



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Estudio de viabilidad técnica-económica de la manufactura  
aditiva para la producción de piñones de transporte en una línea  
de embotellado de bebidas carbonatadas en la ciudad de  
Guayaquil”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA  
MANUFACTURA**

**Presentada por:**

**Ricardo Antonio Vélez Sánchez  
Julio Andrés Narváez Yaguana**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2025**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme culminar una nueva etapa educativa con salud. A mi padre Carlos Vélez Méndez y a mi madre Elizabeth Sánchez, quienes han estado conmigo dándome su soporte para seguir adelante. A mi amigo Lupercio Hermenegildo quien me brindó su apoyo cuando lo necesitaba. A mi docente y tutor el MSc. Fausto Maldonado por sus enseñanzas y ser el guía a lo largo del desarrollo de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, mis padres Fanny Yaguana y César Narváez, mis hermanos y mi familia por ser parte de todo mi proceso y compartir cada logro de mi vida.

A mis amigos María Fernanda Cassís, Juan Eduardo y Danny Lema por caminar junto a mí durante mi carrera profesional y aconsejarme día a día para poder cumplir mis objetivos.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación se lo dedico a mis padres, ya que son mi inspiración en el día a día. A mi amigo Lupericio Hermenegildo por siempre estar dispuesto a enseñarme. Y a mi tía la Dra. Rocío Sánchez por ser una luz en mi vida.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a todas las personas que han caminado conmigo durante esta etapa, que han puesto su granito de arena para lograr un peldaño más en mi vida profesional.

# TRIBUNAL DE TITULACIÓN

---

**Emérita A. Delgado P., PhD.**

Profesor de Materia

---

**Fausto A. Maldonado G., MSc.**

Tutor de proyecto

# DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Ricardo Antonio Vélez Sánchez y Julio Andrés Narváez Yaguana acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 9 de junio del 2025

Ricardo Antonio Vélez  
Sánchez

Julio Andrés Narváez  
Yaguana





## RESUMEN

La presente investigación evalúa la viabilidad económica y técnica del uso de manufactura aditiva en la fabricación de piñones para sistemas de transporte de botellas en una línea de producción de bebidas carbonatadas en Guayaquil. Se busca determinar si la tecnología de fabricación aditiva es factible con respecto a los métodos tradicionales de mecanizado.

Para ello, se realizó un análisis integral que incluyó la revisión de tecnologías de impresión 3D, selección de materiales, simulación y estudio de esfuerzos mediante análisis de elementos finitos (FEA). Se empleó el software Autodesk Fusion para el modelado 3D del piñón, se seleccionó el material de Nylon PA 12, debido a su combinación de resistencia mecánica y estabilidad dimensional. Además, se simuló la manufactura aditiva del piñón con tecnología FDM para analizar la orientación de impresión, necesidad de soportes para minimizar material empleado y la mejor calidad de fabricación.

Los resultados indican que la manufactura aditiva permite reducir costos en lotes pequeños y ofrece flexibilidad en el diseño, pero requiere validaciones experimentales para asegurar el desempeño de los piñones en condiciones reales. Asimismo, el estudio sugiere que la impresión 3D puede ser una alternativa viable para la fabricación de repuestos críticos en líneas de producción, reduciendo tiempos de espera y optimizando la cadena de suministro.

Se concluye que la manufactura aditiva representa una solución innovadora con beneficios económicos y operativos en prototipado, aunque su implementación a gran escala (producción en masa de piezas de uso final) requiere un análisis más detallado en términos de durabilidad, resistencia al desgaste, costos de producción a largo plazo y su aplicación real en la máquina que lo requiera.

# ÍNDICE GENERAL

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>RESUMEN .....</b>                                                       | <b>I</b>   |
| <b>ÍNDICE GENERAL .....</b>                                                | <b>II</b>  |
| <b>ABREVIATURAS .....</b>                                                  | <b>IV</b>  |
| <b>SIMBOLOGÍA .....</b>                                                    | <b>V</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                                             | <b>VI</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                                              | <b>VII</b> |
| <b>CAPÍTULO 1 .....</b>                                                    | <b>1</b>   |
| <b>1. GENERALIDADES .....</b>                                              | <b>1</b>   |
| 1.1. Antecedentes .....                                                    | 1          |
| 1.2. Planteamiento del problema .....                                      | 6          |
| 1.3. Justificación .....                                                   | 8          |
| 1.4. Objetivo general .....                                                | 8          |
| 1.4.1. Objetivos específicos .....                                         | 8          |
| 1.5. Alcance .....                                                         | 9          |
| <b>CAPÍTULO 2 .....</b>                                                    | <b>6</b>   |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA .....</b>                              | <b>6</b>   |
| 2.1. Diagrama de flujo de la metodología .....                             | 6          |
| 2.2. Análisis del contexto industrial .....                                | 11         |
| 2.3. Especificación de requerimientos técnicos .....                       | 14         |
| 2.4. Revisión de tecnologías de manufactura aditiva .....                  | 23         |
| 2.5. Evaluación de materiales para manufactura aditiva .....               | 28         |
| 2.6. Tecnologías en impresión 3D .....                                     | 29         |
| 2.7. Postproceso y costos de fabricación con MA .....                      | 30         |
| 2.8. Software para el modelado y simulación .....                          | 32         |
| <b>CAPÍTULO 3 .....</b>                                                    | <b>34</b>  |
| <b>3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN Y DESARROLLO DE LA METODOLOGIA .....</b> | <b>34</b>  |
| 3.1. Análisis teórico .....                                                | 34         |
| 3.2. Matriz de selección .....                                             | 36         |
| 3.3. Diseño del piñón .....                                                | 37         |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
|                                                           | III       |
| 3.4. Simulación para Análisis por Elementos Finitos ..... | 38        |
| 3.5. Simulación de impresión 3D .....                     | 42        |
| 3.6. Viabilidad técnica-económica .....                   | 45        |
| <b>CAPÍTULO 4 .....</b>                                   | <b>46</b> |
| <b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>            | <b>46</b> |
| 4.1. Conclusiones .....                                   | 46        |
| 4.2. Recomendaciones .....                                | 50        |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                       |           |
| <b>ANEXOS</b>                                             |           |

## ABREVIATURAS

CAD: Computer Aided Design

CAM: Computer aided manufacturing

STL: Standard Triangle language

Ppm: Partes por millón

LENS: Laser Engineered Net Shaping

EBAM: Electron-beam additive manufacturing

WAAM: Wire and arc additive manufacturing

Nd-YAG: Granate de itrio y aluminio dopado con impurezas de neodimio

DLP: Digital Light Processing

SLA: Stereolithography

MA.: Manufactura aditiva

PVC: Policloruro de Vinilo

PU: Poliuretano

FEA: Análisis por elementos finitos

PLA: Ácido Poliláctico

## SIMBOLOGÍA

°C: Grados centígrados

V: Voltaje

MPa: Megapascuales

N: Newton

mm: Milímetros

rpm: Revoluciones por minuto

hp: Horse Power (caballos de fuerza)

Kw: KiloWatts

Nm: Newton metro

Lbf: Libras fuerza

in: Pulgada

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                           |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Figura 1.1 Modelo del carro que apunta al sur en el Museo Nacional de China .....         | 3                                    |
| Figura 1.2 Ingresos mundiales expresados en miles de millones de dólares .....            | 4                                    |
| Figura 1.3 Sectores de aplicación de la manufactura aditiva .....                         | 5                                    |
| Figura 1.4 Mesa de carga de la desenchajadora .....                                       | 6                                    |
| Figura 1.5 Piñón utilizado en la desenchajadora .....                                     | 7                                    |
| Figura 2.1 Metodología para desarrollo del proyecto .....                                 | 11                                   |
| Figura 2.2 Piñón de arrastre ubicado en la parte interna de la mesa de carga .....        | 14                                   |
| Figura 2.3 Placa del motorreductor .....                                                  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 2.4 Velocidad a la salida del reductor medido con un tacómetro .....               | 16                                   |
| Figura 2.5 Eslabón de la cadena metálica .....                                            | 16                                   |
| Figura 2.6. Diagrama del sistema de transmisión para la banda transportadora .....        | 19                                   |
| Figura 2.7 Valores del factor de forma de Lewis .....                                     | 20                                   |
| Figura 2.8 Tabla de tratamientos térmicos según resistencia de contacto del engranaje ... | 24                                   |
| Figura 2.9 Tipos de fabricación de una pieza .....                                        | 26                                   |
| Figura 2.10 Clasificación general de las técnicas de fabricación aditiva .....            | 26                                   |
| Figura 2.11 Granallado mecánico de una pieza impresa en 3D .....                          | 34                                   |
| Figura 3.1 Diseño de piñón en Nylon 6 .....                                               | 40                                   |
| Figura 3.2 Diseño de piñón en Nylon 12 .....                                              | 40                                   |
| Figura 3.3 Tabla de resultados generado en Fusion .....                                   | 41                                   |
| Figura 3.4 Piñón simulado con el factor de seguridad .....                                | 42                                   |
| Figura 3.5 Piñón simulado con el esfuerzo de Von Mises .....                              | 42                                   |
| Figura 3.6 Piñón con el desplazamiento máximo simulado .....                              | 43                                   |
| Figura 3.7 Pieza piñón con chavetero del piñón posicionado en la impresora .....          | 44                                   |
| Figura 3.8 Pieza piñón sin chavetero posicionado en la impresora .....                    | 44                                   |
| Figura 3.9 Configuración en Autodesk Fusion para la simulación .....                      | 45                                   |
| Figura 3.10 Resultados piñón con chavetero .....                                          | 45                                   |
| Figura 3.11 Resultado piñón sin chavetero .....                                           | 46                                   |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Generalidades de los sistemas de transmisión .....                  | 2  |
| Tabla 2 Tipos de bandas y sus generalidades .....                           | 12 |
| Tabla 3 Especificaciones generales de operación .....                       | 18 |
| Tabla 4 Técnica de la manufactura aditiva y sus generalidades .....         | 25 |
| Tabla 5 Evaluación de propiedades mecánicas y térmicas .....                | 28 |
| Tabla 6 Comparación de tecnologías según los requerimientos del piñón ..... | 29 |
| Tabla 7 Tabla comparativa de materiales .....                               | 34 |
| Tabla 8 Matriz de decisión para selección de material y tecnología .....    | 36 |
| Tabla 9 Análisis de viabilidad técnica .....                                | 46 |
| Tabla 10 Análisis de viabilidad económica .....                             | 47 |
| Tabla 11 Análisis de infraestructura para cada sistema de fabricación ..... | 48 |





# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes

En la industria de bebidas carbonatadas, las líneas de embotellado representan un pilar del proceso crítico y costoso debido a su dependencia de componentes mecánicos, eléctricos y de control. Estos componentes permiten garantizar la eficiencia y continuidad del proceso productivo. Entre estos componentes mecánicos se encuentran los piñones, los cuales son elementos de transmisión en bandas o mesas de carga de una línea de producción.

Los piñones o engranajes forman parte del sistema de transmisión de potencia. Este mecanismo se refiere al proceso de transmitir energía mecánica de un punto a otro de la máquina con el objetivo de realizar una tarea determinada.

Estos sistemas de transmisión de potencia tienen como objetivo:

- Transferencia de energía
- Ajuste de velocidad y torque
- Reducción de vibraciones y ruido
- Flexibilidad de diseños

Existen un sin fin de aplicaciones industriales, donde se utilizan varios sistemas de transmisión de potencia que tienen sus ventajas y desventajas. En la Tabla 1 se destacan distintos sistemas de transmisión. (Calero & Carta, 1999)

**Tabla 1 Generalidades de los sistemas de transmisión**

| Sistema de transmisión                  | Generalidades                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Transmisión por cadenas</b>          | Mecanismo para transmitir movimiento y fuerza que usa una cadena de transmisión que conecta dos o más ruedas dentadas.               |
| <b>Transmisión por correas y poleas</b> | Se emplean para transmitir movimiento de rotación de un árbol a otro, pudiendo ser poleas, correas planas, dentadas o trapezoidales. |

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Transmisión por piñones / engranajes</b> | <p>Se usan para transmitir el movimiento entre dos ejes, utilizando el empuje entre dientes (para lo cual uno desliza contra otro).</p> <p>Pueden ser engranajes cilíndricos de dientes rectos, engranajes cilíndricos de dientes inclinados, engranajes de tornillo sin fin, engranajes cónicos, etc.</p> |
| <b>Transmisión por acoplamiento</b>         | <p>Es un mecanismo que permite transferir energía entre ejes o componentes rotatorios de una máquina, estos pueden ser rígidos o flexibles dependiendo la aplicación.</p>                                                                                                                                  |
| <b>Transmisión por rodamientos</b>          | <p>Son usados como elementos de soporte y sirven para la transmisión de movimiento rotacional y traslacional.</p>                                                                                                                                                                                          |

Fuente: Fundamentos de mecanismos y máquinas para Ingenieros.

Desde épocas remotas se han utilizado elementos fabricados para el traslado, transporte, elevación y movimiento de mecanismos de transmisión. Uno de los más antiguos es el mecanismo de Anticitera, la cual es una calculadora astronómica que está compuesta de al menos 30 engranajes de bronce con dientes triangulares. La calculadora presenta mecanismos de trenes de engranajes epicicloidales, se estima que fue inventada entre el 150 y el 100 a.C. (Fundamentos del KBE, 2008)

En la Figura 1.1 se presenta el “carro que apunta hacia el sur” datada entre el 120-250 D.C. desarrollado en China, que consiste en un mecanismo que mantenía el brazo de una figura humana apuntando siempre hacia el sur usando engranajes epicicloidales. (Fundamentos del KBE, 2008)



**Figura 1.1 Modelo del carro que apunta al sur en el Museo Nacional de China**

Fuente: Diario de ciencia y tecnología.

El arte de los engranes fue progresando hasta llegar a utilizar diferentes tipos de materiales tanto metal como madera, se tiene registro del uso en engranes rectos, piñones y cremalleras. Los mecanismos de mecanizado de engranajes evolucionaron durante el siglo XX con la invención de una talladora de engranes y una máquina para el dentado de engranajes cónicos con el empleo de fresas modulares. (Fundamentos del KBE, 2008)

Los engranes son elementos mecánicos dentados que permiten transmitir potencia mecánica entre dos ejes a una distancia determinada. El piñón es el menor de dos engranes acoplados y por lo general transmite potencia; el de mayor tamaño se llama engrane. El sistema que está conformado por de un par de ruedas dentadas, se denomina tren de engranajes. (Sotomayor, 2008)

Respecto a la manufactura aditiva, surge en la década 1980, fundada por Chuck Hull y comenzando con el primer método conocido como estereolitografía. Este método consiste en la adición de capas de material mediante el curado de resina fotosensible con un láser ultravioleta. El aporte considerado de Hull fue el de crear el formato de archivo de información geometría STL. Este formato consistía en tomar únicamente la geometría superficial de un objeto tridimensional, sin considerar el color, textura u otros atributos del modelo CAD. (Marín, 2019)

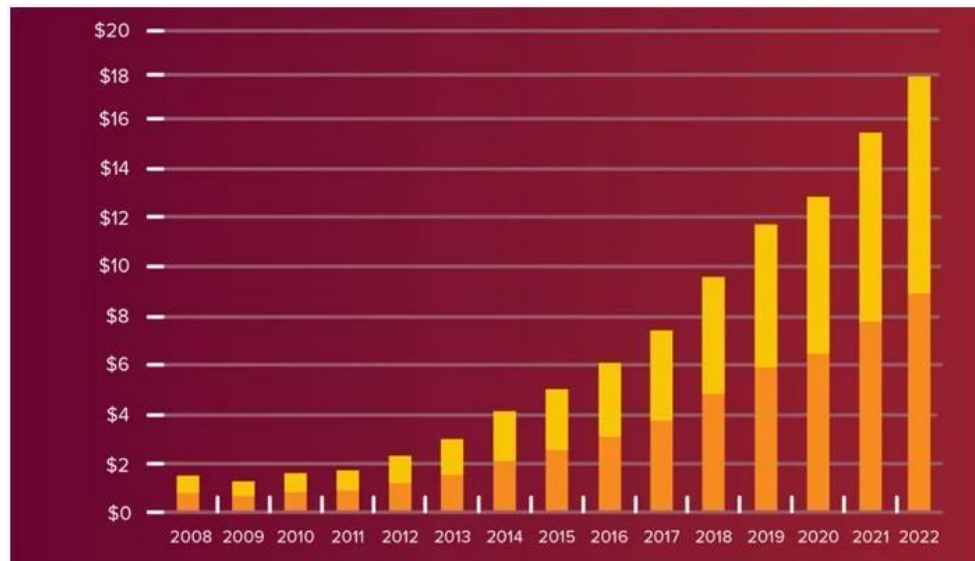
Con la globalización del mercado y la competencia entre empresas se aprecia los cambios en la era digital. Esta evolución se ha podido apreciar desde la primera revolución industrial con la energía generada por vapor. La segunda revolución con el uso de la energía eléctrica para la fabricación en masa. La tercera revolución industrial con la evolución en la información y en la comunicación (TIC) logrando que sea rápida y fluida. Actualmente, se desarrolla la cuarta revolución industrial que une y transforma tecnologías como robots, inteligencia artificial y máquinas programables.

Esta nueva revolución industrial promueve un conjunto de innovaciones tales como la flexibilidad en la producción. La flexibilidad permite modificar productos de acuerdo con la demanda para mantener la competitividad en el mundo actualmente globalizado. A la par, las industrias y los consumidores logran acercarse a las nuevas tecnologías que permiten fabricar objetos reales en tres dimensiones mediante la impresión 3D. (Díaz, 2018)

La industria 4.0 está caracterizada por la interconexión de sistemas, automatización y el análisis de datos para la optimización de procesos productivos. En este contexto la impresión en 3D se integra con tecnologías como el big data y la inteligencia artificial (IA). Esta integración permite:

- La impresión en 3D de piezas únicas y personalizadas sin necesidad de cambios costosos en las líneas de producción.
- La producción rápida de prototipos, lo que permite a las empresas a desarrollar nuevos productos en menor tiempo.
- Producir bajo demanda, lo que reduce la necesidad de contar con grandes inventarios.
- Utilizar la cantidad de material necesario para la creación de un objeto, reduciendo significativamente el desperdicio. (Morales, Flores, & Trujillo, 2024)

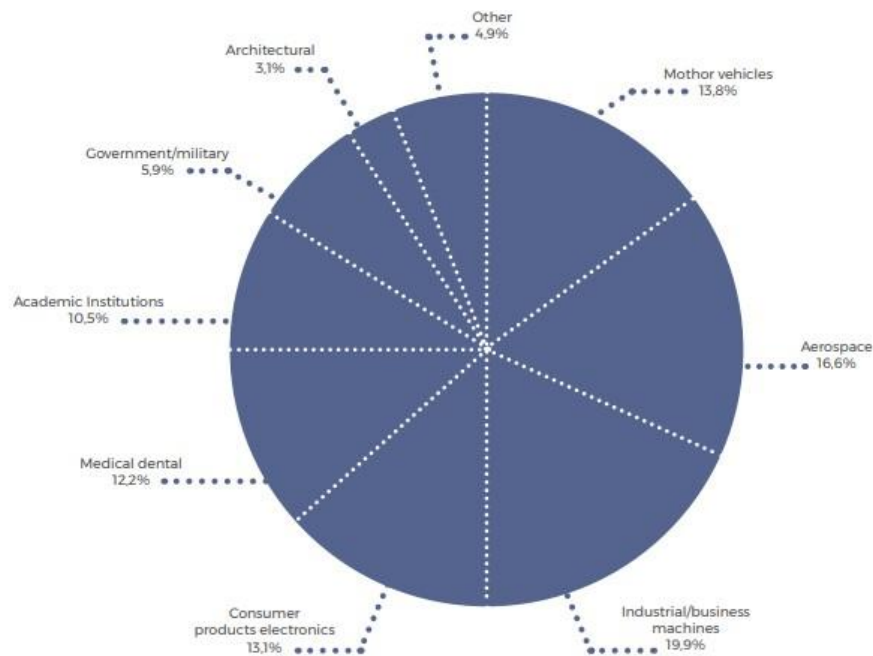
La manufactura aditiva y su evolución en el mercado es un tema de estudio. Esto debido a los diferentes campos de aplicación y ventajas que conlleva su empleo. Para la edición 2023, en el reporte anual de Wohlers Associates muestra un crecimiento continuo e invita a los usuarios a invertir en tecnologías 3D. Los datos son facilitados por varias empresas en todo el mundo. En la Figura 1.2 se muestra un análisis de las empresas que utilizan manufactura aditiva, como se puede observar, la barras de color amarillo representan lo ingresos mundiales por servicios y las de color naranja representa los ingresos por productos.



**Figura 1.2 Ingresos mundiales expresados en miles de millones de dólares**

Fuente: Wohlers Report.

En la Figura 1.3 se puede apreciar que la mayor incidencia de la manufactura aditiva es en las industrias y máquinas de producción con un 19.9%. En segundo lugar, se encuentra el sector aeroespacial con un 16.6% y en tercer lugar la automotriz con un 13.8%.



**Figura 1.3 Sectores de aplicación de la manufactura aditiva**

Fuente: Wholers Associates, Inc.

En el marco de la industria 4.0, la impresión 3D es una de las tecnologías más citadas. Esto ha generado un crecimiento en el desarrollo de materiales disponibles como: polímeros, cerámicos, metales y compuestos. Para lograr la implementación de esta tecnología de fabricación se requieren cambios y adaptaciones tanto a nivel de infraestructura como de personal operativo. Sin embargo, en el contexto tecnológico se ve un avance en la implementación y uso de la manufactura aditiva en las cadenas de suministros actuales. (Nuñez, 2021)

La UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017 clasifica los procesos de AM en siete categorías:

- Inyección aglutinante o Binder Jetting
- Deposición directa de energía o Directed Energy Deposition
- Proyección de material o Material Jetting
- Fusión de lecho de polvo o Powder Bed
- Laminación o Sheet Lamination
- Fotopolimerización en cuba o VAT Photopolymerization
- Extrusión de material o Material extrusion (Nuñez, 2021)

## 1.2. Planteamiento del problema

Una planta industrial cuenta con una desencajonadora para envases de vidrio (Figura 1.4), este equipo tiene como principio de funcionamiento sujetar las botellas de vidrio vacías para luego colocarlas en la mesa de carga que está constituida por bandas de cadenas metálicas. Las cadenas arrastran las botellas hacia el resto del sistema de transporte.



**Figura 1.4 Mesa de carga de la desencajonadora**

Los piñones son fundamentales para la sincronización y movimiento de la banda que transporta botellas a lo largo de las diferentes etapas de producción. Sin embargo, en el contexto de fabricación de dichos piñones, se tienen procesos comunes para su construcción: como el mecanizado o la fundición. Estos procesos clásicos representan desafíos significativos para la industria debido a los largos tiempos de fabricación, costos asociados al inventario de repuestos y recurrir a proveedores externos. Este conjunto de factores genera demoras y elevan gastos operativos. Actualmente, con la creciente visión de optimizar presupuestos operativos y mejorar la sostenibilidad de los procesos productivos se obliga a buscar opciones tecnológicas más eficientes y adaptables.



Es necesario indicar que, actualmente la fabricación de piñones se realiza con proveedores externos que utilizan el proceso de fresado en material Nylon 6PLA. Como referencia, el precio unitario de cada piñón es de \$40 y la planta industrial ha requerido el servicio de mecanizado de hasta 25 piñones, teniendo un gasto total aproximado de \$1000. En la Figura 1.5 se muestra el piñón de Nylon utilizado en la máquina desencajonadora.



**Figura 1.5 Piñón utilizado en la desencajonadora**

La manufactura aditiva (impresión 3D) se presenta como una tecnología que promete reducir costos, acelerar los tiempos de producción y diseñar elementos con geometrías complejas. Sin embargo, antes de proponer la implementación de esta tecnología es necesario evaluar su viabilidad técnica y económica. Ya que, se deben considerar aspectos adicionales como: el tipo de material de acuerdo con las propiedades mecánicas requeridas, costos de producción y su impacto en el presupuesto de la implementación.

Por lo tanto, surge la necesidad de realizar un estudio que permita analizar si la manufactura aditiva puede ser una solución viable y efectiva. Esta tecnología permitiría la producción de piñones de transporte, contribuyendo a la optimización de recursos y mejorando la operatividad de la línea.

### 1.3. Justificación

El presente estudio se justifica por la importancia estratégica de los sistemas de transporte (bandas transportadoras) en las líneas de producción de bebidas. Con un correcto funcionamiento se puede obtener altos niveles de productividad y minimizar paradas en la producción. En este contexto, los piñones son componentes mecánicos críticos, por lo que su diseño, fabricación y mantenimiento tienen un impacto directo en los costos y eficiencia operativa de la planta.

El uso de la manufactura aditiva para la fabricación de piñones de transporte ofrece múltiples beneficios potenciales, tales como:

- **Reducción de costos:** La planta podría reducir gastos asociados con la fabricación, transporte y almacenamiento de piñones. Así como también la dependencia de métodos tradicionales y de proveedores externos.
- **Flexibilidad en diseño:** Se puede lograr fabricar elementos con geometrías complejas y personalizadas, lo que permitiría adaptarse de mejor manera según las necesidades específicas de los equipos.
- **Rapidez en la respuesta:** Esta tecnología facilita la producción de piezas bajo demanda, reduciendo el tiempo de inactividad en caso de fallos o desgaste de los piñones.
- **Sostenibilidad:** Al tener como ventaja la optimización del uso de materiales y la reducción de desperdicios, la manufactura aditiva genera una producción más limpia, alineándose con las tendencias globales de responsabilidad ambiental.

Este proyecto busca la aplicabilidad de la tecnología de fabricación por impresión 3D en un entorno industrial. Se propone desarrollar un modelo que pueda ser replicado en diferentes plantas de producción, fortaleciendo la competitividad de las industrias de bebidas y respondiendo a las demandas de un mercado exigente.

### 1.4. Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica-económica del uso de manufactura aditiva para la fabricación de piñones del sistema de transporte en una línea de producción de bebidas carbonatadas.

#### 1.4.1. Objetivos específicos

- I. Determinar la tecnología y material adecuados para la fabricación de piñones de transmisión mediante manufactura aditiva.



- II. Estimar el costo-beneficio de la manufactura aditiva en la producción de piñones de transporte y su impacto en el presupuesto mensual de la planta de producción.
- III. Simular el proceso de impresión de un piñón mediante manufactura aditiva utilizando el software Autodesk Fusion.

## 1.5. Alcance

El presente estudio analizará la viabilidad técnica y económica de utilizar manufactura aditiva para la producción de piñones de transporte de una línea de embotellado en una planta de bebidas carbonatadas en Guayaquil. El trabajo se enfocará en determinar si la manufactura aditiva puede representar una alternativa viable a los métodos tradicionales, como el mecanizado y fundición, en términos de: costos, tiempos de producción y desempeño mecánico de los componentes.

El análisis abordará tres aspectos fundamentales:

- **Selección de tecnología y material:** Se identificarán las tecnologías de manufactura aditiva más adecuadas para la producción de piñones, considerando factores como precisión dimensional, resistencia mecánica, durabilidad y compatibilidad con las condiciones de operación de la desencajadora. Se evaluarán distintos materiales para impresión 3D con propiedades similares o superiores al Nylon 6PLA, actualmente utilizado en los piñones mecanizados.
- **Evaluación del costo-beneficio:** Se realizará un análisis económico comparativo entre la manufactura aditiva y el mecanizado tradicional. Este análisis incluirá el costo de producción por unidad, inversión en equipos, consumo de material, tiempos de producción. Además, se estimará el impacto financiero que tendría la adopción de esta tecnología en el presupuesto operativo de la planta.
- **Simulación del proceso de impresión:** Utilizando el software Autodesk Fusion, se simulará la impresión de un piñón con manufactura aditiva. Esta simulación permitirá evaluar la factibilidad geométrica del componente, estrategias y tiempos de impresión, disposición de soportes y posibles optimizaciones en el diseño. No se llevará a cabo una fabricación física de los piñones, sino que el estudio se basará en la simulación y en el análisis de los datos obtenidos.

Los resultados de esta investigación proporcionarán información clave sobre la aplicabilidad de la manufactura aditiva en la producción de repuestos críticos dentro de la industria de bebidas. Se espera que los hallazgos permitan evaluar si esta tecnología puede representar una solución viable y replicable en otras plantas con necesidades similares. Además, se brindará una base para futuras investigaciones que podrían incluir pruebas experimentales y validaciones en planta.

En términos de impacto, este estudio busca ofrecer una alternativa tecnológica que contribuya a la optimización de costos operativos, reducir tiempos de respuesta ante fallos en la maquina y una mayor sostenibilidad en los procesos productivos mediante la optimización de recursos.

# CAPÍTULO 2

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

### 2.1. Diagrama de flujo de la metodología

La Figura 2.1 muestra el flujograma que describe de manera estructurada la metodología utilizada para evaluar la viabilidad técnica y económica de la Manufactura Aditiva (MA) en la producción de piñones de transporte en una línea de embotellado de bebidas carbonatadas. La metodología se divide en dos grandes áreas de análisis:

- **Viabilidad Técnica:** Se inicia con el análisis del componente mecánico y sus condiciones de operación, seguido por la selección de tecnología de MA y material más adecuados. Posteriormente, se simula el proceso de impresión 3D en Autodesk Fusion y se realiza un análisis por elementos finitos (FEA) para evaluar el desempeño mecánico del piñón en condiciones de carga real.
- **Viabilidad Económica:** Se lleva a cabo una comparación de costos entre el método convencional de mecanizado y la manufactura aditiva, considerando material, tecnología, postprocesamiento y tiempos de fabricación. También, se analiza la rentabilidad del proceso y factibilidad de implementación dentro de la empresa.

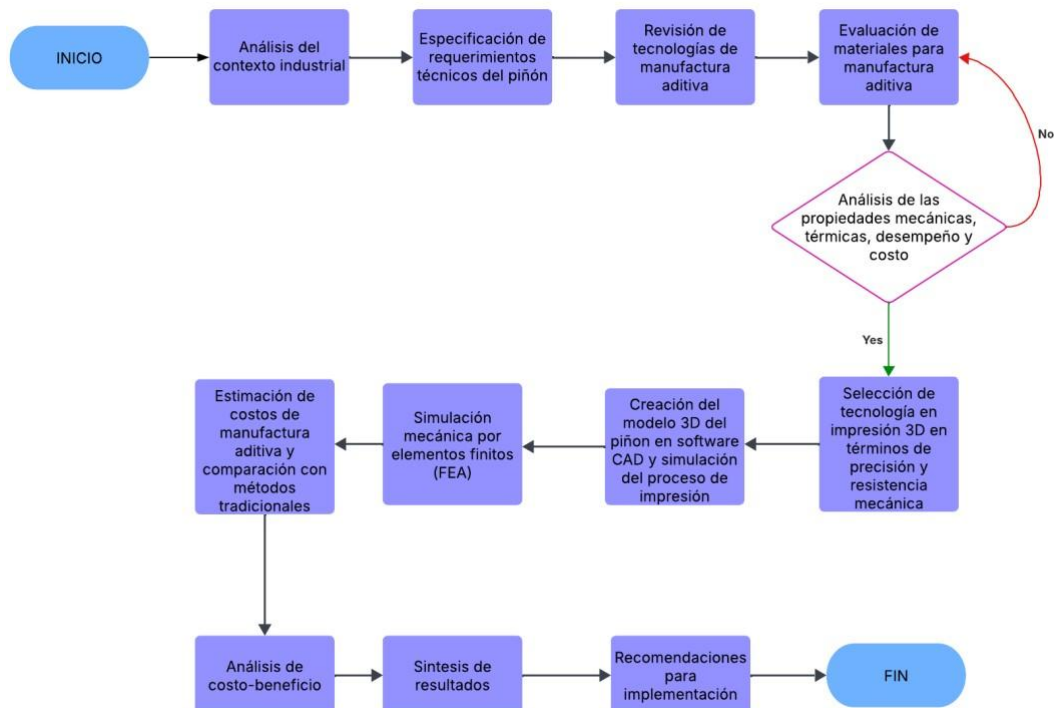


Figura 2.1 Metodología para desarrollo del proyecto

## 2.2. Análisis del contexto industrial

En la industria de bebidas carbonatadas, la eficiencia de los sistemas de transporte es un factor crítico para garantizar la continuidad y productividad de la línea de embotellado. Las bandas transportadoras cumplen un rol fundamental en el sistema que se está analizando. El procesamiento de un producto industrial está sujeto a movimientos ya sea vertical, horizontal u inclinados. Para realizar estos movimientos se utilizan bandas transportadoras.

Las ventajas de las bandas transportadoras son: grandes distancias de transporte, la facilidad de adaptación al terreno, diversidad de transportar diversos materiales. Básicamente son elementos auxiliares con la finalidad de transportar un material de un lugar a otro. Uno de los principales componentes de estos sistemas son las bandas de goma o cadenas que permiten contener el material transportado y transmitir la fuerza necesaria para el movimiento de la carga. (Salinero, 2013)

Las bandas son sistemas de transporte esenciales para la industria alimentaria, sobre todo para enfrentar las operaciones de carga y descarga de productos. Permiten eliminar la intervención manual operativa, aumentando productividad, lo que garantiza calidad y seguridad de los productos transportados. Además, pueden ser personalizables en cuanto a su tamaño dependiendo la necesidad.

En la Tabla 2 se detallan los tipos de bandas utilizadas en el sector alimenticio. (Cortés, 2024)

**Tabla 2 Tipos de bandas y sus generalidades**

| <b>Tipo de banda</b>                | <b>Generalidades</b>                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Banda PVC o PU</b>               | Resistentes al desgaste, gran flexibilidad y durabilidad. Son utilizadas en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica. Son de fácil limpieza.                                                       |
| <b>Bandas de malla de alambre</b>   | Son utilizadas en entornos con temperaturas extremas, para el transporte de productos alimenticios tales como horneados y refrigerios.                                                                         |
| <b>Bandas modulares de plástico</b> | Está constituida con módulos de plástico interconectados entre sí. Son ampliamente utilizados en transporte de panadería, carnes, frutas y verduras por su facilidad de limpieza y resistencia a la corrosión. |

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bandas de goma con empujadores</b>           | Están integradas con empujadores integrados que facilitan el desplazamiento de los productos. Son utilizadas principalmente en transportes inclinados o donde se requiera separar productos. Se las encuentra principalmente en el sector agrícola. |
| <b>Bandas de silicona</b>                       | Elaboradas con un material poroso capaz de soportar altas temperaturas. Son usadas en procesos productivos donde el producto alimenticio está sometido a calor.                                                                                     |
| <b>Banda de poliéster recubiertas de Teflón</b> | Tienen una superficie antiadherente. Son utilizadas para productos grasos o pegajosos para evitar que se adhieran a la banda. Se utilizan en aplicaciones que demandan alta resistencia a temperaturas y al contacto con sustancias corrosivas.     |
| <b>Bandas antiestáticas</b>                     | Su principal función es mitigar la acumulación de electricidad estática. Son ampliamente utilizados en las industrias electrónicas, automotriz y en manipulación de materiales inflamables o explosivos.                                            |
| <b>Bandas con cadena metálica</b>               | Presentan alta resistencia mecánica para soportar cargas pesadas. Presentan baja fricción y resistentes a la corrosión. En comparación con bandas plásticas, requieren menos mantenimientos.                                                        |

Fuente: Diseño y análisis estructural de una banda transportadora de pesos para una empresa de alimentos empleando softwares de ingeniería.

La desencajonadora opera mediante un conjunto de ventosas que sujetan las botellas y las trasladan hasta una mesa de carga. En esta etapa, las botellas son depositadas sobre cadenas metálicas, las cuales se encargan de transportarlas a lo largo del sistema. La mesa de carga utiliza 23 cadenas metálicas rectas, impulsadas por 23 piñones (Figura 2.2) montados sobre un eje común, los cuales son accionados por un motorreductor.



**Figura 2.2 Piñón de arrastre ubicado en la parte interna de la mesa de carga**

Actualmente, los piñones utilizados en la desencajonadora son fabricados mediante proceso de mecanizado, el cual es realizado por un proveedor externo. Dicho proveedor se especializa en el maquinado de piñones y la comercialización de bandas y cadenas transportadoras. Los piñones son fabricados en Nylon 6PLA, un material polimérico seleccionado por su resistencia al desgaste y baja fricción. El costo unitario de cada piñón es de \$40 y el tiempo de entrega del proveedor es de aproximadamente 2 semanas.

El proceso de fabricación mediante mecanizado presenta ciertos desafíos operativos y económicos para la empresa, entre ellos:

- Tiempo de entrega prolongado
- Costos elevados
- Falta de flexibilidad en el diseño

El principal problema identificado en los piñones para bandas transportadoras es el desgaste en los dientes tras uso prolongado.

### **2.3. Especificación de requerimientos técnicos**

El piñón es un engrane recto fabricado en Nylon 6PLA, con las siguientes dimensiones:

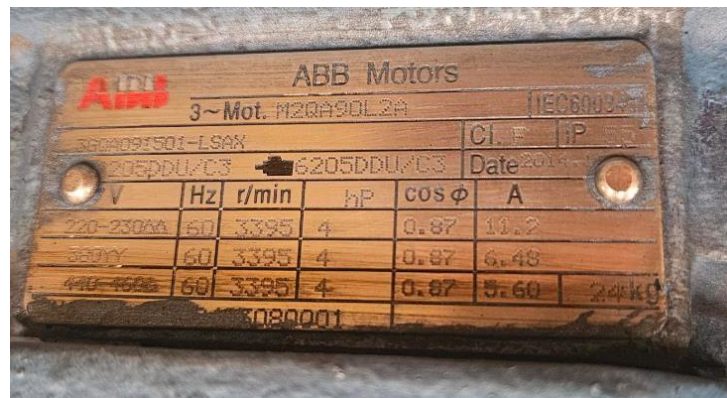
- Diámetro interno: 45 mm

- Diámetro externo (de diente a diente): 106 mm
- Ancho de la chaveta: 10 mm
- Número de dientes: 17
- Paso: 20 mm
- Ancho del piñón: 46 mm

Trabaja con un motorreductor con las siguientes especificaciones:

En la Figura 2.3 se muestra la placa del motor, se detalla a continuación los datos principales:

- Voltaje: 440 V
- Velocidad: 3395 rpm
- Potencia: 4 hp ( $\approx 2.98$  kW)



**Figura 2.3 Placa del motorreductor**

Se tomó medidas con un tacómetro para determinar las revoluciones a la salida de la caja reductora. Dando como resultado 43 rpm (Figura 2.4).



**Figura 2.4 Velocidad a la salida del reductor medido con un tacómetro**

El sistema de transmisión en la banda transportadora usa cadenas metálicas. Las cadenas metálicas son marca REGINA, modelo Flitetop P915 F8 (Figura 2.5).



**Figura 2.5 Eslabón de la cadena metálica**

Las condiciones ambientales en las que trabajan los piñones son las siguientes:

- Temperatura de trabajo: Aproximadamente 60°C
- Lubricación: No utiliza lubricación



La velocidad lineal de la cadena se calcula mediante la ecuación 2.1:

$$V = \frac{N \times P}{60} \quad (2.1)$$

Donde:

- V = Velocidad lineal (mm/s)
- N = Velocidad salida del reductor (rpm) = 43 rpm
- P = Paso de la cadena (mm) = 20

$$V = \frac{43 \times 20}{60} = 14.33 \frac{mm}{min} = 0.86 \text{ m/min}$$

La cadena metálica se mueve a una velocidad de aproximadamente 0.86 m/min.

Se calcula también el torque mediante la siguiente ecuación 2.2:

$$T = \frac{P \times 9550}{N} \quad (2.2)$$

Donde:

- T = Torque (Nm)
- P = Potencia (kW) = 2.98 kW
- N = Velocidad del reductor (rpm) = 43 rpm

$$T = \frac{2.98 \times 9550}{43} = 661.8 \text{ Nm}$$

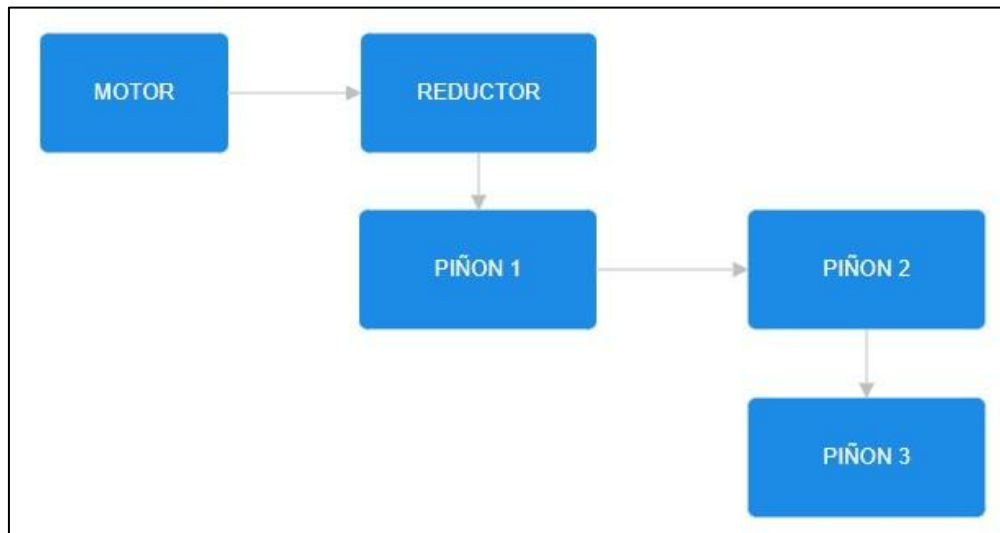
Actualmente, se utiliza el Nylon 6PLA por su resistencia al desgaste, bajo coeficiente de fricción y buena resistencia. Sin embargo, los piñones presentan desgaste por fricción en los dientes, ya que tienen contacto directo con la cadena metálica, también se observan deformaciones leves a largo plazo, consecuencia de la falta de lubricación y temperatura de operación (aproximadamente 60°C).

El desgaste en polímeros como el Nylon 6PLA se evalúa con:

1. Coeficiente de fricción ( $\mu$ )
  - Nylon seco contra acero: 0.3 - 0.5 (alto desgaste)
  - Nylon lubricado contra acero: 0.15 - 0.2 (bajo desgaste)
2. Velocidad de deslizamiento y presión de contacto
  - La fricción con la cadena genera abrasión y fatiga superficial.
  - La velocidad del piñón con 43 rpm es baja, lo que reduce el desgaste por calor, pero el contacto repetitivo con la cadena sí genera desgaste mecánico.
3. Temperatura de operación (~60°C)
  - El Nylon 6PLA tiene una temperatura de trabajo seguro entre 85-100°C.
  - A 60°C no pierde propiedades mecánicas, pero el calor puede acelerar la fatiga superficial.

Para realizar el análisis de desgaste se usará el procedimiento basado en la norma AGMA para fatiga por flexión y por esfuerzo de contacto. (Budynas & Nisbett, 2008)

Es importante considerar el diagrama del sistema de transmisión actual para la banda transportadora (Figura 2.6), donde el motor impulsa todo el movimiento hacia la caja reductora, posteriormente al piñón 1 y mediante una cadena se transmite hacia el piñón 2, finalmente el movimiento del piñón 2 se transmite al piñón 3 ya que comparten el mismo eje de transmisión.



**Figura 2.6. Diagrama del sistema de transmisión para la banda transportadora**

Fuente: Elaboración propia.

Se debe considerar las especificaciones de operación del sistema, mostradas en la Tabla 3:

**Tabla 3 Especificaciones generales de operación**

| Detalle                             | Cantidad | Unidad  |
|-------------------------------------|----------|---------|
| Potencia del motor                  | 4        | [hp]    |
| Velocidad del motor                 | 3395     | [rpm]   |
| Relación de transmisión de la caja  | 78.95    |         |
| Velocidad del reductor en la salida | 43       | [rpm]   |
| Diente piñón 1                      | 13       | dientes |
| Dientes piñón 2                     | 28       | dientes |
| RPM piñón 3                         | 19.96    | [rpm]   |
| Dientes piñón 3                     | 17       | dientes |
| Diámetro de paso                    | 105.47   | mm      |
| Ancho del piñón                     | 46       | mm      |

Tomando en cuenta una potencia constante de 4 hp del sistema, se utilizará la ecuación 2.3 para determinar el torque a la salida en el piñón 3:

$$H = T_m w_m = T_3 w_3 \quad (2.3)$$

Donde:

- $H$  = potencia del motor
- $T_m, T_3$  = torque
- $w_m, w_3$  = velocidad en rpm

Para el esfuerzo máximo de los dientes se utiliza la ecuación de Lewis (2.4), esta ecuación nos permite verificar si el material soportará la carga sin romperse ni deformarse excesivamente. Se debe calcular la resistencia a la tracción para compararla con la fatiga de los materiales propuestos. (Budynas & Nisbett, 2019)

$$\sigma = \frac{F_t}{b \cdot m \cdot Y} [MPa] \quad (2.4)$$

Donde:

- Carga tangencial  $F_t = \frac{2 \cdot T}{d_p} = \frac{2 \cdot 661.8}{0.10822} = 12228.6 [N]$
- b ancho del piñón (46 milímetros)
- Modulo del engranaje  $m = \frac{d_p}{N} = \frac{108.22}{17} = 6.37 [mm]$
- Factor de forma Lewis Y (para 17 dientes)

| Número de dientes | Y     | Número de dientes | Y     |
|-------------------|-------|-------------------|-------|
| 12                | 0.245 | 28                | 0.353 |
| 13                | 0.261 | 30                | 0.359 |
| 14                | 0.277 | 34                | 0.371 |
| 15                | 0.290 | 38                | 0.384 |
| 16                | 0.296 | 43                | 0.397 |
| 17                | 0.303 | 50                | 0.409 |
| 18                | 0.309 | 60                | 0.422 |
| 19                | 0.314 | 75                | 0.435 |
| 20                | 0.322 | 100               | 0.447 |
| 21                | 0.328 | 150               | 0.460 |
| 22                | 0.331 | 300               | 0.472 |
| 24                | 0.337 | 400               | 0.480 |
| 26                | 0.346 | Cremallera        | 0.485 |

**Figura 2.7 Valores del factor de forma de Lewis**

Fuente: Análisis de esfuerzos en transmisiones de engranes cilíndricos helicoidales mediante el método de los elementos finitos.

Se calcula el factor de seguridad estático con la ecuación 2.5, el cual nos indica cuanto margen de seguridad que tiene el material antes de fallar por carga estática. Si el factor de seguridad es menor a 1.5 el material podría fallar antes de los esperado. Se busca un factor de seguridad mayor a 2 para una operación confiable. (Norton, 2020)

$$FS = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{max}} \quad (2.5)$$

Donde:

- $\sigma_{perm}$  = esfuerzo permisible
- $\sigma_{max}$  = esfuerzo máximo

Se toma un paso de  $P = 6$  dientes/in, para calcular el diámetro de paso con la ecuación 2.6:

$$d_5 = \frac{N_5}{P} \quad (2.6)$$

Donde:

- $N_5$  = número de dientes del engrane 3
- $P$  = paso

La velocidad de la línea de paso se calcula mediante la ecuación 2.7 y las cargas transmitidas por la ecuación 2.8:

$$V_5 = \frac{\pi d_5 w_5}{12} \quad (2.7)$$

$$W_5 = 33000 \frac{H}{V_5} \quad (2.8)$$

Donde:

- $V_5$  = velocidad en el engrane 3
- $d_5$  = diámetro de paso en el engrane 3
- $w_5$  = rpm del engrane 3
- $W_5$  = fuerza del engrane 3

Se calcula el desgaste en el engrane, con la ecuación 2.9:

$$I = \frac{\cos \theta \sin \theta m_G}{2m_N m_G + 1} \quad (2.9)$$

Donde  $m_N = 1$  y  $m_G = 10.64$ , se toma también el ángulo de  $20^\circ$  que es el estándar para engranes.

Para el cálculo del factor dinámico  $K_v$ , se asume  $Q_v = 6$  (índice de nivel de exactitud en la transmisión).

$$K_v = \left( \frac{A + \sqrt{V}^B}{A} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

- $K_v$  = factor dinámico
- $Q_v$  = índice de calidad
- $A, B$  = variables de la ecuación
- $V$  = velocidad lineal del piñón 3

El factor de distribución de carga se calcula mediante la ecuación 2.11:

$$K_m = 1 + C_{mc} (C_{pf} C_{pm} + C_{ma} C_e) \quad (2.11)$$

Donde:

- $C_{mc}$  = factor de corrección de carga
- $C_{pf}$  = factor de proporción del piñón
- $C_{pm}$  = modificador de proporción del piñón
- $C_{ma}$  = factor de alineación del acoplamiento
- $C_e$  = factor de corrección de la alineación del acoplamiento

Finalmente, se debe realizar el cálculo de la resistencia a la picadura (esfuerzo de contacto) con la ecuación 2.12:

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W_t K_o K_v K_s \frac{K_m C_f}{d_p F I}} \quad (2.12)$$

Donde:

- $C_p$  = coeficiente elástico
- $W_t$  = fuerza del piñón
- $K_o$  = factor de sobrecarga
- $K_v$  = factor dinámico
- $K_s$  = factor de tamaño
- $K_m$  = factor de distribución de carga
- $C_f$  = factor de condición superficial
- $d_p$  = diámetro
- $F$  = ancho de la cara
- $I$  = desgaste del engrane

El esfuerzo de contacto permisible se calcula con la ecuación 2.13:

$$S_c = \frac{\sigma_c S_H K_T K_r}{Z_N C_h} \quad (2.13)$$

Donde:

- $S_H$  = factor de seguridad
- $K_T$  = factor temperatura
- $K_r$  = factor confiabilidad
- $K_r$  = factor de esfuerzo fatiga
- $C_h$  = factor de relación por dureza

Posteriormente, se compara  $S_c$  calculado con el de la tabla de la Figura 2.8 para poder determinar el tratamiento térmico que se debe aplicar.

**Tabla 14-6**

Resistencia de contacto repetidamente aplicada  $S_c$  a  $10^7$  ciclos y confiabilidad de 0.99 de engranes de acero  
Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.

| Designación del material     | Tratamiento térmico                                               | Dureza superficial mínima <sup>1</sup> | Número de esfuerzo de contacto permisible, <sup>2</sup><br>$S_c$ , psi |                    |         |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|
|                              |                                                                   |                                        | Grado 1                                                                | Grado 2            | Grado 3 |
| Acero <sup>3</sup>           | Endurecido completamente <sup>4</sup>                             | Vea la figura 14-5                     | Vea la figura 14-5                                                     | Vea la figura 14-5 | —       |
|                              | Endurecido por flama <sup>5</sup><br>o por inducción <sup>5</sup> | 50 HRC                                 | 170 000                                                                | 190 000            | —       |
|                              |                                                                   | 54 HRC                                 | 175 000                                                                | 195 000            | —       |
|                              | Carburizado y endurecido <sup>5</sup>                             | Vea la tabla 9*                        | 180 000                                                                | 225 000            | 275 000 |
|                              | Nitrurado <sup>5</sup> (aceros completamente endurecidos)         | 83.5 HR15N                             | 150 000                                                                | 163 000            | 175 000 |
|                              |                                                                   | 84.5 HR15N                             | 155 000                                                                | 168 000            | 180 000 |
| 2.5% de cromo (sin aluminio) | Nitrurado <sup>5</sup>                                            | 87.5 HR15N                             | 155 000                                                                | 172 000            | 189 000 |
| Nitralloy 135M               | Nitrurado <sup>5</sup>                                            | 90.0 HR15N                             | 170 000                                                                | 183 000            | 195 000 |
| Nitralloy N                  | Nitrurado <sup>5</sup>                                            | 90.0 HR15N                             | 172 000                                                                | 188 000            | 205 000 |
| 2.5% de cromo (sin aluminio) | Nitrurado <sup>5</sup>                                            | 90.0 HR15N                             | 176 000                                                                | 196 000            | 216 000 |

Notas: Vea la norma ANSI/AGMA 2001-D04 para las referencias citadas en las notas 1-5.

<sup>1</sup> La dureza será equivalente a la del inicio del perfil activo en el centro del ancho de la cara.

<sup>2</sup> Vea las tablas 7 a la 10 de los factores metalúrgicos principales de cada grado de esfuerzo en engranes de acero.

<sup>3</sup> El acero que se elija debe ser compatible con el proceso de tratamiento térmico que se seleccione y la dureza requerida.

<sup>4</sup> Estos materiales se deben recocer o normalizar como un mínimo.

<sup>5</sup> Los números de esfuerzo permisible que se indican se pueden utilizar con las profundidades de la superficie tratada prescritas en 16.1.

\* La tabla 9 de la norma ANSI/AGMA 2001-D04 es una tabulación detallada de los factores metalúrgicos principales que afectan a  $S_f$  y  $S_c$  de engranes de acero carburizados y endurecidos.

**Figura 2.8 Tabla de tratamientos térmicos según resistencia de contacto del engranaje**

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.



Sin embargo, para materiales poliméricos se recomienda comparar el esfuerzo de contacto permisible con el esfuerzo de contacto real por medio de la ecuación 2.14:

$$\sigma_H = \frac{C_p \sqrt{W_t}}{b d_p} \quad 2.14$$

Donde:

- $W_t$  = fuerza del engrane 3
- $F = b$  = ancho del engrane
- $d_p$  = diámetro primitivo
- $C_p$  = coeficiente elástico

Si el valor del esfuerzo de contacto real es menor al  $S_c$ , significa que el material resistirá el contacto sin problemas, dando como resultado un diseño idóneo.

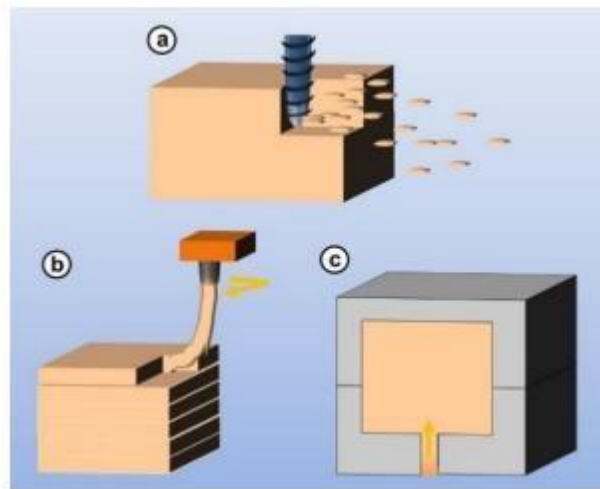
## 2.4. Revisión de tecnologías para manufactura aditiva

En cuanto a la manufactura aditiva, es una tecnología basada en la fabricación de componentes por aporte de material. Debido al proceso de evolución presentado en la tecnología, actualmente se la puede considerar una revolución en diferentes sectores industriales. Los sectores que incluyen son biomedicina, aeroespacial, automoción, arquitectura, fabricación de piezas de alto valor añadido.

La tecnología se basa en fabricación de piezas en 3D por aporte de material, iniciando desde un modelo CAD. Se logra la impresión a través de una fuente de alta concentración de energía. Actualmente, hay varias tecnologías para fabricación de componentes por adición de materiales en forma de polvo. Las empresas han comenzado a invertir capital en la tecnología de la manufactura aditiva, ya que sus ventajas son notorias debido a los incrementos de eficiencia. (Centro Avanzado de fabricación, 2019)

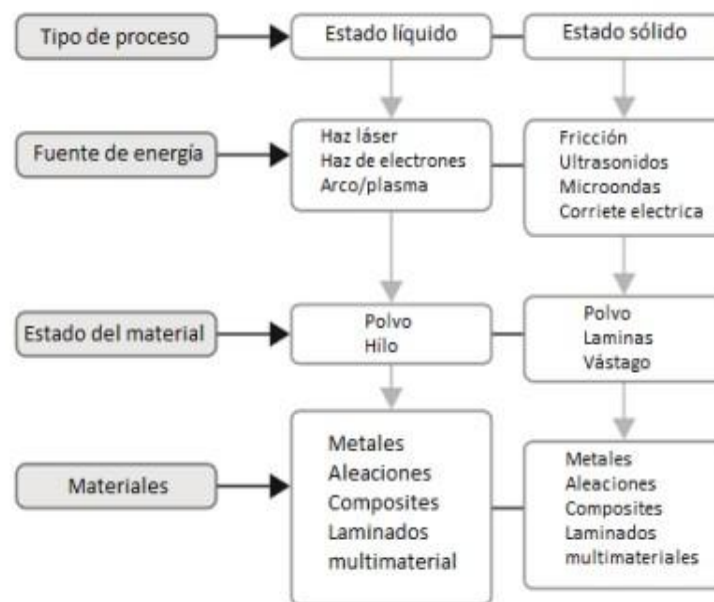
La manufactura aditiva trabaja en conjunto con los diseños asistidos por computadora (CAD) y los sistemas de fabricación asistida por computadora (CAM). Si bien técnicas tradicionales como el mecanizado también se apoyan en estas tecnologías, la ejecución es muy distinta. La diferencia clave entre el mecanizado y la fabricación aditiva, es que el mecanizado se basa en remover material mientras que la tecnología aditiva en agregar. El ejemplo lo podemos visualizar en la Figura 2.9, se presentan tres tipos de tecnologías de fabricación. El primero es el mecanizado de un bloque mediante la remoción de material, utilizando variedad de herramientas. La segunda es la tecnología aditiva, en la cual se va

agregando material capa por capa desde cero hasta la obtención del objeto final. El tercero es la tecnología de moldeo, que permite crear el objeto deseado a través de un molde con la forma deseada. (Lago, 2020)



**Figura 2.9 Tipos de fabricación de una pieza**

Fuente: Revisión de las técnicas de fabricación aditiva y sus aplicaciones.



**Figura 2.10 Clasificación general de las técnicas de fabricación aditiva**

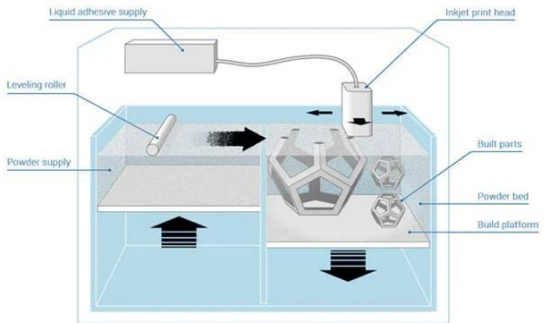
Fuente: Análisis del proceso del diseño para fabricación aditiva aplicado a componentes aeroespaciales.

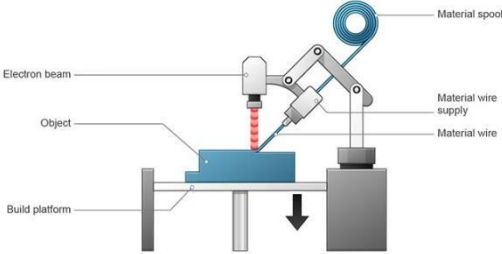
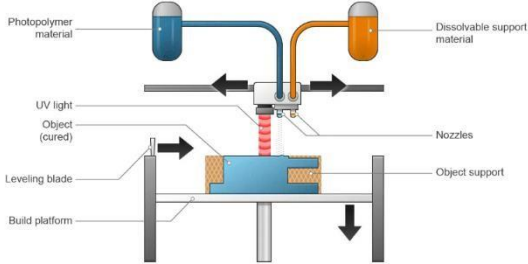
La variedad de procesos o técnicas que se han ido desarrollando a lo largo de los años puede ser clasificado por múltiples criterios. Estos criterios pueden ser la fuente de energía o el tiempo de alimentación. Se considera el estado del material al momento del conformado lo que permite distinguir los procesos en los que el material pasa al estado líquido y en los que no llega a cambiar permaneciendo en estado sólido (Figura 2.10).

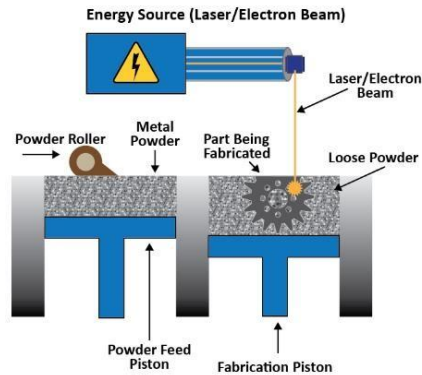
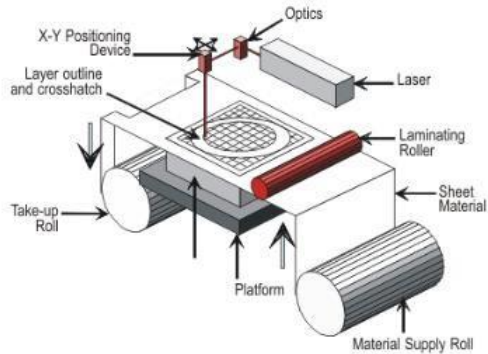
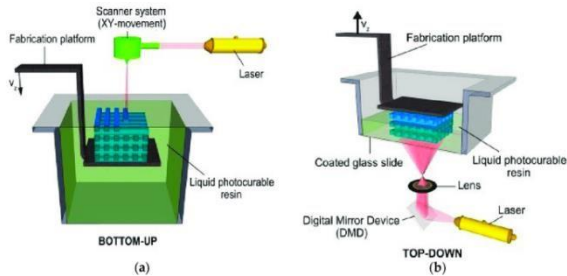
Desde los inicios de la impresión 3D, se ha desarrollado nuevas técnicas con la finalidad de ampliar la gama de materiales que sean compatibles. Esta compatibilidad permite la extensión de la tecnología. Las técnicas se basan en el mismo concepto, pero con diferentes ventajas y desventajas. Las técnicas van de la mano dependiendo del material, dimensión, tolerancias o complejidad geométrica. Las diferencias entre las técnicas es la forma en que se va agregando material y el medio de fusión. Como se detalló anteriormente, en algunos casos se puede agregar el material en estado sólido, semisólido y en otros casos en polvo, líquida o en una suspensión. Para la creación de las capas, se van densificando de manera selectiva mediante diferentes fuentes de energía.

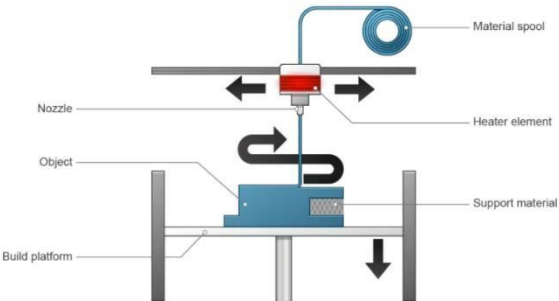
En la Tabla 4 se detalla las generalidades de las tecnologías en manufactura aditiva conocidas.

**Tabla 4 Técnica de la manufactura aditiva y sus generalidades**

| Técnica                                              | Generalidades                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ilustración                                                                          |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Inyección aglutinante o Binder Jetting</b></p> | <p>Esta técnica de manufactura aditiva elabora un objeto a través de la deposición de un líquido aglutinante orgánico o inorgánico sobre un lecho de polvo. El lecho de polvo puede ser polímero, metálico, cerámico o una mezcla. El líquido cumple la función de ser un adherente, lo cual permite que el polvo enlazado tenga la forma de la sección transversal del objeto.</p> |  |

|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Deposición directa de energía o Directed Energy Deposition</b></p> | <p>Es utilizada con materiales metálicos y su desarrollo surge como una adaptación de las técnicas de soldar. El objeto es formado en una atmosfera inerte.</p> <p>La atmosfera se mantiene aproximadamente a 10 ppm de oxígeno con argón o nitrógeno. Se alimenta de forma continua el material metálico al punto focal de un láser, un haz de electrones lo que permite una deposición del material fundido. Para esta técnica se requiere imprimir soportes para las partes que no están directamente apoyadas sobre la plataforma. Las técnicas más conocidas en función de la fuente de energía como parte de la deposición directa de energía son Laser Engineered Net Shaping o LENS, Electro-beam additive manufacturing o EBAM y Wire and Arc Additive Manufacturing o WAAM.</p> |  <p>The diagram illustrates the Directed Energy Deposition (DED) process. A material spool feeds a material wire through a material wire supply to a nozzle. An electron beam is directed at the tip of the wire, creating a molten pool. The wire is then deposited into this pool, forming a solid object on a build platform. Labels include: Material spool, Electron beam, Object, Build platform, Material wire supply, and Material wire.</p>                                                                                                            |
| <p><b>Proyección de material o Material Jetting</b></p>                  | <p>El principio de impresión está basado en el uso de impresoras de tintas presentes en oficinas, empresas y hogares. La proyección de material deposita y solidifica gotas del material capa por capa para la creación del objeto en 3D.</p> <p>El material que se va depositando en forma de gotas está compuesto por polímeros fotosensibles. Para la solidificación se utilizan reacciones químicas, a través de fuentes de luz ultravioletas que inciden sobre el material solidificándolo y/o la evaporación de un solvente.</p>                                                                                                                                                                                                                                                    |  <p>The diagram illustrates the Material Jetting process. Two tanks, one for photopolymer material and one for dissolvable support material, feed into nozzles. The nozzles deposit droplets of material onto a build platform. A leveling blade moves across the droplets, and UV light is used to cure the material. The resulting object is supported by the dissolvable support material. Labels include: Photopolymer material, Dissolvable support material, UV light, Object (cured), Leveling blade, Build platform, Nozzles, and Object support.</p> |

|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Fusión de lecho de polvo o Powder Bed</b></p>                | <p>El termino en ingles de este tipo de impresión es Powder Bed Fusion (PBF) y es similar a la de deposición directa de energía (DED). Ambas usan un láser o un haz de electrones para fundir material y dar forma a la pieza. La diferencia radica que en esta se funde el material previamente depositado en una cama o lecho. En este tipo no se necesita imprimir soportes ya que el polvo sin usar cumple esa función</p>                                                                                                                                                                                                                      |  <p>The diagram illustrates the Powder Bed Fusion (PBF) process. An Energy Source (Laser/Electron Beam) emits a beam that passes through a Powder Roller and Metal Powder to create a Part Being Fabricated. The process involves a Powder Feed Piston and a Fabrication Piston, with Loose Powder being used to fill the gaps between the parts.</p>                                                                   |
| <p><b>Laminación o Sheet Lamination</b></p>                        | <p>Este proceso se basa en la superposición de láminas de material para la creación de las piezas elaboradas en un programa CAD. La forma final de la pieza se la obtiene cortando el material con un láser o mecánicamente. Para la unión entre capas en laminado de hojas se puede usar adherente, aporte térmico o tornillería. Para el laminado de hojas con adherente se puede realizar cortes a las láminas a medida que se van uniendo o se corta las láminas para posteriormente unirlos. Las ventajas de este proceso es una menor tensión térmica, menor contracción y una gama de materiales que no son tóxicos, baratos y estables.</p> |  <p>The diagram shows the Sheet Lamination process. A Laser beam is directed through Optics and an X-Y Positioning Device to cut a Layer outline and crosshatch. The process involves a Take-up Roll, a Platform, a Laminating Roller, and a Sheet Material. A Material Supply Roll feeds the material into the process.</p>                                                                                           |
| <p><b>Fotopolimerización en cuba o VAT Photopolymerization</b></p> | <p>Basado en proyectar una luz sobre una resina fotosensible para lograr solidificarla. Esto ocurre debido a la excitación que causa la luz sobre este tipo de materiales. Luego de solidificarse cada capa del componente se aleja mecánicamente del foco de luz para que la resina sin curar se pueda procesar y posteriormente crear una pieza tridimensional capa por capa. La fotopolimerización es</p>                                                                                                                                                                                                                                        |  <p>The diagram illustrates the Vat Photopolymerization (VAT) process in two configurations: (a) BOTTOM-UP and (b) TOP-DOWN. In (a), a Scanner system (XY-movement) and a Laser beam are used to cure a layer of Liquid photocurable resin on a Fabrication platform. In (b), a Coated glass slide, a Lens, a Digital Mirror Device (DMD), and a Laser beam are used to cure the resin on a Fabrication platform.</p> |

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | <p>básicamente la generación de polímeros a través de reacciones químicas entre especies fotosensibles y la luz. Se debe considerar la longitud de onda según el material.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>Extrusión de material o Material Extrusión</b></p> | <p>La técnica más conocida es el modelado por deposición fundida (FDM) por sus siglas en inglés Fused Deposition modeling. Esta tecnología no usa temperaturas excesivamente altas, permitiendo usarlas en casa u oficinas. La tecnología utiliza un diseño tridimensional para obtener un código G. Para el caso de FDM, el código contiene los parámetros preestablecidos y la secuencia de coordenadas que conforman el camino por donde se deposita el material fundido en finas líneas hasta formar la capa. Para esta técnica es necesario la impresión de soportes para apoyar las partes que no pueden imprimirse directo sobre la capa anterior.</p> |  <p>El diagrama ilustra el proceso de extrusión de material. Se muestra un carrete de material (Material spool) conectado a un cabezal que contiene un elemento calefactor (Heater element) y una boquilla (Nozzle). El cabezal se mueve horizontalmente, como se indica por las flechas. La boquilla deposita material fundido para formar un objeto (Object) sobre una plataforma de construcción (Build platform). El material depositado se apoya sobre material de soporte (Support material) para mantener la estructura durante la impresión.</p> |

Fuente: Revisión de las técnicas de fabricación aditiva y sus aplicaciones.

## 2.5. Evaluación de materiales para manufactura aditiva

Para evaluar alternativas al Nylon 6PLA en la fabricación de piñones mediante manufactura aditiva, se proponen tres materiales: Nylon 12 (PA12) reforzado con fibra de vidrio, PEEK (Polieteretercetona) y ULTEM 9085 (PEI-Polieterimida). En la Tabla 5 se detalla las propiedades mecánicas y térmicas, basados en costo y procesabilidad.

**Tabla 5 Evaluación de propiedades mecánicas y térmicas**

| Material                                             | Propiedades mecánicas     |                       |                          | Propiedades térmicas                   | Generalidades          |                                    |
|------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
|                                                      | Resistencia a la tracción | Módulo de elasticidad | Resistencia a la flexión | Temperatura de deflexión térmica (HDT) | Costo material         | Procesabilidad                     |
| <b>Nylon 12 (PA12) reforzado con fibra de vidrio</b> | 51 MPa                    | 3200 MPa              | 65 MPa                   | 176 °C                                 | \$34.90 por 850 gramos | Compatible con impresión SLS y MJF |
| <b>PEEK (Polieteretercetona)</b>                     | 97 MPa                    | 3700 MPa              | 123 MPa                  | 152 °C                                 | \$315 por 500 gramos   | Compatible con impresión FFF/FDM   |
| <b>ULTEM 9085 (Polieterimida – PEI)</b>              | 69 MPa                    | 2200 MPa              | 105 MPa                  | 153 °C                                 | \$350 por 500 gramos   | Compatible con impresión FFF/FDM   |

Para las propiedades mecánicas y térmicas, se adjuntan las fichas técnicas de los elementos en la sección de Anexo A. Los costos son basados en la empresa Dgtalic, empresa de impresión 3D en Costa Rica. Cabe mencionar que los precios pueden variar según el proveedor y las condiciones del mercado.

Las tecnologías de impresión SLS (Selective Laser Sintering) y la MJF (Multi Jet Fusion) pertenecen a la categoría fusión en lecho de polvo (PBF – Powder Bed Fusion). En cuanto a las tecnologías FFF (Fused Filament Fabrication) y FDM (Fused deposition Modeling) son parte de la categoría extrusión de material (Material Extrusion – ME).

Al comparar los materiales para manufactura aditiva, el Nylon PA12 reforzado con fibra de vidrio ofrece una combinación equilibrada de propiedades mecánicas y térmicas, con un costo y facilidad de procesamiento más favorable en comparación a los otros materiales.

## 2.6. Tecnologías en impresión 3D

Para seleccionar la tecnología de impresión 3D adecuada para la fabricación del piñón en términos de precisión y resistencia mecánica, se analizan tres opciones:

- FDM (Fused Deposition Modeling) / FFF (Fused Filament Fabrication)
- SLS (Selective Laser Sintering)
- MJF (Multi Jet Fusion)

**Tabla 6 Comparación de tecnologías según los requerimientos del piñón**

| Criterio                       | FDM/FFF                                 | SLS                                       | MJF                                       |
|--------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Precisión dimensional</b>   | $\pm 0.2 - 0.5 \text{ mm}$              | $\pm 0.1 - 0.2 \text{ mm}$                | $\pm 0.08 - 0.15 \text{ mm}$              |
| <b>Resistencia mecánica</b>    | Media (anisotropía alta)                | Alta (más isotrópica que FDM)             | Alta (más isotrópica que SLS)             |
| <b>Resistencia al desgaste</b> | Media (depende del filamento)           | Alta (polvo compacto)                     | Muy alta (alta densidad)                  |
| <b>Rugosidad superficial</b>   | Alta (requiere postproceso)             | Media (puede mejorarse)                   | Baja (acabado uniforme)                   |
| <b>Costo de impresión</b>      | Bajo ( $\approx \$10 - \$50$ por pieza) | Medio ( $\approx \$50 - \$120$ por pieza) | Medio ( $\approx \$50 - \$150$ por pieza) |
| <b>Material compatible</b>     | Nylon 6, Nylon con fibra                | Nylon PA12, PA11                          | Nylon PA12, PA11, TPU                     |
| <b>Propiedades térmicas</b>    | Soporta hasta $80^{\circ}\text{C}$      | Soporta hasta $110^{\circ}\text{C}$       | Soporta hasta $120^{\circ}\text{C}$       |

De acuerdo con los datos mostrados en la Tabla 6, se propone la tecnología MJF por su alta precisión, ideal para engranajes, buena resistencia mecánica y desgaste reducido. Además de una buena estabilidad térmica, menor anisotropía lo que mejora la resistencia y rendimiento de la pieza en general. (Gibson, Rosen, & Stucker, 2021)

## 2.7. Postproceso y costos de fabricación con MA

El postprocesado es común en piezas impresas en 3D, permite definir acabados, mejorar propiedades y ensamblar piezas que lo requieran. Los principales tratamientos se los detalla a continuación:



- **Tratamientos mecánicos**

Hay diferentes tratamientos mecánicos, uno de ellos es el granallado, especie de lijado superficial en minutos, sin comprometer la calidad de la pieza. Con esta técnica no se compromete la precisión y dimensión debido al uso de partículas de dureza similar o levemente superior al material de la pieza. Se suelen utilizar micro-perlas de vidrio, bicarbonato de sodio o arenas para diferentes tipos de acabados.

Se utilizan abrasivos para pulir la pieza por inmersión en un recipiente que rota o vibra. En base al resultado esperado se determina el material tales como arena, piedra pómez y trozos de cerámica. En ciertos casos se utilizan líquidos lubricantes que acompañan el proceso.

También se pueden utilizar procesos de mecanizado como el taladrado, fresado y torneado para eliminar material residual. Se emplean únicamente cuando son piezas imprimidas en metal, ya que, si son de otros materiales podrían calentar y deformar. Sin embargo, se tiene la desventaja que al ser impresos por capas puede desprenderse según la dirección de la fuerza aplicada.

- **Tratamientos térmicos**

Estos tratamientos están enfocados en retirar material sobrante en una pieza impresa. Además de corregir presencia de fallos en la impresión, mejorar acabado superficial o fusionar partes de una pieza. Entre los tratamientos se cuenta con el calentamiento directo o indirecto. En el caso directo, se calienta el material cercano a su punto de fusión para lograr que se ablande, en esta técnica se usa equipos de soldadura de aire caliente, soldadores de estaño o el uso de llama directa. Sin embargo, hay riesgo de llevar al material a su forma líquida poniendo en riesgo las propiedades mecánicas y estética de la pieza. En el calentamiento indirecto se refiere al uso del material directamente fundido logrando una soldadura por inyección o por extrusión. Así mismo, se cuenta con soldadura por fricción de un cabezal entre dos piezas a una velocidad que funde el material para unirlo.

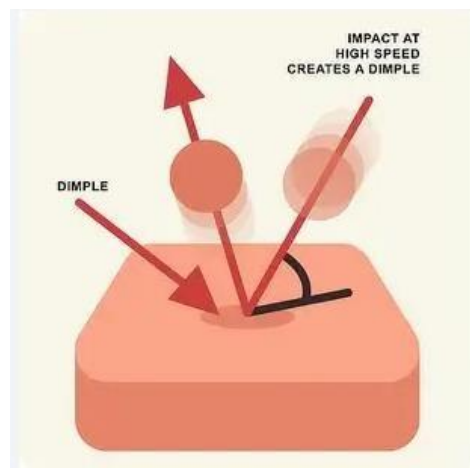
- **Tratamientos químicos**

En los tratamientos químicos se utiliza solvente líquido que tiene contacto con el material impreso. El proceso se basa en someter la pieza a un baño en inmersión directa o se lo introduce en un recipiente cerrado en el cual se vaporiza el disolvente. Al usar químicos se pueden generar nubes tóxicas, inflamables o quemaduras. Los acabados químicos tienen la finalidad de mejorar el acabado superficial o fusionar componentes en el producto final. Al utilizar químicos también se tendrán cambios en las propiedades físicas y mecánicas del material.

Para las diferentes tecnologías se describen y detallan postratamientos a continuación:

- ✓ Estereolitografía (SLA): Al finalizar la impresión por este método se somete a ensayos mecánicos, térmicos, eléctricos y dimensionales, para verificar calidad. Se mejoran propiedades a través del postcurado.
- ✓ Modelado por deposición fundida (FDM): Al finalizar se requiere remover soportes impresos para evitar deformaciones y mejorar apariencia superficial.
- ✓ Fabricación laminada (LOM): Al finalizar la pieza se realizan pruebas mecánicas de esfuerzos normales y paralelos a las capas.
- ✓ Sinterizado selectivo por láser (SLS): Debido a la porosidad, se admite infiltración de polímeros y metales, con la finalidad de mejorar sus propiedades y aumentar densidad. (Nuñez, 2021)

Para las piezas del piñón impresas con MJF, se recomienda un postprocesado que incluya la eliminación de polvo mediante aire comprimido, seguido de un granallado o pulido mecánico para mejorar la superficie. Se debe tener en cuenta el costo adicional por este postprocesado. El valor aproximado del granallado mecánico es de \$5 por metro cuadrado.



**Figura 2.11 Granallado mecánico de una pieza impresa en 3D**

Fuente: Weerg.

Para el cálculo del costo por unidad en MJF (Multi Jet Fusion) se considera los siguientes factores (Ecuación 2.15):

- Costo del material (Nylon PA12 en polvo)
- Volumen del piñón a imprimir
- Costo por tiempo de impresión (uso de máquina, costo de energía eléctrica en Ecuador = 0.085623 USD/kWh)

- Postprocesado (acabado y limpieza)

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= \text{Costo material} + \text{Costo energia} \\ &+ \text{Costo postprocesado} \end{aligned} \quad 2.15$$

## 2.8. Software para el modelado y simulación

Para el análisis y validación del diseño del piñón, se empleará el software Autodesk Fusion, una herramienta de modelado 3D, simulación y análisis por elementos finitos (FEA). Su uso en este estudio se justifica por la capacidad de integrar diseño paramétrico con herramientas de simulación mecánica, lo que permite evaluar el desempeño estructural del piñón fabricado mediante manufactura aditiva.

Aplicaciones en la metodología:

- Modelado 3D del piñón
  - Creación del modelo digital del piñón basado en sus dimensiones y especificaciones técnicas.
  - Ajustes geométricos para optimizar la fabricación mediante manufactura aditiva.
- Simulación del proceso de impresión 3D
  - Uso del módulo de manufactura aditiva en Autodesk Fusion para definir parámetros como orientación de impresión, generación de soportes y parámetros de material.
  - Estimación del tiempo de impresión y consumo de material.
- Análisis por Elementos Finitos (FEA)
  - Aplicación de cargas y condiciones de frontera representativas al funcionamiento del piñón en la mesa de carga de la desenchonadora.
  - Evaluación de tensiones equivalentes de Von Mises, deformaciones y factor de seguridad.
  - Simulación de fatiga para estimar la vida útil del piñón en operación.

El uso de Autodesk Fusion en este proyecto permite optimizar el diseño, validar el comportamiento estructural del piñón, reducir costos y tiempos de prueba para prototipado, contribuyendo a la evaluación integral sobre viabilidad de la manufactura aditiva en el contexto industrial.

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN Y DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

#### 3.1. Análisis teórico

En esta sección se presentan los resultados (Tabla 7) al evaluar el desempeño del piñón (resistencia al desgaste) bajo diferentes materiales. Adicionalmente se ha realizado análisis mecánico estructural utilizando simulación con el objetivo de cuantificar la resistencia estructural del componente para Nylon PA12.

**Tabla 7 Desempeño del piñón con Nylon 6PLA y PA12**

| Especificación                                     | Unidad   | Nylon 6PLA | Nylon PA12 |
|----------------------------------------------------|----------|------------|------------|
| Torque motor                                       | lbf-pie  | 6.19       | 6.19       |
| Torque piñón 3                                     | lbf-pie  | 1052.30    | 1052.30    |
| Diámetro paso piñón 3                              | in       | 4.152      | 4.152      |
| Velocidad del piñón 3                              | Pies/min | 21.70      | 21.70      |
| Fuerza del piñón 3                                 | Lbf      | 6082.14    | 6082.14    |
| Relación de distribución de cargas (Mn)            |          | 1.00       | 1.00       |
| Relación de engranes (Mg)                          |          | 2.15       | 2.15       |
| Factor geométrico de resistencia a la picadura (I) |          | 0.1097     | 0.1097     |
| Índice de calidad (Qv)                             |          | 6.00       | 6.00       |
| Factor dinámico (A)                                |          | 59.77      | 59.77      |
| Factor dinámico (B)                                |          | 0.83       | 0.83       |
| Factor dinámico (Kv)                               |          | 1.06       | 1.06       |
| Ancho del piñón (F)                                | in       | 1.81       | 1.81       |
| Factor de corrección de carga (Cmc)                |          | 1.00       | 1.00       |
| Factor de proporción del piñón (Cpf)               |          | 0.0288     | 0.0288     |
| Diámetro del paso del piñón 3 (d)                  |          | 4.152      | 4.152      |
| Modificador de proporción del piñón (Cpm)          |          | 1.00       | 1.00       |
| Factor de alineación de acoplamiento (Cma)         |          | 0.28       | 0.28       |

|                                                                    |                   |             |             |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| <b>Factor de corrección de la alineación del acoplamiento (Ce)</b> |                   | 1.00        | 1.00        |
| <b>Factor de distribución de carga (Km)</b>                        |                   | 1.31        | 1.31        |
| <b>Relación Poisson acero inoxidable (<math>\nu</math>)</b>        |                   | 0.305       | 0.305       |
| <b>Relación Poisson polímero (<math>\nu</math>)</b>                |                   | 0.400       | 0.403       |
| <b>Módulo elasticidad acero inoxidable (E)</b>                     | Psi               | 27557163.00 | 27557163.00 |
| <b>E polímero</b>                                                  | Psi               | 522135.72   | 268319.74   |
| <b>Coefficiente elástico (Cp)</b>                                  | $\text{psi}^{-1}$ | 440.33      | 317.66      |
| <b>Factor de sobrecarga (Ko)</b>                                   |                   | 1           | 1           |
| <b>Factor de tamaño (Ks)</b>                                       |                   | 1           | 1           |
| <b>Factor de condición superficial (Cf)</b>                        |                   | 1           | 1           |
| <b>Esfuerzo picadura</b>                                           | Psi               | 44554.27    | 32141.61    |
| <b>Número de ciclos de carga (N)</b>                               | Horas             | 12000       | 12000       |
| <b>Revoluciones</b>                                                | Rev               | 14374286    | 14374286    |
| <b>Factor de esfuerzo (Zn)</b>                                     |                   | 0.98        | 0.98        |
| <b>Factor confiabilidad (Kr)</b>                                   |                   | 1           | 1           |
| <b>Factor temperatura (Kt)</b>                                     |                   | 1           | 1           |
| <b>Factor de relación de dureza (Ch)</b>                           |                   | 1           | 1           |
| <b>Factor diseño al desgaste (Sh)</b>                              |                   | 1.20        | 1.20        |
| <b>Esfuerzo de contacto permisible (Sc)</b>                        |                   | 54563.51    | 39362.32    |
| <b>Factor geométrico (J)</b>                                       |                   | 0.29        | 0.29        |
| <b>Factor de espesor del aro (Kb)</b>                              |                   | 1           | 1           |
| <b>Esfuerzo a la flexión</b>                                       | Psi               | 65864.62    | 65864.62    |
| <b>Ciclo de esfuerzo (Yn)</b>                                      |                   | 0.988       | 0.988       |
| <b>Esfuerzo de flexión</b>                                         |                   | 65098.66    | 65098.66    |

Según los resultados mostrados en la Tabla 7, indican que el material que resiste mayor esfuerzo de contacto es el Nylon 6PLA en comparación al Nylon PA12, este es un factor importante para considerar, ya que, previamente se comentó que el mecanismo de falla era desgaste en los dientes, por lo tanto, se verifica con la simulación si el Nylon PA12 soporta el esfuerzo máximo para su adecuada selección. En la sección Anexo B, se detallan las ecuaciones que se utilizaron para la obtención de los resultados mostrados.

Para el cálculo del costo de manufactura se empleó la ecuación 2.15. Es importante mencionar que, el consumo energético para estimar el costo de energía en Ecuador se basa en el catálogo de la empresa HP mostrado en el Anexo D.

- Masa del piñón = 0.29 [Kg]
- Potencia impresora HP Jet Fusion 5200 = 12 [kW]
- Tiempo impresión  $\approx$  8.5 horas las dos piezas
- Costo energía en Ecuador = 0.085623 [ $USD / kWh$ ]
- Costo postprocesado  $\approx$  \$5

$$\text{Costo total} = \$40.02 + \$8.73 + \$5 = \$53.75$$

### 3.2. Matriz de selección

Para determinar la mejor opción de fabricación del piñón, se utilizó una matriz de decisión basada en criterios clave como resistencia mecánica, vida útil, costo por unidad, facilidad de fabricación y disponibilidad del material. Se compararon tres opciones: Nylon 6PLA mecanizado, Nylon PA12 impreso con MJF y Policarbonato PC con FDM (Fused Deposition Modeling).

Cada criterio fue ponderado según su importancia en el desempeño del piñón dentro del equipo de la desenchajadora. A continuación, en la Tabla 8 se presenta la matriz de decisión con los puntajes y la evaluación de cada opción.

**Tabla 8 Matriz de decisión para selección de material y tecnología**

| Criterio                                             | Peso (%) | Nylon 6PLA | Nylon PA12 (MJF) | Policarbonato PC (FDM) |
|------------------------------------------------------|----------|------------|------------------|------------------------|
| <b>Resistencia mecánica (esfuerzo a la tracción)</b> | 30%      | 9          | 7                | 8                      |
| <b>Vida útil</b>                                     | 25%      | 9          | 8                | 5                      |
| <b>Costo por unidad</b>                              | 20%      | 8          | 7                | 7                      |
| <b>Facilidad de fabricación</b>                      | 15%      | 6          | 9                | 9                      |

|                              |      |     |     |     |
|------------------------------|------|-----|-----|-----|
| <b>Tiempo de fabricación</b> | 10%  | 5   | 8   | 9   |
| <b>Total ponderado</b>       | 100% | 74% | 78% | 76% |

Donde:

- Puntajes de 1 a 10 (1 = peor desempeño, 10 = mejor desempeño).
- Se multiplica cada puntaje por su peso y se suman los resultados para obtener el total ponderado.

En base a la matriz, se evidencia que el Nylon PA12 es la opción más adecuada que combina resistencia, precisión, vida útil y sobre todo, facilidad y tiempo de fabricación. Por lo tanto, la tecnología MJP con Nylon PA12 resultó bastante competitivo en los criterios evaluados.

### 3.3. Diseño del piñón

El diseño del piñón se llevó a cabo utilizando el software Autodesk Fusion, el cual permite modelado paramétrico, simulaciones y ensamblajes. Para su desarrollo, se consideraron los requerimientos mecánicos y geométricos del sistema de transmisión.

El piñón consta de dos partes principales:

- Pieza superior: Diseñado con su perfil dentado. Se definieron parámetros como el número de dientes, el diámetro primitivo y el ancho de la cara.
- Pieza con chavetero: Diseñada con el chavetero de 10 mm. Se definió número de dientes.

Ambas piezas fueron modeladas utilizando herramientas de extrusión, revolución y patrón circular para definir la geometría de los dientes. La Figura 3.1 y Figura 3.2 representan las dos partes que conforman el piñón.



**Figura 3.1 Diseño de piñón en Nylon 6**



**Figura 3.2 Diseño de piñón en Nylon 12**

### 3.4. Simulación para Análisis por Elementos Finitos

Para la simulación se seleccionó el piñón de Nylon PA12 siendo el material seleccionado para el estudio. A continuación, se presenta el resultado teórico de la fuerza aplicada en los dientes del piñón:

$$Fuerza_{aplicada} = \frac{T}{radio\ primitivo} = \frac{12627.6\ lbfin}{2.076\ in} = 6082.65\ [lbf] = 27056.97\ [N]$$

Dado que el piñón tiene 17 dientes, y la cadena cubre  $180^\circ$ , se estima el número de contactos:

$$N_{contacto} = \frac{17}{2} \approx 8.5 \approx 8\ dientes$$

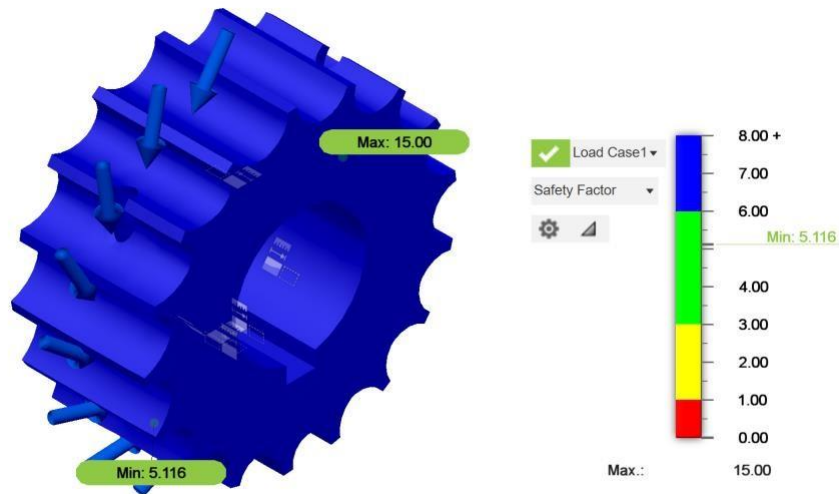


Se utilizan 8 dientes como áreas de contacto por la ubicación de la cadena alrededor del piñón. Por lo tanto, a cada diente se le aplica una carga de 3382.12 [N]. A continuación, se presentan los resultados generados en Autodesk Fusion (Figura 3.3):

| Name                     | Minimum       | Maximum    |
|--------------------------|---------------|------------|
| Safety Factor            |               |            |
| Safety Factor (Per Body) | 5.116         | 15.00      |
| Stress                   |               |            |
| von Mises                | 6.478E-04 MPa | 5.055 MPa  |
| 1st Principal            | -0.411 MPa    | 2.17 MPa   |
| 3rd Principal            | -5.433 MPa    | 0.168 MPa  |
| Normal XX                | -5.386 MPa    | 1.855 MPa  |
| Normal YY                | -1.979 MPa    | 1.61 MPa   |
| Normal ZZ                | -1.616 MPa    | 1.238 MPa  |
| Shear XY                 | -1.084 MPa    | 1.355 MPa  |
| Shear YZ                 | -0.683 MPa    | 0.612 MPa  |
| Shear ZX                 | -1.50 MPa     | 1.423 MPa  |
| Displacement             |               |            |
| Total                    | 0.00 mm       | 0.032 mm   |
| X                        | -0.023 mm     | 0.024 mm   |
| Y                        | -0.031 mm     | 0.004 mm   |
| Z                        | -0.002 mm     | 0.002 mm   |
| Reaction Force           |               |            |
| Total                    | 0.00 N        | 62.16 N    |
| X                        | -61.607 N     | 20.095 N   |
| Y                        | -17.897 N     | 44.243 N   |
| Z                        | -3.592 N      | 3.765 N    |
| Strain                   |               |            |
| Equivalent               | 3.402E-07     | 0.002      |
| 1st Principal            | 2.479E-07     | 0.001      |
| 3rd Principal            | -0.002        | -1.823E-07 |
| Normal XX                | -0.002        | 6.524E-04  |
| Normal YY                | -6.747E-04    | 6.039E-04  |
| Normal ZZ                | -5.077E-04    | 4.229E-04  |
| Shear XY                 | -8.879E-04    | 0.001      |
| Shear YZ                 | -5.595E-04    | 5.017E-04  |
| Shear ZX                 | -0.001        | 0.001      |
| Contact Pressure         |               |            |
| Total                    | 0.00 MPa      | 1.702 MPa  |
| X                        | -1.277 MPa    | 1.247 MPa  |
| Y                        | -1.578 MPa    | 0.811 MPa  |
| Z                        | -0.273 MPa    | 0.262 MPa  |
| Contact Force            |               |            |
| Total                    | 0.00 N        | 47.838 N   |
| X                        | -26.52 N      | 44.451 N   |
| Y                        | -17.666 N     | 25.396 N   |
| Z                        | -2.341 N      | 1.959 N    |

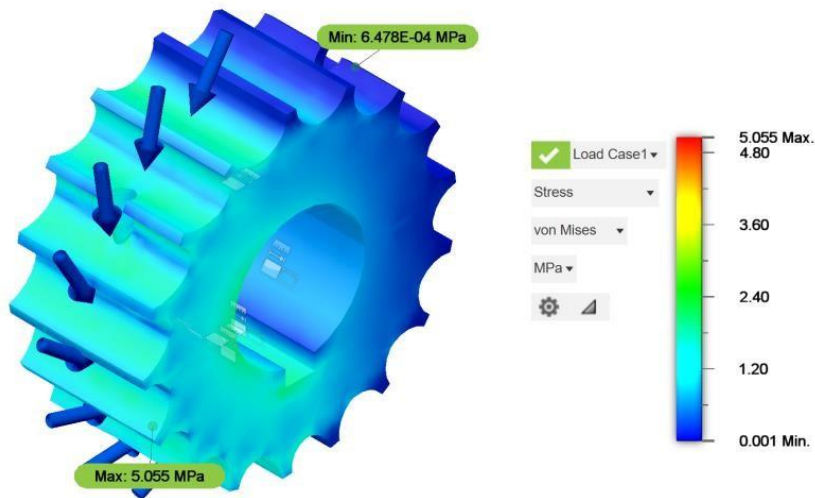
**Figura 3.3** Tabla de resultados generado en Autodesk Fusion

Como se muestra en la Figura 3.3, se generó un factor de seguridad mínimo de 5.116 y máximo de 15. Un factor de seguridad mínimo de 5.116 indica que el diseño del piñón es bastante seguro, ya que soporta más de cinco veces la carga máxima aplicada. El valor máximo de 15 sugiere que hay zonas con un margen de seguridad muy alto, lo que podría indicar material subutilizado. En la Figura 3.4 se detalla el área en la que se encuentra el factor de seguridad, el área verde es la óptima para el diseño propuesto.



**Figura 3.4 Piñón simulado con el factor de seguridad**

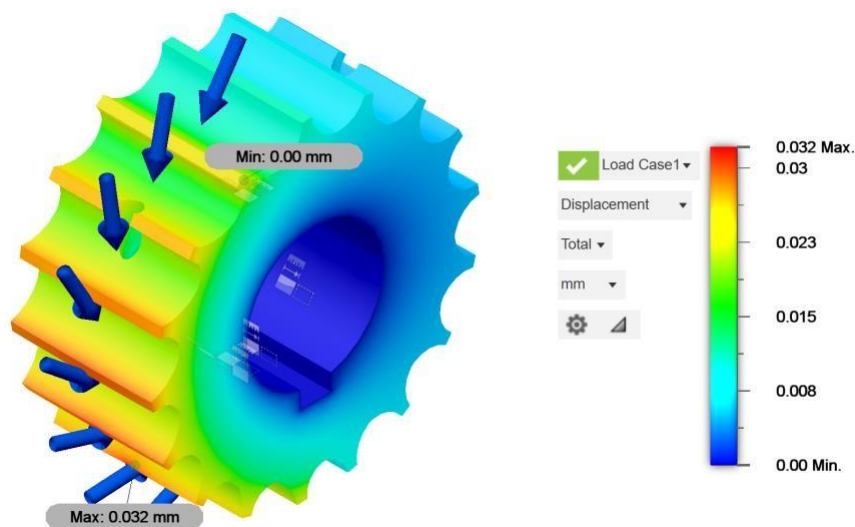
El esfuerzo de Von Mises máximo generado es 5.055 MPa y mínimo 0.0006478 MPa. El valor máximo de 5.055 MPa es relativamente bajo en comparación con la resistencia típica de los polímeros, por lo que no hay riesgo de falla estructural por esfuerzos excesivos. En la Figura 3.5 el color turquesa representa un área de esfuerzo bajo sin esfuerzos excesivos.



**Figura 3.5 Piñón con el esfuerzo de Von Mises simulado**

Las fuerzas de reacción máxima (62.16 N) sugieren que la carga se distribuye correctamente a lo largo del piñón sin concentraciones excesivas de esfuerzo en los puntos de contacto. Adicionalmente, la presión de contacto máxima (1.702 MPa) está dentro de un rango aceptable para plásticos de ingeniería como el Nylon 6PLA y el PA12, lo que sugiere un buen desempeño en términos de desgaste y fricción.

El desplazamiento máximo (deformación total) generada es de 0.032 mm, lo que indica que el piñón tiene una excelente rigidez y no sufre deformaciones significativas bajo la carga aplicada. En la Figura 3.6 se visualiza una gama de colores amarillos y rojizos en los dientes del piñón. Sin embargo, no se ve comprometido a una deformación crítica.



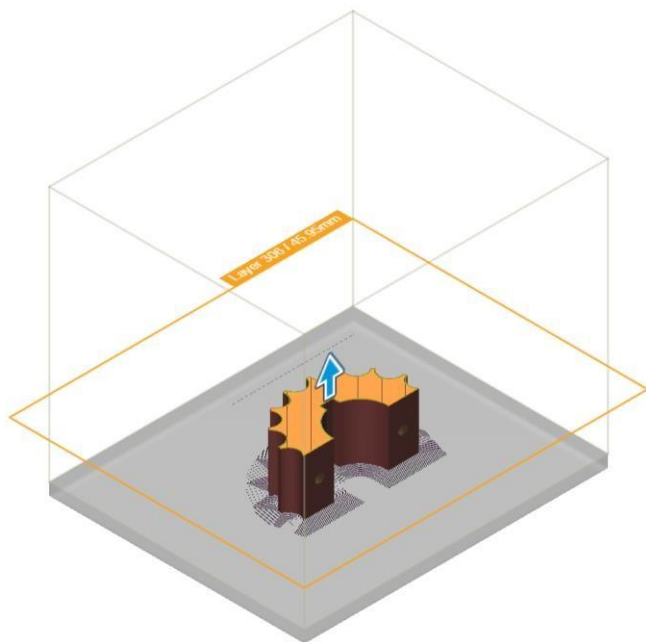
**Figura 3.6 Piñón simulado con el desplazamiento máximo**

### 3.5. Simulación de impresión 3D

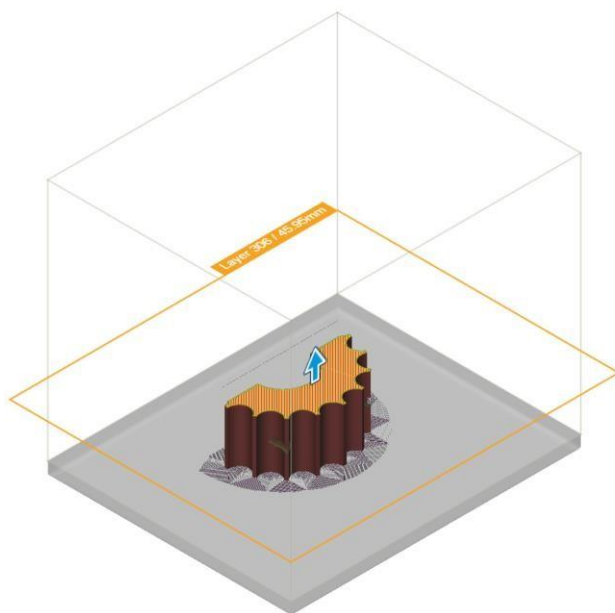
Se realizó una simulación didáctica con la tecnología FDM, lo que permitió visualizar la impresión y analizar el proceso capa por capa, optimizando la orientación de la pieza con el fin de minimizar deformaciones térmicas y mejorar la calidad del acabado.

Se utilizó la impresora Prusa i3 Mk3 de la librería de Autodesk Fusion. Las piezas se las coloca con orientación horizontal, por lo que la parte cilíndrica al estar en sentido vertical aprovecha la mayor resistencia del filamento en la dirección correcta y se evitan muchos soportes innecesarios.

La simulación también permite evaluar posibles errores en la trayectoria de impresión, garantizando que el modelo esté correctamente posicionado dentro del área de impresión del equipo Prusa i3 Mk3. La Figura 3.7 corresponde a la sección con el chavetero y la Figura 3.8 representa la segunda sección de la pieza que conforma el piñón.

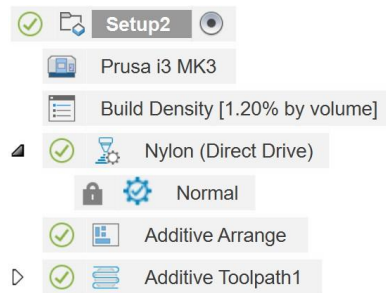


**Figura 3.7 Pieza piñón con chavetero posicionado en la impresora**



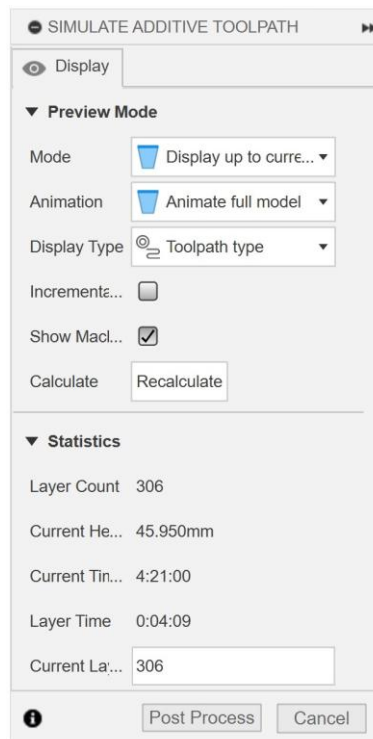
**Figura 3.8 Pieza piñón sin chavetero posicionado en la impresora**

En la Figura 3.9 se visualiza las características seleccionadas para la impresión de las piezas. El elemento se ubica en el centro de la impresora con la orientación seleccionada y se procede a simular la trayectoria.

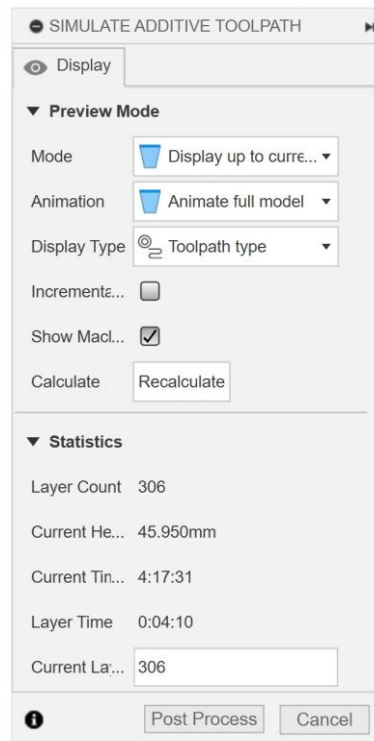


**Figura 3.9 Configuración en Autodesk Fusion para la simulación**

Una vez realizada la simulación se generan los datos finales. Uno de los más importantes a considerar es el tiempo de impresión. Para la pieza con chavetero el tiempo de impresión se estima en 4 horas con 21 minutos (Figura 3.10), mientras que para la segunda parte del piñón el tiempo aproximado es de 4 horas con 17 minutos (Figura 3.11). Para esta simulación no fue necesario añadir soportes a la pieza ya que no posee diámetros menores a 8 milímetros en su geometría.



**Figura 3.10 Resultados de impresión piñón con chavetero**



**Figura 3.11 Resultados de impresión piñón sin chavetero**

### **3.6. Viabilidad técnica-económica**

Se analiza comparativamente la viabilidad técnica y económica entre dos métodos de fabricación para piñones: mecanizado convencional y manufactura aditiva. El objetivo es determinar cuál de estas tecnologías resulta más adecuada para la producción de piñones en términos de requerimientos técnicos, costos asociados y uso de infraestructura.

La Tabla 9 presenta los requerimientos técnicos necesarios para cada método. Se consideran aspectos como el tipo de equipos, materiales utilizados, personal capacitado y software necesario para llevar a cabo el proceso de fabricación.

**Tabla 9 Análisis de viabilidad técnica**

| <b>Criterio</b>              | <b>método convencional (mecanizado)</b>     | <b>método aditivo (Impresión 3D)</b>    |
|------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Equipos requeridos</b>    | Torno, fresadora, herramientas de corte CNC | Impresora 3D                            |
| <b>Materiales utilizados</b> | Nylon 6PLA en barra                         | Filamento o polvo de Nylon PA 12        |
| <b>Personal técnico</b>      | Tornero, técnico de control numérico        | Técnico de impresión 3D                 |
| <b>Software necesario</b>    | CAD/CAM, control CNC                        | CAD (Autodesk Fusion), Software Slicing |
| <b>Tiempo de preparación</b> | Alto (preparación de setup, fijación)       | Bajo (preparación digital previa)       |
| <b>Tiempo de producción</b>  | 2-4 horas por pieza                         | 4.5-5 horas                             |
| <b>Postproceso requerido</b> | Bajo (acabado superficial)                  | Medio (limpieza de polvo, granallado)   |

El mecanizado requiere mayor experiencia técnica y preparación previa, mientras que la impresión 3D reduce el número de pasos operativos al automatizar gran parte del proceso, permitiendo mayor agilidad en prototipado y personalización.

La Tabla 10 detalla los costos estimados asociados a cada método de fabricación, considerando inversión en equipos, materiales por unidad, mano de obra y tiempos de producción. En la cual los valores del centro de mecanizado y la impresora 3D se aproximan, así como también el costo de fabricación del piñón por ambos métodos.

**Tabla 10 Análisis de viabilidad económica**

| <b>Criterio</b>                     | <b>Método convencional (mecanizado)</b>   | <b>Método aditivo (Impresión 3D)</b> |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Costo de equipos</b>             | \$20000-\$50000<br>(centro de mecanizado) | \$20000 (MJF Industrial)             |
| <b>Costo de manufactura</b>         | \$40 por piñón                            | \$53.75 por piñón                    |
| <b>Costo de personal (por hora)</b> | \$6-\$10 (operador especializado)         | \$5-\$8 (técnico de impresión)       |

Finalmente, se compara el área y condiciones necesarias para la instalación de cada sistema de fabricación. Esta comparación es relevante para empresas con espacio limitado o que desean descentralizar su producción (Tabla 11).



**Tabla 11 Análisis de infraestructura para cada sistema de fabricación**

| <b>Requerimiento</b>            | <b>Centro de mecanizado</b>                  | <b>Laboratorio de impresión 3D</b>            |
|---------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Área estimada</b>            | 6-10 metros cuadrados por máquina            | 1-2 metros cuadrados por impresora            |
| <b>Instalaciones eléctricas</b> | Trifásico                                    | Monofásico (enchufe convencional)             |
| <b>Condiciones ambientales</b>  | Extracción de viruta, ventilación industrial | Ventilación básica, temperatura controlada    |
| <b>Nivel de ruido</b>           | Alto (requiere protección auditiva)          | Bajo                                          |
| <b>Seguridad operativa</b>      | Alta (EPP obligatorio)                       | Moderada (riesgo bajo con supervisión básica) |

Se evidencia que, el laboratorio de impresión 3D requiere menos espacio y menos condiciones técnicas de instalación que un taller de mecanizado, lo que representa una ventaja para empresas que buscan implementar una solución modular, escalable y flexible.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

El presente estudio demuestra que, la manufactura aditiva es una alternativa viable para la fabricación de piñones en sistemas de transporte de líneas de producción de bebidas carbonatadas, no solo desde una perspectiva técnica, sino también económica y operativa. La implementación de esta tecnología representa una oportunidad para optimizar costos, reducir tiempos de fabricación y mejorar la eficiencia en la producción. Además, al minimizar el desperdicio de material y permitir una fabricación más flexible, la manufactura aditiva se alinea con estrategias de sostenibilidad y eficiencia en la industria.

- La impresión 3D mediante Multi Jet Fusion (MJF) demuestra ser una alternativa viable para la fabricación de piñones en transportes de botellas en líneas de producción de bebidas carbonatadas, optimizando costos y reduciendo tiempos de fabricación en comparación con métodos tradicionales.
- La simulación de elementos finitos realizada en Autodesk Fusion permitió evaluar el desempeño mecánico de los piñones con el material Nylon PA12, identificando puntos críticos de esfuerzo y deformación. Los resultados indican que el material seleccionado es adecuado para soportar las cargas operacionales sin comprometer la funcionalidad del componente.
- La simulación de impresión en Autodesk Fusion y el análisis de trayectoria del proceso ayudaron a definir la mejor orientación de los piñones en la plataforma de impresión, reduciendo la necesidad de soportes y mejorando la calidad superficial del componente final.
- La manufactura aditiva ofrece ventajas en la reducción de desperdicio de material y costos de producción, contribuyendo a un modelo más sostenible en la industria de bebidas.

## 4.2. Recomendaciones

- Es recomendable realizar pruebas físicas en condiciones reales de operación para validar los resultados obtenidos en la simulación por elementos finitos y confirmar la durabilidad de los piñones impresos.
- Se sugiere explorar diferentes configuraciones de impresión, como variaciones en la densidad de relleno y el uso de estructuras de refuerzo internas, para mejorar la resistencia mecánica y reducir costos de material.
- Aunque el Nylon PA12 presenta buenas propiedades mecánicas, se recomienda analizar otros polímeros o composites reforzados con fibra de carbono para aumentar la resistencia al desgaste y prolongar la vida útil del piñón.
- Se propone extender el análisis de manufactura aditiva a otros componentes de la línea de producción, como bocines o engranajes adicionales, para evaluar el impacto global de la impresión 3D en la optimización de mantenimiento y costos operacionales.

Se puede analizar la durabilidad y el desgaste de los piñones impresos en 3D en condiciones reales de operación, comparándolos con piñones fabricados con métodos tradicionales. También es viable optimizar su diseño mediante estructuras avanzadas y algoritmos de optimización topológica para mejorar resistencia y reducir costos. Además, se puede evaluar la viabilidad de otras tecnologías de manufactura aditiva, así como su integración en la producción industrial a gran escala. Finalmente, un estudio sobre el impacto ambiental y la posibilidad de reciclar materiales impresos permitiría fortalecer la sostenibilidad del proceso y su aplicabilidad en diferentes tipos de industria.

# BIBLIOGRAFÍA

- Bhushan, B. (2013). *Introduction to Tribology*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2019). *Mechanical Engineering Design*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D. F.: Editorial McGraw Hill.
- Calero, R., & Carta, J. (1999). *Fundamentos de Mecanismos y máquinas de ingenieros*. Madrid: Mc. Graw Hill.
- Centro Avanzado de fabricación. (2019). *Fabricacion Aditiva Oportunidades y claves para su incorporación en la empresa*. Guipúzcoa: Gorain Gipuzkoa.
- Christoph, R., Muñoz, R., & Hernandez, A. (2017). *Manufactura Aditiva*. El Salvador: Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Cortés, J. P. (2024). *Diseño y análisis estructural de una banda transportadora de pesos para una empresa de alimentos empleando softwares de ingeniería*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Diaz, J. (2018). *Retos de la cadena de suministro con la inclusion de la tecnologia de impresion 3D - Fabricacion aditiva AM*. Bogota: Cuadernos Latinoamericanos de Administracion.
- Fundamentos del KBE. (2008). Fundamentos del KBE (Knowledge Based Engineering). En *Aplicacion al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia v5* (págs. 189-268). Sevilla: Escuela Superior de Ingenieros Departamento de Ingenieria Grafica.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2021). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Nueva York: Springer.
- Grande, J. (2017). *Diseno, inspeccion y analisis de engranajes conicos*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Lago, J. (2020). *Revisión de las técnicas de fabricación aditiva y sus aplicaciones*. San Cristobal de la Laguna: Escuela Superior de Ingenieria y Tecnologia .
- Marin, A. (2019). *Analisis del proceso del diseno para fabricacion aditiva aplicado a componentes aeroespaciales*. Valencia: Escuela Tecnica Superior de Ingenieria del diseño.
- Marín, A. (2019). *Analisis del proceso del diseño para fabricacion aditiva aplicado a componentes aeroespaciales*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Morales, Y., Flores, N., & Trujillo, D. (2024). *Incidencia de la tecnologia en impresion 3D en la industria 4.0*. Latacunga: Polo del Conocimiento.

- Norton, R. (2020). *Diseño de Maquinas: un enfoque integrado*. Boston: Pearson.
- Núñez, J. (2021). *Modelo para el análisis del impacto de la manufactura aditiva en la gestión de la cadena de suministro*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Salinero, M. (2013). *Diseño de una banda transportadora mediante guión de matlab*. Madrid: Escuela Politécnica Superior Carlos III de Madrid.
- Shigley, J., & Mischke, C. R. (2015). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Sotomayor, L. (2008). *Análisis de esfuerzos en transmisiones de engranes cilíndricos helicoidales mediante el método de los elementos finitos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Walton, D. (1999). *Manual de engranes*. Penton Publication.

## **ANEXOS**

## ANEXO A: Propiedades de los materiales



PA ● ○ ●

**ERTALON® 6 PLA**

**Plástico semicristalino.** ERTALON® 6 PLA es una poliamida 6 filtrada sin aditivos y con cualidades físicas muy idénticas al ERTALON® 66 SA. Combina alta resistencia mecánica, rigidez y dureza con una buena resistencia a la fluencia, al calor y al desgaste, durante periodos de tiempo superiores. También tiene una mayor facilidad de mecanizado.





**PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS**

- Mejor combinación de resistencia mecánica, rigidez y dureza con la resistencia al desgaste
- Bajo coeficiente de fricción
- Mejor estabilidad dimensional
- Buenas propiedades de aislamiento eléctrico
- Alta capacidad de amortiguación mecánica
- Buena resistencia a las radiaciones de alta energía (rayos gamma y X)
- Fácil mecanizado

**APLICACIONES**

- Ruedas dentadas de módulos altos
- Ruedas y rodillos
- Casquillos
- Separadores
- Piezas de grandes dimensiones sometidas a cargas elevadas





RESISTENCIA QUÍMICA



AISLAMIENTO ELÉCTRICO



RESISTENCIA AL DESGASTE



PROPIEDADES DESLIZANTES



RESISTENCIA AL IMPACTO



**+90°C\***  
**-30°C**  
AMPLITUD DE TEMPERATURA

\*uso continuo (20.000H)

\*Todos los valores presentados son meramente indicativos. Polyanemsa Lda. no se responsabiliza por el uso de los materiales sin consultar con nuestro departamento técnico.

Fuente: Lanema.

## PA FICHAS TÉCNICAS



| PROPIEDADES                                                         | MÉTODOS DE PRUEBA | UNIDADES          | ERTALON® & PLA        |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| COLOR                                                               |                   | -                 | BLANCO/NEGRO          |
| DENSIDAD                                                            | ISO 1183-1        | g/cm <sup>3</sup> | 1.15                  |
| ABSORCIÓN DE AGUA                                                   |                   |                   |                       |
| TRAS 24/96H SUMERGIDO EN AGUA A 23°C <sup>(1)</sup>                 | ISO 62            | mg                | 44/83                 |
| TRAS 24/96H SUMERGIDO EN AGUA A 23°C <sup>(1)</sup>                 | ISO 62            | %                 | 0.65/1.22             |
| EN LA SATURACIÓN DEL AIRE A 23°C / 50% RH                           | -                 | %                 | 2.2                   |
| EN LA SATURACIÓN DEL AGUA A 23°C                                    | -                 | %                 | 6.5                   |
| <b>PROPIEDADES TÉRMICAS<sup>(2)</sup></b>                           |                   |                   |                       |
| TEMPERATURA DE FUSIÓN (DSC, 10°C/MIN)                               | ISO 11357-1/-3    | °C                | 215                   |
| TEMPERATURA DE TRANSICIÓN DEL VIDRIO (DSC, 20°C/MIN) <sup>(3)</sup> | ISO 11357-1/-3    | °C                | -                     |
| CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 23°C                                        | -                 | W/(K.m)           | 0.29                  |
| COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA LINEAL                             |                   |                   |                       |
| VALOR MEDIO ENTRE 23-60°C                                           | -                 | M/(m.K)           | 80 x 10 <sup>-6</sup> |
| VALOR MEDIO ENTRE 23-100°C                                          | -                 | M/(m.K)           | 90 x 10 <sup>-6</sup> |
| TEMPERATURA DE DEFORMACIÓN BAJO CARGA                               |                   |                   |                       |
| MÉTODO A 1.8 MPa                                                    | + ISO 75-1/-2     | °C                | 80                    |
| TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN EN EL AIRE                          |                   |                   |                       |
| PARA CORTOS PERÍODOS <sup>(4)</sup>                                 | -                 | °C                | 170                   |
| CONTINUAMENTE PARA 5000/20 000H <sup>(5)</sup>                      | -                 | °C                | 105/90                |
| TEMPERATURA MÍNIMA DE OPERACIÓN <sup>(6)</sup>                      | -                 | °C                | -30                   |
| INFLAMABILIDAD <sup>(7)</sup>                                       |                   |                   |                       |
| INFLAMABILIDAD                                                      | ISO 4589-1/-2     | %                 | 25                    |
| SEGÚN LA NORMA UL94 (3/6 MM DE ESPESOR)                             | -                 | -                 | HB/HB                 |
| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS A 23°C<sup>(8)</sup></b>                   |                   |                   |                       |
| <b>PRUEBA DE TRACCIÓN<sup>(9)</sup></b>                             |                   |                   |                       |
| RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN EL DRENAJE/ RUPTURA <sup>(10)</sup> +  | ISO 527-1/-2      | MPa               | 86/-                  |
| RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN EL DRENAJE/ RUPTURA <sup>(10)</sup> ++ | ISO 527-1/-2      | MPa               | 55/-                  |
| RESISTENCIA A LA TRACCIÓN <sup>(10)</sup>                           | + ISO 527-1/-2    | MPa               | 88                    |
| TENSIÓN ELÁSTICA EN EL DRENAJE <sup>(11)</sup>                      | + ISO 527-1/-2    | %                 | 5                     |
| TENSIÓN ELÁSTICA EN LA RUPTURA <sup>(11)</sup>                      | + ISO 527-1/-2    | %                 | 25                    |
| TENSIÓN ELÁSTICA EN LA RUPTURA <sup>(11)</sup>                      | ++ ISO 527-1/-2   | %                 | >50                   |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD <sup>(12)</sup>                               | + ISO 527-1/-2    | MPa               | 3600                  |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD <sup>(12)</sup>                               | ++ ISO 527-1/-2   | MPa               | 1750                  |
| <b>PRUEBA DE COMPRESIÓN<sup>(13)</sup></b>                          |                   |                   |                       |
| RESISTENCIA A 1/2/5 % DE DEFORMACIÓN NOMINAL <sup>(14)</sup> +      | ISO 604           | MPa               | 34/64/93              |
| RESISTENCIA AL IMPACTO DE CHARPY SIN ENTALLE <sup>(15)</sup>        | + ISO 179-1/1eU   | KJ/m <sup>2</sup> | s/ FRATURA            |
| RESISTENCIA AL IMPACTO DE CHARPY CON ENTALLE                        | + ISO 179-1/1eA   | KJ/m <sup>2</sup> | 3                     |
| DUREZA POR BOLA DE ACERO <sup>(16)</sup>                            | + ISO 2039-1      | N/mm <sup>2</sup> | 165                   |
| DUREZA DE ROCKWELL <sup>(16)</sup>                                  | + ISO 2039-2      | -                 | M 88                  |
| <b>PROPIEDADES ELÉCTRICAS A 23°C</b>                                |                   |                   |                       |
| RIGIDEZ DIELECTRICA <sup>(17)</sup>                                 | + IEC 60243-1     | kV/mm             | 25                    |
| RIGIDEZ DIELECTRICA <sup>(17)</sup>                                 | ++ IEC 60243-1    | kV/mm             | 17                    |
| RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA                                            | + IEC 60093       | Ohm.cm            | > 10 <sup>14</sup>    |
| RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA                                            | ++ IEC 60093      | Ohm.cm            | > 10 <sup>15</sup>    |
| RESISTIVIDAD SUPERFICIAL                                            | + IEC 60093       | Ohm               | > 10 <sup>13</sup>    |
| RESISTIVIDAD SUPERFICIAL                                            | ++ IEC 60093      | Ohm               | > 10 <sup>14</sup>    |
| PERMEABILIDAD RELATIVA ε <sub>r</sub> : A 100KHZ                    | + IEC 60250       | -                 | 3.6                   |
| PERMEABILIDAD RELATIVA ε <sub>r</sub> : A 100KHZ                    | ++ IEC 60250      | -                 | 6.6                   |
| PERMEABILIDAD RELATIVA ε <sub>r</sub> : A 1MHZ                      | + IEC 60250       | -                 | 3.2                   |
| PERMEABILIDAD RELATIVA ε <sub>r</sub> : A 1MHZ                      | ++ IEC 60250      | -                 | 3.7                   |
| FACTOR DE DISIPACIÓN DIELECTRICA TAN δ : A 100KHZ                   | + IEC 60250       | -                 | 0.012                 |
| FACTOR DE DISIPACIÓN DIELECTRICA TAN δ : A 100KHZ                   | ++ IEC 60250      | -                 | 0.14                  |
| FACTOR DE DISIPACIÓN DIELECTRICA TAN δ : A 1MHZ                     | + IEC 60250       | -                 | 0.016                 |
| FACTOR DE DISIPACIÓN DIELECTRICA TAN δ : A 1MHZ                     | ++ IEC 60250      | -                 | 0.05                  |
| ÍNDICE DE SEGUIMIENTO COMPARATIVO (CTI)                             | + IEC 60112       | -                 | 600                   |
| ÍNDICE DE SEGUIMIENTO COMPARATIVO (CTI)                             | ++ IEC 60112      | -                 | 600                   |

NOTA: 1 g/cm<sup>3</sup> = 1000 kg/m<sup>3</sup> ; 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup> ; 1 KJ/mm = 1 MJ/m

+ : valores referentes al material seco

++ : valores referentes a material en equilibrio con la atmósfera estándar 23°C / 50 % rh

(1) Según el método 1 de la ISO 62 y medido en discos a 50x3 mm. (2) Los elementos suministrados para esta propiedad son en su mayoría suministrados por los fabricantes de las materias primas. (3) Los valores de esta propiedad solo se atribuyen a materiales amorfos y no a semicristalinos. (4) Solo para cortos periodos de exposición en aplicaciones en las que solo se usen cargas muy bajas sobre el material.

(5) Temperatura a la que resiste después de un periodo de 5000/20 000 horas. Tras este periodo de tiempo, existe una disminución de aproximadamente un 50 % en la resistencia a la tracción, comparado con el valor original. Los valores de la temperatura dados se basan en la degradación por oxidación térmica que sucede y que provoca una reducción de las propiedades. Mientras tanto, la temperatura máxima de operación permitida depende, en muchos casos, principalmente de la deducción y la magnitud de los esfuerzos mecánicos a los que está sometido el material.

(6) Como la resistencia al impacto disminuye con la reducción de la temperatura, la temperatura mínima de operación permitida se determina a través de la extensión de impacto al que está sometido el material. Los valores dados se basan en condiciones de impacto desfavorables y, por ello, no se pueden considerar como los límites absolutos. (7) Estas valoraciones derivan de las especificaciones técnicas de los fabricantes de las materias primas, no permitiendo determinar el comportamiento de los materiales en condiciones de fuego. (8) La mayoría de las figuras dadas por las propiedades de los materiales (+) son valores medios de las pruebas realizadas a especímenes mecanizados con a 40-60 mm. (9) Prueba a especímenes tipo I. (10) Prueba de velocidad: 5 o 50 mm/min. (11) Prueba de velocidad: 1m/min. (12) Prueba a especímenes: cilindros a 8 x 16 mm. (13) Píntulo usado: 15J. (14) Prueba en especímenes con 10 mm de espesor. (15) Configuración del electrodo: cilindros a 25 / a 75 mm, en el aceite del transformador según la norma IEC 60296.

Atención que la fuerza eléctrica para el material negro extrudido puede ser considerablemente más bajo que la del material natural. La posible microporosidad en el centro de formas conservadas en stock reduce significativamente la fuerza eléctrica.

Fuente: Lanema.





# Nylon 12 (PA 12) glass-filled

## Alternative Designations

-

## Key Features

Enhanced compressive strength • Stiff • Cost-effective

## Description

Nylon 12 (PA 12) glass-filled is a type of nylon/polyamide powder that has been reinforced with glass fibers. Compared to the Nylon PA 12, this has enhanced compressive strength with improved heat distortion temperature. Parts produced are consistent and durable. Its stiffness allows for the production of components for automotive, aerospace and consumer products.

## Mechanical Properties

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Tensile modulus     | 3200 MPa      |
| Tensile strength    | 51 MPa        |
| Elongation at break | 9%            |
| Flexural strength   | 65 MPa        |
| Flexural modulus    | 2.4 – 2.7 GPa |
| Hardness (Shore D)  | 82            |

## Thermal Properties

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| Melting temperature (20°C/min)         | 185°C       |
| Heat deflection temperature (1.80 MPa) | 110°C       |
| Heat deflection temperature (0.45 MPa) | 179°C       |
| Softening temperature                  | 165 – 175°C |

## Physical Properties

|         |                        |
|---------|------------------------|
| Density | 1.22 g/cm <sup>3</sup> |
|---------|------------------------|

## Reference

Datasheets provided by Xometry contain materials sourced through trusted OEMs, material distributors, and databases. Please visit [Materialdatacenter.com](https://Materialdatacenter.com) for further information on this material.



## Data Sheet

# Industrial PEEK

## Alternative Designations

Polyetheretherketone

## Key Features

Hard • High mechanical strength • Resistant to chemicals and fatigue

## Description

Industrial PEEK is hard, stiff and has high strength. It maintains its chemical resistance at elevated temperatures. In addition, it has excellent resistance to fatigue, stress – crack, high-pressure water and steam. PEEK is also radiation resistant and has a low coefficient of friction. It is used in the production of components such as tubes, bearings, seals, valves, electric insulation and even medical implants.

## Mechanical Properties

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Tensile modulus     | 3792 MPa  |
| Tensile strength    | 99.9 MPa  |
| Elongation at break | 35%       |
| Flexural strength   | 165.4 MPa |
| Flexural modulus    | 4.13 GPa  |
| Hardness (Shore D)  | 230       |

## Thermal Properties

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| Melting temperature (20°C/min)         | 150°C |
| Heat deflection temperature (1.80 MPa) | 160°C |
| Softening temperature                  | 250°C |

## Physical Properties

|         |                        |
|---------|------------------------|
| Density | 1.32 g/cm <sup>3</sup> |
|---------|------------------------|

## Reference

Datasheets provided by Xometry contain materials sourced through trusted OEMs, material distributors, and databases. Please visit [Materialdatacenter.com](https://Materialdatacenter.com) for further information on this material.

[CNC Machining](#) • [Sheet Metal](#) • [3D Printing](#) • [Injection Moulding](#) • [Die Casting](#)

|

[xometry.eu](https://xometry.eu)

Fuente: Xometry.



# ULTEM 9085

## Alternative Designations

-

## Key Features

High impact strength • Resistant to heat • Flame retardant

## Description

This has a high strength – to – weight ratio, high impact strength with good heat resistance. It is highly flame retardant. ULTEM 9085 has excellent mechanical strength and stiffness, making it ideal for parts that need to withstand high loads. It is also resistant to chemicals and has a low coefficient of friction. It is used in the production of prototypes as well as tools such as jigs, fixtures, composite moulds etc. It is comparable to Nylon 6.68 (9800).

## Mechanical Properties

|                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| Tensile modulus     | 2150 – 2270 MPa |
| Tensile strength    | 42 – 69 MPa     |
| Elongation at break | 2.2 – 5.8%      |
| Flexural strength   | 68 – 112 MPa    |
| Flexural modulus    | 2.05 – 2.3 GPa  |

## Thermal Properties

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| Heat deflection temperature (1.80 MPa) | 153°C |
| Softening temperature                  | 173°C |

## Physical Properties

|         |                        |
|---------|------------------------|
| Density | 1.34 g/cm <sup>3</sup> |
|---------|------------------------|

## Reference

Datasheets provided by Xometry contain materials sourced through trusted OEMs, material distributors, and databases. Please visit [Materialdatacenter.com](https://www.materialdatacenter.com) for further information on this material.



## Data Sheet

# PC (Polycarbonate)

### Alternative Designations

Polycarbonate

### Key Features

Transparent • Durable • Shatter resistant • Good electrical properties

### Description

This is a naturally transparent plastic with high strength and durability on impact. It is shatter resistant and heat resistant. It is made from a mixture of bisphenol A (BPA) and phosgene. It has high stiffness and high viscosity. PC is generally easy to work with and is used in applications such as food and beverage packaging, medical devices, eyewear, electronics, and construction materials.

### Mechanical Properties

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Tensile modulus     | 2206 MPa  |
| Tensile strength    | 65.5 MPa  |
| Elongation at break | 60%       |
| Flexural strength   | 103.4 MPa |
| Flexural modulus    | 2.58 GPa  |
| Hardness            | 95        |

### Thermal Properties

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| Heat deflection temperature (1.80 MPa) | 132°C |
| Softening temperature                  | 145°C |

### Physical Properties

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| Density | 1.2 g/cm <sup>3</sup> |
|---------|-----------------------|

### Reference

Datasheets provided by Xometry contain materials sourced through trusted OEMs, material distributors, and databases. Please visit [Materialdatacenter.com](https://Materialdatacenter.com) for further information on this material.

## ANEXO B: Ecuaciones establecidas para el análisis de los resultados teóricos

| Especificación                                              | Descripción                                                                 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Torque motor                                                | Obtenido de la Ecuación 2.7                                                 |
| Torque piñón 3                                              | Obtenido de la Ecuación 2.7                                                 |
| Diámetro paso piñón 3                                       | Se divide para 25.4 mm que es equivalente a 1 in                            |
| Velocidad del piñón 3                                       | Obtenido de la Ecuación 2.9                                                 |
| Fuerza del piñón 3                                          | Obtenido de la Ecuación 2.10                                                |
| Relación de distribución de cargas (Mn)                     | Mn=1 para engranes rectos                                                   |
| Relación de engranes (Mg)                                   | Relación de engranes en la transmisión actual                               |
| Factor geométrico de resistencia a la picadura (I)          | Obtenido de la Ecuación 2.11                                                |
| Índice de calidad (Qv)                                      | Obtenido del libro de Shigley para materiales comerciales 1 al 7            |
| Factor dinámico (A)                                         | Obtenido de la ecuación 14-28 del libro de Shigley                          |
| Factor dinámico (B)                                         | Obtenido de la ecuación 14-28 del libro de Shigley                          |
| Factor dinámico (Kv)                                        | Obtenido de la Ecuación 2.12                                                |
| Ancho del piñón (F)                                         | Ancho del piñón                                                             |
| Factor de corrección de carga (Cmc)                         | Obtenido de la Ecuación 14-31 del libro de Shigley para dientes sin coronar |
| Factor de proporción del piñón (Cpf)                        | Obtenido de la Ecuación 14-32 del libro de Shigley                          |
| Diámetro paso piñón 3 (d)                                   |                                                                             |
| Modificador de proporción del piñón (Cpm)                   | Obtenido de la Ecuación 14-33 del libro de Shigley                          |
| Factor de alineación de acoplamiento (Cma)                  | Obtenido con valores de la Tabla 14-9 y Ecuación 12-34 del libro de Shigley |
| Factor de corrección de la alineación del acoplamiento (Ce) | Obtenido de la Ecuación 14-35 del libro de Shigley                          |
| Factor de distribución de carga (Km)                        | Obtenido de la Ecuación 2.13                                                |
| Relación Poisson acero inoxidable ( $\nu$ )                 | Obtenido de Tabla A-5 del libro de Shigley                                  |
| Relación Poisson polímero ( $\nu$ )                         |                                                                             |
| Módulo elasticidad acero inoxidable (E)                     | Obtenido de Tabla A-5 del libro de Shigley                                  |
| E polímero                                                  | Obtenido de Anexos                                                          |
| Coeficiente elástico (Cp)                                   |                                                                             |
| Factor de sobrecarga (Ko)                                   | Obtenido de Tabla 14-18 para potencia uniforme                              |
| Factor de tamaño (Ks)                                       | Obtenido de Tabla 14-16 del libro Shigley                                   |

|                                             |                                                                                  |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Factor de condición superficial (Cf)</b> |                                                                                  |
| <b>Esfuerzo picadura</b>                    | Obtenido de la Ecuación 2.14                                                     |
| <b>Número de ciclos de carga (N)</b>        | Ciclos de funcionamiento                                                         |
| <b>Revoluciones</b>                         |                                                                                  |
| <b>Factor de esfuerzo (Zn)</b>              | Obtenido de la Figura 14-15 del libro de Shigley                                 |
| <b>Factor confiabilidad (Kr)</b>            | Obtenido de Tabla 14-10 del libro de Shigley                                     |
| <b>Factor temperatura (Kt)</b>              |                                                                                  |
| <b>Factor de relación de dureza (Ch)</b>    | Debido a que las relaciones de dureza son menores a 1.2 equivale a 1 este factor |
| <b>Factor diseño al desgaste (Sh)</b>       |                                                                                  |
| <b>Esfuerzo de contacto permisible (Sc)</b> |                                                                                  |
| <b>Factor geométrico (J)</b>                | Obtenido de Figura 14-6 del libro Shigley para<br>17 dientes                     |
| <b>Factor de espesor del aro (Kb)</b>       | Obtenido de Figura 14-16 del libro Shigley                                       |
| <b>Esfuerzo de flexión</b>                  |                                                                                  |
| <b>Ciclo de esfuerzo (Yn)</b>               | Obtenido de la Figura 14-14 del libro Shigley                                    |
| <b>Esfuerzo de flexión</b>                  |                                                                                  |

- Masa del piñón obtenida del programa Fusion:

$$Masa = 0.29 [Kg]$$

- Cálculo del costo del material:

$$Costo\ del\ material = Masa \times Costo\ por\ Kg$$

$$Costo\ del\ material = 0.29 \times 138$$

$$Costo\ del\ material = 40.02\ USD$$

- Cálculo del costo de energía:

$$Costo\ energia = Potencia \times Tiempo \times Tarifa\ Energetica$$

$$Costo\ energia = 12 \times 8.5 \times 0.085623$$

$$Costo\ energia = 8.73\ USD$$

## **ANEXO C**

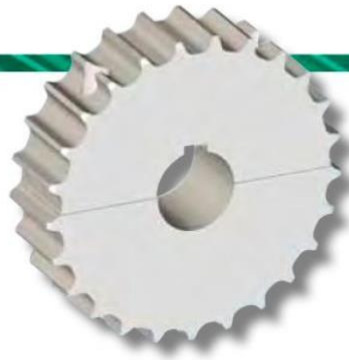
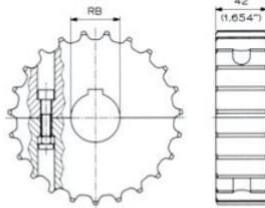
### **Catálogo Regina FliteTop**





# FliteTop®

## SPROCKETS FOR 915 - HD 915 - 981M HD 981M - G 915 - G 981M SERIES



### MACHINED SPLIT DRIVE AND IDLER SPROCKETS

| N° TEETH |             | PITCH DIAM. |        | OUTSIDE DIAM. |        | RB SIZE |        | REGINA PART NUMBER |                    | WEIGHT |      |
|----------|-------------|-------------|--------|---------------|--------|---------|--------|--------------------|--------------------|--------|------|
| Z actual | Z effective | mm          | inches | mm            | inches | mm      | inches | DRIVE              | IDLER              | Kg     | lb   |
| 17       | 8,5         | 105,47      | 4.15   | 104,4         | 4.1    | 25      |        | CMAS 02 815 17 25  | CMAS 03 815 17 25  | 0,36   | 0.79 |
|          |             |             |        |               |        | 30      |        | CMAS 02 815 17 30  | CMAS 03 815 17 30  | 0,35   | 0.77 |
|          |             |             |        |               |        | 35      |        | CMAS 02 815 17 35  | CMAS 03 815 17 35  | 0,34   | 0.75 |
|          |             |             |        |               |        | 40      |        | CMAS 02 815 17 40  | CMAS 03 815 17 40  | 0,32   | 0.71 |
|          |             |             |        |               |        | 1       |        | CMAS 02 815 17 254 | CMAS 03 815 17 254 | 0,37   | 0.82 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ¼     |        | CMAS 02 815 17 317 | CMAS 03 815 17 317 | 0,34   | 0.75 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ½     |        | CMAS 02 815 17 381 | CMAS 03 815 17 381 | 0,31   | 0.68 |
|          |             |             |        |               |        |         |        |                    |                    |        |      |
| 19       | 9,5         | 117,34      | 4.62   | 117,0         | 4.0    | 25      |        | CMAS 02 815 19 25  | CMAS 03 815 19 25  | 0,46   | 1.01 |
|          |             |             |        |               |        | 30      |        | CMAS 02 815 19 30  | CMAS 03 815 19 30  | 0,45   | 0.99 |
|          |             |             |        |               |        | 35      |        | CMAS 02 815 19 35  | CMAS 03 815 19 35  | 0,44   | 0.97 |
|          |             |             |        |               |        | 40      |        | CMAS 02 815 19 40  | CMAS 03 815 19 40  | 0,43   | 0.95 |
|          |             |             |        |               |        | 1       |        | CMAS 02 815 19 254 | CMAS 03 815 19 254 | 0,47   | 1.04 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ¼     |        | CMAS 02 815 19 365 | CMAS 03 815 19 365 | 0,45   | 0.99 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ⅝     |        | CMAS 02 815 19 492 | CMAS 03 815 19 492 | 0,42   | 0.93 |
|          |             |             |        |               |        |         |        |                    |                    |        |      |
| 21       | 10,5        | 129,26      | 5.09   | 129,4         | 5.1    | 25      |        | CMAS 02 815 21 25  | CMAS 03 815 21 25  | 0,56   | 1.23 |
|          |             |             |        |               |        | 30      |        | CMAS 02 815 21 30  | CMAS 03 815 21 30  | 0,55   | 1.21 |
|          |             |             |        |               |        | 35      |        | CMAS 02 815 21 35  | CMAS 03 815 21 35  | 0,54   | 1.19 |
|          |             |             |        |               |        | 40      |        | CMAS 02 815 21 40  | CMAS 03 815 21 40  | 0,52   | 1.15 |
|          |             |             |        |               |        | 1       |        | CMAS 02 815 21 254 | CMAS 03 815 21 254 | 0,57   | 1.26 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ½     |        | CMAS 02 815 21 381 | CMAS 03 815 21 381 | 0,51   | 1.12 |
|          |             |             |        |               |        | 2       |        | CMAS 02 815 21 508 | CMAS 03 815 21 508 | 0,50   | 1.10 |
|          |             |             |        |               |        |         |        |                    |                    |        |      |
| 23       | 11,5        | 141,22      | 5.56   | 141,9         | 5.6    | 25      |        | CMAS 02 815 23 25  | CMAS 03 815 23 25  | 0,68   | 1.50 |
|          |             |             |        |               |        | 30      |        | CMAS 02 815 23 30  | CMAS 03 815 23 30  | 0,67   | 1.48 |
|          |             |             |        |               |        | 35      |        | CMAS 02 815 23 35  | CMAS 03 815 23 35  | 0,65   | 1.43 |
|          |             |             |        |               |        | 40      |        | CMAS 02 815 23 40  | CMAS 03 815 23 40  | 0,64   | 1.41 |
|          |             |             |        |               |        | 1       |        | CMAS 02 815 23 254 | CMAS 03 815 23 254 | 0,67   | 1.48 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ½     |        | CMAS 02 815 23 381 | CMAS 03 815 23 381 | 0,63   | 1.39 |
|          |             |             |        |               |        | 2       |        | CMAS 02 815 23 508 | CMAS 03 815 23 508 | 0,60   | 1.32 |
|          |             |             |        |               |        |         |        |                    |                    |        |      |
| 25       | 12,5        | 153,2       | 6.03   | 154,2         | 6.1    | 25      |        | CMAS 02 815 25 25  | CMAS 03 815 25 25  | 0,80   | 1.76 |
|          |             |             |        |               |        | 30      |        | CMAS 02 815 25 30  | CMAS 03 815 25 30  | 0,80   | 1.76 |
|          |             |             |        |               |        | 35      |        | CMAS 02 815 25 35  | CMAS 03 815 25 35  | 0,77   | 1.70 |
|          |             |             |        |               |        | 40      |        | CMAS 02 815 25 40  | CMAS 03 815 25 40  | 0,76   | 1.68 |
|          |             |             |        |               |        | 1       |        | CMAS 02 815 25 254 | CMAS 03 815 25 254 | 0,79   | 1.74 |
|          |             |             |        |               |        | 1 ½     |        | CMAS 02 815 25 381 | CMAS 03 815 25 381 | 0,75   | 1.65 |
|          |             |             |        |               |        | 2 ½     |        | CMAS 02 815 25 635 | CMAS 03 815 25 635 | 0,82   | 1.81 |
|          |             |             |        |               |        |         |        |                    |                    |        |      |

Fuente: Catálogo Regina.





**FliteTop®**

## CARBON STEEL CHAINS

### APPLICATIONS (only dry running):

- Glass manufacturing
- Automotive /mechanical
- General purpose conveyors
- Heavy loads and abrasive surfaces

## STAINLESS STEEL CHAINS

### APPLICATIONS:

- New glass bottle
- Returnable glass bottle
- Glass manufacturing
- Keg line
- Crate conveyors
- General purpose conveying



**FliteTop®**

## STRAIGHT RUNNING STEEL CHAIN

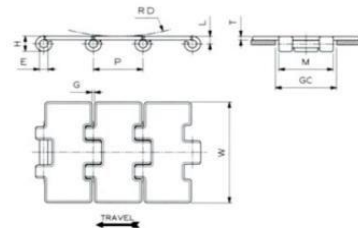
### 915 SERIES

- SINGLE HINGE
- PLATE GAP 1,6 mm

- Plate Materials **P**

- Pin Material: Cold rolled austenitic stainless steel (for 915 Series)  
Hardened martensitic stainless steel (for HD 915 Series)

*XP series: brushed hinges for liners/inclined combiners*



| Dimension | mm   | inches |
|-----------|------|--------|
| P         | 38,1 | 1.5    |
| T         | 3    | .118   |
| M         | 42   | 1.654  |
| L         | 6,4  | .252   |
| H         | 13   | .512   |
| E         | 6,35 | .25    |
| RD        | 150  | 5.906  |
| GC        | 44   | 1.732  |



### 915 (Straight Running - Single Hinge)



Materials  
see page 12



Sprockets  
see pages 183-187



Applications  
see page 16

| REGINA PART NUMBER | CHAIN WIDTH W |        | GAP G |        | SURFACE FINISH Ra | YIELD LOAD AVERAGE |       | CHAIN WEIGHT |        | MATERIAL  |
|--------------------|---------------|--------|-------|--------|-------------------|--------------------|-------|--------------|--------|-----------|
|                    | mm            | inches | mm    | inches |                   | N                  | lbs   | kg/m         | lbs/ft |           |
| P 915 K 2 1/4      | 57,1          | 2.25   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,00         | 1.34   | PRIMA (P) |
| P 915 K 2 1/2      | 63,5          | 2.50   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,14         | 1.44   |           |
| P 915 K 2 3/4      | 66,7          | 2.63   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,21         | 1.49   |           |
| P 915 K 3 1/4      | 82,6          | 3.25   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,57         | 1.73   |           |
| P 915 K 3 1/2      | 83,8          | 3.30   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,60         | 1.75   |           |
| P 915 K 3 3/4      | 88,9          | 3.50   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,71         | 1.82   |           |
| P 915 K 4          | 101,6         | 4.00   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 2,99         | 2.00   |           |
| P 915 K 4 1/4      | 114,3         | 4.50   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 3,28         | 2.20   |           |
| P 915 K 6          | 152,4         | 6.00   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 4,13         | 2.78   |           |
| P 915 K 7 1/2      | 190,5         | 7.50   | 1,6   | 0.063  | 0,3               | 8500               | 1,913 | 4,98         | 3.35   |           |
| XP 915 K 3 1/4     | 82,6          | 3.25   | 1,6   | 0.063  | 0,2               | 8500               | 1,913 | 2,57         | 1.73   |           |
| XP 915 K 3 1/2     | 83,8          | 3.30   | 1,6   | 0.063  | 0,2               | 8500               | 1,913 | 2,60         | 1.75   |           |

Standard length: 3,048 m (10 feet)

Fuente: Catálogo Regina.

## **ANEXO D**

### **Catalogo Impresora Serie HP Jet Fusion 5200**

# Serie HP Jet Fusion 5200

## Soluciones de impresión 3D



Fuente: Portada Serie HP Jet Fusion 5200.

# Especificaciones técnicas

## Impresoras 3D de la serie HP Jet Fusion 5200

|                                    |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rendimiento de la impresora        | Tecnología                                                                      | HP Multi Jet Fusion                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                    | Volumen de producción efectivo                                                  | 380 • 284 • 380 mm<br>(15 • 11,2 • 15 in)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                    | Velocidad de producción <sup>21</sup>                                           | Hasta 5058 cm <sup>3</sup> /h (309 in <sup>3</sup> /h)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                    | Grosor de la capa                                                               | 0,08 mm (0,003 in)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                    | Resolución del procesamiento de tareas (x, y)                                   | 1200 ppp                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Dimensiones (ancho • largo • alto) | Resolución de impresión (x, y)                                                  | 1200 ppp                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                    | Impresora                                                                       | 2210 • 1268 • 1804 mm<br>(87 • 50 • 71 in)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                    | Envío                                                                           | 2300 • 1325 • 2027 mm<br>(91 • 52 • 80 in)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                    | Área de funcionamiento                                                          | 3700 • 3700 • 2500 mm<br>(146 • 146 • 99 in)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                    | Peso                                                                            | Impresora 880 kg (1940 lb)<br>Unidad de fabricación 140,5 kg (309,7 lb)<br>Envío 1037,5 kg (2287 lb)                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Redes <sup>22</sup>                | Procesador                                                                      | Intel® Core™ i7 7770 (3,6 GHz, hasta 4,2 GHz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                    | Memoria                                                                         | 32 GB DDR4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Disco duro                         | Disco duro de 1 TB con cifrado automático (AES 256)                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                    | Disco duro de 1 TB con cifrado automático (AES 256), conforme con TGC-OPAL 2.01 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Software                           | HP SmartStream 3D Build Manager                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                    | HP SmartStream 3D Command Center                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                    | Software compatible                                                             | HP 3D API <sup>1</sup> , HP 3D Center <sup>4</sup> , HP 3D Process Control <sup>1</sup> , HP Universal Build Manager powered by Dyndrite <sup>4</sup>                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                    | Formatos de archivo compatibles                                                 | 3MF, STL, OBJ y VRML (v2.0)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                    | Software certificado de otras empresas                                          | Autodesk® Netfabb® para HP Workspace, Materialise Build Processor para la tecnología HP Multi Jet Fusion, Siemens NX AM para la tecnología HP Multi Jet Fusion                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Alimentación                       | Consumo                                                                         | 12 kW <sup>23</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                    | Requisitos                                                                      | De 380 a 415 V (línea a línea), 50 A máx., 50/60 Hz<br>De 200 a 240 V (línea a línea), 80 A máx., 50/60 Hz                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                                    | Certificados y declaraciones                                                    | Seguridad: Conformidad con IEC 60950-1+A1+A2; EE. UU. y Canadá (con certificación de UL); UE (conformidad LVD y MD, EN 60950-1, EN 12100-1, EN 60204-1 y EN 10101)<br>Compatibilidad electromagnética: Conformidad con los requisitos de la Clase A, incluidos: EE. UU. (normas FCC), Canadá (ICES), UE (Directiva EMC), Australia (ACMA), Nueva Zelanda (RSM) y Corea (KCC)<br>Información medioambiental: REACH |
| Garantía y asistencia incluidas    | Un año de garantía de hardware limitada                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

## Estaciones de procesamiento 3D de la serie HP Jet Fusion 5200

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Funciones                             | Mezclado y carga automatizados con tamizado por ultrasonidos y acceso a la malla del tamiz; desempaquetado semimanual; desempaquetado a altas temperaturas; contenedor de almacenamiento externo automatizado; servicio opcional de autolimpieza en profundidad con formación; unidad de refrigeración opcional |                                                                                                                                                                                                   |
| Dimensiones<br>(ancho × largo × alto) | Estación de procesamiento                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2990 × 934 × 2400 mm<br>(117,7 × 36,8 × 94,5 in)                                                                                                                                                  |
|                                       | Envío                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2389 × 1176 × 2182 mm<br>(94 × 46,3 × 85,9 in)                                                                                                                                                    |
|                                       | Área de funcionamiento                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3190 × 2434 × 2500 mm<br>(125,6 × 95,8 × 99 in)                                                                                                                                                   |
| Peso                                  | Estación de procesamiento                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 485 kg (1069 lb)                                                                                                                                                                                  |
|                                       | Cargada                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 724 kg (1596 lb)                                                                                                                                                                                  |
|                                       | Envío                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 620 kg (1366 libras)                                                                                                                                                                              |
| Alimentación                          | Consumo                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2,6 kW (normal)                                                                                                                                                                                   |
|                                       | Requisitos                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Voltaje de entrada monofásico de 200 a 240 V (línea a línea), 19 A máx., 50/60 Hz (línea neutral), 14 A máx., 50 Hz                                                                               |
| Certificados y declaraciones          | Seguridad                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Conformidad con UL 2011, UL 508A, NFPA 70 / NFPA 79, C22.2 N.º 14-13; EE. UU. y Canadá (con certificación de UL); UE (conformidad MD, EN 60204-1, EN 12100-1, EN 1127-1, EN-ISO 11201 y EN 10101) |
|                                       | Compatibilidad electromagnética                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Conformidad con los requisitos de la Clase A, incluidos: EE. UU. (Normas FCC), Canadá (ICES), UE (Directiva EMC), Australia (ACMA), Nueva Zelanda (RSM) y Corea (KCC)                             |
|                                       | Información medioambiental                                                                                                                                                                                                                                                                                      | REACH                                                                                                                                                                                             |
|                                       | Garantía y asistencia incluidas                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Un año de garantía de hardware limitada                                                                                                                                                           |

Fuente: Catalogo Serie HP Jet Fusion 5200.

## **ANEXO E**

### **Plano del piñón**

