimitada que admite la tecnología ahorran a los fabricantes tiempo y dinero. Los prototipos se fabrican para que puedan perfeccionarse aún más antes de comprometerse con herramientas duras para la producción en volumen. El tiempo relativamente corto y el bajo costo asociados con la iteración de un diseño impreso son revolucionarios en comparación con los métodos anteriores.

Por lo cual, el uso de herramientas rápidas y el uso del diseño digital, permite tener unas alternativas. El término también se relaciona con la capacidad de crear ágilmente prototipos de herramientas y generación de moldes que se usan para realizar una cantidad inicial de piezas. Este enfoque permite que la pieza prototipo se fabrique de la misma manera y con el mismo material elegido para las piezas de producción.

El diseño del molde se puede iterar según sea necesario antes de comprometerse con las herramientas de acero.

Años atrás, la mención de piezas personalizadas podría haberle hecho recordar el uso que hizo Jay Leno de la impresión 3D para fabricar piezas que ya no estaban disponibles para su gran colección de automóviles. Actualmente, se ha convertido en el método de fabricación preferido para automóviles de alta gama y bajo volumen, como el Koenigsegg Automotive Regera. Como se describe en otro informe técnico, "Cada Koenigsegg tiene al menos 300 componentes de fibra de carbono. Cuando se fabrica el mejor coche del mundo, simplemente hay que fabricar modelos de plástico, probarlos y fabricar las piezas finales basándose en los resultados. La subcontratación resultó compleja y retrasó todo el calendario de producción".

Un documento técnico de 2016 aborda "Cinco formas en que la impresión 3D está transformando la industria automotriz". En el orden indicado en el documento, los elementos son diseño optimizado flexible, herramientas rápidas, personalización rápida, ayudas de producción y pruebas en el mundo real (Figura 1).

Figura 1*Fabricación de Piezas*

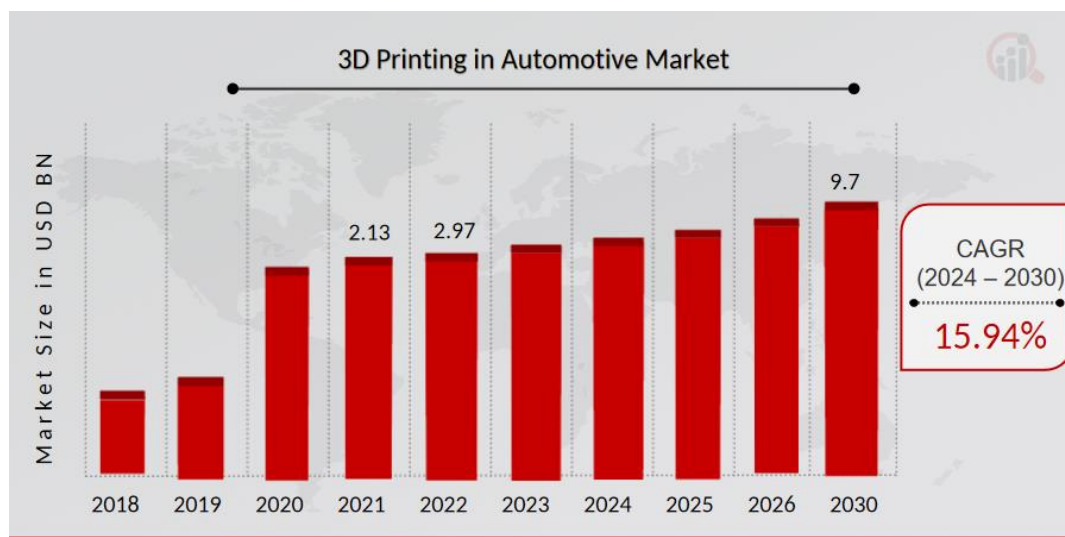
Tomadode:<https://www.electronicdesign.com/technologies/test-easurement/article/21207011/3d-printing-drives-automotive-innovation>

La creación de prototipos es un área de aplicación bien establecida para la impresión 3D. La amplia gama de materiales y la complejidad de diseño prácticamente ilimitada que admite la tecnología ahorran a los fabricantes tiempo y dinero. Por supuesto, los prototipos se fabrican para que puedan perfeccionarse aún más antes de comprometerse con herramientas duras para la producción en volumen. El tiempo relativamente corto y el bajo costo asociados con la iteración de un diseño impreso son revolucionarios en comparación con los métodos anteriores.

Se prevé que la industria del mercado de la impresión 3D automotriz crezca de 2.970 millones de dólares en 2022 a 9.700 millones de dólares en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 15,94 % durante el período de pronóstico (2024-2030). El tamaño del mercado de la impresión 3D automotriz se valoró en 2.130 millones de dólares en 2021. El aumento de las actividades de investigación y desarrollo y las innovaciones están fortaleciendo la industria automotriz en todo el mundo. Con una enorme inversión de capital en tecnología automotriz, varios fabricantes se están centrando en vehículos ligeros para reducir el consumo de combustible y las emisiones. Entre todas las actividades de I+D, la impresión 3D en la industria automotriz ha surgido a un ritmo rápido y está ganando atención en la industria automotriz (Figura 2).

Figura 2

Mercado de Impresión 3D en Automoción



Tomado de: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/3d-printing-automotive-market-4207>

1.2.2 Formulación del Problema

¿La técnica de impresión 3D en resina para la fabricación de una pieza automotriz permitirá conocer detalladamente el proceso de impresión 3D?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son las novedades que las tecnologías de fabricación de piezas automotrices usando impresora de resina están impactando en la industria?
- ¿Cuáles son las principales partes que componen una impresora 3D en resina que permitirán identificar su funcionamiento y mantenimiento?
- ¿Qué parámetros y procedimientos se deberá cumplir para el proceso de la técnica de impresión 3D en resina en la industria automotriz mediante el uso de una impresora del tipo 3D por estereolitografía (SLA)?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Detallar la técnica de impresión 3D en resina para la fabricación de una pieza automotriz utilizando una impresora Halot One.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Reconocer los procesos de impresión 3D en resina que permiten diseños más complejos y personalizados para piezas automotrices.
- Describir las principales partes que componen una impresora 3D en resina identificando su funcionamiento y mantenimiento.
- Especificar el proceso de impresión 3D por estereolitografía (SLA) siguiendo los procedimientos técnicos establecidos.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

Después de establecer los objetivos de la investigación, el siguiente paso implica abordar la razón por la cual se formularon estas preguntas específicas. Esta respuesta puede abordarse desde tres perspectivas fundamentales: teórica, metodológica y práctica

1.4.1 Justificación Teórica

La justificación teórica del tema "Impresión 3D en Resina para la Fabricación de una Pieza Automotriz" radica en la aplicación de principios fundamentales que resaltan la relevancia y pertinencia de esta investigación en el ámbito académico y científico. A continuación, se exponen algunos puntos clave:

- **Avances Tecnológicos y Transformación Industrial:** La impresión 3D en resina representa un avance tecnológico significativo con el potencial de transformar la industria automotriz. Desde una perspectiva teórica, la investigación explora y contextualiza los fundamentos de esta tecnología, analizando cómo puede influir en la manera en que se diseñan y fabrican las piezas automotrices.
- **Teoría de Materiales y Propiedades Mecánicas:** El estudio se apoya en la teoría de materiales para comprender las propiedades específicas de las resinas utilizadas en la impresión 3D. Se explorarán aspectos teóricos relacionados con la resistencia, durabilidad y comportamiento mecánico de estas resinas, proporcionando una base sólida para evaluar su idoneidad en la fabricación de piezas automotrices.
- **Diseño y Prototipado:** Desde una perspectiva teórica, se abordan los principios fundamentales del diseño y prototipado en el contexto de la impresión 3D en resina para vehículos. Esto incluye la exploración de teorías relacionadas con la optimización del diseño para la fabricación aditiva y la capacidad de la tecnología para materializar conceptos teóricos en productos tangibles.
- **Sostenibilidad y Eficiencia en la Producción:** La investigación teórica se centrará en los conceptos relacionados con la sostenibilidad y la eficiencia en la producción. Se analizará cómo la impresión 3D en resina puede teóricamente contribuir a la reducción de desperdicios y al uso eficiente de recursos, alineándose con teorías contemporáneas sobre prácticas sostenibles en la fabricación.

1.4.2 Justificación Metodológica

Para la justificación metodológica se emplea un enfoque experimental, que incluye la impresión de un prototipo de engranaje automotriz mediante estereolitografía (SLA) utilizando una impresora 3D de resina, como la Halot One. Se realizan pruebas de funcionalidad, durabilidad y compatibilidad de la pieza con las especificaciones del sector automotriz. La metodología debe incluir la evaluación de tolerancias dimensionales y el acabado superficial de las piezas impresas en resina. Este análisis se centra en determinar la precisión y la calidad estética de las piezas, aspectos críticos en la fabricación automotriz.

1.4.3 Justificación Práctica

El uso de impresión 3D en resina para la fabricación de un engranaje automotriz representa una solución innovadora y eficiente dentro del sector de manufactura y mantenimiento automotriz. Esta tecnología permite la creación de piezas altamente detalladas, con precisión milimétrica y propiedades mecánicas adecuadas para pruebas funcionales y prototipado rápido. La capacidad de personalización inherente a la impresión 3D en resina ofrece la posibilidad de fabricar piezas automotrices adaptadas a requisitos específicos de diseño o funciones particulares.

1.4.4 Delimitación Temporal

El proyecto se realiza durante un período de 6 meses, comenzando en marzo de 2024 y finalizando en octubre de 2024.

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador-Sede Guayaquil para la fabricación de una pieza automotriz usando una impresora del tipo SLA.

1.4.6 Delimitación del Contenido

La delimitación del contenido para el tema "Impresión 3D en Resina para la Fabricación de una Pieza Automotriz" se realiza considerando aspectos específicos que se abordarán en la investigación. A continuación, se presenta una delimitación detallada:

- **Tipo de Pieza Automotriz:** Se enfoca en un tipo específico de pieza automotriz, como, por ejemplo, un componente estructural, funcional o estético. Esta limitación permitirá una exploración más detallada y específica de los desafíos y beneficios asociados con la impresión 3D en resina para esa categoría particular de pieza.
- **Materiales de Resina:** Se analizan detalladamente los tipos de resina utilizados en la impresión 3D para la fabricación de piezas automotrices. Esto incluye la consideración de propiedades físicas, mecánicas y químicas de las resinas, así como su idoneidad para aplicaciones específicas en el sector automotriz.
- **Tecnologías de Impresión 3D:** La investigación se centra en tecnologías específicas de impresión 3D en resina, como la estereolitografía (SLA). Esto permite un análisis más profundo de las características y limitaciones particulares de cada tecnología en el contexto de la fabricación de piezas automotrices.
- **Consideraciones de Rendimiento:** Se abordan en detalle aspectos críticos del rendimiento de las piezas impresas en resina, como resistencia, durabilidad, tolerancias y acabado superficial. La investigación se enfoca en evaluar cómo estos factores impactan la funcionalidad y seguridad de las piezas en entornos automotrices.
- **Aplicaciones Prácticas:** La delimitación incluye un análisis específico de las aplicaciones prácticas de la impresión 3D en resina para la fabricación de piezas automotrices. Esto puede involucrar casos de estudio, ejemplos concretos de

implementación y evaluación de la viabilidad en entornos reales de la industria automotriz.

Al delimitar el contenido de esta manera, se busca concentrar la investigación en aspectos específicos y relevantes para proporcionar un análisis detallado y exhaustivo de la aplicación de la impresión 3D en resina en la fabricación de piezas automotrices.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

El campo de la impresión 3D (fabricación aditiva), se ha transformado en una herramienta significativa para la creación rápida de prototipos y aplicaciones de fabricación a escala en la industria automotriz, sectores aeroespaciales y de salud pública. El mercado de la impresión 3D ha tenido un crecimiento anual mayor al 10% en los últimos años y se tiene la expectativa que esta tendencia continúe (Lipodio, 2020).

La impresión 3D es una herramienta fundamental para la creación rápida de prototipos en una diversidad de sectores como el de la automoción y la salud pública. El mercado de la impresión 3D está en auge y se prevé que seguirá prosperando en los próximos años.

Este rápido crecimiento ha traído consigo un aumento impresionante en la cantidad de residuos plásticos impresos en 3D.

El tipo de impresión de proyección de luz (DLP), por lo general produce termoestables a base de petróleo que son causantes de problemas asociados a la contaminación plástica. Para aminorar este desperdicio de plástico impreso en 3D, sostenible En la actualidad, es preciso desplegar alternativas a los materiales de impresión 3D.

2.1.1 *Conceptos Preliminares*

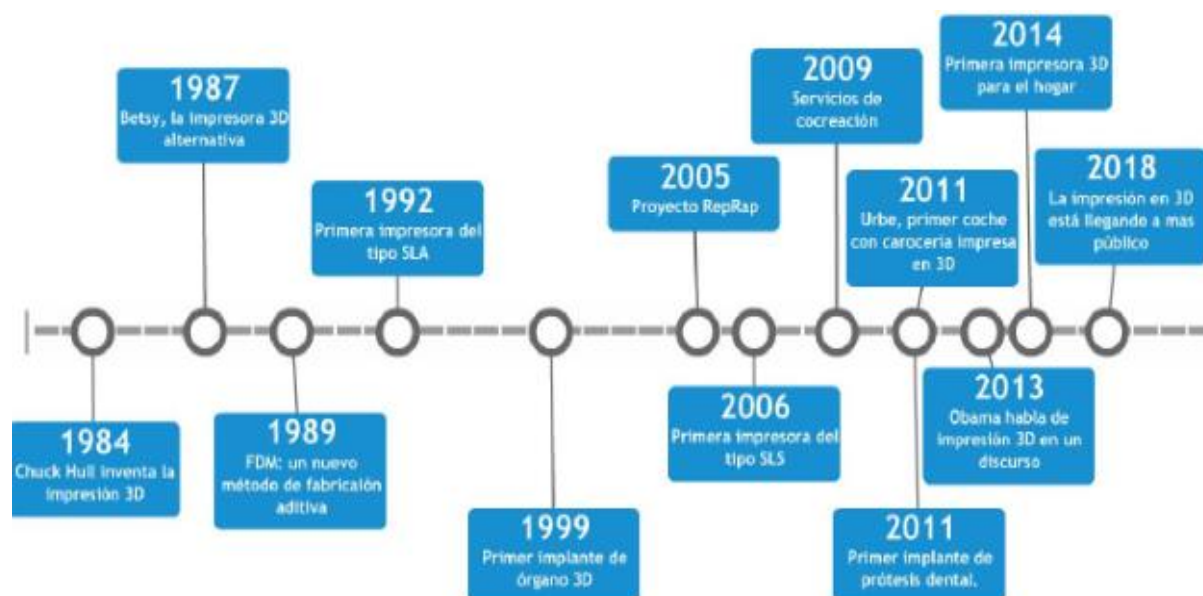
La impresión 3D de resina se fundamenta en un principio totalmente distinto al empleado en la mayoría de las tecnologías de impresión 3D como la FFF o la SLS. Mientras que en éstas se parte de un polímero termoplástico que se calienta hasta la temperatura de fusión para conformar la pieza, la impresión de resinas se basa en polimerizar una mezcla reactiva de monómeros y oligómeros mediante la aplicación selectiva de luz. Esto implica que, en lugar de usar plástico como materia prima, en impresión de resina se usan los componentes básicos que

constituyen el plástico y éste se forma mediante reacción química durante el proceso de impresión.

Con el rápido desarrollo de materiales de impresión 3D de alto rendimiento (por ejemplo, polímeros inteligentes y plásticos de ingeniería avanzados), AM se ha convertido en un proceso fundamental y ha llevado a la nueva revolución industrial en varios campos (Figura 3).

Figura 3

Historia de la Impresión 3D y Desarrollo de Polímeros para la Impresión 3D



Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590238521005178>

Las resinas para impresión 3D están formadas principalmente por tres componentes:

- **Monómeros y oligómeros:** Se trata de pequeñas moléculas que al reaccionar entre sí se unen formando largas cadenas poliméricas, las cuales son el componente fundamental del plástico. La longitud de estas cadenas determinará en gran medida sus propiedades.
- **Agente entrecruzante:** Consiste en moléculas de mayor o menor tamaño con dos o más grupos reactivos capaces de unirse en diversos puntos a las cadenas poliméricas. Su función es mantener las cadenas unidas firmemente entre sí. En general los

plásticos formados en presencia de agentes entrecruzantes dan lugar a lo que se conoce como plásticos o resinas termoestables.

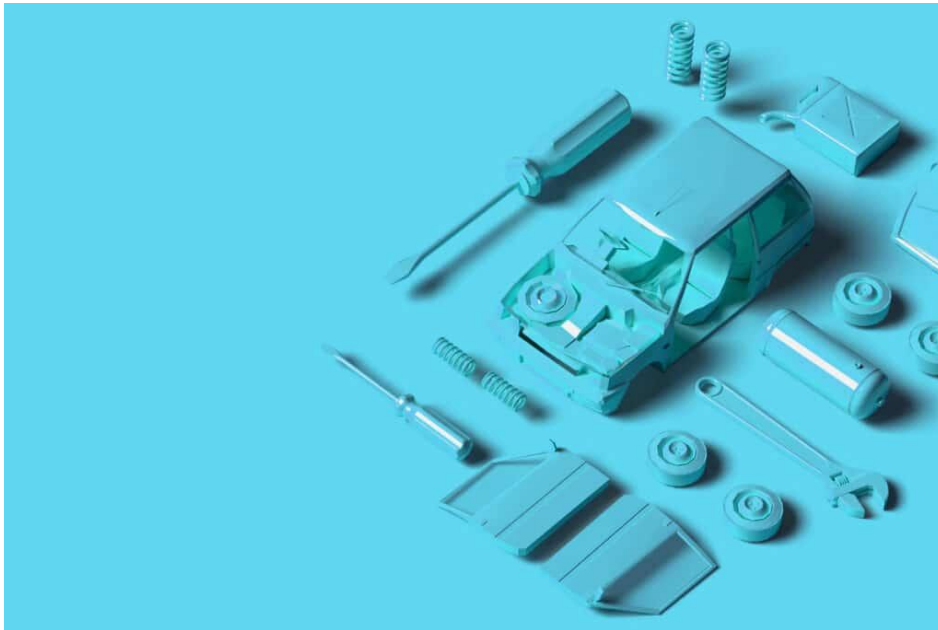
- **Fotoiniciador:** Es el responsable de promover la reacción entre los monómeros o de éstos con el agente entrecruzante. Se trata de moléculas orgánicas, generalmente tintes o fluoróforos, capaces de producir cationes o radicales libres en presencia de luz a una longitud de onda determinada, iniciando de esta forma las reacciones de polimerización radicalaria o catiónica).

2.1.2 Impresión 3D en la Industria Automotriz

La tecnología de impresión 3D ha dado lugar a logros espectaculares en la industria automovilística, desde la posibilidad de crear prototipos rápidamente, pasando por una producción cada vez más generalizada de piezas finales de automóviles, hasta la fabricación 3D de casi todos los coches.

Los tiempos en los que el uso principal de la tecnología de impresión 3D en la industria automotriz era la creación rápida de prototipos han quedado atrás. El informe de la empresa de investigación SmartTech Publishing sobre el sector del automóvil muestra que la impresión 3D se utiliza cada vez más en la fabricación de piezas finales de automóviles. Los analistas esperan que para 2029 el mercado de la impresión 3D en ese estrecho sector genere hasta 9 mil millones de dólares de ingresos. El líder en el uso de la tecnología de aditivos para la fabricación de piezas finales de automóviles es, como informa SmartTech, Volkswagen, y la segunda posición la ocupan BMW y Ford.

La industria automotriz ya está cambiando de carril para incorporar la fabricación aditiva a sus procesos, desde neumáticos impresos sin aire hasta chasis de fibra de carbono de autos de carrera que baten récords (Figura 4).

Figura 4*Impresión de Piezas de Automóviles*

Tomado de: <https://prototaluk.com/blog/how-to-print-a-car/>

2.1.3 Impresión 3D por SLA

El proceso de impresión 3D por SLA apareció por primera vez a principios de la década de los 70, cuando el investigador Hideo Kodama inventó el enfoque moderno por capas de la estereolitografía, que usa luz ultravioleta para curar polímeros fotosensibles.

El término "estereolitografía" fue acuñado por Charles (apodado "Chuck") W. Hull, quien patentó la tecnología en 1986 y fundó la empresa 3D Systems para comercializarla. Hull describió el método como la creación de objetos tridimensionales "imprimiendo" sucesivamente capas delgadas de un material curable por luz ultravioleta.

Sin embargo, la impresión 3D SLA no fue la primera tecnología de impresión 3D en ganar popularidad. Cuando las patentes empezaron a caducar a finales de los 2000, la introducción de pequeñas impresoras 3D de escritorio abrió camino a la fabricación aditiva, y el modelado por deposición fundida (FDM) fue el primer método que se adoptó en esas plataformas de escritorio.

2.1.4 Resina para Impresión 3D

Se trata de un material polimérico líquido utilizado en tecnologías como la estereolitografía (SLA) o la polimerización digital de luz (DLP). La resina se solidifica bajo la acción de la luz, dando forma a la pieza deseada.

La tecnología de impresión 3D DLP se desarrolló con el objetivo de reducir los tiempos de impresión 3D con resina.

La impresión 3D por estereolitografía (SLA) puede crear objetos transparentes que, con un poco de posprocesamiento, pueden volverse ópticamente transparentes. Las últimas impresoras 3D de resina de Formlabs, la Form 4 compacta y ultrarrápida y la Form 3L de gran formato, llevan la claridad un paso más allá al utilizar un tanque de resina flexible que reduce las fuerzas de desprendimiento, lo que da como resultado piezas más transparentes con un acabado de superficie suave (Figura 5).

Figura 5

Impresión 3D Transparente



Tomado de: <https://formlabs.com/blog/3d-printing-transparent-parts-techniques-for-finishing-clear-resin/>

2.1.5 Beneficios de Imprimir Piezas de Automóviles

En general, la impresión 3D de piezas de automóviles ofrece a la industria automotriz una poderosa herramienta para la innovación, la rentabilidad, la sostenibilidad y una mejor personalización.

A medida que la tecnología continúa avanzando, es probable que la impresión 3D desempeñe un papel cada vez más importante en el proceso de fabricación de automóviles y se relaciona con los tres términos siguientes:

1. Sostenibilidad

- La impresión 3D puede ser más respetuosa con el medio ambiente, especialmente cuando se utilizan materiales reciclables y biodegradables.
- Los métodos de fabricación tradicionales suelen generar un desperdicio significativo de material debido a procesos sustractivos (como el mecanizado). En cambio, la impresión 3D es un proceso aditivo, que moldea solo lo que se necesita y reduce el desperdicio en el proceso.
- Muchas de las veces las técnicas de fabricación aditiva también permiten crear estructuras complejas y ligeras que son difíciles o imposibles de conseguir con los métodos de fabricación tradicionales. Las piezas ligeras contribuyen a mejorar la eficiencia del combustible y el uso de materiales.

2. Eficiencia

- La impresión 3D puede resultar rentable para producir piezas especializadas o de bajo volumen. No se requieren herramientas ni moldes tradicionales, lo que reduce los costos de preparación para tiradas de producción más pequeñas.
- La fabricación aditiva también puede agilizar la cadena de suministro al permitir la producción de piezas a pedido, reduciendo la necesidad de grandes inventarios de componentes de repuesto.

- Además, los procesos rápidos de impresión 3D pueden reducir significativamente los plazos de fabricación de piezas de automóviles, permitir la producción localizada o in situ de piezas de automóviles (reduciendo los costes de envío y transporte) y posibilitar la producción de piezas de repuesto que quizás ya no se produzcan.

3. Personalización

- La impresión 3D permite la producción de geometrías intrincadas y complejas que son difíciles o poco prácticas de lograr con la fabricación convencional.
- Los avances en materiales, incluidos polímeros y compuestos únicos de alto rendimiento, permiten la creación de componentes duraderos y de alta resistencia adecuados para aplicaciones automotrices.
- La fabricación aditiva también permite fabricar piezas de automóvil altamente personalizables. Los fabricantes pueden adaptar los componentes para cumplir requisitos de diseño específicos e incluso crear elementos personalizados para clientes individuales.

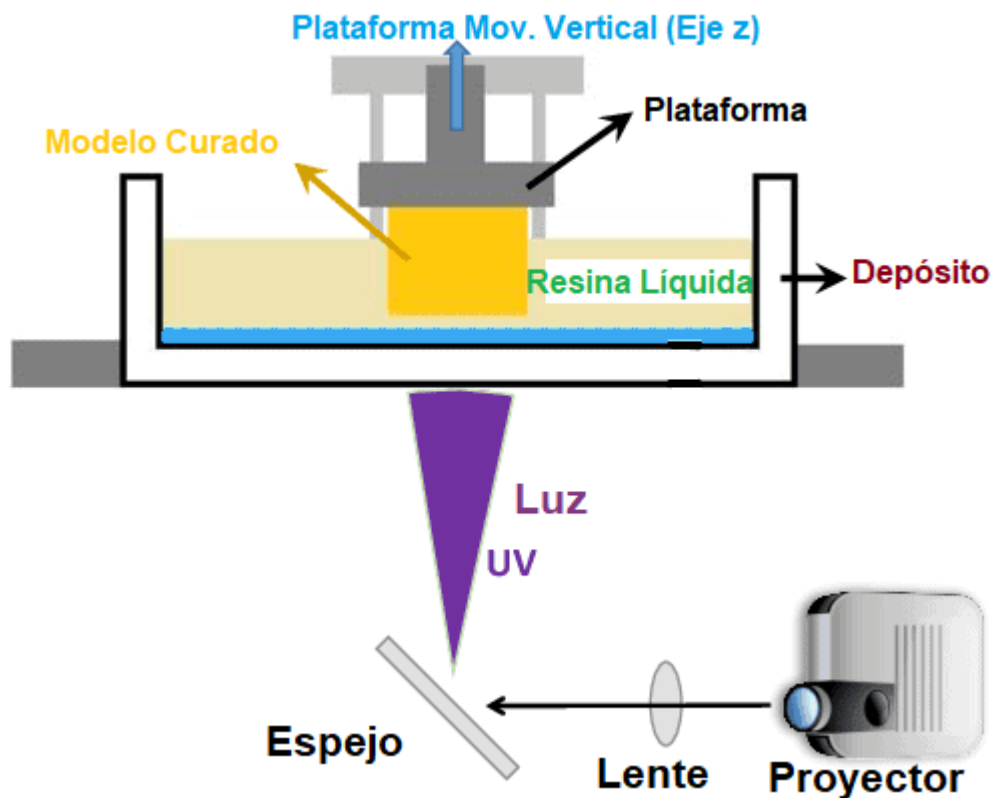
2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Impresión 3D

Refiere a un proceso de fabricación aditiva que construye objetos tridimensionales capa por capa a partir de un modelo digital. En el contexto automotriz, la impresión 3D ha ganado relevancia por su capacidad para crear componentes complejos de manera eficiente.

2.2.2 Estereolitografía

SLA, o estereolitografía, es un proceso de impresión 3D ampliamente utilizado y la más popular de las tecnologías de impresión de resina (Figura 6). El proceso debe su estima en el espacio aditivo a su capacidad para producir prototipos precisos, isotrópicos y herméticos, así como piezas de producción con una impresionante suavidad superficial y características más detalladas.

Figura 6*Proceso de Impresión 3D SLA*

Tomado: <https://xometry.pro/es/articulos/impresion-3d-sla-tecnologia/>

La estereolitografía (SLA) es un proceso de fabricación aditiva que pertenece a la familia de la fotopolimerización en tina. También conocida como impresión 3D con resina, existen tres tecnologías principales de impresión 3D asociadas con la polimerización en tina: SLA, DLP y LCD. Todas las tres tecnologías utilizan una fuente de luz para curar una resina de fotopolímero, pero con las siguientes diferencias:

- La estereolitografía (SLA) utiliza láseres UV como fuente de luz para curar selectivamente una resina polimérica.
- El procesamiento de luz digital (DLP) utiliza un proyector digital como fuente de luz ultravioleta para curar una capa de resina.
- La pantalla de cristal líquido (LCD) utiliza un módulo de pantalla LCD para proyectar patrones de luz específicos.

SLA es una de las tecnologías de fotopolimerización en cuba más utilizadas. Crea objetos curando selectivamente una resina polimérica, capa por capa, utilizando un rayo láser ultravioleta (UV). Los materiales utilizados en SLA son polímeros termoestables fotosensibles que vienen en forma líquida.

Patentada en 1986, SLA fue la primera tecnología de impresión 3D. E incluso hoy en día, SLA sigue siendo la tecnología de impresión 3D más rentable disponible cuando se necesitan piezas de muy alta precisión o un acabado superficial liso. Los mejores resultados se obtienen cuando un diseñador aprovecha los beneficios y limitaciones del proceso de fabricación.

La estereolitografía proporciona una superficie final que es suave y limpia, caracterizada por una altura de capa que oscila entre 0.05 y 0.15 mm. Este resultado se debe a la ausencia de fuerza en esta tecnología, en marcado contraste con la impresión 3D FDM. Por ello, resulta desafiante percibir las distintas capas de impresión, si bien esta apreciación puede variar según el modelo de impresora y el punto óptico del láser empleado.

2.2.3 Fundamentos de la Impresión 3D en Automoción

La impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva, ha transformado la forma en que se diseñan, desarrollan, fabrican y distribuyen los productos en diversas industrias. La industria automotriz no es una excepción, ya que ha adoptado esta tecnología para permitir la creación de productos más limpios, livianos y seguros.

En la industria automotriz, se utiliza la impresión 3D para diversas aplicaciones, como la creación de prototipos, la producción de piezas complejas e incluso la creación de vehículos completos. Ayuda a reducir significativamente los plazos de entrega y los costos de producción, lo que permite una mayor flexibilidad e innovación en el diseño.

Una de las principales ventajas de utilizar la impresión 3D en la fabricación de automóviles es la capacidad de producir geometrías y estructuras complejas que serían difíciles o imposibles de lograr con los métodos tradicionales. Por ejemplo, se pueden crear estructuras reticulares con facilidad, lo que ayuda a reducir el peso sin sacrificar la resistencia o la durabilidad de los componentes (Figura 7).

Figura 7

Geometrías y Estructuras Complejas



Tomado de: <https://www.fespa.com/es/medios-de-comunicacion/la-revolucion-3d-impresion-sobre-cuatro-ruedas>

2.2.3 Materiales SLA

Las impresoras 3D de resina curan fotopolímeros líquidos (resinas). Estas resinas varían según los monómeros, oligómeros y fotoiniciadores de la mezcla. Por lo tanto, se diferencian en:

- Longitud de onda necesaria para el curado.
- Tiempo de exposición para la solidificación.
- Rigidez y fuerza.
- La resolución más alta posible.

- Biocompatibilidad.
- Resistencia química y mecánica.

Como resultado, las resinas no son comúnmente intercambiables, lo que significa que las resinas SLA no funcionarán en impresoras DLP.

Algunos grados de resina se desarrollan con complementos para diferentes necesidades de fabricación y creación de prototipos.

2.2.4 Ventajas de la Impresión con Resina

- Excelentes detalles. Los fotopolímeros se cargan en la impresora en forma líquida, por lo que es más fácil moldearlos en geometrías complejas que los plásticos fundidos.
- Superficie lisa. Las líneas de capas aún están presentes en la impresión con resina, pero son competitivamente pequeñas y casi invisibles en algunos colores de resina.
- Amplia variedad de materiales. La gama de resinas del mercado logra cubrir todas las aplicaciones y necesidades comunes, y la lista crece rápidamente. Cada resina fotopolimérica consta de componentes funcionales necesarios para la reacción y aditivos como colorantes y suplementos visuales y funcionales.
- Los soportes no estropean tanto la superficie. El tanque de resina está lleno de resina en todo el perímetro, por lo que, si hay algunos salientes livianos, simplemente se pueden unir al cuerpo principal de una pieza mientras se cura.
- Alta velocidad. En comparación con otros métodos de creación de prototipos, la impresión con resina es mucho más rápida y las máquinas modernas pueden ser extremadamente rápidas.
- Costos más bajos. Para algunas aplicaciones, como prototipos, dispositivos dentales personalizados y modelos maestros para joyería, la impresión con resina permite ahorrar dinero.

- Las impresiones son resistentes al agua. En comparación con los plásticos o los materiales en polvo, los fotopolímeros son sólidos e impermeables, no absorben la humedad del aire y la mayoría de ellos se pueden utilizar para aplicaciones impermeables.

2.2.5 Desventajas de la Impresión con Resina

- Muchas máquinas tienen un volumen de impresión pequeño. La fabricación de objetos de gran tamaño sería bastante costosa porque se requiere una unidad de calidad industrial. Será necesario llenar todo el tanque para impresiones altas con fotopolímero costoso, y para máquinas industriales que se pueden contar en toneladas, lo que aumenta los costos del trabajo.
- Límites y requisitos de diseño. La impresión con resina tiene una lista de cosas que se incluyen en un proyecto mientras se prepara para la producción. Por ejemplo, los detalles grabados deben tener al menos 0,4 mm de ancho y grosor. Las orientaciones de las piezas y la calidad de la malla también influyen en la impresión, por lo que se requieren ciertos conocimientos y experiencia para que un modelo quede perfecto.
- Muchas estructuras de soporte. Para lograr la mejor calidad, los expertos recomiendan colocar un objeto de una determinada manera para que no toque la placa y “vuele” con un ángulo de 45°. Esto da como resultado muchas estructuras de soporte que, después de curarse, son sólidas y no se pueden reciclar para obtener una resina nueva.
- Posprocesamiento obligatorio. Se debe preparar las piezas para su uso.
- El curado continúa después de que finaliza la impresión. La polimerización es un proceso complicado: después de que la resina se transforma en un objeto, algunas reacciones continúan dentro de la pieza (por eso es importante el poscurado). Según la pieza y el material, esto puede provocar encogimiento, grietas y deformidad.

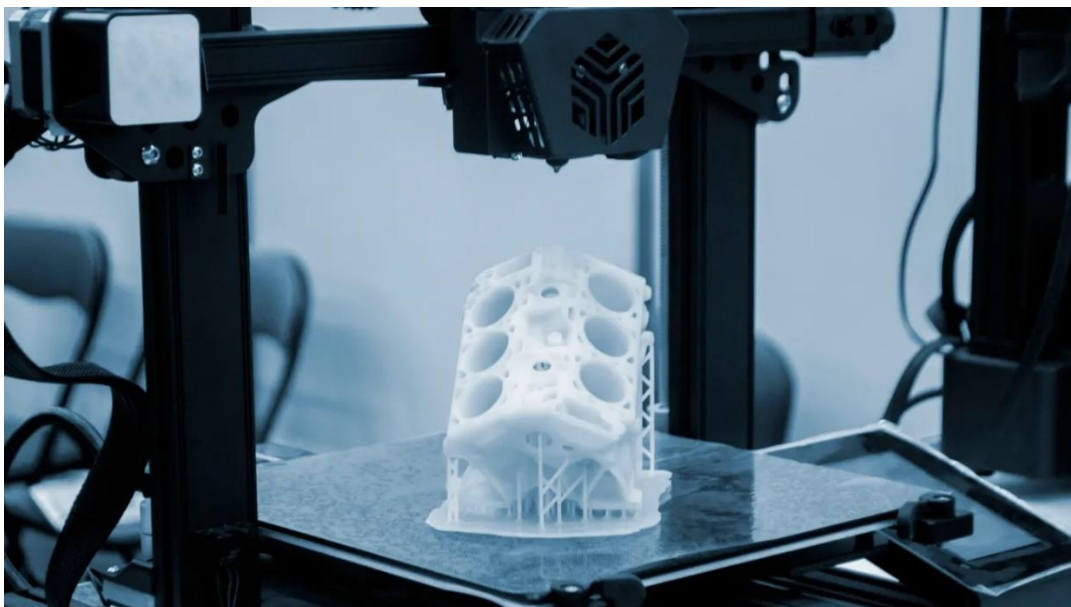
- **Costos.** No bromeábamos cuando dijimos que la impresión con resina es más asequible hoy en día. Sin embargo, vale la pena señalar que para tecnologías como la SLA, "asequible" es de alrededor de \$3,500-4,000 para una máquina de escritorio y de \$100-200 por litro de resina. En cuanto a las máquinas de grado industrial, los precios pueden oscilar entre \$80,000 y \$250,000 por unidad.
- **Resolución complicada.** Un dato interesante sobre la impresión con resina es que el parámetro de resolución (precisión/calidad) depende de varios factores, como el tipo de resina, la orientación de la pieza, el firmware, etc.

2.2.6 Diseños y Prototipos

Los diseñadores y fabricantes trabajarán juntos para decidir qué materiales de impresión 3D son los más adecuados en función del uso y el diseño previstos del vehículo. Los materiales más habituales son diversos plásticos, compuestos y metales. La selección depende de factores como la resistencia, el peso y el coste.

Figura 8

Proceso de Carga y Descarga



Tomado de: <https://siempreauto.com/impresion-3d-revoluciona-industria-automotriz/>

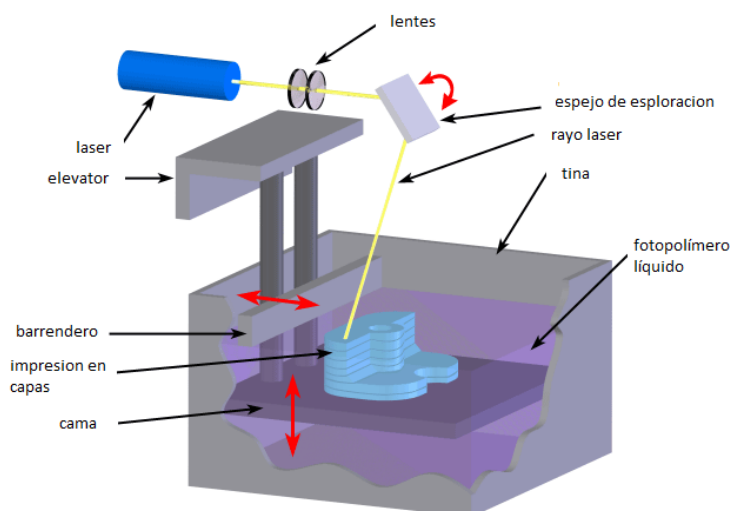
2.2.7 Materiales a Base de Resina

- Las resinas de estereolitografía (SLA) pueden proporcionar un alto nivel de detalle y acabado superficial. Se utilizan para crear componentes complejos, como piezas interiores, modelos a escala y prototipos.
- Las resinas de procesamiento de luz digital (DLP) ofrecen características similares a las resinas SLA, pero suelen ser más rentables para producciones a gran escala.

Las técnicas de impresión tridimensional (3D) han simplificado enormemente la fabricación de prototipos y el diseño complejo. Sin embargo, la mayoría de los componentes de materiales de estereolitografía (SLA) disponibles comercialmente se basan en sistemas de resina a base de (met)acrilato que tienen varias desventajas asociadas con su uso, como la inhibición de la polimerización por oxígeno, la resistencia a los solventes y la incapacidad de modificar las superficies después de la impresión (Figura 9).

Figura 9

Materiales Funcionales para Impresión 3D DLP-SLA



Tomado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsapm.2c00358>

2.2.7 Estereolitografía: Características Técnicas

La impresión 3D SLA ofrece la mayor velocidad, la mayor resolución y precisión, los detalles más nítidos y los acabados de superficie más suaves de todas las tecnologías de

impresión 3D. Otro beneficio clave de la impresión 3D con resina es la gama versátil de materiales disponibles. Los fabricantes de materiales han creado innovadoras formulaciones de resina SLA con una amplia gama de propiedades ópticas, mecánicas y térmicas para igualar las de los termoplásticos estándar, de ingeniería e industriales.

Las características técnicas de la estereolitografía se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1

Características Técnicas de la Estereolitografía

Especificación	Dato
Propiedad	Estereolitografía
Abreviatura	SLA
Tipo de material	Polímero líquido
Materiales utilizados	Termoplásticos (Elastómeros)
Tamaño máximo del objeto (en cm)	150 cm x 75 cm x 50 cm
Tamaño mínimo característico (po)	0,00254 cm
Tolerancia (en cm)	+/- 0,0127 cm
Acabado	Liso
Velocidad de impresión	Media
Aplicaciones	Pruebas de forma/ajuste - Pruebas funcionales - Moldes mecanizado rápido, Sujetadores de presión, Partes muy detalladas, Modelos para presentación, aplicaciones de alta temperatura.

Es una tecnología de impresión 3D que utiliza un láser o proyector de luz UV para curar capas sucesivas de resina fotosensible, permitiendo la creación de objetos con alta precisión y

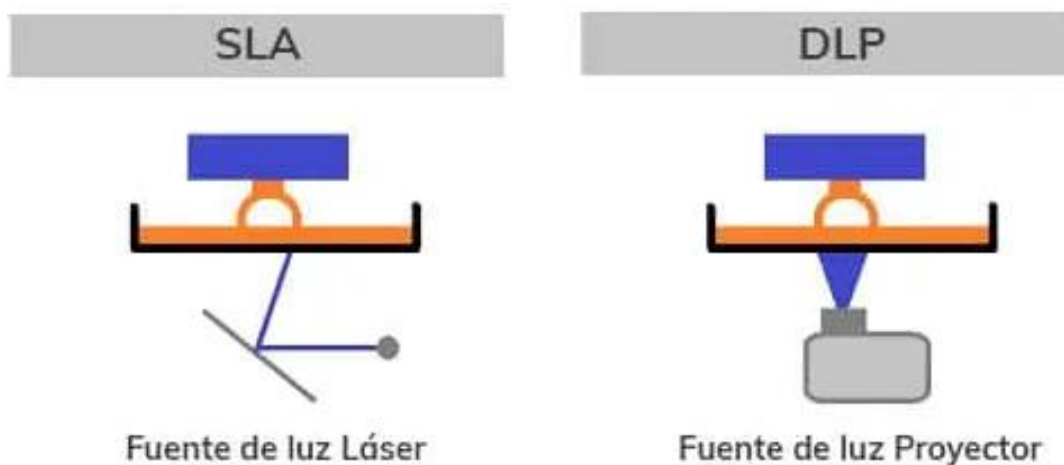
detalle. Es ideal para aplicaciones que requieren tolerancias estrictas y acabados superficiales de calidad, como en la industria automotriz

2.2.8 Procesamiento Digital de Luz (DLP)

La impresión digital por luz, también conocida como DLP, también se encuentra entre los procesos de impresión 3D de resina más populares. La DLP es similar a la SLA en muchos aspectos: también utiliza una fuente de luz para curar selectivamente capas de fotopolímero de resina líquida. A diferencia de la SLA, que utiliza una sola luz ultravioleta para dibujar sobre las capas de resina, la DLP utiliza una proyección digital para exponer segmentos de la resina líquida a la luz. Más específicamente, para cada nueva capa de resina líquida, el sistema de proyección DLP emite un patrón 2D (la sección transversal del modelo 3D) que cura toda la capa de resina a la vez.

Figura 10

Representación Esquemática del Funcionamiento de los Procesos de Impresión DLP y SLA



Tomado de: <https://manufactur3dmag.com/difference-dlp-sla/>

Una de las ventajas de la impresión 3D DLP es su velocidad de impresión: como el proyector digital puede curar una capa completa de resina a la vez, el proceso DLP puede ser significativamente más rápido que el SLA, que se basa en un láser para extraer la sección

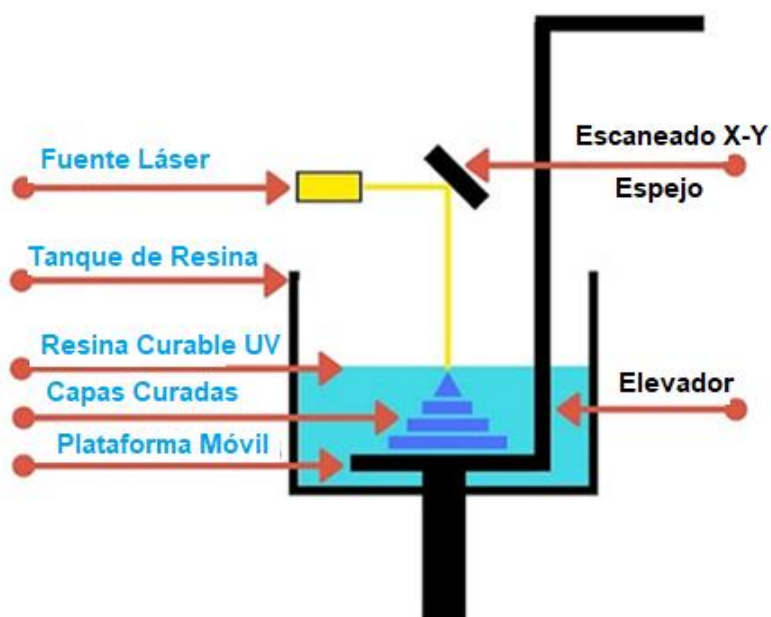
transversal del modelo 3D. Sin embargo, el SLA suele ser capaz de lograr resoluciones más altas que el DLP.

2.2.8 Pantalla de Cristal Líquido (LCD) / mSLA

La impresión 3D con pantalla de cristal líquido (LCD), a veces conocida como estereolitografía enmascarada (mSLA), es muy similar a la impresión 3D DLP: ambos procesos utilizan una fuente de luz para curar capas de material de resina utilizando un enfoque de abajo hacia arriba. La diferencia clave entre las dos tecnologías es el tipo de fuente de luz: DLP utiliza un proyector digital y DMD, mientras que LCD utiliza una combinación de LED y una pantalla LCD. En el proceso de impresión LCD, una matriz de LED colocados debajo del tanque de resina de la impresora 3D emite luz, que pasa a través de una pantalla LCD. La pantalla LCD controla esencialmente el patrón de las luces LED y permite que las capas de resina se curen con un alto grado de precisión. Al igual que DLP, el proceso de impresión 3D LCD es capaz de curar una capa completa a la vez.

Figura 11

Representación Esquemática del Funcionamiento de los Procesos de Impresión mSLA



Tomado de: <https://nexa3d.com/blog/msla-3d-printing/>

La resolución horizontal es distinta en cada proceso, a pesar de que la altura de capa en el proceso MSLA es idéntica a la de SLA. En las máquinas SLA, la resolución se basa en el diámetro del rayo láser, mientras que en las MSLA depende de la resolución de la pantalla LCD.

Como el rayo láser se ajusta mediante un espejo, no hay pasos en los ejes X/Y. A su vez, el uso de una pantalla basada en píxeles supone que las soluciones MSLA sí se enfrentan a escalones en los ejes X/Y, aunque la gravedad del efecto se basa en la densidad de píxeles de la pantalla.

2.2.9 Manipulación de Resinas

Si bien las resinas completamente curadas son perfectamente seguras, cuando el material está en forma líquida se considera tóxico. Por lo tanto, es fundamental seguir ciertas medidas de seguridad al manipular resinas sin curar, tanto al llenar el tanque de resina como al desechar el material sobrante.

En primer lugar, asegúrese de usar guantes y ropa de protección al manipular resina líquida. Esto garantizará que su piel esté a salvo de cualquier irritación que pueda ocurrir si se derrama resina sobre usted. Para una mejor protección, se recomiendan guantes de nitrilo resistentes a los productos químicos o guantes de neopreno. Si su piel entra en contacto con resina líquida, debe lavarse bien con agua y jabón; evite usar limpiadores a base de alcohol.

Capítulo III

Procesos de Impresión 3D en Resina

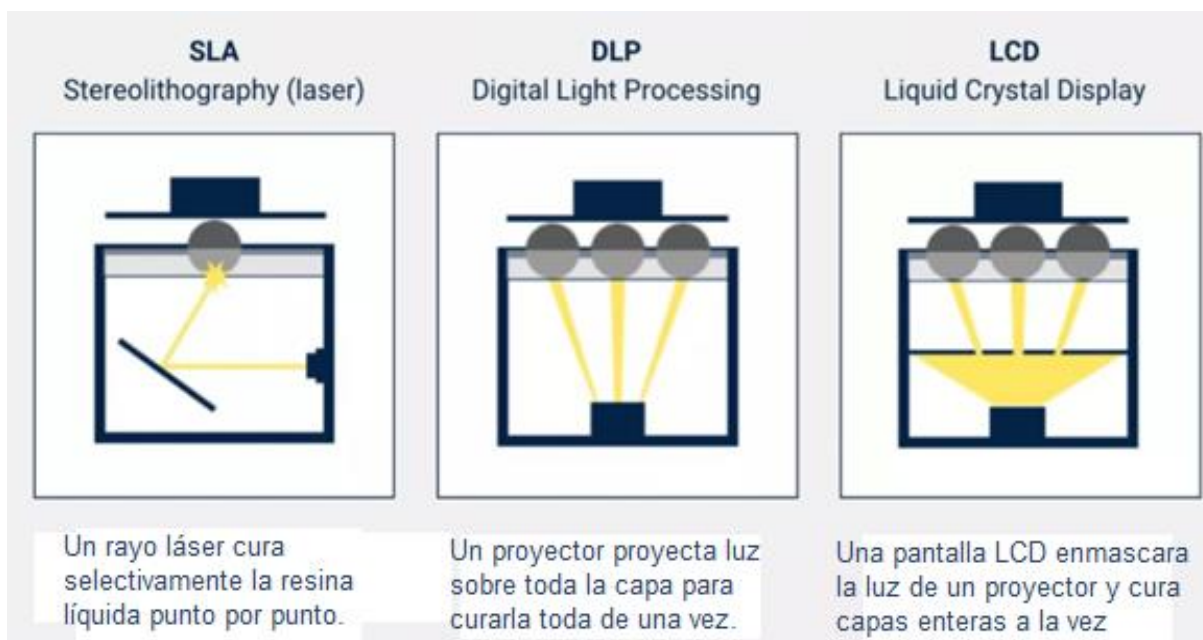
Los procesos de impresión 3D en resina se basan en tecnologías de fabricación aditiva que utilizan resina fotosensible líquida, la cual se solidifica mediante la exposición a luz UV.

Estos procesos permiten crear piezas con alta precisión y detalles finos, por lo que son ideales para aplicaciones en la industria automotriz, joyería, medicina, y otras que requieren acabados suaves y complejos.

Las impresoras 3D basadas en resina fotosensible se han vuelto tan populares en los últimos años que a menudo se las denomina fotopolimerizables o, a veces, en los términos técnicos que utilizan. Se habla de SLA, DLP y LCD (Figura 12).

Figura 12

Tipos de Impresión 3D con Resina



Tomado de: <https://www.zongheng3d.com/what-are-sla-dlp-and-lcd/>

Desde que se creó la primera impresora 3D fotopolimerizable asequible de VW, en 2012, han surgido y se han difundido diversos nombres de tecnologías de impresión fotopolimerizables, como SLA, DLP, LCD, mSLA, CLIP, VLC, etc. Por cierto, parece que a veces la gente utiliza SLA para referirse a la tecnología de impresión 3D.

3.1 Estereolitografía (SLA)

La estereolitografía es uno de los métodos más comunes de impresión 3D en resina. En este proceso, un láser de luz ultravioleta (UV) traza patrones en la superficie de la resina líquida, haciendo que se endurezca capa por capa hasta formar el objeto deseado.

El SLA es conocido por su alta precisión y capacidad para crear piezas con detalles intrincados y acabados lisos.

3.1.1 Características del Proceso SLA

- Ideal para piezas con geometrías complejas.
- Alta resolución, con tolerancias muy pequeñas.
- Utilizado en prototipos funcionales y modelos detallados.

3.2 Digital Light Processing (DLP)

El proceso DLP es similar a la estereolitografía, pero en lugar de utilizar un láser, se proyecta una luz digital sobre la resina para curar una capa completa de material a la vez. Esto permite un endurecimiento más rápido en comparación con el SLA, lo que reduce los tiempos de impresión.

3.2.1 Características del Proceso DLP

- Velocidad de impresión superior al SLA.
- Buena precisión y nivel de detalle.
- Adecuado para la producción de piezas pequeñas con superficies detalladas.

3.3 Masked Stereolithography (MSLA)

La MSLA es una variante de la estereolitografía que utiliza una pantalla LCD para enmascarar la luz UV, proyectando imágenes capa por capa para curar la resina. La resolución de este proceso depende de la densidad de los píxeles en la pantalla LCD, lo que permite una impresión precisa y rápida.

3.3.1 Características del Proceso MSLA

- Impresión rápida debido a la exposición por capas completas.
- Alta precisión, comparable al SLA.
- Ideal para piezas pequeñas y medianas con detalles complejos.

3.4 PolyJet

En el proceso PolyJet, pequeñas gotas de resina líquida se proyectan desde múltiples inyectores sobre una plataforma y se solidifican con luz UV. Esta técnica permite la impresión de materiales de diferentes propiedades y colores en la misma pieza, lo que es útil en aplicaciones que requieren elasticidad o partes de varios materiales.

3.4.1 Características del Proceso PolyJet

- Capacidad para imprimir múltiples materiales y colores en una sola pieza.
- Alta resolución y calidad de superficie.
- Ideal para prototipos con diferentes texturas y propiedades.

3.5 Continuous Liquid Interface Production (CLIP)

El proceso CLIP utiliza una fuente de luz proyectada a través de una ventana permeable al oxígeno para curar la resina líquida a una velocidad continua. En lugar de crear capas discretas, este proceso genera un flujo constante de material, lo que permite tiempos de impresión mucho más rápidos.

3.5.1 Características del Proceso CLIP

- Alta velocidad de impresión.
- Excelente calidad superficial y sin líneas de capa visibles.
- Ideal para piezas de producción rápida con detalles finos.

3.6 Aplicaciones en la Industria Automotriz

Los procesos de impresión 3D en resina son particularmente útiles en la industria automotriz para la creación de:

- Prototipos funcionales con geometrías complejas y detalladas.
- Piezas personalizadas o repuestos que no están disponibles en el mercado.
- Modelos de prueba antes de la producción masiva, reduciendo tiempos y costos de desarrollo.

La elección del proceso adecuado depende de las especificaciones de la pieza automotriz, la velocidad requerida, y el nivel de detalle que se busca obtener.

3.7 Impresora Halot One

Es un dispositivo de impresión 3D que utiliza la tecnología de SLA. Destaca por su capacidad de imprimir con una resolución elevada, lo que la hace adecuada para la creación de piezas detalladas y personalizadas. Las especificaciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Especificaciones de Creality HALOT-ONE

Especificación	Dato
Tecnología	Pantalla LCD
Tipo de impresora	Resina
Materiales	Resina UV de 405 nm
Tamaño de impresión métrico	127 x 80 x 160 mm
Espesor de la capa	10 - 200 micrones
Resolución	Resolución del eje XY: 1620*2560
Sistema óptico	Fuente de luz integral 405 nm
Exactitud	Precisión del eje XY: 0,05 mm
Requisitos de energía	100-240 V CA 50/60 Hz

2.2.9 Impresora 3D SLA

Las impresoras 3D SLA usan materiales termoendurecibles reactivos a la luz que se denominan "resinas". Cuando se exponen las resinas de SLA a determinadas longitudes de onda de luz, se unen cadenas moleculares cortas, con lo que los monómeros y oligómeros se polimerizan en geometrías rígidas o flexibles solidificadas (Figura 13).

Figura 13

Impresora 3D Halo One



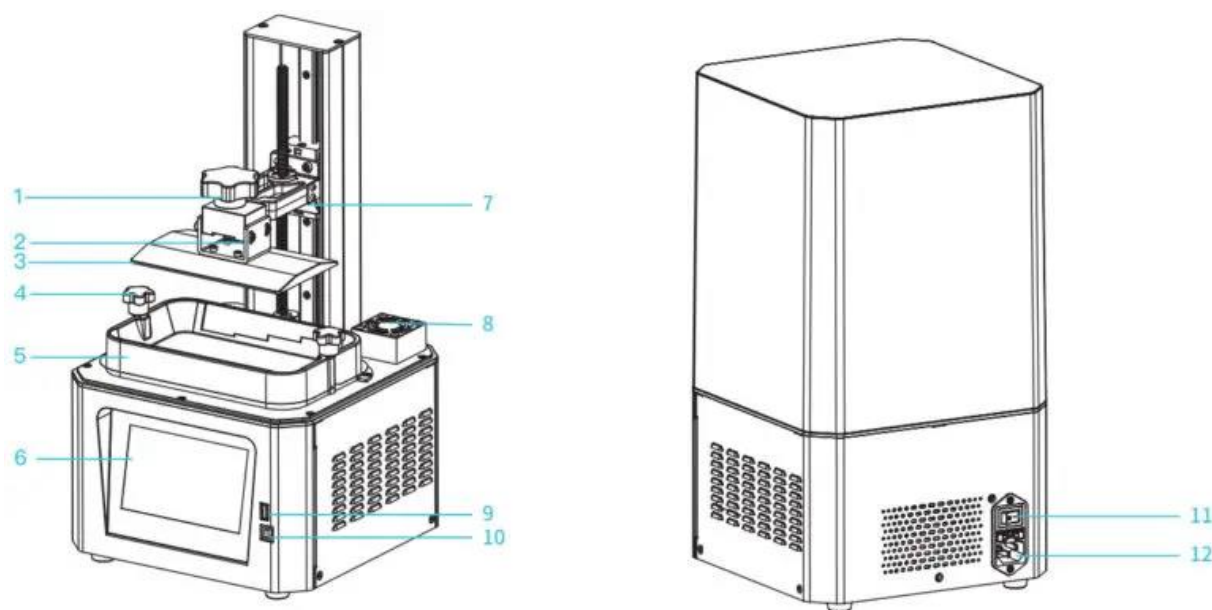
3.8 Componentes de la Impresora 3D Halot One

La impresora Halot One está consta de los siguientes elementos (Figura 14):

1. Tornillo de cabeza Torx
2. Tornillo nivelador
3. Plataforma
4. Tornillo de fijación de la bandeja
5. Bandeja
6. Pantalla táctil
7. Sensor de límite
8. Filtro de aire
9. Puerto USB
10. Puerto USB tipo B
11. Interruptor de encendido
12. Toma de corriente

Figura 14

Componentes de la Impresora 3D HALOT ONE



Tomado de: <https://manuals.plus/creality/halot-one-3d-printer-manual>

3.9 Utilización de la Impresora 3D Halot One

- No utilizar la impresora de ninguna forma distinta a la descrita para evitar lesiones personales o daños a la propiedad.
- No exponer la impresora a vibraciones violentas ni a ningún entorno inestable, ya que esto puede provocar una mala calidad de impresión.
- Utilizar la resina recomendada en caso de dañar la máquina.
- No colocar la impresora cerca de ninguna fuente de calor ni de objetos inflamables o explosivos. Se sugiere colocar en un entorno bien ventilado y con poco polvo.
- No utilizar ningún otro cable de alimentación que no sea el suministrado. Utilizar siempre un tomacorriente de tres clavijas con conexión a tierra.
- No abrir la cubierta de plástico durante el uso, de lo contrario la impresión se interrumpirá.
- No utilizar guantes de algodón al utilizar la impresora. Estos paños pueden enredarse en las piezas móviles de la impresora y provocar quemaduras, posibles lesiones corporales o daños a la impresora.
- Esperar hasta que finalice la impresión. Usar guantes para retirar las herramientas de impresión.
- Limpiar la impresora con frecuencia. Desconecte siempre la alimentación eléctrica cuando la limpie y limpie con un paño seco para eliminar el polvo, los plásticos de impresión adheridos o cualquier otro material del marco, los rieles guía o las ruedas.
- Utilizar un limpiador de vidrios o alcohol isopropílico para limpiar la superficie de impresión.
- Los niños menores de 10 años no deben utilizar la impresora sin supervisión.
- No enchufar ni desenchufar el cable de alimentación cuando esté encendido.

Capítulo IV

Proceso de Impresión 3D por Estereolitografía

4.1 Descripción

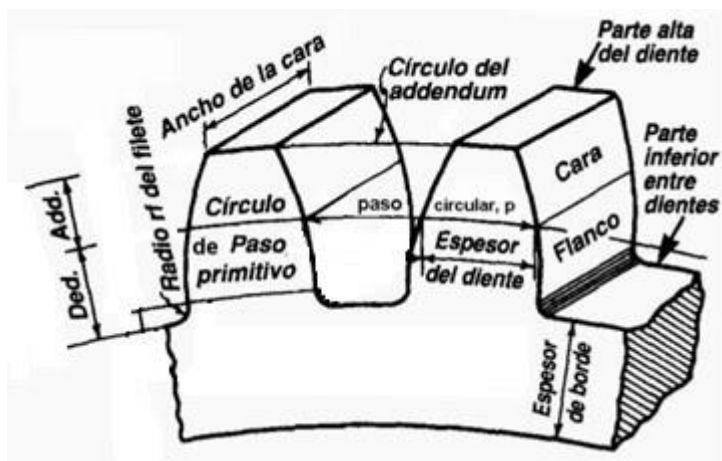
La impresión 3D por estereolitografía (SLA) es una tecnología avanzada de fabricación aditiva que utiliza resina fotosensible líquida, la cual se solidifica mediante la exposición a un láser de luz ultravioleta (UV). Este proceso se ejecuta capa por capa, permitiendo la creación de objetos con alta precisión, detalles finos y superficies suaves. La SLA es largamente utilizada en sectores como la industria automotriz, medicina y prototipado por la capacidad para producir geometrías complejas con tolerancias ajustadas, donde la calidad y el acabado superficial son cruciales. Permite la fabricación de piezas personalizadas y funcionales.

4.2 Preparación del Modelo 3D

- Diseño CAD: El primer paso es diseñar la pieza en un software de modelado 3D (como SolidWorks, AutoCAD o Fusion 360). Asegurarse de que el diseño esté optimizado para impresión, sin geometrías imposibles o intersecciones erróneas.

Figura 15

Preparación del Modelo 3D

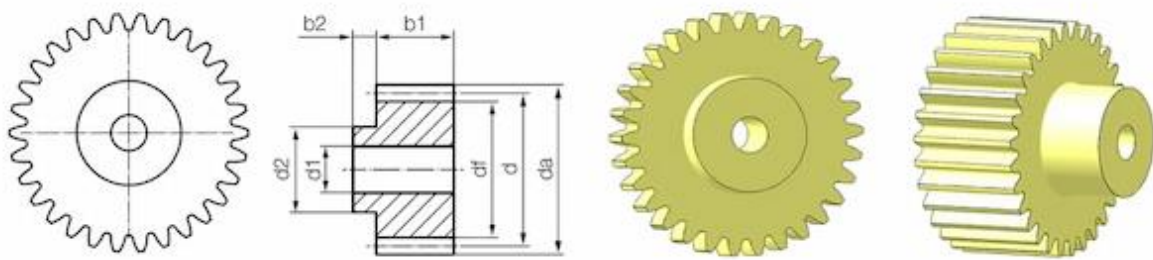


Tomado de: <https://www.prototadicad3d.com/2021/08/como-dibujar-un-engranaje-con-autocad.html>

- El elemento seleccionado es un engranaje. Esta rueda dentada puede tener formas diversas, como cilíndricas o cónicas y sus dientes pueden ser rectos o helicoidales. Es usual tener la nomenclatura mostrada en la Figura 15.
- Formato STL: El modelo 3D debe exportarse en formato STL (stereolithography), que es el formato estándar utilizado por las impresoras 3D para interpretar el diseño en capas (Figura 16).

Figura 16

Modelo 3D



Tomado de: <https://www.igus.es/info/generador-de-engranajes-3d>

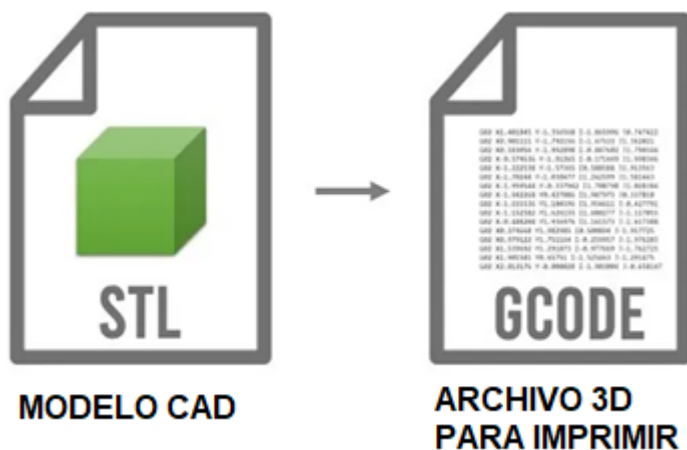
4.3 Preparación en el Software de Corte (Slicing)

- Configuración de la impresora: Se abre el archivo STL (Figura 17) en un software de corte (slicer), como PreForm o ChiTuBox, que convierte el modelo 3D en capas delgadas. Aquí se configuran parámetros como:
 - Altura de capa: La resolución de impresión (generalmente entre 25-100 micras).
 - Velocidad de impresión: Se ajusta la velocidad a la que el láser solidifica la resina.

Soportes: Si la pieza tiene voladizos o formas complejas, es necesario agregar estructuras de soporte. Estas se eliminarán después de la impresión.

Figura 17

STL a G-Code para Impresión 3D



Tomado de: <https://www.igus.es/info/generador-de-engranajes-3d>

4.4 Preparación de la Impresora SLA

- Nivelación de la plataforma de impresión: Antes de empezar, asegurarse de que la plataforma de construcción esté bien nivelada para garantizar que las capas se adhieran correctamente (Figura 18).

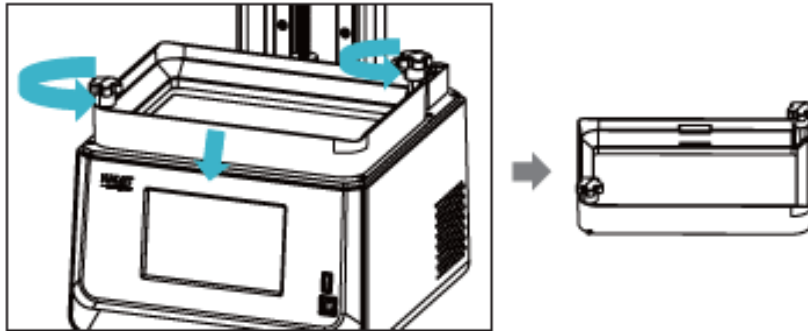
Figura 18

Preparación de la Impresora SLA



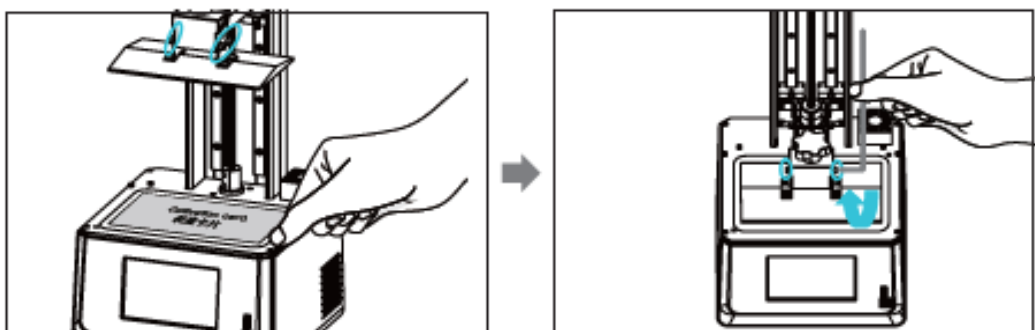
Tomado de: <https://wiki.creality.com/en/halot-series/halot-mage/user-manual>

- Levante la plataforma, afloje los tornillos de goma de los lados izquierdo y derecho del contenedor de resina y sáquelo (Figura 19).

Figura 19*Preparación de la Impresora SLA*

Tomado de: <https://wiki.creality.com/en/halot-series/halot-mage/user-manual>

- Afloje los cuatro tornillos de la placa de conexión en la placa de la plataforma de moldeo, coloque la tarjeta de calibración en la pantalla de impresión, pulse Ajustes → Configuración de impresión → Movimiento del eje Z → Arrasamiento, Compruebe si la plataforma se ajusta de forma uniforme con el papel (Figura 20- parte izquierda).
- Después de confirmar que la tarjeta de calibración encaja de forma pareja, bloquee los cuatro tornillos de la plataforma (Figura 20- parte derecha).

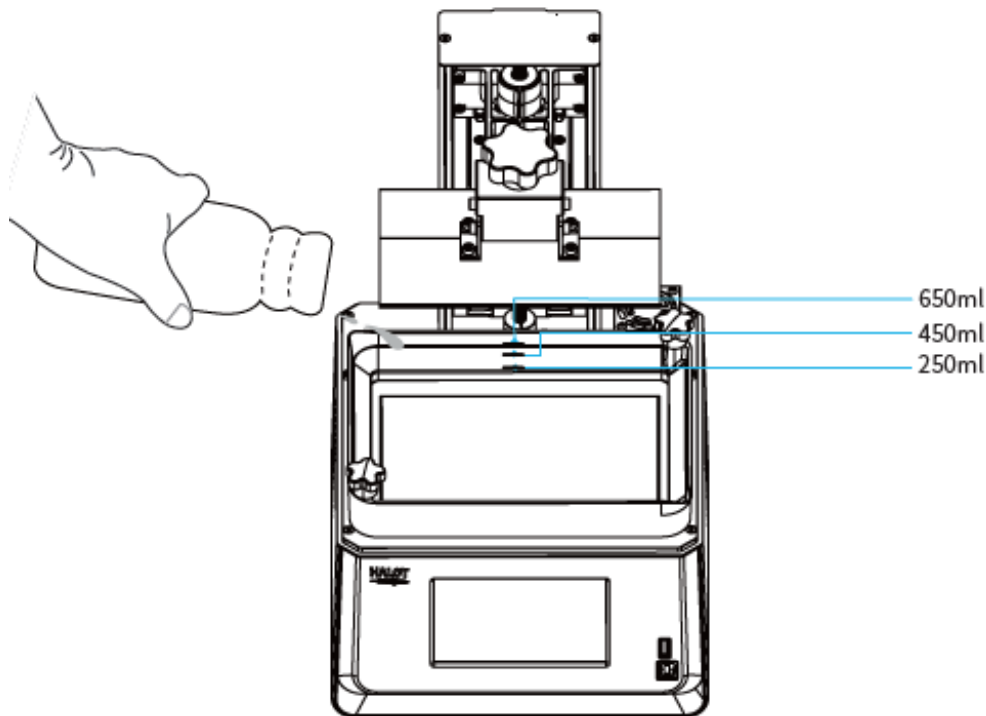
Figura 20*Preparación de la Impresora SLA - Configuración de Impresión*

Tomado de: <https://wiki.creality.com/en/halot-series/halot-mage/user-manual>

- Carga de la resina: Verificar que el depósito de la impresora esté lleno con la cantidad adecuada de resina líquida fotosensible. Es importante utilizar resinas de alta calidad compatibles con la impresora para lograr mejores resultados (Figura 21).

Figura 21

Carga de Resina



Tomado de: <https://wiki.creality.com/en/halot-series/halot-mage/user-manual>

La resina para impresoras 3D (Figura 22) es un material versátil e innovador que ha revolucionado el mundo de la impresión 3D.

La resina curable por UV es un tipo de fotopolímero líquido que se endurece o cura cuando se expone a la luz ultravioleta. Se utiliza en un proceso conocido como estereolitografía (SLA) o procesamiento digital de luz (DLP), en el que se curan selectivamente capas de resina UV para formar un objeto tridimensional.

Una de las principales ventajas es su excepcional nivel de detalle. Gracias a su forma líquida, puede fluir hasta en las grietas más pequeñas, lo que da como resultado impresiones de alta resolución con superficies suaves y geometrías intrincadas.

Figura 22

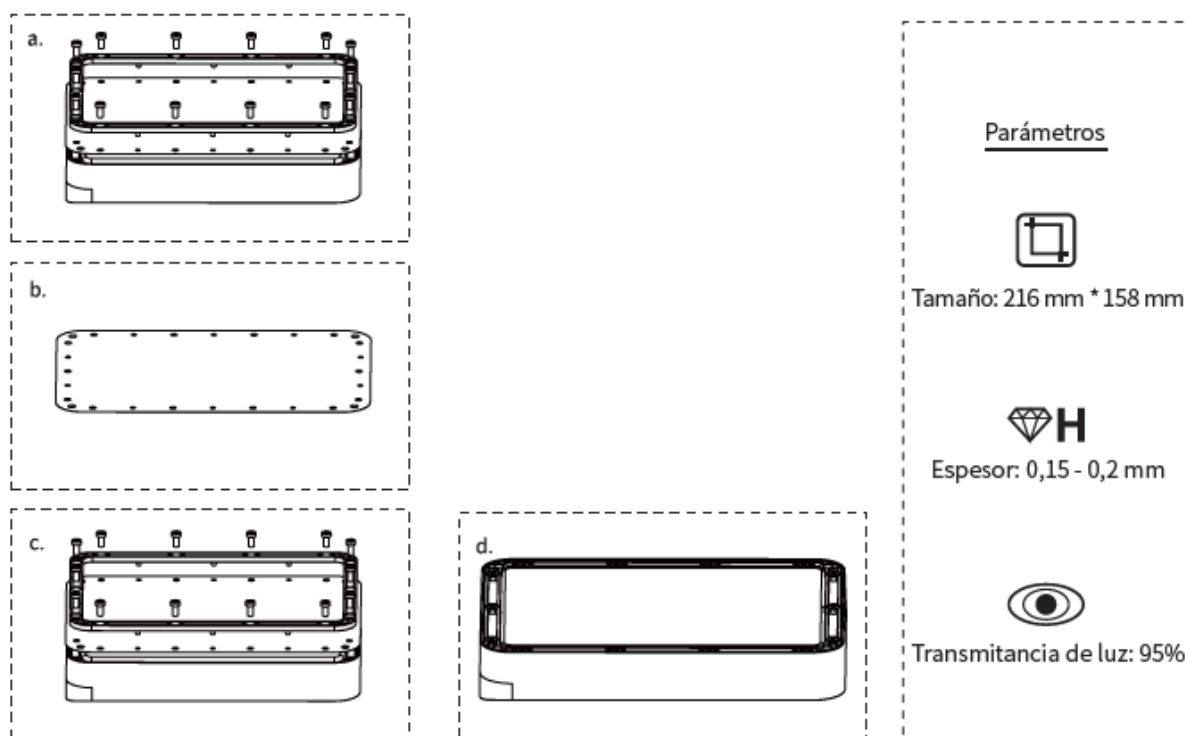
Resina para Impresoras 3D



Otra ventaja de la resina curable por UV para impresoras 3D es su rápido tiempo de curado. Cuando se expone a la luz UV de la resina, el líquido se solidifica en cuestión de segundos, lo que permite la creación rápida de prototipos y procesos de producción eficientes. Esto permite a los diseñadores, ingenieros y fabricantes iterar rápidamente, reducir los plazos de entrega y llevar los productos al mercado más rápidamente.

4.5 Reemplazo de Película de Liberación (FEP)

- a. Primero, quitar los 14 tornillos en la parte inferior de la bandeja y sacar la película de liberación rota (FEP).
- b. Luego colocar la película de liberación entre los dos marcos de acero.
- c. Finalmente, volver a colocar el marco de acero ensamblado en la bandeja y apretar 14 tornillos.
- d. La película de liberación instalada se ve como se muestra en la Figura 23.

Figura 23*Reemplazo de la Película Desprendible***4.5 Impresión**

- Curado por capas: El proceso de impresión comienza con el láser UV trazando la primera capa en la resina líquida. El láser solidifica la resina en los puntos indicados por el software de corte, creando una capa sólida (Figura 24).
- Información del Interfaz: Revisar si la fuente de luz es normal. La interfaz UI es solo de referencia y se amoldará a la UI real (Figura 25).

Figura 24*Proceso de Impresión*

Figura 25*Proceso de Impresión – Generación del Archivo*

En la Figura 26 y Figura 27 se muestra la impresora iniciando el proceso de impresión.

1. Genere el archivo cxdlp y guárdelo en el disco U.
2. Inserte la unidad USB → seleccione el archivo → presione el botón Iniciar.

Figura 26*Inicio del Proceso de Impresión*

- Elevación de la plataforma: Después de cada capa solidificada, la plataforma de construcción se eleva ligeramente para permitir que una nueva capa de resina cubra la superficie. Este proceso se repite hasta que el objeto completo se haya formado capa por capa (Figura 28).

Figura 27

Inicio del Proceso de Impresión

**Figura 28**

Impresión - Elevado de la Plataforma



4.6 Posprocesamiento

- Limpieza: Una vez que la impresión ha terminado, la pieza se retira de la plataforma y se sumerge en un baño de alcohol isopropílico para eliminar cualquier exceso de resina no curada (Figura 29)
- Curado adicional: Para endurecer completamente la pieza, se coloca en una cámara de curado UV durante un tiempo específico. Esto garantiza que la resina haya alcanzado su máxima resistencia.

Figura 29

Posprocesamiento

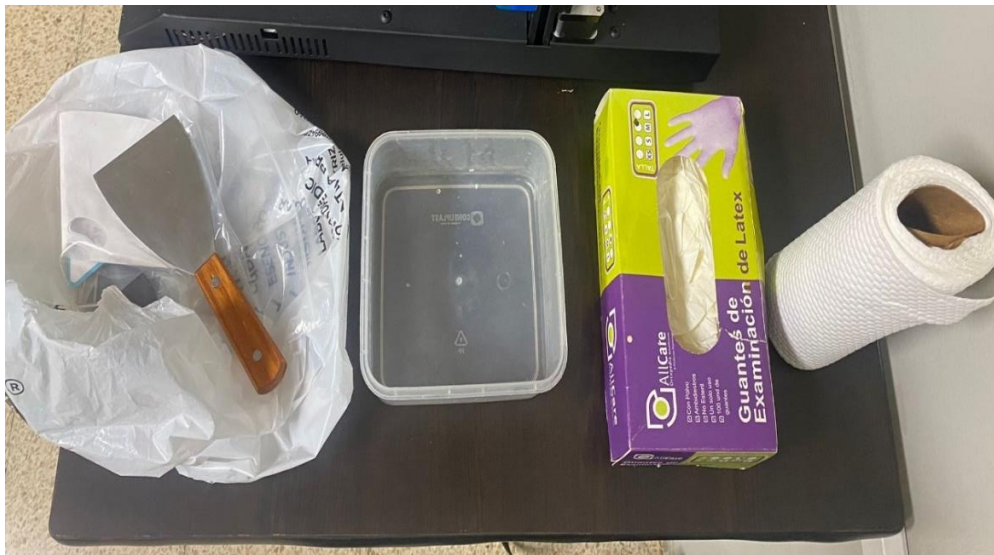


4.7 Retiro de Soportes y Acabado Final

- Eliminación de soportes: Con herramientas como cortadores o pinzas, se eliminan cuidadosamente las estructuras de soporte generadas durante el proceso de corte. Se debe hacer con cuidado para no dañar la pieza.
- Lijado o pulido: En algunos casos, puede ser necesario lijar o pulir las superficies para obtener un acabado suave, dependiendo del uso final de la pieza.
- Los materiales usados para la limpieza se muestran en la Figura 30.

Figura 30

Elementos de Limpieza



4.7 Inspección de la Pieza Final

- Inspección dimensional: Verifica que las dimensiones y la calidad superficial de la pieza coincidan con las especificaciones del modelo 3D original. Esto se puede hacer con herramientas de medición de precisión como un calibrador o micrómetro (Figura 31).

Figura 31

Inspección de la Pieza Final



- Prueba funcional: En el caso de piezas automotrices, se realiza una prueba funcional para asegurarse de que la pieza cumple con los requisitos de desempeño mecánico y funcional.

Conclusiones

Se ha reconocido que la impresión 3D en resina, especialmente mediante la técnica de estereolitografía (SLA), es ideal para fabricar piezas automotrices que requieren geometrías complejas y personalizadas. Esta tecnología permite obtener acabados de alta calidad, precisión dimensional y detalles finos, lo que la convierte en una herramienta valiosa para el desarrollo de prototipos funcionales y piezas de reemplazo.

Se ha descrito y comprendido que una impresora 3D en resina está compuesta por elementos esenciales como el depósito de resina, la plataforma de construcción, la fuente de luz UV y el sistema de elevación. Cuando estos componentes se conservan adecuadamente y se usan conforme a las especificaciones técnicas, aseguran el correcto funcionamiento y prolongan la vida útil del equipo.

Se ha detallado el proceso de impresión 3D por estereolitografía (SLA), desde la elaboración del modelo en el software de corte hasta el posprocesamiento, siguiendo los procedimientos técnicos establecidos. Este proceso asegura que piezas sean producidas con alta precisión y durabilidad, y con los estándares solicitados en la industria automotriz.

Recomendaciones

En los distintos métodos de impresión 3D en resina, como SLA, DLP, MSLA, y PolyJet, se deben evaluar sus ventajas y limitaciones en términos de resolución.

Se puede efectuar pruebas con otras resinas y configuraciones de impresión para valorar los acabados superficiales y la precisión.

Se debe seguir todas las especificaciones de los manuales de la impresora SLA, en base a los parámetros como la altura de capa, la exposición UV y la velocidad de impresión según el diseño y sus características.

Bibliografía

- Abutaleb, A., Alhamad, M., Al-Orf, M., Alrashed, K., & Esmaili, S. E. (2023). The design of a dual open-source 3d printer utilizing FDM and MSLA printing technologies. *Int. J. Mechatron. Appl. Mech.*, 2, 103.
- Arefin, A. M., Khatri, N. R., Kulkarni, N., & Egan, P. F. (2021). Polymer 3D printing review: Materials, process, and design strategies for medical applications. *Polymers*, 13(9), 1499.
- Durazo, E., Salcido, G., & González, J. (2018). Impresión 3D–Impacto en la industria Automotriz.
- Gechev, T. M. (2021). A short review of 3D printing methods used in the automotive industry. *Bulgarian Journal for Engineering Design*, (44), 67-76.
- Karakurt, I., & Lin, L. (2020). 3D printing technologies: techniques, materials, and post-processing. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 28, 134-143.
- Herrera, A. N. R. (2019). El modelado e impresión 3D, la tecnología de la industria 4.0. #ashtag, (15), 87-99.
- Lecklider, T. (2017). 3D printing drives automotive innovation. *EE-Evaluation Engineering*, 56(1), 16-20.
- Llanes-Cedeño, E. A., Peralta-Zurita, D., Pucha-Tambo, M., & Rocha-Hoyos, J. C. (2019). Caracterización mecánica a flexión de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (22), 100-112.
- Oyonarte, R. (2023). ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DE MODELOS 3D OBTENIDOS CON DOS IMPRESORAS DE RESINA.
- Sousa Maestre, A. (2021). Fabricación y adaptación de una montura impresa con tecnología 3D SLA (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Tu, J., Makarian, K., Alvarez, N. J., & Palmese, G. R. (2020). Formulation of a model resin system for benchmarking processing-property relationships in high-performance photo 3D printing applications. *Materials*, 13(18), 4109.

