



# **DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN VIRTUAL DE IMPRESORAS TRIDIMENSIONALES CON HERRAMIENTAS PLM AVANZADAS**

**AUTOR:**

**Daniel Arturo Peralta Calvopiña**



Quito 2025



**DISEÑO, SIMULACIÓN Y  
ANÁLISIS DE UNA PLANTA  
DE PRODUCCIÓN VIRTUAL  
DE IMPRESORAS  
TRIDIMENSIONALES CON  
HERRAMIENTAS PLM  
AVANZADAS**

---

Autor: Daniel Arturo Peralta Calvopiña

Código Orcid: <http://orcid.org/0009-0009-1680-6627>



**Sello editorial:** Editorial “Ciencia y Descubrimiento”  
978-9942-7299.

**ISBN:** [978-9942-7375-1-9](https://www.isbn.org/9789942737519)

**Diseño de portada y diagramación:** MSc. Rebeca Zapata, [rzapata@cienciaydescubrimiento.com](mailto:rzapata@cienciaydescubrimiento.com).

**Pedidos, comentarios, sugerencia:**  
[info@cienciaydescubrimiento.com](mailto:info@cienciaydescubrimiento.com).

**Publicado:** 2025-03-01.

**Edición:** 1° edición.

Quito – Ecuador

**Todos los derechos reservados.** Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, así como su inclusión en cualquier sistema informático, o su transmisión por cualquier medio o formato (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, u otros) sin la previa autorización por escrito de los titulares del copyright. La infracción de estos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

## Contenido

|                                                                                                                                               |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Contenido .....</b>                                                                                                                        | <b>5</b>      |
| <b>Introducción.....</b>                                                                                                                      | <b>11</b>     |
| <b>Prólogo.....</b>                                                                                                                           | <b>15</b>     |
| <b>Capítulo 1: Análisis del Diseño y Fabricación de Impresoras Tridimensionales.....</b>                                                      | <b>- 21 -</b> |
| Sistema de manufactura aditiva por extrusión de material (AM-EM) .....                                                                        | - 23 -        |
| Manufactura aditiva por extrusión de material, el Proyecto RepRap e inicios de la fabricación de impresoras tridimensionales de bajo coste. - | 24 -          |
| Historia de la Manufactura Aditiva (MA). .....                                                                                                | - 27 -        |
| Sistemas aplicados a la manufactura aditiva... -                                                                                              | 44 -          |
| Stereo Litography (SLA) .....                                                                                                                 | - 46 -        |
| Digital Light Processing (DLP). .....                                                                                                         | - 47 -        |
| Electron Beam Melting (EBM). .....                                                                                                            | - 49 -        |
| Selective laser Sintering (SLS). .....                                                                                                        | - 50 -        |
| Fused Deposition Modelling (FDM) .....                                                                                                        | - 52 -        |
| Análisis del diseño cinemático de la impresora tridimensional FDM.....                                                                        | - 54 -        |

|                                                  |             |
|--------------------------------------------------|-------------|
| Sistemas cartesianos.....                        | 55 -        |
| Sistemas no cartesianos .....                    | 56 -        |
| Análisis de la fabricación de las impresoras 3D- | 62          |
| -                                                |             |
| Prusa Research.....                              | 62 -        |
| Creality .....                                   | 63 -        |
| MakerBot .....                                   | 65 -        |
| BCN3D.....                                       | 66 -        |
| Luzlbot.....                                     | 67 -        |
| Análisis Del Mercado .....                       | 69 -        |
| Iniciativa Empresarial .....                     | 73 -        |
| Historia y trayectoria empresarial.....          | 73 -        |
| Misión .....                                     | 77 -        |
| Resumen de negocio .....                         | 78 -        |
| Servicios brindados .....                        | 78 -        |
| Estrategia de marketing .....                    | 78 -        |
| .....                                            | <b>81 -</b> |

## **Capítulo 2 - Diseño de Impresora Tridimensional por Extrusión de Filamento ..... - 83 -**

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| Requisitos de Diseño y Fabricación ..... | 84 - |
|------------------------------------------|------|

|                                                                                       |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Diseño Conceptual.....                                                                | - 88 -         |
| Diseño Preliminar.....                                                                | - 102 -        |
| Sistemas de la impresora tridimensional..                                             | - 104 -        |
| Diseño de Detalle.....                                                                | - 125 -        |
| Descripción de Subsistemas .....                                                      | - 126 -        |
| <i>Bancada</i> .....                                                                  | - 126 -        |
| <i>Sistema de extrusión</i> .....                                                     | - 127 -        |
| <i>Plataforma calefactada</i> .....                                                   | - 128 -        |
| Lista de materiales de ingeniería (EBOM)                                              | - 135 -        |
| Planificación de procesos de fabricación .....                                        | - 137 -        |
| <b>Capítulo 3 -Planificación de la Producción</b>                                     | <b>- 147 -</b> |
| Introducción .....                                                                    | - 147 -        |
| Creación de la lista de materiales de manufactura (MBOM) .....                        | - 148 -        |
| Creación del plan de procesos (PP).....                                               | - 157 -        |
| Diseño de la Distribución en Planta. ....                                             | - 178 -        |
| Introducción.....                                                                     | - 178 -        |
| Tipos de distribución en planta.....                                                  | - 178 -        |
| Principios y factores influyentes para la selección de la distribución en planta..... | - 181 -        |

|                                                                                      |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Método Systematic Layout Planning (SLP)-                                             | 182 -        |
| Definición y selección de zonas y recursos de planta .....                           | 183 -        |
| Viabilidad económica de la planta de fabricación ..                                  | 198 -        |
| Introducción .....                                                                   | 198 -        |
| Recursos de planta (activos fijos) .....                                             | 199 -        |
| Recursos de funcionamiento (activos circulantes) .....                               | 202 -        |
| Cálculo del VAN y TIR .....                                                          | 205 -        |
| .....                                                                                | <b>211 -</b> |
| <b>Capítulo 4 - Análisis de los Resultados de la Simulación de Fabricación .....</b> | <b>213 -</b> |
| Introducción .....                                                                   | 213 -        |
| Simulación del plan de procesos .....                                                | 214 -        |
| Optimización del plan de procesos .....                                              | 218 -        |
| Simulación de la distribución en planta .....                                        | 225 -        |
| <b>Conclusiones y Trabajos Futuros .....</b>                                         | <b>231 -</b> |
| Conclusiones .....                                                                   | 231 -        |
| Trabajos Futuros .....                                                               | 235 -        |

|                                                                                      |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Bibliografía y Referencias .....</b>                                              | <b>- 241 -</b> |
| Referencias Electrónicas.....                                                        | - 241 -        |
| <b>Anexos.....</b>                                                                   | <b>- 259 -</b> |
| <b>PLANOS .....</b>                                                                  | <b>- 297 -</b> |
| <b>Pliego de condiciones.....</b>                                                    | <b>- 307 -</b> |
| Condiciones generales.....                                                           | - 307 -        |
| Condiciones de índole facultativas.....                                              | - 307 -        |
| Condiciones índole económicas.....                                                   | - 308 -        |
| Condiciones de índole técnicas .....                                                 | - 309 -        |
| Materiales.....                                                                      | - 309 -        |
| Maquinaria.....                                                                      | - 310 -        |
| Personal .....                                                                       | - 312 -        |
| <b>Presupuesto .....</b>                                                             | <b>- 315 -</b> |
| Coste de mano de obra .....                                                          | - 315 -        |
| .....                                                                                | - 319 -        |
| <b>Coste de implementación de la planta de<br/>producción de impresoras 3D .....</b> | <b>- 321 -</b> |



## Introducción

En el contexto de la evolución de la tecnología de fabricación, la manufactura aditiva ha emergido como un campo de gran relevancia, especialmente en la producción de impresoras tridimensionales. Este avance tecnológico ha permitido no solo la creación de prototipos rápidos, sino también la fabricación de productos finales a partir de modelos digitales. El diseño, simulación y análisis de una planta de producción virtual de impresoras tridimensionales utilizando herramientas avanzadas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM) es un tema que combina diversas disciplinas, tales como la ingeniería mecánica, la electrónica, la informática y la gestión empresarial.

La manufactura aditiva por extrusión de material (AM-EM), representada principalmente por tecnologías como Fused Deposition Modelling (FDM), ha sido una de las técnicas más revolucionarias en este ámbito. Su capacidad para producir piezas complejas de manera

más económica y rápida que los métodos de fabricación tradicionales la ha convertido en una opción atractiva para la fabricación de impresoras 3D. Este libro tiene como objetivo explorar de manera integral el diseño y la fabricación de estas impresoras, abordando desde los sistemas tecnológicos que las impulsan hasta la viabilidad económica de una planta de producción virtual.

A lo largo de los capítulos, se presentarán análisis detallados sobre las diversas tecnologías de manufactura aditiva, el diseño cinemático de impresoras 3D y la evolución histórica y de mercado de las principales marcas en este sector. Además, se discutirá el diseño de una impresora tridimensional por extrusión de filamento, con énfasis en los requisitos de diseño y fabricación, y se profundizará en la planificación de la producción, la viabilidad económica y el análisis de los resultados obtenidos a través de la simulación de procesos.

El libro está dirigido a ingenieros, empresarios, académicos y estudiantes que deseen comprender los

aspectos técnicos y económicos involucrados en el diseño y la fabricación de impresoras 3D, así como aquellos interesados en la aplicación de herramientas PLM avanzadas para la optimización de procesos productivos. La combinación de análisis teóricos y prácticos a través de simulaciones proporcionará un panorama claro sobre los desafíos y oportunidades en la creación de plantas de fabricación virtuales dedicadas a la producción de impresoras tridimensionales.



## Prólogo

Como especialista en el área, me resulta un honor presentar este libro, el cual no solo refleja el trabajo exhaustivo y detallado de un equipo multidisciplinario, sino que también abre una ventana hacia las más innovadoras y avanzadas herramientas en el ámbito de la fabricación y el diseño de impresoras tridimensionales. La información plasmada en cada capítulo ofrece una visión integral sobre los procesos involucrados en la manufactura aditiva, abarcando desde las tecnologías que sustentan la fabricación de estas máquinas hasta la optimización de sus procesos productivos mediante simulaciones y análisis estratégicos.

Lo que distingue a este texto es su capacidad para abordar un campo altamente técnico con claridad, sin perder de vista la aplicabilidad práctica en la industria. El diseño cinemático, la selección de tecnologías de manufactura aditiva y el análisis de la viabilidad económica de una planta de producción de impresoras

3D son solo algunos de los temas tratados de manera exhaustiva, brindando herramientas valiosas para ingenieros, diseñadores y empresarios que buscan implementar o mejorar sus procesos productivos en este sector.

Además, el enfoque de utilizar herramientas PLM avanzadas para la simulación y la gestión del ciclo de vida del producto es un aporte fundamental que, sin duda, enriquecerá la comprensión de todos los profesionales interesados en la mejora continua de los sistemas de producción en el contexto de la manufactura moderna.

Este libro, con su profunda investigación y análisis detallado, representa un recurso esencial para todos aquellos que desean profundizar en la industria de las impresoras 3D y la manufactura aditiva, y sobre todo, es una invitación a explorar nuevas perspectivas en la optimización de procesos productivos. Sin lugar a duda, constituye un valioso aporte al conocimiento y desarrollo de tecnologías que seguirán marcando el

rumbo de la industria manufacturera en los años venideros.

**Ing. Mairalys Camacho Polanco**  
Ingeniera Mecatrónica





# **Capítulo 1. Análisis del Diseño y Fabricación de Impresoras Tridimensionales**





## **Capítulo 1: Análisis del Diseño y Fabricación de Impresoras Tridimensionales**

El enfoque que se quiere dar al diseño de la impresora tridimensional, está basado en la ingeniería concurrente, en donde varias entidades o grupos trabajan conjuntamente [1], en este caso se realizará una investigación conceptual de la historia de la manufactura aditiva y como se ha introducido en el mundo.

De este modo se podrá conocer los avances realizados, accesibilidad de esta tecnología, y también una breve idea del público interesado en estas tecnologías, por ultimo los sistemas que han trascendido en la historia y siguen vigentes en la actualidad, donde se podrá denotar sus principales fabricantes, consumidores y sobre todo las capacidades que ofrecen cada tipo de sistema.

Dentro del grupo de ingeniería y manufactura, se deberá explicar a detalle los sistemas de manufactura aditiva, sus principios físicos de funcionamiento. Destacando el sistema por extrusión de material que es el que compete en este trabajo de fin de máster. Detallando los accesorios, componentes, cinemática y principio de funcionamiento de este, así como

también los actuales fabricantes de estas máquinas, analizando concurrentemente sus modelos de fabricación, esto para tener un panorama claro de procesos de fabricación utilizados para la creación y distribución de impresoras tridimensionales.

Al final se analizará el mercado actual en el territorio ecuatoriano, con el fin de tener un punto de partida del crecimiento de esta tecnología dentro del país y un panorama claro del posible crecimiento de este mercado.

Por su parte, la Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (American Society for Testing Materials, ASTM) en su grupo ASTM F42 [2] ha determinado siete sistemas de manufactura aditiva estos son:

1. ***VAT photopolymerization***: sistema que polimeriza con un haz de luz polímeros y plásticos en forma de resina líquida
2. ***Powder Bed Fusion***: utiliza polvos materiales en forma de polvo, que van desde metales hasta polímeros
3. ***Material Jetting***: utiliza materiales en forma líquida, puede procesar polímeros y plásticos
4. ***Binder Jetting***: utiliza materiales en forma líquida y polvo, creando una mezcla entre el

polvo y el líquido como aglutinante, puede procesar metales, cerámicas y polímeros

5. **Sheet Lamination:** usa laminas delgadas pueden ser desde papel, cartón, plástico hasta metales suaves.
6. **Material Extrusion:** usa material en forma de filamentos para extruir creando figuras, puede procesar polímeros y plásticos
7. **Direct Energy Deposition:** utiliza grandes cantidades de energía para fusionar materiales en forma de polvo, se usa metales y cerámicas.

Dentro de estos sistemas de manufactura, las impresoras tridimensionales que trataremos en este trabajo de fin de máster son las de extrusión de material.

### **Sistema de manufactura aditiva por extrusión de material (AM-EM)**

El sistema AM-EM es un proceso no isotérmico, en donde un polímero sólido en forma de filamento es mecánicamente extruido hasta un terminal caliente, en donde el polímero es calentado hasta convertirse en un líquido viscoso, es decir se derrite al polímero. Este líquido viscoso es extruido por un orificio, el

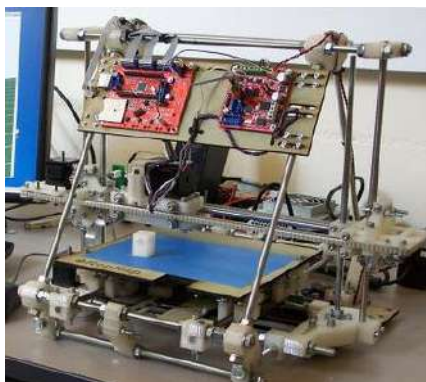
flujo con el que este sale es controlada por el extrusor mecánico [3].

Manufactura aditiva por extrusión de material, el Proyecto RepRap e inicios de la fabricación de impresoras tridimensionales de bajo coste.

Stratasys empresa pionera desarrolla un sistema de manufactura aditiva por extrusión de material denominado modelado por deposición fundida (FDM), y en el 2005 comercializa su primera máquina con un costo inicial de \$49.900 dedicado hacia la industria, centros de investigación y universidades. Para un sector con poder adquisitivo elevado. Hasta esa fecha el sistema FDM, no es tan popular ni solicitado debido a su costo.

En el 2005 el PhD Adrian Bowyer de la universidad de la universidad de Bath, lanza el proyecto RepRap, el cual trata sobre impresoras tridimensionales FDM, auto replicantes, de bajo coste y de libre acceso, los primeros prototipos se denominaron Mendel y Darwin [4].

La Figura 1 muestra el prototipo creado por Mendel Darwin



*Figura 1. Impresora 3D modelo Mendel [5]*

En el 2009 la patente del sistema FDM expira [6] y el Proyecto RepRap toma fuerza. Se crean en todo el mundo alrededor de 4500 máquinas en dos años y medio [7].

La aparición de empresas que fabrican impresoras 3D es inevitable naciendo así marcas como: MakerBot, Bits from Bites, Ultimaker, con kits ensamblables de escritorio con precios desde \$700 [3] en republica checa, Josef Prusa modifica y crea un nuevo modelo de impresora 3D FDM denominado Mendel Prusa, un modelo simplificado basado en Mendel

La fabricación y venta de los primeros modelos estas impresoras 3D es de forma casera, y se ofrecen kits ensamblables, utilizando componentes impresos en

las mismas máquinas, partes de madera cortadas por láser, tornillería común, y placas electrónicas de control hechas artesanalmente.

El lanzamiento de la plataforma virtual para la recaudación de fondos llamada “Kickstarted” da paso a emprendedores para publicar proyectos con el fin de recaudar el dinero necesario para financiar su idea. Las impresoras 3D de código abierto son una buena opción, ya que estas están claramente definidas. Con esto se inician en el mercado varias impresoras 3D FDM de bajo coste y de uso personal [8].

Algunas de las marcas que están actualmente en el mercado se desarrollaron en Kickstarted, por ejemplo; Creality, Raise3D, Biqu, Zortrax, Snapmaker, Robo3D, Bigbox3D, GCreate, Slice Engineering,

En el 2012 Prusa Research es fundada por el emprendedor Josef Prusa, que comenzó con el desarrollo de su modelo Prusa a partir de la simplificación del modelo Mendel. Josef empezó con algo muy pequeño sin inversores, ni campañas en Kickstarted, el comienzo fue modesto, pero tuvo mucha acogida. En la actualidad su fábrica cuenta con

500 empleados y se han envían alrededor de 9000 impresoras cada mes en todo el mundo.

Prusa Research se ha vuelto la compañía de tecnología que más rápido ha crecido en Europa central según Deloitte en el año 2018. En el 2019 Deloitte categoriza a Prusa Research dentro de los BIG 5 con una tasa de crecimiento del 4527% [9].

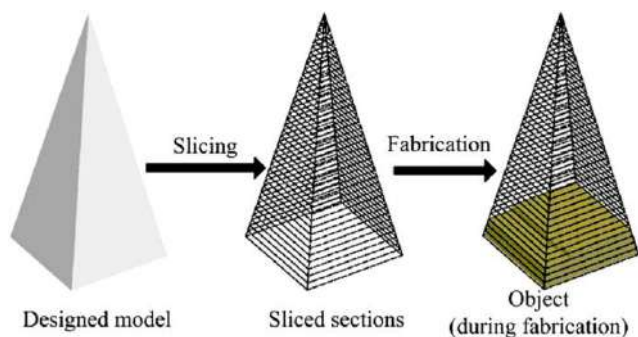
La fabricación de las impresoras de Prusa Research siguen sus orígenes de libre acceso, y bajo el concepto de máquinas auto replicantes. Para esto su fábrica cuenta con una granja de 3000 impresoras tridimensionales, para replicar las piezas de las nuevas impresoras 3D. Los demás componentes son adquiridos, mientras que el ensamblaje y empaquetado es realizado en sus instalaciones. También se comercializan kits de ensamble con basta información para su ensamble, calibración y funcionamiento.

### **Historia de la Manufactura Aditiva (MA).**

La MA, nace por la necesidad de obtener fácilmente partes y piezas de geometrías complejas, además de tiempos muy reducidos en su fabricación.

La MA parte de un modelo tridimensional creado en un software CAD (*Computer Aided Design*), generando un archivo digital, este archivo debe ser exportado en un formato que se ha estandarizado como STL (*standard tessellation language*) [10], el siguiente paso es el rebanado digital del modelo, este proceso convierte en capas de espesor uniforme al modelo en extensión STL. Estas capas son trayectorias que una máquina de manufactura aditiva debe realizar mediante códigos G o lenguaje de máquina.

La Figura 2Figura 2 muestra a la izquierda el diseño del modelo tridimensional, al medio el modelo rebanado, y a la derecha una representación de las capas fabricadas con máquinas de manufactura aditiva [10].



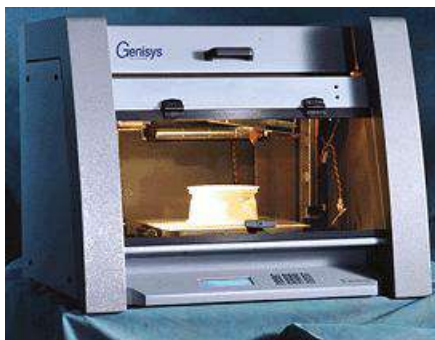
*Figura 2. Rebanado digital de sólidos tridimensionales [10]*

La primera máquina capaz de realizar la fabricación de modelos digitales tridimensionales es creada el año 1987 y su sistema se denominada estereolitografía, tecnología creada por 3D Systems, el sistema utiliza un proceso de curado de resinas foto polimerizante, que solidifica capa a capa la resina mediante emisión de luz. En 1988, se comercializa esta tecnología y las compañías 3D Systems y Ciba-Geigy crean la primera generación de resinas de acrilato foto polimerizante [4].

Tras varios años el incremento de fabricantes de máquinas de esta tecnología es inevitable [8], en 1991 se comercializan tres nuevos tipos de sistemas de manufactura aditiva.

Stratasys con su nuevo sistema denominado moldeo por deposición fundida (FDM), es capaz de procesa

polímeros en forma de filamento este es extruido por una boquilla muy pequeña. En el año 1996 Stratasys introduce al mercado el modelo Genisys que consta de tres ejes coordenados, X e Y para la generación de la superficie transversal y el eje Z el cual forma las figuras capa a capa. En la Figura 3 se muestra la máquina de Stratasys, diseño compacto, cerrado por completo.



*Figura 3. Impresora tridimensional FDM modelo Genisys de Stratasys [11]*

3D Systems, tras ocho años de fabricación de impresoras con sistema de estereolitografía, crea ACTUA 2100, su primera máquina con sistema FDM, que, a diferencia de la Genisys, tiene la capacidad de extruir cera en forma de filamento. En el año 2000 Object Geometries, crea un nuevo sistema, denominado inyección estereográfica el cual deposita y endurece foto polímeros utilizando 1536

boquillas y luz ultravioleta, su primer prototipo se denomina “Quadra”. En el 2002, Precisión Optical Manufacturing (POM), crea el sistema, deposición directa de metales (DMD), el cual es capaz de procesar materiales metálicos en forma de polvos, POM vende esta tecnología y también ofrece el servicio de impresión DMD. Z Corp, desarrolla la primera máquina multicolor, la “Z402C”, en la Figura 4 se puede apreciar la maquina creada por Z Corp[4].



*Figura 4. Impresora tridimensional multicolor modelo Z402c*

Stratasys desarrolla y comercializa “Titan” FDM, esta resalta su capacidad de procesar materiales como el policarbonato, ABS, polifenilsulfona y un composite entre ABS y policarbonato. Es muy importante acotar que hasta ahora las maquinas FDM que trabajan con materiales de carácter industrial son totalmente cerradas.

Texas Instruments presenta un nuevo sistema denominado procesamiento digital de luz (DLP), su primer prototipo cuenta con un haz de luz y un proyector digital, y solidifica resinas foto polimerizable [4]. Hasta este punto existen cuatro sistemas, el menos desarrollado es el que procesa materiales metálicos.

En Alemania, EOS, comercializa su sistema de sinterizado de metal con láser (SLS), el cual utiliza polvos metálicos con partículas de tamaños entre los 20 micrones. La Figura 5, muestra el modelo EOSINT 380 de sistema SLS por parte de la empresa EOS



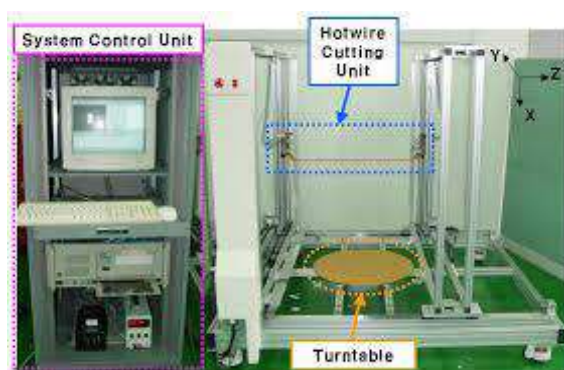
*Figura 5. EOSINT 380 con sistema SLS, para la fabricación de partes metálicas*

Envisiontec GmbH, de Alemania, incursiona con sus máquinas denominadas Bioplotter, que utilizan

biomateriales para producir partes. Es la primera máquina que trabaja con este tipo de materiales.

POM, incurre en la fabricación de herramientas de corte para el mecanizado metales[4], un gran avance para la industria CNC incrementando la capacidad de mecanizar materiales más duros y de uso aeroespacial.

En Corea la empresa Menix Co, crea un sistema que utiliza cuatro ejes de movimiento y un cable calefactado el cual se desliza por un bloque grande de poliestireno generando partes y figuras con la ayuda de un ordenador, la Figura 6 muestra el prototipo [4].



*Figura 6. Máquina moldeadora de bloques de poliestireno.*

En el 2003, Solidscape de USA, crea el sistema denominado T612, con capacidad de producir piezas

en ceras calcinables, dando paso a post procesos, como la creación de moldes que generen piezas en otros materiales por ejemplo metales.

Envisiontec GmbH, crea su prototipo “Vanquish” con sistema DLP. En Japón DSM Somos, fábrica de resinas, introduce UL94V0 un material, con alta resistencia a la elongación y a altas temperaturas.

Prometal crea el modelo RX-1, máquina de pequeño volumen (40x60x55) cm dirigido a centros educativos y de investigación. 3D Systems, con su modelo de sistema SLA “InVision HR” se enfoca en el campo de la joyería. En este punto se puede acotar la existencia de máquinas de uso exclusivo y un enfoque de mercado.

En el año 2005 Zcorp y Stratasys, reinventan los modelos Spectrum Z510 FDM y Dimension SST FDM, la Spectrum Z510 aumenta su volumen y calidad de impresión, tiene un costo de \$49900.

La Dimesion SST añade la opción de soportes solubles, la Figura 7 muestra esta mejora. Se puede observar una mejora continua en el sistema FDM.



*Figura 7. Representación del funcionamiento de soportes solubles para sistemas FDM*

El proyecto RedEye RPM de Stratasys, es un servicio de impresión 3D online con sistemas FDM y Polyjet. Este es un anuncio de que más personas están interesadas en crear prototipos con manufactura aditiva pero la adquisición de una maquina es muy costosa aún. Por ejemplo, Objet Geometries comercializa una maquina SLA de gran volumen, con un valor inicial de \$170000. En 2006 Stratasys y Z Corp disminuyen el precio de sus modelos FDM, la “Dimension BST” en \$18900 y la Zprinter 310 en \$19900.

Stratasys crea “Invision DP” SLA sistema embebido que incluye un escáner tridimensional, enfocada a la odontología. DSM Somos crea ProtoCast, una resina calcinable que se destaca por dejar poco residuo[4].

Se puede acotar que cada vez se desarrollan máquinas de uso exclusivo, hasta este punto se tienen dos máquinas con un fin específico.

Z Corp crea un escáner 3D con un costo de \$39900, EOS crea una mezcla de cobalto y cromo para la EOSINT M270 y asume la posibilidad de imprimir con acero inoxidable, también comercializa el modelo Formiga P100 SLS, por un precio inicial de \$150000 [4].

Arcam, de Suiza crea una máquina de sistema *Electron Beam Additive Manufacturing* (EBM). Stratasys crea un maquina auto replicada con 32 partes creadas en otras máquinas del mismo tipo. Objet Geometries crea un prototipo capaz de procesar dos materiales simultáneamente, obteniendo partes de materiales compuestos. No es la primera máquina capaz de mezclar materiales, pero si para los sistemas SLS. Microsoft se une a la manufactura aditiva, cuando Ed Fries, decide imprimir las figuras de acción del juego World of Warcraft, Corp y su modelo Z510 son los encargados de producir las figuras.

En la Figura 8 se puede ver una de las muchas figuras de acción impresas.



*Figura 8. Figura de acción del juego WOW impresa en 3D [12]*

En 2008 Stratasys y Arcam negocian la fabricación y distribución de máquinas con sistema EBM en Norteamérica, en reacción 3D Systems y MTT acuerdan distribuir máquinas con sistema SL en Estados Unidos. Shapeways crea una herramienta que simplifica el proceso de diseño digital de partes, y aparece Q2 que brinda servicios de impresión 3D a nivel mundial[4]. La existencia de herramientas y servicios de impresión 3D aparece rápidamente. En Alemania la universidad de Paderborn, junto a 3D Systems, Boeing, EOS y Evonik crean un centro de investigación exclusivamente de manufactura aditiva. Las universidades empiezan a tomar iniciativa para desarrollar esta tecnología.

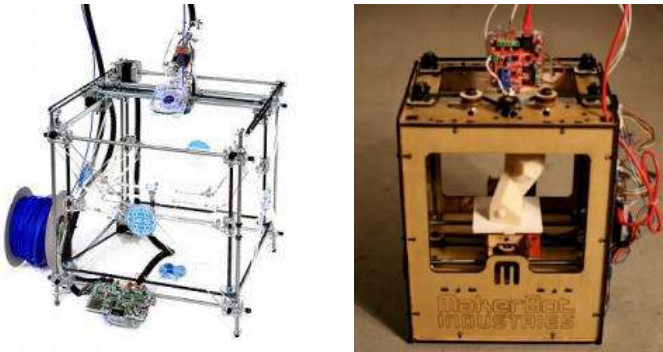
Stratasys crea un accesorio de terminación superficial para las impresiones en FDM, “Fortus finish stations”, este mediante vapor de un químico derrite controladamente el modelo impreso y junta las capas [13], en la Figura 9 se aprecia a la izquierda el modelo sin procesar y a la derecha después del tratamiento.



*Figura 9. Proceso de terminación superficiales para piezas impresas en FDM [13]*

La ASTM, asigna un comité para estandarizar, pruebas, procesos, materiales, diseños (incluyendo formato de archivos) y terminologías de la MA. Shapeways en el 2009 crea una página web en donde, artistas, diseñadores y público en general puede subir y vender sus trabajos digitalizados. Bits from Bytes del Reino Unido comercializa un kit ensamblable de una impresora 3D FDM de código

abierto basado bajo la filosofía RepRap, el kit denominado “RapMan 3D” costaba \$750. Desde este punto las impresoras FDM fueron de costo accesible. Se funda MakerBot en USA y comercializa un kit de similar al “RapMan 3D” denominado “Cup Cake CNC”. En la Figura 10 a la izquierda RapMan 3D y a la derecha Cup Cake CNC, las dos máquinas totalmente ensambladas.



*Figura 10. Impresoras 3D FDM Rapman 3D y CupCake CNC [14].*

Bits from Bytes desarrolla “Axon” un software de control para la RapMan 3D. 3D Systems adquiere Bits from Bytes, con el fin de crear una línea de impresoras dedicadas a la educación y entretenimiento[4].

En 2011 la patente del sistema FDM expira, y el proyecto RepRap toma fuerza, introduciendo

impresoras personales de muy bajo coste. Solidoodle y Botmill comercializan impresoras FDM de escritorio con un precio inicial de \$699.

Stratasys adquiere Solidscape e implementa su tecnología de materiales calcinables dentro de su línea de productos para la Joyería y odontología.

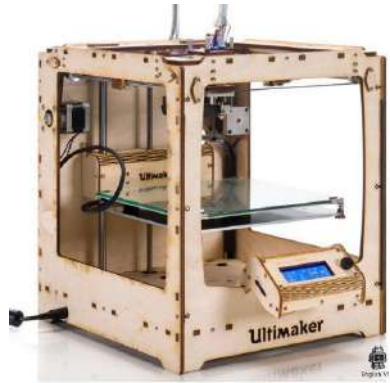
ASTM estandariza el formato AMF, que a diferencia del STL, se consideran parámetros como textura, información del material, color y triángulos curvados.

MakerBot en 2012 crea el modelo Replicator, de gran volumen y doble cabezal, su costo es de 1749, genera y patenta la idea de un sistema banda infinita para producir piezas en serie. Método innovador ya que hasta la fecha las plataformas son fijas y no es posible una producción en serie.

Formlabs, de USA, crea una maquina con sistema SLA, la "Form1", esta idea es desarrollada en la Kickstarted, logran recaudar más de tres millones de dólares 3D Systems demanda a Formlabs por violación de patente.

Ultimaker de Holanda comercializa la "Ultimaker 3D", un kit ensamblable de sistema FDM. La Figura 11, muestra el primer prototipo hecho a base de

madera cortada con láser. La mayoría de las máquinas FDM de bajo coste tienen procesos de fabricación artesanales o de forma casera y todos son kits ensamblables [4].



*Figura 11. Primera generación Ultimaker 3D*

3D Systems en el 2013 invierte en varias empresas dedicadas al escaneo tridimensional, con esto logra crear “Sense”, un escáner tridimensional con un precio de \$399.

MakerBot y Autodesk crean la Replicator 2 y Autodesk 123D, ofertado al público como kit de diseño e impresión 3D. En Kickstarted, Pirate3D recauda un millón de dólares para la creación de la “Bucanner” impresora de sistema FDM.

Materialise brinda servicios de impresión tridimensional para el sector médico, Heartprint, permite imprimir modelos cardio vasculares, material utilizado en precirugías, planeamientos y como dispositivos médicos de prueba, la Figura 12 muestra el modelo de un corazón humano.



*Figura 12. Corazón humano impreso en 3D [15]*

En el 2014 3D Systems, Stratasys, Exone y Voxeljet, enfrentan un decremento de precio en sus acciones, valores por en menos del 50% y 70% de su valor actual.

XYZprinting, de Taiwán, comercializa una impresora FDM de un extrusor y totalmente ensamblada esta se podía adquirir en la plataforma Amazon por un precio de \$499.

General Electric Aviation, invierten 50 millones para la producción de inyectores de combustibles con impresoras de sistema EBM, en Auburn Alabama.

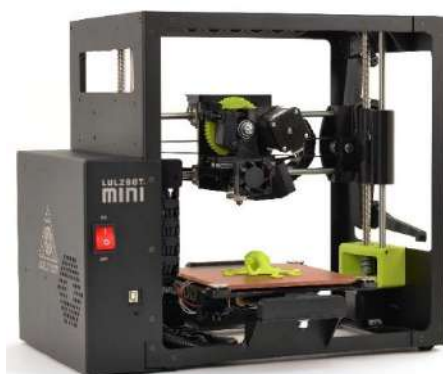
La Figura 13 muestra los inyectores de combustible impresos, este componente consta con tratamientos térmicos y mecanizados, para su correcta funcionalidad [16].



*Figura 13. Inyector de combustible de un avión. [16]*

Stratasys adquiere, un repositorio de archivos digitales, y colabora con la GrabCad. Esta es la primera vez que se escucha GrabCad, repositorio de archivos tridimensionales muy utilizado a nivel mundial. Dremel comercializa “Idea Builder” impresora FDM, esta cuenta con certificación UL.

En 2015 Alph Objet, comercializan “Luzlbot mini”, máquina de código abierto que incluye la nivelación automática de la plataforma. La Figura 14 muestra este modelo, su elaboración es mucho más compleja y con diferentes materiales al de los sus competidores[4]



*Figura 14. Impresora FDM "Luzlbot mini" [17].*

### **Sistemas aplicados a la manufactura aditiva**

La variedad de sistemas de MA creados para facilitar la creación de piezas, son de uso específico, es decir que han sido desarrollados para el procesamiento de ciertos materiales y campos, por ejemplo, 3D Systems había creado dos modelos SLA exclusivos para joyería y odontología, mientras que EOS

desarrollo equipos para la aeronáutica exclusivamente para la creación de inyectores de sus motores. Todos estos sistemas cuentan con un proceso, el cual es igual para cualquier sistema y consta de tres pasos:

1. Uso de software para asistir los diseños mediante un ordenador (CAD)
2. Software de rebanado y generación de códigos G
3. Conversión del modelo digital tridimensional, mediante cualquier sistema de manufactura aditiva

Como hemos comentado anteriormente, la ASTM F42 [2] a categorizado los procesos de manufactura aditiva de la siguiente manera:

1. Técnicas de extrusión de material
2. Técnicas de fusión de polvos en una plataforma
3. Métodos de fotopolimerización
4. Técnicas de inyección de material
5. Técnicas de inyección de aglutinante
6. Técnicas de laminación de laminas
7. Técnicas de deposición directa de energía

Es importante denotar un ejemplo de cada uno de los sistemas ya mencionados, con el fin de saber el

proceso de manufactura y los materiales que se pueden procesar. Se hará hincapié en las técnicas de extrusión de material, detallando; principio de funcionamiento, componentes, cinemática, tipos de control, materiales utilizados, actuales fabricantes y sus procesos de fabricación.

### **Stereo Litography (SLA)**

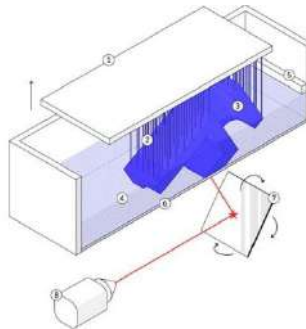
Este sistema crea sólidos mediante la acción de un haz de luz sobre resina que reposa en un tanque, esta luz que tiene una frecuencia electromagnética específica reacciona sobre la resina, esta se solidifica después de un determinado tiempo, la resina se denomina foto polimerizable. Este sistema solidifica capa a capa al solido rebanado mediante software [18].

La Figura 15 muestra los componentes básicos y un esquema sencillo del funcionamiento de este sistema que consta de:

- Plataforma de construcción, la cual se mueve de arriba y abajo
- Tanque de retención de la resina
- Juego de espejos para reflejar el haz de luz

El funcionamiento de impresión SLA es el siguiente:

La resina foto polimerizable es colocada en un tanque, luego la plataforma tiene la función de moverse de abajo hacia arriba capa por capa hasta generar un sólido completo. El haz de luz va solidificando la geometría del área transversal del sólido, esto es posible por el movimiento de dos espejos ubicados perpendicularmente uno al otro que reflejan el haz de luz generado por un láser. Los espejos se mueven generando la trayectoria del área transversal del sólido, esto se repite en cada capa mientras la plataforma sube [19]



*Figura 15. Proceso y componentes de una impresora SLA*

### **Digital Light Processing (DLP).**

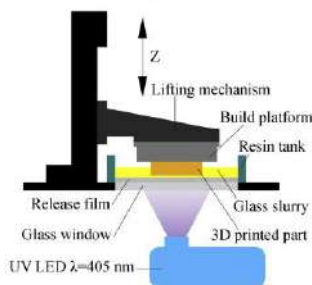
Este sistema al igual que el SLA utiliza resinas foto polimerizante y un haz de luz. DLP se diferencia por tener un proyector de imágenes que inserta capa a

capa el área transversal de un sólido y la luz pasa a través de esta proyección [20]

En la Figura 16 se indican los principales componentes, estos son:

- Plataforma y mecanismo de levantamiento
- Tanque de reposo de resina
- Película de separación
- Proyector de imágenes
- Luz ultravioleta de 405nm

El funcionamiento es muy similar al sistema SLA, en cada capa del sólido rebanado, se proyecta su área transversal y el haz de luz ultravioleta solidifica esta capa hasta solidificar la resina [21], después la plataforma sube y se proyecta la siguiente capa, el proceso se repite hasta terminar de crear al sólido [20].



*Figura 16. Proceso y componentes del sistema DLP [21]*

### Electron Beam Melting (EBM).

El sistema EBM fue desarrollado a comienzos de 1995 por EOS y comercializada en 2005 Arcam de Suiza [22].

El sistema usa un haz de electrones de alta potencia, generando la energía suficiente para alta fusión y productividad, el proceso se lleva a cabo en una cámara de vacío y por ser un proceso al caliente las partes producidas no tienen tensiones residuales [23]. La máquina distribuye las capas del polvo metálico sobre la plataforma, el polvo es derretido por el haz de electrones, luego la plataforma baja capa por capa hasta formar solidos [24].

En la Figura 17 se pueden ver todas las partes que componen son:

- Lentes de astigmatismo, focales y de deflexión
- Tolvas de polvo
- Cámara de vacío
- Plataforma

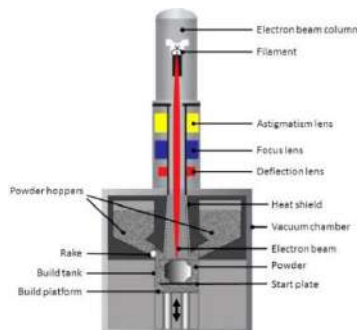


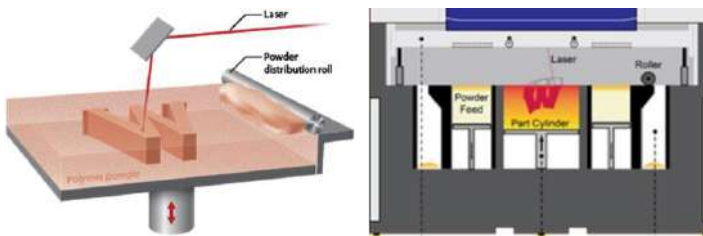
Figura 17. Proceso de impresión del sistema EBM

Este sistema necesita de un calentamiento previo del material, ya que en los primeros experimentos, los polvos se propagaban en una explosión en contacto con el haz de electrones, el fenómeno era causado por residuos de agua, y cargas electrostáticas de los granos del polvo [25].

### Selective laser Sintering (SLS).

Este sistema fue desarrollado en Houston USA en 1986, se considera como el primer sistema de MA para fabricar solidos con polímeros [26], este sistema derrite material en polvo con un láser de forma selectiva [27]. El proceso es similar al EBM en donde se tiene una plataforma donde reposa el polvo y el láser derrite la primera capa, luego la plataforma desciende y el proceso se repite.

En la Figura 18 a la izquierda muestra el proceso de fabricación, donde el laser genera la geometría transversal del sólido generando una capa, esto lo logra con los movimientos en el plano X e Y, en cada capa la plataforma desciende y un rodillo crea una nueva película de polvo.



*Figura 18. Proceso de impresión del sistema SLS [28].*

En la derecha de la Figura 18 están los componentes de la máquina, estos son [28], [29]:

- Sistema de movimiento en el plano XY
- Plataforma que asciende y desciende
- Dos pequeñas plataformas; una para alimentar el material en polvo, el segundo para almacenar el exceso de material
- Sistema rodillo que se desplaza de izquierda a derecha moviendo el material entre las dos plataformas antes mencionadas.

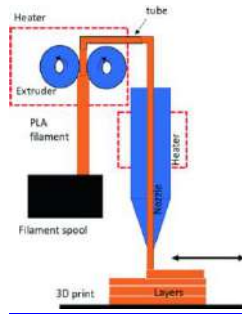
- Sistema laser, su potencia y tipo depende del material que se vaya a procesar

### **Fused Deposition Modelling (FDM)**

El sistema FDM es catalogado por la ASTM F42 como una técnica de extrusión de material [2].

El sistema fue desarrollado por S. Scott Crump en 1988, su primer prototipo fue con una pistola de silicón creando un sólido capa a capa, luego automatizo este proceso mediante el control numérico computarizado (CNC) , después fundo Stratasys [30].

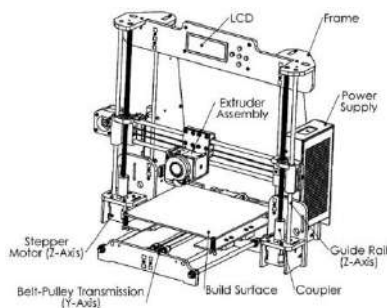
Los materiales utilizados son principalmente los polímeros en forma de filamento [10], el cual ingresa por un sistema de extrusión, y se transporta hasta un cabezal con una boquilla o dado de extrusión caliente, este está a la temperatura de fusión del polímero [31]. En la Figura 19 se muestran estos componentes.



*Figura 19. Principio de funcionamiento del sistema FDM*

El cabezal se mueve en tres dimensiones y consta de tres ejes (X, Y, Z), generalmente el plano XY crea la geometría del área transversal del sólido y la plataforma sube o baja, al igual que los anteriores sistemas, sin embargo, existen varios modelos cinemáticos de máquinas FDM. En la Figura 20 se muestran los componentes principales que componen a una impresora FDM y estos son [32]:

- Sistema de extrusión y terminación calefactada
- Plataforma calefactada
- Transmisiones ejes X, Y Z.
- Sistema de control electrónica
- Fuente de alimentación eléctrica
- Estructura o bancada



*Figura 20. Componentes principales de un sistema FDM [32]*

El proyecto replicator rapid prototyper (RepRap), desarrollado por el PhD. Adrian Bowyer, quien en el 2007 fabrico su primer prototipo FDM denominado “Darwin”, el cual en primera instancia necesito contratar el servicio de impresión 3D, para fabricar partes de “Darwin”.

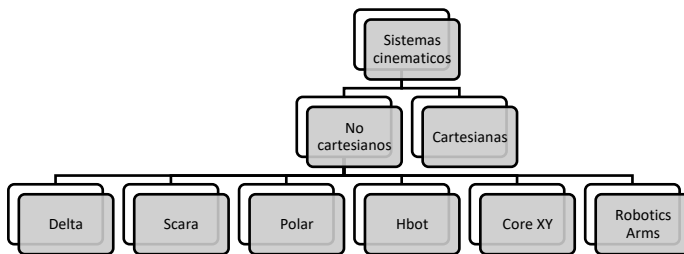
Con “Darwin” funcional Bowyer creo otra impresora FDM de las mismas características, imprimiendo todas las partes con su primera máquina. Siendo este es el punto de partida del concepto DIY 3D que revoluciono la fabricación de impresoras tridimensionales FDM [33].

### **Analisis del diseño cinematico de la impresora tridimensional FDM**

Se debe hacer un estudio y categorizacion de las formas mecanicas del movimiento de los ejes que

comprenden dentro de una impresora FDM. En los cuales se tienen diferentes mecanismos de transmisión, actuadores y componentes mecánicos que competen analizarlos, ante un diseño previo de una máquina de estas características.

Estos sistemas cinemáticos constan de dos subgrupos y se componen de varios sistemas la Gráfica 1 muestra los sistemas desarrollados.

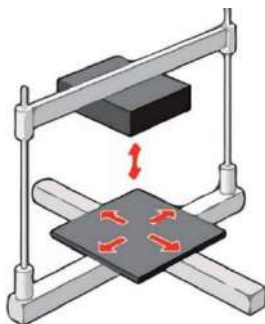


*Gráfica 1. Categorización de sistemas cinemáticos FDM [Fuente propia]*

### **Sistemas cartesianos**

El sistema cartesiano, se ha convertido en el más utilizado por los fabricantes de impresoras FDM de bajo coste [34]. El sistema consta de tres ejes ortogonales, estos se mueven en una línea recta

representando movimientos en el espacio, particularmente, los ejes X e Y son perpendiculares al eje Z, en la Figura 21 se puede ver una representación de los movimientos lineales de los ejes, con esto la maquina logra generar sólidos [35].



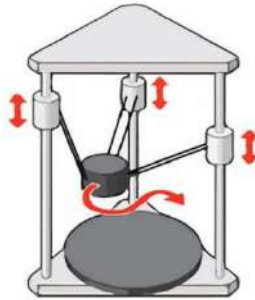
*Figura 21. Movimientos cartesianos del sistema FDM [35]*

### **Sistemas no cartesianos**

#### *Delta:*

Este sistema a diferencia del anterior, tiene una configuración de ejes paralela y los movimientos son libres y delimitados por brazos articulados [35], los movimientos de cada brazo son controlados simultáneamente para generar trayectorias geométricas. Este sistema destaca por tener de gran velocidad, volumen de impresión, menor inercia en su sistema de extrusión [35] la precisión baja a medida que la velocidad sube [36]. La Figura 22

muestra la trayectoria que puede tener si se mueven paralela y simultáneamente los tres ejes, esta configuración utiliza coordenadas polares para poder desplazarse.

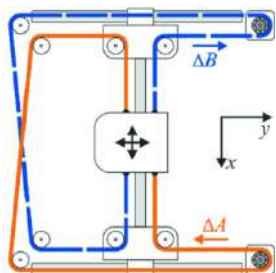


*Figura 22. Movimientos del sistema Delta [35]*

### *H-bot y Core XY*

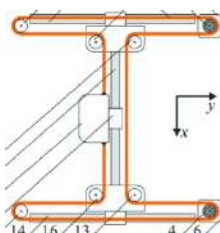
El posicionamiento en el plano XY sobre una superficie plana tiene varias aplicaciones a nivel industrial, usado para soldadura, corte, y movimiento de piezas de un lugar a otro [37], Core XY al ser un sistema que lleva muy poca carga en sus movimientos tiene la capacidad de obtener mayores velocidades y aceleraciones con respecto a los sistemas cartesianos, en la Figura 23 se muestra la configuración mecánica de Core XY, el cual consta de dos rieles paralelos móviles y un eje perpendicular a estos que generalmente representa la plataforma que

construye al sólido. Este mecanismo consta de dos bandas con control independiente.



*Figura 23. Configuración del mecanismo Core XY [38]*

El mecanismo H-Bot fue desarrollado y patentado por Stratasys, la Figura 24 muestra esta idea, la cual se compone de dos poleas conductoras y seis conducidas, a diferencia de Core XY, HBot tiene una sola banda la cual es colocada en forma de H [38].



*Figura 24. Configuración del mecanismo H-Bot [38]*

los movimientos traslacionales son iguales tanto para Core XY y H Bot, y los movimientos de los

motores conductores deben moverse simultáneamente para realizar trayectorias, la Tabla 1 muestra las acciones y movimientos de ambos mecanismos.

*Tabla 1. Desplazamientos de los mecanismos Core XY y H Bot [Fuente Propia]*

| <i>M1*</i> | <i>M2*</i> | <i>Movimiento</i> |
|------------|------------|-------------------|
| <b>H*</b>  | H          | IZQ*              |
| <b>AH*</b> | AH         | DCH*              |
| <b>AH</b>  | H          | ABJ*              |
| <b>H</b>   | AH         | ARRB*             |
| <b>H</b>   | L*         | D* SUP* DCH       |
| <b>AH</b>  | L          | D INF* DCH        |
| <b>L</b>   | H          | D SUP IZQ         |
| <b>L</b>   | AH         | D INF IZQ         |

M1\*: motor uno      M2\*: motor dos

H\*: sentido horario    AH\*: sentido antihorario    L\*:  
motor libre

IZQ\*: izquierda                      DCH\*: derecha  
 ABJ\*: abajo                      ARRB\*: arriba  
 D\*: diagonal                      SUP\*: superior  
 INF\*: inferior

En la Tabla 2 se indican las ventajas y desventajas de los mecanismos estudiados, esta tabla es de referencia para la selección de la forma en el siguiente capítulo en donde se diseña la impresora FDM.

*Tabla 2. Ventajas y desventajas de las cinemáticas aplicadas en impresoras FDM*

| Modelo Cinemático | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CARTESIANO</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil implementación</li> <li>• Alta repetibilidad en movimientos</li> <li>• Mucha información en internet</li> <li>• Fácil mantenimiento</li> <li>• Componentes mecánicos de transmisión baratos</li> <li>• Compatibilidad con cualquier sistema de extrusión.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta inercia en movimientos de la plataforma</li> <li>• Velocidad controlada en función de la plataforma</li> <li>• Ocupa gran espacio de trabajo</li> <li>• Dificultad para encapsular el sistema</li> <li>• No trabaja con materiales industriales</li> <li>• Altura de impresión limitada</li> </ul> |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DELTA</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de encapsular el sistema</li> <li>• Si esta encapsulado se puede imprimir cualquier material</li> <li>• Alta aceleración y velocidad de movimiento</li> </ul>                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta dificultad para calibrar</li> <li>• Alto coste computacional para generar trayectorias</li> <li>• Ocupa bastante espacio, en altura</li> <li>• Difícil mantenimiento</li> <li>• No es compatible con cualquier sistema de extrusión.</li> </ul>                                            |
| <b>CORE XY</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de encapsular el sistema</li> <li>• Si esta encapsulado se puede imprimir cualquier material</li> </ul>                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La tensión en correas sincrónicas deben ser iguales [38]</li> <li>• Error de precisión por elongación de bandas sincrónicas [38]</li> </ul>                                                                                                                                                     |
| <b>H-BOT</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor aceleración y velocidad</li> <li>• Usa una correa sincrónica</li> <li>• Pocos componentes para su ensamble</li> <li>• Sistema liviano, inercia muy baja en movimientos</li> <li>• Posibilidad de encapsular el sistema</li> <li>• Si esta encapsulado se puede imprimir cualquier material</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor calculo para generar trayectorias</li> <li>• Estructura más rígida y guías lineales robustas</li> <li>• Desgaste prematuro de componentes rodantes</li> <li>• Error de precisión por elongación de bandas sincrónicas y holgura entre elementos rodantes y guías lineales [38]</li> </ul> |

---

## **Análisis de la fabricación de las impresoras 3D**

El proyecto RepRap es base para el desarrollo y comercialización de impresoras FDM de bajo costo.

Al ser máquinas auto replicantes, el proceso de fabricación es intuitivo, es decir que, para fabricar más impresoras FDM se necesitan de impresoras FDM.

Existen varios exponentes de este concepto y es de interés el saber cómo se han implementado los procesos de fabricación de las impresoras FDM en las empresas que lideran este mercado.

También se requiere saber, como satisfacen el incremento de demanda de impresoras FDM a nivel mundial, la información se tomará de los fabricantes con mayor popularidad, y obviamente los hayan generado algo de información sobre sus procesos de fabricación al público en general.

Prusa Research



*Figura 25. Logotipo Prusa Research [9]*

El logotipo mostrado en la Figura 25 de la empresa checa, que al momento ha desarrollado tres modelos de impresoras comerciales, con sistemas FDM y DLP.

La fabricación de los modelos FDM, se basa en el concepto RepRap, y usa una granja de 3000 impresoras 3D, para fabricar piezas de las nuevas impresoras [9].

El resto de componentes como; marco, guías lineales y estructura son de perfilería de aluminio, extrusor, componentes electrónicos son importados y adquiridos por empresas locales [39].

La fábrica cuentan con varias estaciones de ensamblaje, aunque las comercializan en forma de kit ensamblable o totalmente armadas y calibradas [39].

Creality

The logo for Creality, featuring the word "CREALITY" in a bold, black, sans-serif font. The letters are slightly spaced out, and the overall design is clean and modern.

*Figura 26. Logotipo Creality [40]*

Empresa ubicada en Shenzhen China, dispone de varios modelos de impresoras con sistemas FDM y DLP [40], la Figura 26 muestra el logotipo de esta fábrica.

La fabricación de los modelos FDM, es completamente partes y subconjuntos para ensamblar, ningún componente es creado por otras impresoras 3D FDM [41]. Cuentan con varias estaciones de ensamble, un departamento de electrónica y programación de las tarjetas controladoras, departamento de control de calidad de insumos y materiales receptados por otras fábricas. Cuentan con 3 líneas de ensamblaje para sus impresoras de modelo cartesiano [41];

- ✓ Primera línea se encarga de la caja de control y electrónica de la maquina
- ✓ Segunda línea se encarga del ensamblaje de la plataforma, y todo lo que le compete
- ✓ Tercera línea se ocupa del pórtico.

Estas máquinas se venden en kit ensamblables, estos se destacan por enviar kit semi ensamblados, en menos de media hora la maquina funciona completamente, esta marca tiene una producción anual de 500.000 unidades aproximadamente, la fábrica consta de 20.000 metros cuadrados y cuenta con certificaciones ISO y BSCI [40].

MakerBot



*Figura 27. Logotipo Makerbot [42]*

En la Figura 27 se aprecia el logo icónico de la fábrica estadounidense, que empezó a producir sus impresoras 3D bajo el concepto RepRap [43].

Luego de popularizarse, sus procesos de manufactura cambiaron a los métodos convencionales, por ejemplo, la cobertura de la Duplicator II, era hecha a base de plástico inyectado, y sus fábricas se convirtieron en ensambladoras [42].

Disponen con varias líneas de ensamblaje para cada subconjunto de la máquina, por ejemplo, la máquina replicator 1, consta de 4 líneas de ensamblaje [44].

- Estación uno: Ensamble de estructura
- Estación dos: Ensamble de motores y mecanismos motrices
- Estación tres: Ensamble de tarjetas electrónicas de control
- Estación cuatro: Etiquetado, pruebas y embalaje

## BCN3D



*Figura 28. Logotipo BCN3D*

La Figura 28 muestra el logotipo de la fábrica española, esta se fundó en la Universidad Politécnica de Catalunya, en 2012, ofreciendo kits armables de impresión FDM [46], en 2015 lanzaron su modelo Sigma con un sistema de doble extrusión independiente (IDEX), actualmente la fábrica consta de 90 empleados, repartidos en varios departamentos, como ventas, mercadeo, producción, entre otros [47], [48].

La fábrica cuenta con una granja de impresoras 3D, entre ellas su modelo Sigma, en donde se imprimen varias piezas para las nuevas impresoras. Se han establecido dos líneas de producción, la primera en donde se ensamble el sistema de guiado lineal independiente IDEX al marco de la impresora [47].

Y la segunda línea, son de pruebas y empaquetado de las maquinas. Las maquinas se envían armadas y calibradas.

La mayoría de los accesorios mecánicos y electrónicos son adquiridos de manera local, a excepción del extrusor y terminal caliente de E3D y Bondtech, empresas norteamericanas [47].

Lulzbot



*Figura 29. Logotipo Lulzbot*

En la se muestra el logo de la empresa estadounidense, que fabrica de 40 a 50 impresoras diarias, y su modelo de producción es similar al de BCN3D o Prusa Research. Su modelo TAZ Pro se compone de 40 piezas autorreplicadas [49].

La fábrica cuenta con una granja de 144 impresoras, y varias líneas de ensamblaje, en donde se completa el proceso de fabricación de cada máquina. Estas máquinas se venden ensambladas y calibradas.

Es conveniente analizar los procesos de fabricación estudiados de los cinco fabricantes de impresoras FDM, la Tabla 3 muestra un FODA.

*Tabla 3. Análisis FODA de los sistemas de fabricación de impresoras FDM.*

| <b>Debilidades</b>                                                                                                | <b>Fortalezas</b>                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Es necesario tener varias estaciones de ensamble y es requerimiento tener mucho personal si la demanda es grande. | Los procesos de todas las empresas son similares, con varias estaciones de ensamble.                |
| Las maquinas más costosas, van ensambladas y calibradas por completo                                              | Las granjas de impresión de piezas simplifican mucho, en tiempo y maquinaria.                       |
| La adquisición de accesorios eléctricos y electrónicos normalmente originarios de china.                          | Fabricación versátil y económica, por lo que se puede ofrecer variedad de modelos de impresoras 3D. |
| Al usar granjas de impresoras auto replicantes, las piezas producidas pueden ser solo de plástico                 | Al ser de libre acceso la comunidad que adquiere las maquinas, ayuda al desarrollo en               |
| Terminación superficial, muy baja en comparación con maquinaria de precisión.                                     | mejoramiento de las impresoras.                                                                     |

---

---

| Oportunidades                                                                                                                     | Amenazas                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Posibilidad de automatizar varios procesos de ensamblaje                                                                          | Probabilidad fallo en impresión de componentes en las granjas de impresoras 3D                 |
| Posibilidad de venta de máquinas de menor valor, si se vende como kits armables.                                                  | Al vender kits ensamblables, hay alta posibilidad de que la maquina no funcione perfectamente. |
| Realimentación de experiencia de usuario, para un mejoramiento continuo, por medio de blog creados, en redes sociales y en la web |                                                                                                |

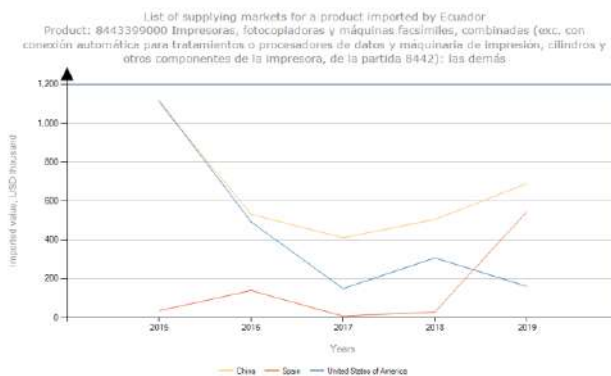
---

## **Análisis Del Mercado**

Según researchnester.com para el 2020 en Estados Unidos la industria de la impresión 3D llegaría a un valor de inversión de 17.2 billones de dólares en los departamentos de investigación y desarrollo y las industrias implicadas en esto son: Aeroespacial, automotriz, salud, gas y petróleo [50].

De acuerdo con researchandmarkets.com la tasa de crecimiento del compendio anual para la impresión 3D es del 23.2% para el periodo 2016-2021 [51].

En la actualidad no hay empresas fabricantes de impresoras 3D en el Ecuador y simplemente son importadas bajo la partida arancelaria 8443.39.90.00, con esta partida se puede extraer información del origen de los principales países productores y el valor de las importaciones. La Gráfica 2 muestra el comportamiento de las importaciones, donde los principales productores son; China, Estados Unidos y España [52]



*Gráfica 2. Importación de Impresoras 3D en Ecuador [52]*

China es el principal proveedor de impresoras 3D en el Ecuador con un crecimiento de \$300.000 dólares en importación en tan solo tres años.

La plataforma que más acogida tiene para la venta de tecnología en el Ecuador es Mercado Libre aquí se puede encontrar las principales marcas de impresoras 3d ofrecidas todas de origen chino entre ellas se destacan las marcas; Creality, Anet, Anycubic, Sunlu, Artillery, Wanhao, que ofrecen sistemas FDM, DLP y LCD [53]. Estos sistemas son los más conocidos y comercializados en el Ecuador.

Existen pocas empresas especializadas, Compucad, por ejemplo, ofrece los sistemas SLS y MJ de Stratasys.

MakerGroup importa de forma exclusiva marcas como; Luzlbot, Prusa, Raise3D, Formlabs, MakerBot. Marcas que lamentablemente en el Ecuador no son tan populares por su valor, aunque sus prestaciones son superiores a las máquinas de origen chino.

La mayoría de los modelos de impresoras tridimensionales tienen similares características técnicas, en la Tabla 4 muestra información de las impresoras FDM que se comercializan en el Ecuador, se caracteriza por volumen de impresión y coste.

*Tabla 4. Comparativa entre impresoras FDM comercializadas en el Ecuador [53].*

| <i>Impresora 3D</i>             | <i>Volumen [cm]</i> | <i>P. Mercado [\$]</i> |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|
| <b>Mono Price Mini V2</b>       | 12 x 12 x 12        | 522                    |
| <b>MakerBot Replicator Mini</b> | 10 x 10 x 12        | 1200                   |
| <b>Anet Et4</b>                 | 22 x 22 x 25        | 350                    |
| <b>Creality Ender3 Pro</b>      | 22 x 22 x 25        | 509                    |
| <b>Anycubic Mega Zero</b>       | 22 x 22 x 25        | 320                    |
| <b>Anycubic Mega S</b>          | 21 x 21 x 20        | 490                    |
| <b>Prusa I3 Mk3s</b>            | 25 x 21 x 21        | 1500                   |
| <b>Zmorph Full</b>              | 25 x 24 x 17        | 7350                   |
| <b>Anet Et5</b>                 | 30 x 30 x 40        | 500                    |
| <b>Anycubic Mega</b>            | 30 x 30 x 30        | 756                    |
| <b>Sunlu S8</b>                 | 30 x 30 x 40        | 475                    |
| <b>Creality CR-10 Dual</b>      | 30 x 30 x 40        | 1400                   |
| <b>Artillery SideWinder X1</b>  | 30 x 30 x 40        | 750                    |
| <b>Raised 3D Pro</b>            | 30 x 30 x 30        | 6250                   |
| <b>Anycubic Chiron</b>          | 40 x 40 x 45        | 950                    |

## **Iniciativa Empresarial**

### **Historia y trayectoria empresarial**

La idea de emprender nace en el desarrollo de prototipos CNC en una asignatura del pregrado, demostrando habilidad y mucha capacidad para el desarrollo de estos prototipos, la Figura 30 muestra el primer prototipo creado, un CNC Router para la creación de placas electrónicas.

El prototipo se vendió rápidamente en la tienda Mercado libre. Y el interés por desarrollar más máquinas creció, al ver la facilidad de ventas de estas máquinas.



*Figura 30. Primer prototipo creado CNC Router [Fuente propia]*

Poco después se desarrollaron dos prototipos de iguales características, un bajo pedido, y la otra en

Mercado libre después de 3 meses, tiempo considerable para buscar nuevas alternativas de máquinas. A partir del 2016 las impresoras 3D FDM se popularizaron en el Ecuador. El proyecto RepRap ya había sido tema de conversación en varias clases, y se había denotado el principio su funcionamiento, y la accesibilidad al firmware de control gratuito.

Teniendo así la oportunidad de experimentar con una impresora FDM de configuración delta, con la cual se aprendiendo mucho sobre los fallos comunes al imprimir.

Al poco tiempo hubo la necesidad por parte de un interesado en el diseño y fabricación de una impresora FDM personalizada, de gran volumen y con doble sistema de extrusión, tras tres meses de desarrollo se obtuvo el primer prototipo denominado DAPMONSTER, la Figura 31 muestra el primer prototipo.



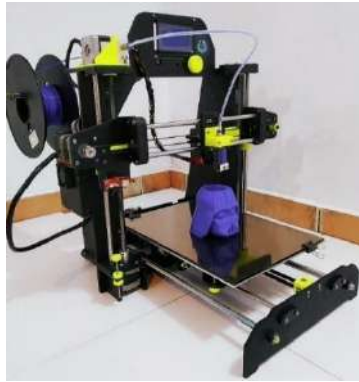
*Figura 31. Primer prototipo creado de impresora FDM "DAPMONSTER"  
[Fuente propia].*

Este fue el punto de partida para denotar un mercado grande, ofreciendo maquinas con mejores características a las importadas. Los pedidos fueron pocos, pero suficientes y se vendieron seis modelos similares con varias mejoras estructurales, y dispositivos. También se desarrollaron máquinas de menor volumen de impresión y otras cinemáticas, la Figura 32 muestra dos prototipos CORE XY, a la izquierda el modelo exclusivo semi cerrado para la impresión de materiales especiales.



*Figura 32. Prototipos desarrollados con cinemática Core XY “DAPINDUSTRIAL” y “DAPMINIMONSTER” [Fuente propia].*

Los modelos creados tenían buena acogida, pero su venta estaba ralentizada por su alto costo, por lo que se diseñó un modelo más económico, la Figura 33 muestra el modelo DAPMINI, modelo cartesiano que ofrecía la opción de grabado laser.



*Figura 33. Prototipo de impresora FDM con cinemática cartesiana "DAPMINI" [Fuente propia].*

Tras la trayectoria obtenida y a vista del crecimiento de este mercado, era necesario estandarizar el proceso de fabricación de por lo menos un modelo de impresora FDM creado, además de rediseñar ciertos aspectos que tenían falencias.

### **Misión**

Este emprendimiento se denomina DAPMECHATRONICS, y el propósito es brindar soluciones de manufactura aditiva para el público en general, esto mediante el diseño y construcción de impresoras tridimensionales de altas prestaciones, diferenciándose de la competencia e innovando con tecnología de punta.

## Resumen de negocio

Este negocio diseña y construye máquinas de manufactura aditiva, además de brindar servicios de modelado y diseño CAD/CAE/CAM mediante la impresión 3D, venta de insumos, accesorios y asesoría de manufactura aditiva en general

## Servicios brindados

Los servicios brindados en DAPMECHATRONICS son los siguientes:

- Diseño y fabricación de impresoras tridimensionales.
- Diseño CAD/CAE/CAM de partes funcionales con procesos de manufactura aditiva.
- Venta de insumos, repuestos y accesorios para las máquinas de manufactura aditiva.
- Reparación, servicio técnico y mejoramiento de máquinas de manufactura aditiva.
- Servicios de impresión tridimensional.

## Estrategia de marketing

Se plantea crear anuncios y publicaciones, mediante las plataformas de compra en línea como Mercado libre y OLX, también la creación de una página web

con carrito de compras y habilitado el pago con tarjetas de crédito y PayPal.

También realizar campañas y anuncios en redes sociales mediante Instagram y Facebook, dirigido a público en específico, además de la generación de videos muestra del funcionamiento de las maquinas realizando comparativas con las máquinas de competencia.





## **Capítulo 2.** Diseño de Impresora Tridimensional por Extrusión de Filamento





## **Capítulo 2 - Diseño de Impresora Tridimensional por Extrusión de Filamento**

La información del capítulo tres, prima para el desarrollo de este capítulo, primero se tomará como referencia los modelos de máquinas creadas y procesos de fabricación, luego se realizará un análisis y selección de alternativas de la cinemática de la máquina.

Con la elección de la cinemática, se necesitará evaluar el tamaño, funcionalidad y características técnicas de las máquinas comerciales, a fin de cumplir con el objetivo de ofrecer una máquina con mejores prestaciones.

Para esto el capítulo se divide en cuatro fases, detallando requisitos de diseño y fabricación, para después empezar con el diseño completo que tiene tres fases:

- Conceptual: se prestará énfasis en los parámetros que se necesitan para realizar la selección de la cinemática, tamaño de impresión, descripción de componentes y ensambles y subensambles que tendrá la máquina

- Preliminar: se seleccionará y diseñará mediante herramientas CAD los componentes a fabricar de la impresora, también se realizará una comparativa y selección de los componentes que se vayan a comprar
- Detalle: se indicará por subensambles los componentes necesarios para la fabricación de la máquina

### **Requisitos de Diseño y Fabricación**

Para definir el diseño se debe denotar que existen dos involucrados en este proceso, el usuario y el fabricante, de modo que ambas partes deben establecer sus requerimientos con el fin de obtener una máquina que cumple exitosamente su función, en la Tabla 5 se muestran estos requerimientos.

*Tabla 5. Requerimientos del diseño y fabricación*

| <b>Requerimiento</b>                         | <b>Usuario*</b> | <b>Fabricante</b> |
|----------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Gran volumen de impresión                    | X               | X                 |
| Fácil uso, con interfaz gráfica              | X               |                   |
| Fácil mantenimiento                          |                 | X                 |
| Fácil calibración y operación                | X               |                   |
| Multifuncional                               | X               |                   |
| Repetibilidad y calidad de impresión         | X               | X                 |
| Soporte técnico                              | X               |                   |
| Diseño compacto y modular                    |                 | X                 |
| Bajo costo                                   | X               |                   |
| Fabricación autorreplicarte                  |                 | X                 |
| Velocidad de impresión                       | X               |                   |
| Multi material                               | X               | X                 |
| De largo uso                                 | X               | X                 |
| Recuperación de impresión tras cortes de luz | X               |                   |
| Sensor de filamento                          | X               |                   |
| Silenciosa                                   | X               |                   |

\* El usuario se toma como el público en general, interesados y usuarios de máquinas comerciales, de modo que los requerimientos van en función de las características mínimas que una maquina comercial cumple.

Debido a la extensa lista de máquinas se tomará en consideración solo las máquinas con mayores ventas a nivel mundial.

Según all3dp.com [54], las maquinas con mayor aceptación en el mercado a nivel mundial son las que indica la Tabla 6.

*Tabla 6. Impresoras FDM mejor vendidas a nivel mundial [53], [54]*

| <b>Impresora 3D</b>        | <b>Volumen [mm]</b> | <b>Precio [\$]</b> | <b>Extrusores</b>         | <b>Velocidad máxima de impresión [mm/s]</b> |
|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
| Original Prusa i3 MK3S+    | 250x210x210         | 1500               | 1 con modulo 4 extrusores | 120                                         |
| Flashforge Creator Pro-2   | 200x150x150         | 1800               | 2 extrusores IDEX         |                                             |
| Artillery SideWinder X1 V4 | 300x300x400         | 850                | Uno                       | 70                                          |

---

|                            |             |      |     |     |
|----------------------------|-------------|------|-----|-----|
| Original<br>Prusa Mini     | 180x180x180 | 750  | Uno | 100 |
| Ancubic<br>Chiron          | 400x400x450 | 950  | Uno | 70  |
| Creality<br>CR-10 Max      | 450x450x470 | 1400 | Dos | 60  |
| Creality CR<br>10 Pro      | 300x300x400 | 1200 | Uno | 70  |
| Creality<br>Ender 3 V2     | 220x220x250 | 500  | Uno | 100 |
| Creality<br>Ender 5<br>Pro | 220x220x300 | 750  | Uno | 120 |

Los precios mostrados en la Tabla 6 son tomados de Mercado Libre del Ecuador, y las características técnicas de las páginas oficiales de cada máquina.

Los volúmenes de trabajo van desde 18 cm<sup>3</sup> a 50 cm<sup>3</sup> aproximadamente. La mayoría de las máquinas presentadas en Tabla 6 tienen una cinemática cartesiana, con la plataforma móvil, los únicos modelos que sobresalen son;

- Prusa i3, que cuenta con un módulo para imprimir con cuatro colores a la vez

- Creator Pro que cuenta con un sistema IDEX, que son dos cabezales independientes para imprimir con dos tipos de materiales a la vez, dos figuras a la vez duplicando la producción.
- Ender 5 Pro con cinemática Core XY, y la CR10 Pro con el volumen de impresión más grande.

## **Diseño Conceptual**

La cinemática de la impresora FDM es fundamental para empezar con el diseño, a partir de su selección, se puede especificar los demás requerimientos que se listan en la Tabla 5.

En el capítulo anterior, la Tabla 2 muestra un resumen de las capacidades de cada cinemática, información muy importante para poder considerar el funcionamiento.

Algunos requerimientos están vinculados con la cinemática de la impresora de este modo se puede delimitar criterios para su selección:

- Velocidad de impresión (VI)
- Gran volumen de impresión (GVI)
- Repetibilidad, precisión y calidad (RP&C)
- Fácil calibración y operación (C&O)
- Bajo costo (BC)

Se utilizará el criterio por residuos ponderados para esta selección, de modo que se dará pesos a los criterios ya mencionados. Se ha establecido esta jerarquía en función de cada requerimiento

- $RP\&C > C\&O > VI = GVI > BC$ .

De igual modo se debe establecer una jerarquía con las cuatro cinemáticas mostrados a continuación:

- Cartesiana (C)
- Core XY (CXY)
- Delta (D)
- H Bot (HB)

La jerarquía se denotará en función de las ventajas y desventajas que se encuentran en la Tabla 2, además que se tendrán cuatro jerarquías, una en función de los criterios ya mencionados.

- $RP\&C: C > CXY > HB = D$
- $GVI: CXY = HB > C > D$
- $C\&O: C > CXY = D > HB$
- $BC: C > CXY > D > HB$
- $VI: D > CXY = HB > C$

La Tabla 7 indica los valores ponderados de cada criterio según la jerarquía que se ha designado.

*Tabla 7. Ponderación de criterios para selección de cinemática*

| CRITERIO                                           | RP&C | C&O | VI | GVI | BC | $\Sigma+1$  | Ponderación |
|----------------------------------------------------|------|-----|----|-----|----|-------------|-------------|
| RP&C                                               |      | 1   | 1  | 1   | 1  | 0,5         | 0,345       |
| C&O                                                | 0    |     | 1  | 1   | 1  | 4           | 0,276       |
| VI                                                 | 0    | 0   |    | 0,5 | 1  | 2,5         | 0,172       |
| GVI                                                | 0    | 0   | 0  |     | 1  | 2           | 0,138       |
| BC                                                 | 0    | 0   | 0  | 0   |    | 1           | 0,069       |
| <b>RP&amp;C &gt; C&amp;O &gt; VI = GVI &gt; BC</b> |      |     |    |     |    | <b>14,5</b> | <b>1</b>    |

En las siguientes tablas se indican la ponderación de cada cinemática con respecto al requerimiento, hay que resaltar que el criterio para la jerarquía de cada tabla está en base a la Tabla 2. De tal modo se presentan los resultados:

*Tabla 8. Ponderación con respecto a RP&C*

| CRITERIO                                | C | D   | CXY | HB  | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-----------------------------------------|---|-----|-----|-----|------------|-------------|
| C                                       |   | 1   | 1   | 1   | 4          | 0,4         |
| D                                       | 0 |     | 0   | 0,5 | 1,5        | 0,15        |
| CXY                                     | 0 | 1   |     | 1   | 3          | 0,3         |
| HB                                      | 0 | 0,5 | 0   |     | 1,5        | 0,15        |
| <b>RP&amp;C: C &gt; CXY &gt; HB = D</b> |   |     |     |     | <b>10</b>  | <b>1</b>    |

*Tabla 9. Ponderación con respecto a C&O*

| <b>CRITERIO</b>                        | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>CXY</b> | <b>HB</b> | <b><math>\Sigma+1</math></b> | <b>Ponderación</b> |
|----------------------------------------|----------|----------|------------|-----------|------------------------------|--------------------|
| <b>C</b>                               |          | 1        | 1          | 1         | 4                            | 0,4                |
| <b>D</b>                               | 0        |          | 0,5        | 1         | 2,5                          | 0,25               |
| <b>CXY</b>                             | 0        | 0,5      |            | 1         | 2,5                          | 0,25               |
| <b>HB</b>                              | 0        | 0        | 0          |           | 1                            | 0,1                |
| <b>C&amp;O: C &gt; CXY = D &gt; HB</b> |          |          |            |           | 10                           | 1                  |

*Tabla 10. Ponderación con respecto a VI*

| <b>CRITERIO</b>                   | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>CXY</b> | <b>HB</b> | <b><math>\Sigma+1</math></b> | <b>Ponderación</b> |
|-----------------------------------|----------|----------|------------|-----------|------------------------------|--------------------|
| <b>C</b>                          |          | 0        | 0          | 0         | 1                            | 0,1                |
| <b>D</b>                          | 1        |          | 1          | 1         | 4                            | 0,4                |
| <b>CXY</b>                        | 1        | 0        |            | 0,5       | 2,5                          | 0,25               |
| <b>HB</b>                         | 1        | 0        | 0,5        |           | 2,5                          | 0,25               |
| <b>VI: D &gt; CXY = HB &gt; C</b> |          |          |            |           | 10                           | 1                  |

*Tabla 11. Ponderación con respecto a GVI*

| <b>CRITERIO</b>                    | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>CXY</b> | <b>HB</b> | <b><math>\Sigma+1</math></b> | <b>Ponderación</b> |
|------------------------------------|----------|----------|------------|-----------|------------------------------|--------------------|
| <b>C</b>                           |          | 1        | 0          | 0         | 2                            | 0,2                |
| <b>D</b>                           | 0        |          | 0          | 0         | 1                            | 0,1                |
| <b>CXY</b>                         | 1        | 1        |            | 0,5       | 3,5                          | 0,35               |
| <b>HB</b>                          | 1        | 1        | 0,5        |           | 3,5                          | 0,35               |
| <b>GVI: CXY = HB &gt; C &gt; D</b> |          |          |            |           | 10                           | 1                  |

*Tabla 12. Ponderación con respecto a BC*

| CRITERIO                             | C | D | CXY | HB | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------------------------|---|---|-----|----|------------|-------------|
| <b>C</b>                             |   | 1 | 1   | 1  | 4          | 0,4         |
| <b>D</b>                             | 0 |   | 0   | 1  | 2          | 0,2         |
| <b>CXY</b>                           | 0 | 1 |     | 1  | 3          | 0,3         |
| <b>HB</b>                            | 0 | 0 | 0   |    | 1          | 0,1         |
| <b>BC: C &gt; CXY &gt; D &gt; HB</b> |   |   |     |    | 10         | 1           |

La Tabla 13 muestra la prioridad que tiene cada una de las cinemáticas, en donde se tiene en orden; cinemática cartesiana, Core XY, Delta y H Bot.

*Tabla 13. Determinación de prioridades en alternativas de la cinemática de la impresora FDM*

| CRITERIO                                | RP&C  | C&O   | VI    | GVI   | BC    | $\Sigma+1$ | Prioridad |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-----------|
| <b>C</b>                                | 0,138 | 0,110 | 0,017 | 0,028 | 0,028 | 1,293      | 1         |
| <b>D</b>                                | 0,052 | 0,069 | 0,069 | 0,014 | 0,014 | 1,203      | 3         |
| <b>CXY</b>                              | 0,103 | 0,069 | 0,043 | 0,048 | 0,021 | 1,264      | 2         |
| <b>HB</b>                               | 0,052 | 0,028 | 0,043 | 0,048 | 0,007 | 1,171      | 4         |
| <b>RP&amp;C: C &gt; CXY &gt; HB = D</b> |       |       |       |       |       | 4,93       |           |

De modo que se opta por un diseño con cinemática cartesiana la Figura 21 muestra su configuración, y el cual es muy utilizado a nivel mundial en las impresoras comerciales.

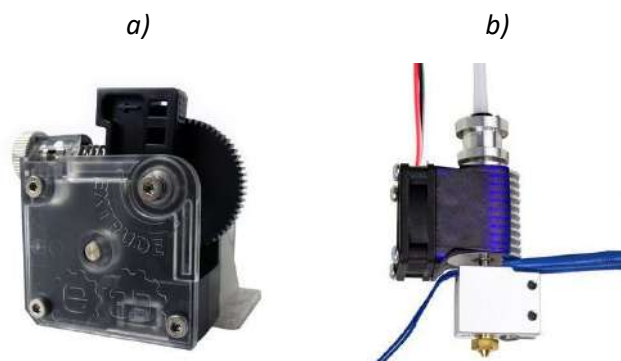
Mediante la Tabla 6, se puede destacar los mejores parámetros técnicos de cada máquina comercial, con el fin de superar y establecer los valores técnicos que el nuevo diseño de impresora FDM debe cumplir.

- Velocidad: valores mayores o iguales a 0.7 cm/s
- Extrusores o aditamentos: 2 extrusores y multifunción
- Volumen de impresión: valores mayores o iguales a 45 x 45 x 47 cm

Definidos los parámetros mínimos que debe cumplir la máquina se procede a indicar los componentes necesarios para poder diseñar y fabricar a la impresora, para esto primeramente se indicarán los módulos que compondrán a la impresora FDM, estos ya fueron mostrados en la Figura 20.

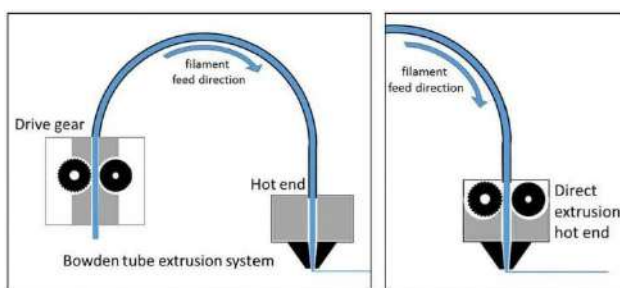
#### 1. Sistema de Extrusión.

Es el encargado de empujar al material para ser extruido a través de una boquilla caliente. Este se compone dos componentes la Figura 34 muestra el extrusor mecánico y el terminal calefactable.



*Figura 34. Extrusor Titan y terminal calefactado [55]*

Estos tienen dos configuraciones; extrusión directa y con mecanismo Bowden, este último el filamento es transportado desde el extrusor por un tubo hacia el terminal calefactable. La Figura 35 muestra la diferencia de estos mecanismos.

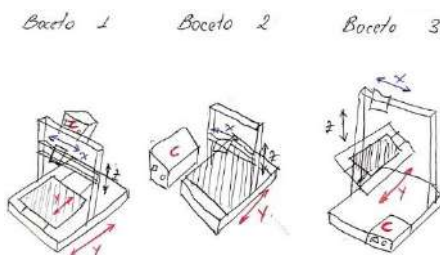


*Figura 35. Tipos de mecanismos de extrusión [56]*

La diferencia entre estos dos mecanismos es que Bowden es mucho más liviano que el otro, de modo que se tiene menos vibraciones en movimientos rápidos. La ventaja del sistema directo es que se tiene mayor control en el empuje del filamento, obteniendo mayor precisión de extrusión de material con respecto a Bowden [57].

## 2. Estructura

Este es el sistema que debe soportar las vibraciones de los movimientos de la máquina, por lo que debe ser muy estable. También es el encargado de realizar los movimientos lineales en todos los ejes coordenados, como se mostró en la Figura 21, la estructura de la maquina tendrá, un pórtico en el cual se desplazará de arriba hacia abajo una viga que contiene al movimiento lineal del eje X, y la plataforma sera móvil, la Figura 36 muestra varios bocetos de la forma que tendrá la máquina.



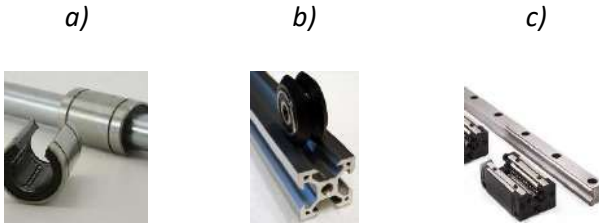
*Figura 36. Bocetos de la impresora FDM [Fuente propia]*

De la Figura 36 se puede explicar el funcionamiento de cada boceto, el primero consta de un pórtico fijo, en donde se mueve de derecha a izquierda el carro X y este mismo se desplaza sobre el pórtico de arriba hacia abajo, mientras que la plataforma es móvil. El segundo, tiene el mismo funcionamiento que en anterior con la diferencia de que la plataforma es fija y el pórtico es móvil. El tercero cuenta con una configuración diferente, donde el eje X está ubicado en la parte superior del pórtico mientras que la plataforma se desplaza de arriba hacia abajo y de longitudinalmente de arriba hacia abajo.

Para los movimientos lineales se debe tener en consideración los mecanismos disponibles para su correcto funcionamiento, se tienen tres posibilidades:

- Ejes con rodamientos lineales
- Perfiles con canales y ruedas
- Rieles acanalados con rodamientos lineales

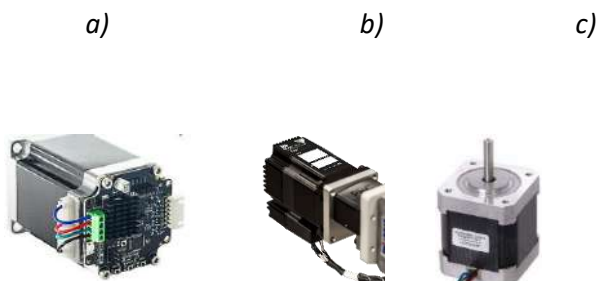
En la Figura 37 se muestran estos tres mecanismos.



*Figura 37. a) Ejes b) Perfil modular c) Riel acanalada*

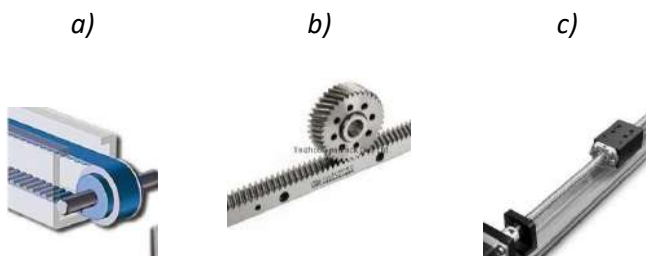
El mecanismo también consta de actuadores y transmisores mecánicos para su movimiento, de este modo se debe indicar los motores y tipos de transmisiones disponibles para cumplir con este objetivo.

Los motores deben ser capaces de controlar su velocidad, aceleración y posición por lo que los más adecuados para este trabajo son, los mostrados en la Figura 38, cada uno tiene ventajas con respecto a otro y se detallara en el siguiente apartado.



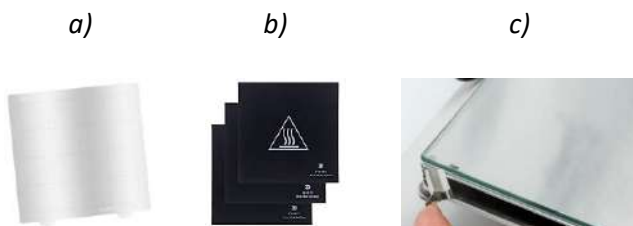
*Figura 38. Motores a) DC con encoder b) Servo motor c) a pasos [60]*

La transmisión de movimiento debe la misma que el actuador genera para tener un movimiento lineal preciso en cada eje coordinado ya mencionado. La Figura 39 muestra los componentes que transforman el movimiento rotatorio de un eje de motor a lineal.



*Figura 39. Transmisiones lineales a) Poleas - correa sincrónica [61] b) piñón - cremallera [62] c) Husillo – tuerca [63]*





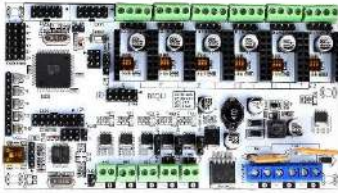
*Figura 41. Adhesión en la plataforma a) Fleje de acero b) Pad polipropileno c) Vidrio*

#### 4. Módulo de control electrónico

Este es la parte más importante de la máquina, el corazón y cerebro de todas las posibles funcionalidades que pueda realizar, en el mercado existen gran variedad de placas con distintas características.

Básicamente se dividen por su capacidad de procesamiento y existen de dos tipos. Placas de 32 bits y de 8 bits la Figura 42 muestra estas dos placas de control.

a)



b)



*Figura 42. Placas electrónicas de control a) 8 bits [64] b) 32 bits [65]*

La placa va acompañada de la interfaz gráfica que es la que interactúa con el usuario, de igual manera estas tienen varias configuraciones desde simples pantallas con una rueda selectora, hasta pantallas táctiles a color, la Figura 43 indica las disponibles en el mercado.

a)



b)



*Figura 43. HMI a) LCD 128x64 b) Pantalla táctil a color [66]*

## Diseño Preliminar

En este apartado se definen puntualmente todas las características mencionadas anteriormente, además de la selección de cada componente en función de los requerimientos.

La cinemática de preferencia debe ser cartesiana según la Tabla 13, y la Figura 36 consta de tres bocetos. De modo que se consideran brevemente las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 14. Ventajas y desventajas de los bocetos de la impresora FDM

|            | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Boceto uno | <ul style="list-style-type: none"><li>Se puede dividir en módulos capa parte del sistema</li><li>Su forma es igual al de las impresoras comerciales</li><li>Ejes X e Y controlados por bandas sincrónicas</li><li>Velocidades medianas<ul style="list-style-type: none"><li>Gran formato</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>Mientras más peso en la plataforma mayores vibraciones</li><li>Vibraciones en el pórtico<ul style="list-style-type: none"><li>Bancada o base muy robusta</li><li>Aceleraciones bajas</li></ul></li></ul> |

|                    |                                                                                             |                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Boceto dos</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma fija</li> <li>• Gran formato</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pórtico robusto y componentes rodantes de alta capacidad mecánica</li> <li>• Motor de alta potencia para mover el pórtico</li> <li>• Velocidades bajas</li> </ul> |
| <b>Boceto tres</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor espacio de trabajo</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad en construcción de mecanismo plataforma</li> </ul>                                                                                                    |

---

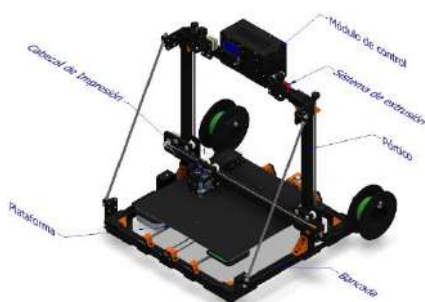
Bajo un criterio ingenieril y con fundamentos ya explicados en capítulos anteriores se define la información de la Tabla 14. En la cual sobresalen las ventajas del primer boceto, determinando su uso por mejor aportación a los requerimientos establecidos en la Tabla 5.

El boceto consta de una plataforma móvil que sera el eje Y, el pórtico es fijo, y sobre este el cabezal se mueve de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Para poder modelar un primer diseño se requiere de el volumen de impresión que la impresora debe tener. El volumen para mejorar es de 45x45x47 cm, por los que se decide superar estos valores con un volumen de 50x50x40 cm, recordando que una

desventaja de la cinemática escogida es la inestabilidad con pórticos demasiado altos.

Con esta información es posible crear un prototipo de impresora, la Figura 44 muestra la forma seleccionada diseñada en el software Inventor.



*Figura 44. Impresora FDM "DAPMONSTER" [Fuente Propia].*

La figura mostrada indica todos los subsistemas que componen a la impresora FDM que se ha denominado "DAPMONSTER", y de ahora en adelante se referirá de esta manera.

### **Sistemas de la impresora tridimensional**

Cada subsistema de la DAPMONSTER está en diseñado específicamente para cumplir con una función específica de acuerdo con cada

requerimiento de la Tabla 1, a continuación, se explicará brevemente los elementos seleccionados y diseñados.

#### *Sistema de extrusión:*

Este sistema este encargado de calentar y empujar al material en forma de filamento, está ligado directamente a la velocidad máxima de impresión, calidad, precisión y este define los materiales con los que se puede trabajar.

La Figura 34 muestra un modelo de extrusor que se ha tomado de E3D.com, los cuales son especialistas en la fabricación de extrusores y terminales calefactables de alta calidad y con información técnica.

La velocidad máxima que la DAPMONSTER es de 120 mm/s, se puede tomar como referencia parámetros estándar de impresión 0.3 m de altura de capa y una boquilla de 0.4 mm

$$Q_{max} = V_{impresion} * h_{capa} * D_{boquilla}$$

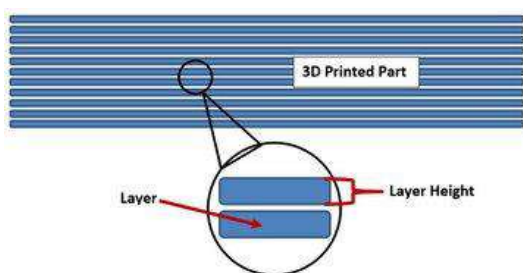
$$Q_{max} = 80 \frac{mm}{s} * 0.3 mm * 0.4 mm = 9,6 \frac{mm^3}{s}$$

Las boquillas de impresión varían su diámetro de 0.2 mm a 0.8mm. Y las aplicaciones para cada una es

diferente, suponiendo que el usuario desee utilizar una boquilla de 0.8mm y altura de capa 50% del diámetro de la boquilla 0.4 mm el flujo debe ser:

$$Q_{max} = 80 \frac{mm}{s} * 0.6 mm * 0.8 mm = 38,4 \frac{mm^3}{s}$$

La Figura 45 muestra una representación de la parte rebanada en capas, y la altura de capa, la cual puede ser modificada en el software de rebanado.



*Figura 45. Representación de capa y altura de capa [67]*

Se debe seleccionar un terminal calefactado que cumpla con los valores calculados, el de la Figura 34 denominado V6, tiene un flujo de 15 mm<sup>3</sup>/s [68], que cumple con el objetivo, pero solo con alturas de capa menores a 0.3 mm.

El terminal calefactado Volcano promete triplicar el flujo del V6 [69], de modo que se tendrían 45 mm<sup>3</sup>/s

cumpliendo con el objetivo. La Figura 46 muestra el terminal seleccionado.



*Figura 46. Terminal calefactable seleccionado "Volcano"*

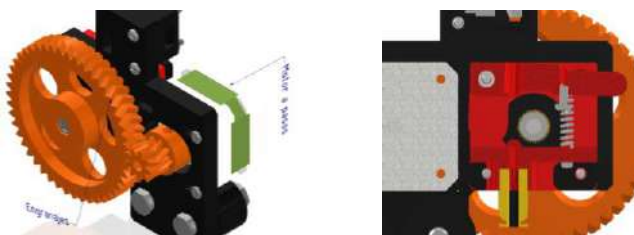
Según E3D recomienda utilizar un extrusor de alto par que permita hasta 0.5 Nm. Su modelo Hemera tiene estas características [69], pero por su elevado coste se pretende diseñar una reducción con engranajes impresos en 3D.

Se optó por diseñar la reducción con engranajes helicoidales tipo espina de pescado, que transmiten alto par, se mueven suavemente, son silenciosos y se auto centran unos con otros [70].

Los motores indicados en Figura 38 son las posibilidades para mover este mecanismo, se optará por utilizar los motores a pasos, ya que son de bajo

coste, tienen buena precisión, se controlan fácilmente a nivel electrónico y su disponibilidad en el mercado es inmediata.

Se utilizará el modelo nema 17 con un par de 0,22 Nm [71], el reductor tiene una relación de 3 a 1, obteniendo un par máximo de 0,68 Nm. La Figura 47 muestra el diseño CAD del extrusor.



*Figura 47. Diseño del extrusor con reductor de engranajes [Fuente propia]*

La Figura 35 muestra los sistemas de extrusión, cada uno tiene una ventaja sobre otro. El tipo Bowden ofrece menores vibraciones por su masa reducida, pudiendo así se controlado a velocidades y aceleraciones altas. Mientras que la extrusión directa tiene mejor control sobre la presión que ejerce sobre el filamento, teniendo mejores acabados de impresión.[72]

Se opta por el mecanismo Bowden, ya que ofrece ventajas iguales al de extrusión directa, y el control

de flujo de material puede ser mejorado mediante software. Pudiendo así evitar vibraciones del cabezal.

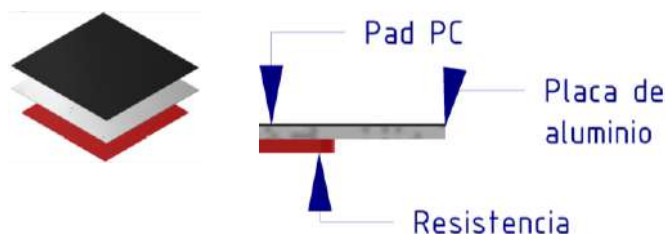
#### *Plataforma calefactada:*

Este sistema debe permitir la buena adherencia de las piezas que se vayan a imprimir, para esto se necesita de una superficie rugosa y caliente.

La Figura 40 muestra las resistencias calefactoras; la ventaja de la primera opción es que es de rápido calentamiento con respecto a la otra, pero su control electrónico denota de más componentes electrónicos ya que es de corriente alterna, además que el consumo eléctrico es mayor. Mientras que la segunda opción calienta más lento pero su control electrónico es muy simple. Por simplicidad para mantenimientos futuros y reemplazo se opta por la segunda opción.

La Figura 41 muestra tres opciones, el fleje de acero presenta muy buena adherencia, la lámina de policarbonato tiene buena adherencia y resistencia al calor, el vidrio es pesado y mejora su adherencia acompañada de adherentes en aerosol. En la Tabla 14 se determinó crítica la masa de la plataforma ya que puede generar vibraciones no deseadas. Se elige la lámina de policarbonato por ser la más ligera. La Figura 48 muestra los componentes de la plataforma

para la adhesión de material. Se añadió una placa de aluminio de 3mm para poder juntar las cuatro resistencias.

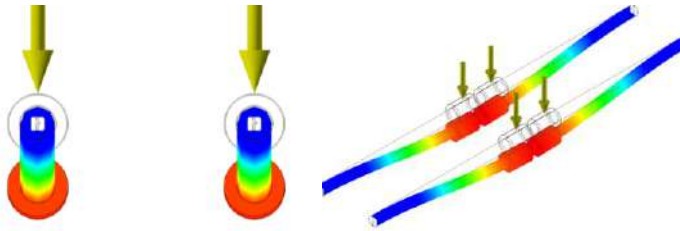


*Figura 48. Accesorios seleccionados para la adhesión [Fuente propia]*

Esta plataforma será móvil y se necesita determinar el mecanismo de transmisión, la Figura 37 muestra las guías lineales existentes en el mercado, los ejes lineales son fáciles de mecanizar e implementar, los perfiles se destacan por ser modulares y tener dos funcionalidades, el de guía lineal y estructural. Por último, el riel acanalado que es similar al eje lineal pero su costo es elevado.

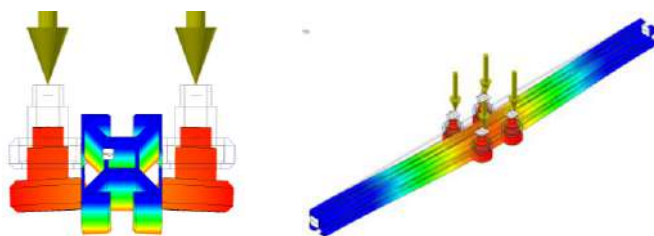
La masa de la plataforma estimada es de 5 kg, y es calculada mediante software, con esto se puede delimitar las guías lineales. Tomando como deflexión mínima la mínima altura de capa representada en la Figura 45 de 0.1 mm, se delimita la mitad de esta que serían 0.05mm.

Mediante el software Inventor se analiza cada alternativa, la cual debe cumplir con la deflexión máxima de 0.05mm con una carga de 50N. La Figura 49 y la Figura 50 mostradas a continuación, indican la simulación CAE bajo las cargas a las que se someterán.



*Figura 49. Simulación CAE de ejes lineales [Fuente propia]*

Con los ejes lineales con una carga distribuida en los cuatro rodamientos lineales se obtuvo una deflexión máxima de 0.046 mm con un diámetro de 16 mm.



*Figura 50. Simulación CAE de perfil [Fuente propia]*

La simulación con el perfil lineal se obtuvo una deflexión máxima de 0.044mm en el perfil y de 0.052mm en los patines. Esto demuestra que este sistema tiene carencias en la sujeción de los patines con el perfil, con esto se puede deducir un desgaste prematuro de los patines por la carga axial que enfrentan. Por este motivo se selecciona los ejes lineales con sus respectivos rodamientos.

El motor debe ser capaz de soportar la carga fluctuante de la plataforma, esta se moverá a la aceleración que el motor

$$T_{max} = m_{plataforma} * a_{motor} * r_{polea}$$

$$T_{max} = 5 \text{ kg} * 2 \frac{m}{s^2} * 0.005m = 0.0375 \text{ Nm}$$

Ahora se debe diseñar una plataforma que sea ligera y que soporte las vibraciones que pueda tener la plataforma en funcionamiento, los movimientos

mínimos que puede tener la impresora son determinados por el trayecto mínimo oscilante que pueda recorrer la plataforma y se calcula de la siguiente manera:

$$mov_{min} = \frac{1}{res_{transmission}}$$

La resolución de transmisión son los pasos que tiene que dar el motor para moverse un milímetro de forma lineal, se calcula de la siguiente manera:

$$res_{transmission} = \frac{p_{rev} * D_{mstps}}{P_{ps} * \#_{DP}}$$

$$res_{transmission} = \frac{200 p * 16}{2 mm * 20} = 80 \frac{p}{mm}$$

$$mov_{min} = \frac{1}{80} = 0.0125 mm$$

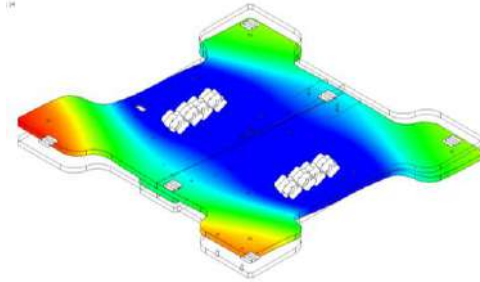
Se tiene que el movimiento más pequeño que puede realizar la plataforma es de 0.0125mm de este modo se puede calcular la frecuencia con la que se movería la plataforma de 0 a 0.0125mm a una velocidad de 120 mm/s

$$f = \frac{1}{t} = \frac{v_{max}}{d_{min}} = \frac{80 \frac{mm}{s}}{0.0125 mm} = 6,4 kHz$$

Para considerar que la boquilla es determinante de lo que se vaya a imprimir, y el diámetro más pequeño es de 0.2 mm, entonces un movimiento de 0.0125mm no representa la creación de algo, por lo que se debe tomar el doble de la medida del diámetro de la boquilla para poder formar al menos una línea. De este modo se vuelve a calcular la frecuencia del movimiento de la plataforma.

$$f = \frac{1}{t} = \frac{v_{max}}{d_{min} * 2} = \frac{120 \frac{mm}{s}}{0.4 mm} = 200 Hz$$

Esta frecuencia es referencial para poder diseñar la plataforma en donde se van a incorporar los demás componentes ya seleccionados, esta debe soportar frecuencias naturales mayores a 200 Hz. La Figura 51 muestra la simulación del análisis modal de la plataforma diseñada



*Figura 51. Primer modo de vibración de la plataforma [Fuente propia]*

Esta plataforma presenta su primera frecuencia natural a los 56 Hz, y el material usado para la simulación es la fibra de mediana densidad (MDF), utilizando el concepto de la ecuación:

$$w_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

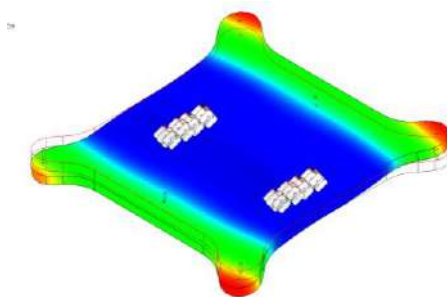
Se considera realizar la simulación con la misma geometría, pero diferente material, en donde la masa y la rigidez del material darán como resultado una frecuencia natural mejorada. la Tabla 15 muestra los valores recopilados bajo la misma geometría.

*Tabla 15. Análisis CAE de la plataforma [73],*

| Material | Espesor<br>[mm] | Frecuencia<br>[Hz] | Masa<br>[kg] | Densidad     | Módulo<br>de<br>Young |
|----------|-----------------|--------------------|--------------|--------------|-----------------------|
| MDF      | 1 a 18          | 145                | 2,3          | 640<br>kg/m3 | 4 GPa                 |

|                             |          |     |      |               |             |
|-----------------------------|----------|-----|------|---------------|-------------|
| <b>Aluminio 6061</b>        | 0,4 a 20 | 326 | 10,7 | 2700<br>kg/m3 | 68,9<br>GPa |
| <b>Acero inoxidable 304</b> | 0,4 a 15 | 246 | 23,8 | 8000<br>kg/m3 | 195 GPa     |
| <b>Polycarbonato</b>        | 1 a 6    | 62  | 0,43 | 357<br>kg/m3  | 2,8 GPa     |
| <b>Fibraplac MDF</b>        | 4 a 18   | 165 | 2,2  | 620<br>kg/m3  | 5 GPa       |

El aluminio es el único material que sobre pasa los 300 Hz, pero su masa es demasiado elevada, el acero de igual manera, el MDF Fibraplac demuestra un buen comportamiento y su masa es muy baja, por lo que se decide optimizar la geometría y ver su comportamiento. La Figura 52 muestra la geometría optimizada la cual obtuvo 206 Hz en su primer modo de vibración.



*Figura 52. Geometría final de la plataforma de la DAPMONSTER*

Se decide trabajar con el Fibraplac MDF por facilidad de mecanizado, buena resistencia a la humedad, bajo coste, y ligereza.

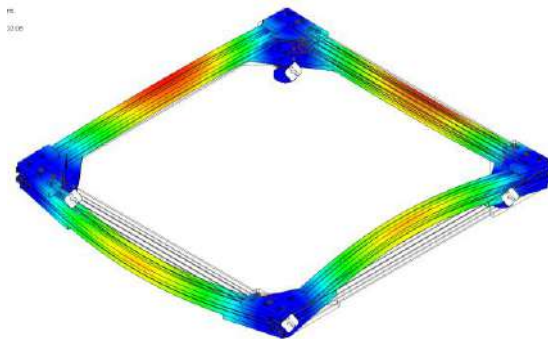
*Bancada:*

Esta es la base de toda la DAPMONSTER, por lo que esta debe resistir todas las posibles vibraciones que tenga en los movimientos de los ejes X e Y. su diseño es muy sencillo y se muestra en la Figura 53.



*Figura 53. Bancada de la DAPMOSNTER [Fuente propia]*

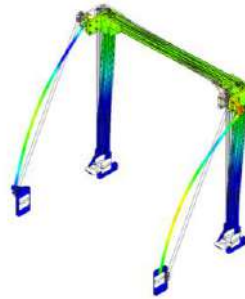
Se compone de perfiles estructurales formando un cuadrado y esta reforzado con ángulos, además de poseer patas regulables en altura que son de goma para mejorar la sujeción de la maquina y absorber las vibraciones. La Figura 54 muestra el primer modo de vibración a una frecuencia de 450 Hz.



*Figura 54. Primer modo de vibración de la bancada [Fuente propia]*

### *Pórtico:*

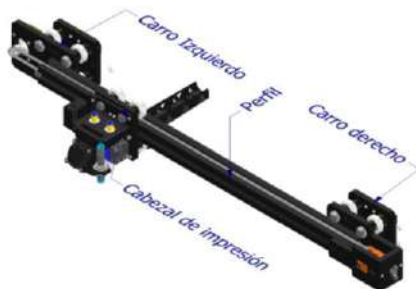
Este sistema permite el movimiento perpendicular del cabezal con respecto a la plataforma, para. Para su diseño se utilizó perfil estructural al igual que la bancada, consta de dos barras laterales que ayudan a amortiguar las vibraciones de la máquina, la Figura 55 muestra el primer modo de vibración a una frecuencia de 205 Hz.



*Figura 55. Primer modo de vibración del pórtico [Fuente propia]*

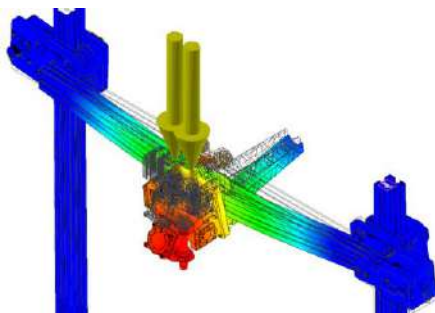
### *Cabezal de impresión:*

Se compone de tres carros móviles, dos laterales que se mueven de arriba hacia abajo por todo el pórtico, estos carros laterales se conectan mediante un perfil modular en donde un carro se mueve perpendicularmente de izquierda a derecha. La Figura 56 muestra el ensamble de este conjunto.



*Figura 56. Sistema cabezal de impresión [Fuente propia]*

La masa del cabezal es de 0.8kg por lo que se tiene una fuerza normal sobre este de 10N aproximadamente, la Figura 57 muestra la simulación de carga estática, y se tiene una deflexión máxima de 0.0283 mm



*Figura 57. Deflexión máxima en perfil guía del cabezal de impresión*

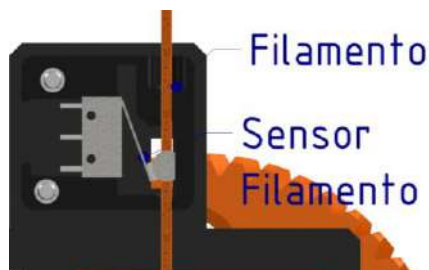
#### *Sistema de control:*

Este debe constar de todos los controladores de actuadores y sensores para controlar el comportamiento de la DAPMONSTER, a más de presentar mediante una pantalla un menú que interactúe y permita al usuario manejarla fácilmente.

El firmware utilizado es de código abierto y se denomina Marlin, este dispone de basta documentación para poder configurar y programar completamente la DAPMONSTER, además de

características técnicas de control que se señalan a continuación:

- Algoritmo S-Curve: este se encarga de controlar las aceleraciones de los motores, su algoritmo funciona desacelerando paulatinamente los motores en cada cambio de giro. Logrando un movimiento más controlado y reduciendo las vibraciones.
- Algoritmo Linear Advance: este se encarga de controlar el flujo de material, es decir que es el encargado de controlar el motor de los extrusores. Su funcionamiento se basa en la reducción de velocidad en el giro del extrusor, reduciendo el flujo controladamente, esto sucede cuando el cabezal cambia de posición [74].
- Sensor de terminación de filamento: este sensor envía un voltaje positivo o negativo a la placa de control indicando de la terminación de filamento, con esto la DAPMONSTER, para la impresión y la reanuda cuando se haya cargado más filamento. La Figura 58 muestra este mecanismo.



*Figura 58. Sensor de terminación de filamento [Fuente propia]*

- Algoritmo de recuperación de impresión tras corte de luz: este algoritmo guarda la última línea de código G de la pieza que se está imprimiendo, y funciona a través de la energización completa de la máquina, esta señal se activa y guarda la última posición del cabezal, al regresar la energía, se activa un comando para recuperar la impresión y vuelve a imprimir [75].
- Sensor de diámetro de filamento: este sensor detecta las variaciones de diámetro que el filamento pueda tener, ya que esta variación incurre directamente en la calidad de impresión, la Figura 59, indica la sección transversal que se genera en cada capa, la cual es la suma del diámetro de la boquilla, más la tolerancia del filamento. De modo que si esta tolerancia no es uniforme o varía mucho

existe un desalineamiento entre capas, tal y como se puede ver en la figura, obteniendo acabados de impresión irregulares.

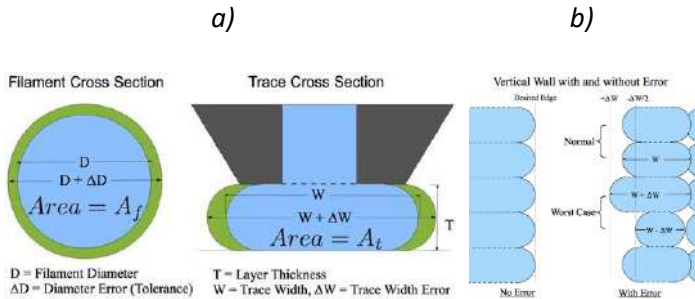


Figura 59. a) Tolerancia del filamento b) Desalineamiento en capas [76]

Para solucionar este problema se implementa un sensor lineal de efecto hall, que determina el cambio de campo magnético entre el sensor, filamento y un imán, en la Figura 60 se muestra este dispositivo

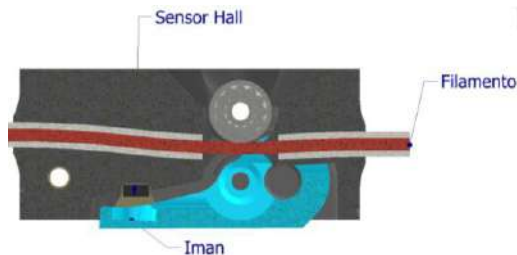


Figura 60. Sensor de diámetro de filamento vista transversal [77]

- Control PID de ventilador de capa: el filamento al ser extruido a su temperatura de fusión tiene una consistencia muy liquida, por lo que necesita de enfriamiento para mantener la forma de los movimientos del cabezal. Para esto se implementó un ducto de aire y un ventilador, y se controla su flujo por medio de código G, la Figura 61 muestra el sistema implementado en el cabezal de la DAPMONSTER.

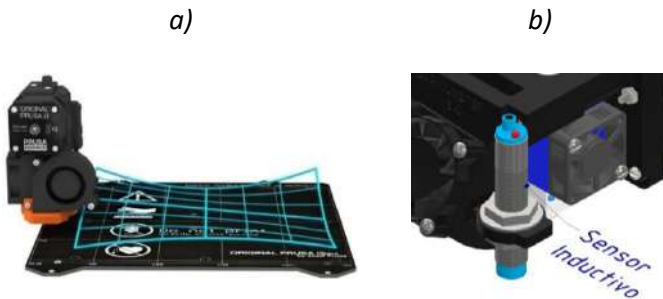


*Figura 61. Ventilador de capa [Fuente propia]*

- Nivelación de plataforma automática: la fabricación de la plataforma no consta de procesos de mecanizado de precisión de modo que tiene variaciones de medida en toda su superficie. También es sometida a calentamiento, y el material se dilata.

De este modo se implementa un control electrónico para nivelar estas imperfecciones, este sistema se

basa en la interpolación de una matriz de puntos que son medidos mediante un sensor inductivo, generando un pulso al aproximarse. Y se ubica en el cabezal y se mueve sobre toda la plataforma. La Figura 62 muestra una representación del funcionamiento de esta opción.



*Figura 62. a) Auto nivelación de plataforma [78] b) Sensor inductivo  
[Fuente propia]*

### **Diseño de Detalle**

Con la selección y diseño de los componentes de la DAPMONSTER se podido realizar a detalle cada subensamble, su diseño modular está estructurado de la siguiente manera:



### Descripción de Subsistemas

A continuación, se describirá los sistemas mencionados anteriormente,

#### *Bancada*

En el apartado anterior se delimito la forma y estructura que tendría este módulo, el cual cumpliría con todos los requisitos, en una máquina herramienta de mecanizado, mientras más robusta y pesada sea la bancada es mucho mejor, brindando estabilidad al resto de módulos móviles, por lo que se

implementó varios accesorios, la Figura 63 muestra el diseño final de este módulo.

- Fuente de alimentación
- Soporte para los filamentos
- Transmisión de la plataforma

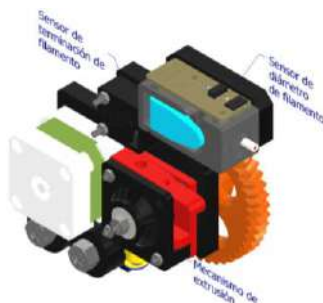


*Figura 63. Bancada de la DAPMONSTER etapa final*

### *Sistema de extrusión*

Al haber calculado y seleccionado el par del extrusor, el terminal calefactado y el tipo de sistema de extrusión, se deben añadir componentes para el su control, la Figura 64 muestra el sistema de extrusión completo, la DAPMONSTER contiene dos extrusores.

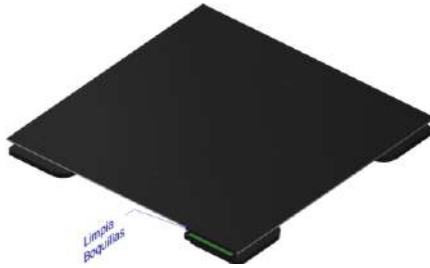
- Sensor de terminación de filamento
- Sensor de medida de diámetro de filamento



*Figura 64. Sistema de extrusión de la DAPMONSTER etapa final*

### *Plataforma calefactada*

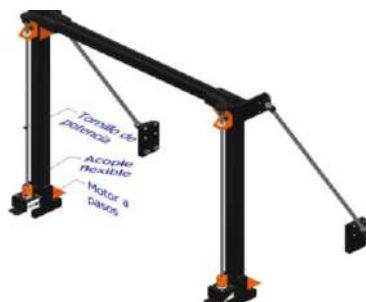
Se ha determinado las resistencias térmicas para calentar la plataforma, la superficie para tener buena adherencia y la plataforma debe soportar las vibraciones que la maquina tiene cuando este en movimiento, además se ha añadido un pequeño accesorio para la limpieza del cabezal de impresión antes de cada impresión, reduciendo posibles fallos en la impresión de la primera capa. La Figura 65 muestra el diseño definitivo de la plataforma de la DAPMONSTER.



*Figura 65. Plataforma de impresión de la DAPMONSTER etapa final*

### *Pórtico*

En la etapa anterior se determinó la forma del pórtico, además de la simulación para ver su comportamiento modal, de este modo se reforzó la estructura y se logró obtener la primera frecuencia natural a 75 Hz. En la estructura se implementó la transmisión para los carros derecho e izquierdo que van a subir y bajar al cabezal de impresión por el pórtico. Se selecciono tornillos de potencia de una entrada para este movimiento y se implementó un sistema antibacklash para mejorar la precisión de los movimientos repetitivos de este eje. La Figura 66 muestra el ensamble final del pórtico.



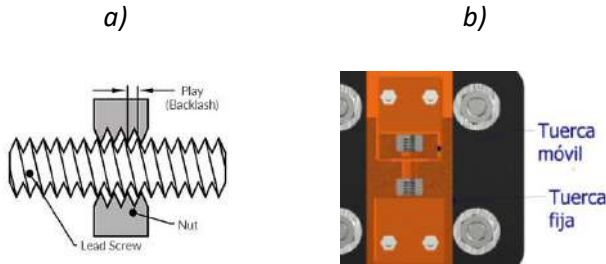
*Figura 66. Pórtico de la DAPMONSTER etapa final*

### *Carro derecho*

Al haber determinado la estructura del pórtico, se ha podido diseñar el carro derecho, el cual va a subir y bajar en el perfil derecho del pórtico mediante patines con rodamientos en forma de V, la transmisión para poder subir y bajar es mediante husillo tuerca, en donde se ha implantado una tuerca antibacklash para mejorar la posición cuando esté en funcionamiento.

Backlash es el error acumulado del movimiento lineal que se tiene entre tuerca y husillo. Este fenómeno ocurre debido a la holgura que existe entre ambos. La Figura 67 a) muestra una representación de este fenómeno. Para poder solucionar este fenómeno, se diseñó una pieza que contenga dos tuercas concéntricas ubicadas a diferentes alturas, la

una está fija y la otra en un voladizo, el cual puede desplazarse, la Figura 67 b) indica la solución optada.



*Figura 67. Backlash y tuerca antibacklash*

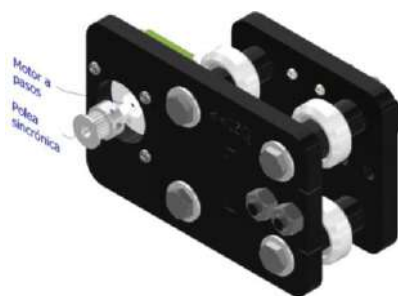
En este carro es un extremo del cabezal móvil y este se mueve con una transmisión perfil estructural lineal y correa sincrónica, por lo que se ha implementado una polea y un templador. La Figura 68 a) muestra estas dos piezas implementadas y la Figura 68 b) la colocación de la tuerca antibacklash. De este modo se define el módulo definitivo del carro derecho de la DAPMONSTER.



*Figura 68. Carro derecho de la DAPMONSTER etapa final*

### *Carro izquierdo*

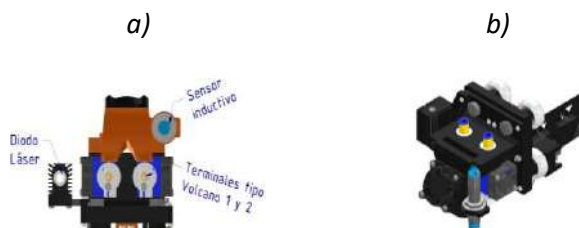
Este carro tiene las mismas características que el anterior, y solo se diferencia en que esta porta el motor a pasos que mueve al cabezal de impresión. La Figura 69 muestra el diseño final.



*Figura 69. Carro izquierdo de la DAPMONSTER etapa final*

### *Cabezal de impresión*

Se determinó el uso de un sistema de extrusión tipo Bowden, con esto se seleccionaron también los terminales calefactados tipo Volcano de la marca E3D, con ello se cumple el flujo máximo de material a 120 mm/s. Se han implementado dos extrusores, para dar versatilidad a la DAPMONSTER, teniendo la capacidad de imprimir con diferentes materiales a la vez, a más que el cabezal implementa un ventilador de capa, un sensor inductivo para la auto nivelación y como funcionalidad extra un diodo laser de 2,5 vatios para el corte y grabado de materiales suaves. La Figura 70 muestra el diseño final del cabezal de impresión. En el apartado a) los componentes y en b) la estructura final.



*Figura 70. Cabezal de impresión multi material de la DAPMONSTER etapa final*

### *Sistema de control*

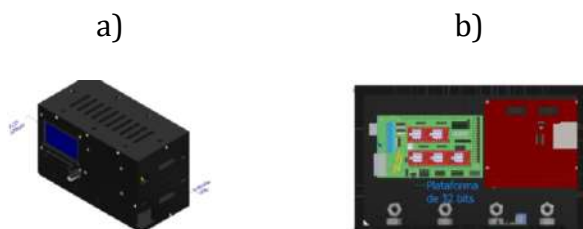
Ya identificadas todas las características que debe tener la DAPMONSTER, es necesario delimitar la capacidad de procesamiento y de memoria interna que debe tener el controlador electrónico. La opción de nivelación automática necesita de un espacio en la memoria ROM del controlador, el valor depende de la cantidad de puntos de la matriz que se genere, al ser una plataforma de 500 x 500 mm los puntos recomendados son entre 6 a 8 por lado, teniendo como resultado 64 puntos los cuales se triplican con la habilitación de medición mediante nivelación de plataforma unificada (UBL, se necesita mínimo 50KB para un buen funcionamiento [79].

*Tabla 16. Características técnicas de plataformas de 8 y 32 bits [80], [81]*

| Características técnicas |                        |                                |
|--------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Característica           | 8 bits                 | 32 bits                        |
| SRAM                     | SRAM 8KB               | SDRAM 128KB                    |
| ADC                      | Hasta 255 posiciones   | Hasta 4295 millones posiciones |
| Velocidad                | Velocidad hasta 16 MHz | Velocidad hasta 26 MHz         |

La memoria en donde se tiene que grabar las posiciones de la matriz debe ser de gran tamaño, La Tabla 16 muestra estos parámetros, y se ha determinado utilizar una plataforma con 32 bits de procesamiento, con esto se puede delimitar la pantalla que es suficiente con una de 128 x 64 de tecnología LCD, es muy intuitiva y no utiliza mucho procesamiento el cual debe estar enfocado al control de los motores a pasos.

La Figura 71 muestra la plataforma seleccionada ubicada en una caja de control para poder ubicar los demás componentes electrónicos.



*Figura 71. Módulo de control electrónico de la DAPMONSTER etapa final*

### **Lista de materiales de ingeniería (EBOM)**

Con la descripción de los subensambles que componen a la DAPMONSTER, es necesario listar los componentes y piezas que componen la máquina.

Antes de esto es necesario titular a los subensambles como módulos de la máquina, esto en un principio para tener una maquina modular, además que esto permite tener un orden y precedencia para la planificación de la producción. De este modo se han creado ocho tablas que contienen información de la liste de materiales de ingeniería. Cada tabla especifica los siguientes parámetros:

- Código: está construido por el número de letras que tiene el nombre de la pieza o componente, incluyendo las dos primeras y últimas letras de este mismo nombre, es fundamental crear una denominación simplificada para cada componente de la impresora
- Pieza: indica el nombre con el cual se ha llamado al componente que se ha diseñado en el software CAD
- Referencia: aquí se indica las características técnicas que son propias del componente para su adquisición comercial, también incluye el nombre del plano si es que se trata de una pieza de fabricación.
- Material: es necesario determinar el material de cada componente, esto para saber el

proceso de manufactura que se puede utilizar para su fabricación, y también para determinar su materia prima.

Todas las tablas están especificadas con estas especificaciones en el Anexo Uno.

### **Planificación de procesos de fabricación**

Con las características anteriormente mencionadas y la lista ordenada de los materiales de ingeniería, es necesario determinar las operaciones que se necesitan para obtener cada componente de cada módulo, para esto se ha determinado los procesos de manufactura, las tablas del anexo VI muestra esta información, y cada columna se refiere a:

- Proceso: se describe de manera simplificada el nombre del proceso
- descripción: este indica la operación del proceso
- Maquina: indica la maquina o el recurso necesario para llevar a cabo el proceso asignado
- Parámetros de maquina: indica la configuración que deben tener las máquinas

para su operación, o también las acciones que se deben realizar.

- Observaciones: aquí se puede indicar información extra necesaria para complementar con éxito los procesos designados.

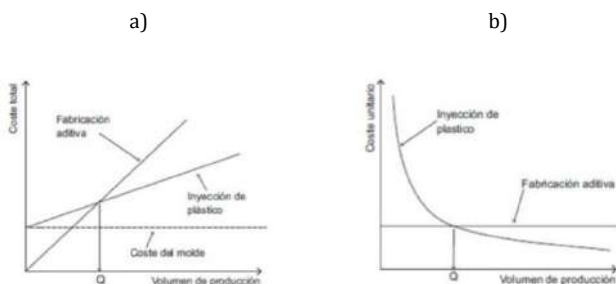
El plan de procesos compromete la selección, secuencia de procesos y operaciones que deben llevarse a cabo para transformar un material o materia prima, en un componente final. En donde se prepara detalladamente las instrucciones de trabajo para producir ese componente, este incluye la selección del proceso de manufactura y sus operaciones, el equipo de producción, y herramientas [82].

Dentro de las operaciones indicadas en la Tabla 17, existen dos procesos los cuales se llevarán a cabo dentro de la planta de producción, la impresión 3D y el corte por láser. Se han considerado estos dos procesos por su versatilidad ante cualquier otro proceso de manufactura que realice la misma función. De todos modos, es imprescindible realizar una breve justificación de la selección de estos procesos

La manufactura aditiva, ha demostrado la capacidad de producir cualquier tipo de piezas en cualquier ambito, es por ello que tambien se hizo un estudio de los actuales tecnologias que se han desarrollado para fabricar piezas con este proceso en particular.

Para la creacion de piezas plasticas de la DAPMONSTER, existe la posibilidad de crearlas mediante inyeccion plastica o manufactira aditiva, ambos procesos tienen ventajas y desventajas según varios aspectos, pero en este caso prima el costo economico.

El coste de fabricacion unitaria de componenets con fabricacion aditiva es constante, en cambio para el sistema de inyeccion de plastico su costo es muy elevado, esto se revierte si el numero de unidades producidas es alto, en donde la manufactura aditiva aumenta su precio de fabricacion, aun que existe un punto de equilibrio en donde el volumen de produccion es igual al volumen de inyeccion. En la Figura 72 podemos ver una representacion de ambos comportamientos.



*Figura 72. Manufactura aditiva a) Gran número de unidades b) Comportamiento unitario Fuente [83]*

La DAPMONSTER contiene alrededor de 30 piezas plásticas diferentes de modo que se necesitarían 30 moldes de inyección, mientras, que si se considera imprimirlas no se requiere de implementar 30 diferentes maquinas. Además de la simplicidad que una impresora 3D tiene para fabricar componentes de cualquier tipo de geometría. Por lo tanto, se establece que para la fabricación de piezas plásticas de la DAPMONSTER serán por impresión 3D, concepto REPRAP, utilizado actualmente por fabricas como Prusa, Luzlbot y BCN3D. este tipo de fabricación es versátil y de alta capacidad para poder fabricar cualquier tipo de geometría y nuevas piezas. Por lo que se podrán generar nuevos modelos de impresoras sin necesidad de cambiar maquinas.

Existen piezas de dos dimensiones que podrían ser impresas 3D, lo que a simple vista no es muy viable, debido a su simplicidad de geometría y se pueden utilizar otros procesos de fabricación, más rápidos y que además puedan procesar otros materiales. Estas piezas se han definido con el material de fibra de mediana densidad (MDF), las cortadoras por láser se utilizan específicamente para esto, ya que ofrecen versatilidad, precisión y repetibilidad, características suficientes para la selección de este proceso de manufactura.

Existen dos procesos más de procesamiento de materia prima que son el mecanizado CNC y el corte recto, estos no se consideran dentro de la planta de fabricación porque son servicios que las comercializadores de la materia prima ofrece a un buen precio.

Los demás procesos son administrativos como la importación, y compra de partes a nivel local. Todas las partes se han clasificado en función de su proceso de manufactura, y están especificados en el Anexo Dos, como tablas con columnas; código, descripción y operación.

*Tabla 17. Lista de operaciones de la DAPMONSTER.*

| Proceso          | Descripción            | Máquina                            | Parámetros de máquina                                      | Observaciones                                                      |
|------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Imp3DABS</b>  | Impresión 3D ABS       | Impresora 3D                       | Fusor: 245 °C<br>Cama: 95 °C                               | Altura de capa: 0.2 mm                                             |
| <b>Imp3DPLA</b>  | Impresión 3D PLA       |                                    | Fusor: 205 °C<br>Cama: 50 °C                               | Relleno: 80%<br>Velocidad primera capa: 25 mm/s                    |
| <b>Imp3DPETG</b> | Impresión 3D PETG      |                                    | Fusor: 220 °C<br>Cama: 60 °C                               | Retracción: 5 mm                                                   |
| <b>Imp3DTPU</b>  | Impresión 3D TPU       |                                    | Fusor: 230 °C<br>Cama: 50 °C                               | Velocidad máxima: 30 mm/s<br>Sin retracción                        |
| <b>LSRCUT</b>    | Corte laser MDF        | Cortadora laser                    | 9 mm 80W<br>V: 12 mm/s<br>18 mm 120W<br>V: 8 mm/s          | Área de trabajo de la maquina debe de ser mínimo 1200 x 2400 mm    |
| <b>CUTMTL</b>    | Corte recto con sierra | Cortadora de metal                 | Corte recto a 90 grados                                    | Servicios alquilados                                               |
| <b>MECACNC</b>   | Mecanizado CNC         | Torno CNC                          | Referirse a planos                                         | Servicios alquilados                                               |
| <b>IMPEXT</b>    | Importación            | Computadora                        | Determinar un proveedor fijo, y negociación de precios CIF | Pedir envío de muestras si las cantidades son mayores a 5 unidades |
| <b>COMPRAS</b>   | Compras de insumos     | Computadora, teléfono, motocicleta | Determinar una ruta para la compra de insumos              | Se adquieren los componentes en diferentes lugares                 |

Para la operación de los procesos mencionados en la anterior tabla, se han definido el flujo por el cual tiene que pasar cada proceso para poder lograr a cabalidad con su objetivo, esto se ha representado mediante tablas de cada proceso y se detalla en el Anexo Tres.





## **Capítulo 3. Planificación de la Producción**





## Capítulo 3 -Planificación de la Producción

### Introducción

En este capítulo se presenta información necesaria para la creación de la planta de producción del modelo DAPMONSTER, para esto, en capítulos anteriores se ha recopilado información necesaria, determinando el producto a fabricar, los materiales necesarios para su fabricación, así como también los procesos de manufactura para la obtención de estos. En la Figura 73 se indica un diagrama de flujo de los pasos necesarios para la obtención de la planta de producción.



*Figura 73. Procesos para la creación de una planta de producción*

La lista de materiales ingenieriles (EBOM), está determinada por las partes necesarias para la creación de un producto, en función a su diseño ingenieril. Y mediante esta información se puede crear la lista de materiales de manufactura (MBOM), en donde se detalla la forma de fabricación del producto, para después crear el plan de procesos

(PP) en donde se indican los procesos de fabricación para la obtención de cada parte del producto. A partir del plan de procesos es posible la simulación, en donde se pueden determinar los recursos necesarios para una determinada producción, en este caso se ha realizado un estudio de viabilidad económica que determina el número de unidades a producir.

### **Creación de la lista de materiales de manufactura (MBOM)**

Delmia tiene un módulo denominado Item Manufacturing definition el cual permite definir y configurar el MBOM, en donde se puede crear la estructura de manufactura completa de un producto, en este caso la DAPMONSTER.

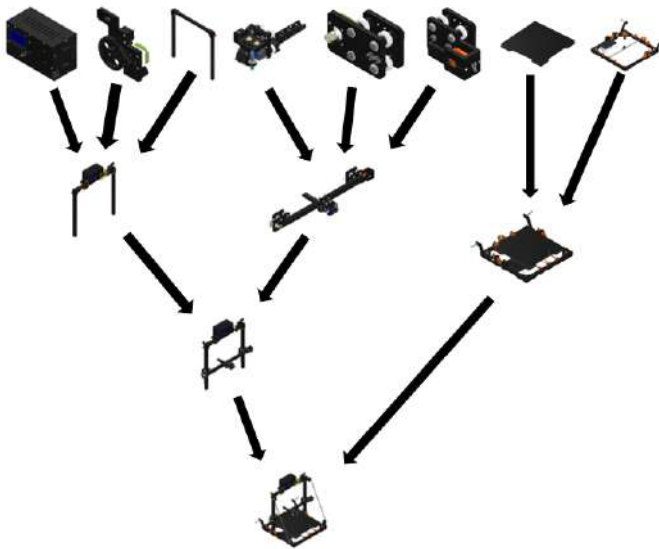
La definición del MBOM consta de todas las partes y ensambles que son requeridos para la fabricación y ensamble de la DAPMONSTER.

Es muy usual colocar todas estas piezas y ensambles de forma jerárquica, mostrando en el nivel más alto al producto terminado y los demás niveles ensambles, subensambles y partes.

La estructura del MBOM es el inicio para las rutas de las operaciones que se deben realizar en cada proceso de fabricación. La DAPMONSTER se ha

definido por nueve módulos los cuales forman una maquina completa, de este modo se ha simplificado la cantidad de operaciones.

La Figura 74 representa la estructura del MBOM de la DAPMONSTER el cual está compuesto por los nueve módulos ya mencionados en el capítulo anterior.



*Figura 74. Estructuración del ensamblaje de la DAPMONSTER*

En la aplicación DELMIA se han determinado doce categorías de piezas de manufactura, estas se detallan a continuación:

1. Montaje de fabricación (*Manufacturing Assembly*): se refiere a un ensamble, hecho por varias partes y/o subensambles
2. Parte proporcionada (*Provided Part*): se refiere a un simple producto o parte la cual es proporcionada para un paso de manufactura, para un ensamble, por ejemplo
3. Sujetador (*Fasten*): se refiere a los sujetadores, que son requeridos en cualquier ensamble, puede ser tornillos y soldaduras
4. Instalación de fabricación (*Manufacturing installation*): se refiere a un paso en el cual partes/ensambles/sujetadores son instalados en un gran ensamblaje, pero no generan un nuevo ensamble
5. Kit de Manufactura (*Manufacturing kit*): es la forma de referirse a un grupo de partes/ensambles los cuales no son ensamblados juntos
6. Proceso de des ensamblaje (*Disassemble process*): se refiere a un nuevo ensamble desde el cual se deben remover una o varias partes o tornillos, por ejemplo, la remoción de puertas al final del ensamble de los autos, estas son removidas en el principio y reensambladas en siguientes estaciones.

7. Transformación (*Transform*): se refiere al paso en el cual se transforma un ensamble a una parte dentro de otra estación, la cual necesita ser terminada (pintura, tratamiento superficial, maquinado)
8. Remoción de material (*Remove Material*): se refiere al proceso de mecanizado o remoción de material, por ejemplo; taladrado, pretaladrado, corte, etc.
9. Pieza fabricada (*Manufactured Part*): se refiere a la especificación de una parte, cuando el diseño de la parte es diferente a la pieza manufacturada.
10. Material fabricado (*Manufactured material*): es similar al ensamble de manufactura, pero para una nueva parte generada, por ejemplo, un neumático, el cual no es un ensamble
11. Material proporcionado continuamente (*Continuous provided material*): el similar a las partes proporcionadas, pero justamente para cosas que no pueden ser identificadas como una simple parte, pero si en cantidad como, volumen, masa, longitud o área, por ejemplo, aceite para motores a combustión
12. Material fabricado continuamente (*Continuous manufactured material*): es

similar al material manufacturado, pero es creado continuamente para una cantidad específica como (volumen, masa longitud, o área). Por ejemplo, cables, pintura, pasta dental, bebidas.

La herramienta de simulación DELMIA propone varias funcionalidades con la estructuración y estandarización del MBOM y el PP. El MBOM tiene conexión con el EBOM y el PP realizando conexiones bidireccionales entre ellos.

La Figura 75 muestra una representación de la conexión de los componentes de un producto con la estructura de manufactura del mismo producto, en donde el orden de los componentes del producto final está en función a su forma de fabricación.

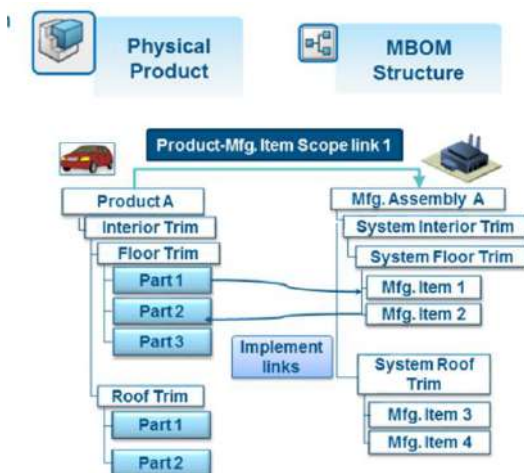


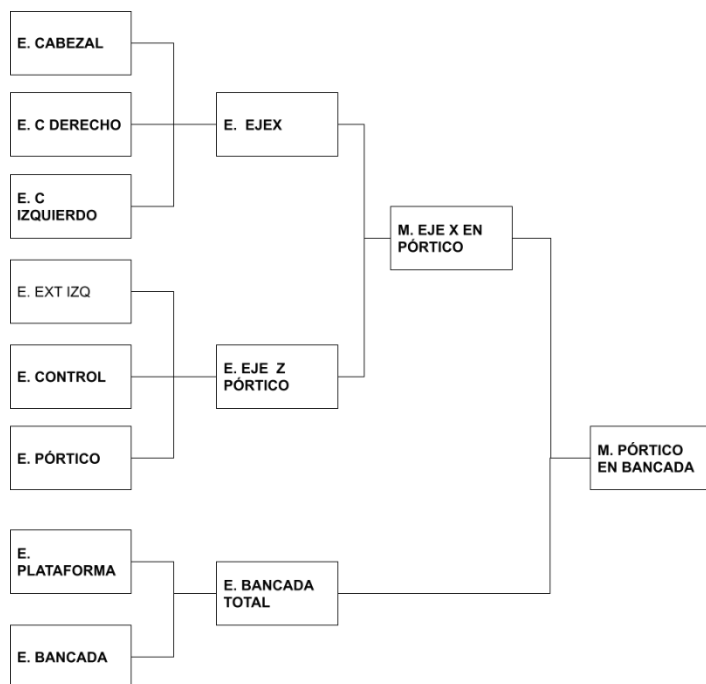
Figura 75. Conexión entre EBOM y MBOM

Al realizar las conexiones, DELMIA implementa todos los componentes de dicha conexión, los cuales son clasificados según convenga.

La DAPMONSTER cuenta con ocho módulos los cuales se categorizan como *Provided Part* (PVDPRT) y sus ensambles como *Manufacturing Assembly* (MNAS) de este modo se puede obtener la estructura de ensamble ya determinada en la Figura 74.

La Figura 76 indica la estructuración del MBOM de la DAPMONSTER usando los módulos anteriormente descritos, en donde los descritos como montajes

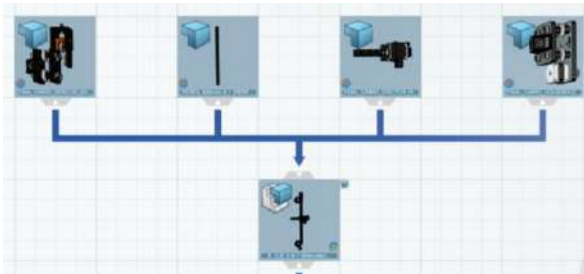
están categorizados como MNAS y los demás como PVDPRT.



*Figura 76. Estructura del MBOM de la DAPMONSTER*

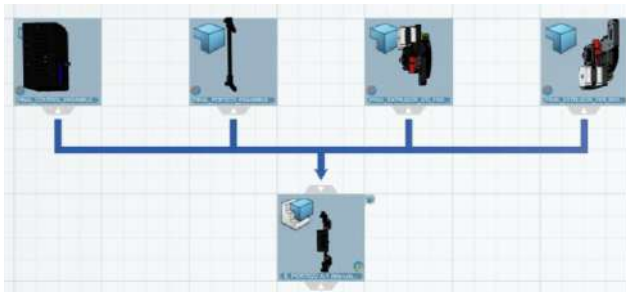
De este modo se ha podido simplificar el MBOM completo de la DAPMONSTER ya que cada módulo consta de varios componentes y varios pasos para su ensamble. Con la delimitación y creación de la estructura del MBOM, se implementa en DELMIA.

En la Figura 77 se tiene el MBOM del eje X, en donde se tiene adicional el perfil lineal para el movimiento del cabezal, el cual no se ha considerado como modulo al ser simplemente una pieza y está contemplado dentro del módulo del Cabezal.



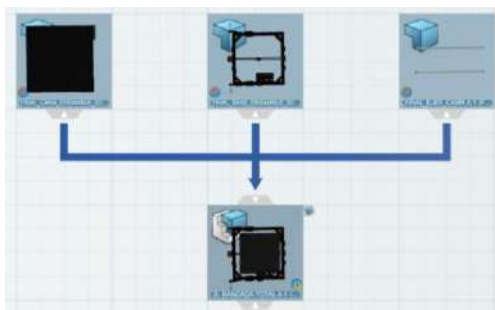
*Figura 77. MBOM eje X*

La Figura 78 muestra el MBOM del eje Z el cual consta de tres módulos, y se han implementado dos sistemas de extrusión, por eso se han representado 4.



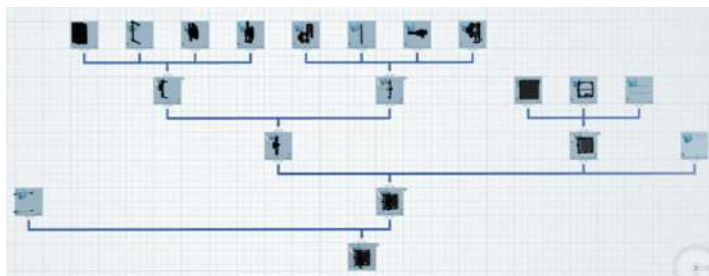
*Figura 78. MBOM Eje Z*

En la Figura 79 se muestra el MBOM del eje Y el cual este compuesto por dos módulos y de forma separada los ejes lineales ya que estos son ensamblados al momento de montar la plataforma en la bancada de la máquina.



*Figura 79. MBOM eje Y*

Y por último la Figura 80 muestra el MBOM total de la DAPMONSTER, este tiene varios complementos en el montaje plataforma – bancada, en donde se implementan los husillos del eje Z y posteriormente los refuerzos laterales para el mismo. Estos no se han tomado como módulos ya que pertenecen al módulo Pórtico, pero por cuestiones de manufactura se han establecido de esa manera.

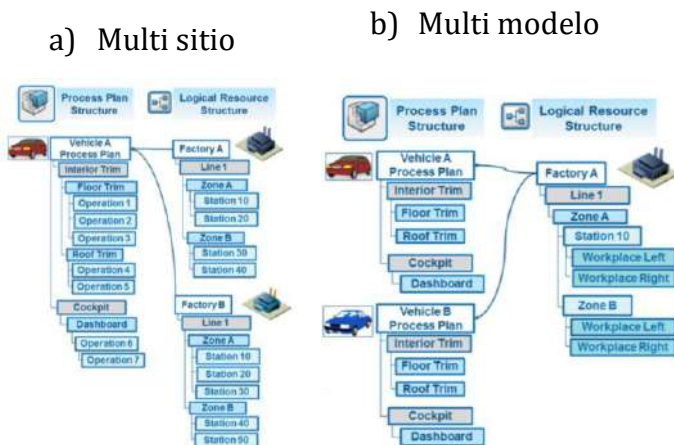


*Figura 80. Estructura general del MBOM de la DAPMONSTER*

Tras la generación completa del MBOM, el siguiente paso es crear el plan de procesos de fabricación para la simulación de este.

### **Creación del plan de procesos (PP)**

Delmia promete hacer uso del PP de forma general, es decir que su estructura puede ser utilizada independientemente y puede ser establecida cuantas veces se desee realizando pequeños o grandes cambios. Con esto se puede establecer un PP para la fabricación de un producto en varias fábricas, o la producción de multi productos en una misma fabrica. La Figura 81 muestran estas dos alternativas, la figura a, la posibilidad de crear un producto en varios sitios, y la figura b de la derecha la posibilidad de crear varios modelos en una misma fabrica.



*Figura 81. Configuración multi sitio y multi modelo*

Establecidas las funcionalidades que puede brindar DELMIA, se debe establecer las características y beneficios que se obtienen al realizar este procedimiento, a continuación, se identifican estas cualidades:

- Las principales áreas consideradas en el plan de procesos son: ensamble, fabricación, calidad y logística
- El plan de procesos de ensamble describe, paso a paso, como un producto es ensamblado, y genera un producto final como salida

- El plan de procesos de fabricación describe paso a paso, la transformación de la materia prima en el producto final ya sea por remoción de material u otro proceso, el cual genera un producto nuevo como una salida
- El plan de procesos de calidad asegura la correcta calidad y genera un plan de control como una salida
- El plan de procesos de logística está conectado con el ensamble y describe como las partes son entregadas desde el proveedor hasta las estaciones de trabajo.
- El plan de procesos alcanza su máximo impacto considerando las 4 áreas en conjunto en un solo modelo.
- Mediante la creación del PP se obtiene un diagrama de Gantt que relaciona el tiempo del plan de procesos con el MBOM, indicando la interdependencia de las actividades
- El plan de procesos en una fábrica digital está basado en un método científico de Taylor y es mejorado con la tecnología moderna IT que permite optimizaciones
- Una fábrica digital ayuda a planear una producción compleja y dividirla en productos, procesos y recursos

- En una fábrica digital, se activa un plan holístico donde las áreas anteriormente mencionadas se conectan unas con otras
- PPR (producto, proceso recurso) es una red de procesos en donde los procesos se conectan con los productos y los recursos
- PPR usa modelos 3D, EBOM y MBOM para definir entradas y salidas en todos los procesos
- El valor del modelo PPR, está enfocado en dar valor añadido a las actividades y flujo de los procesos
- Las instrucciones de trabajo son creadas en base al plan de procesos

Los objetivos para la creación del PP son los siguientes:

- Definir la lógica de la línea de producción
- Describir detalladamente todos los ensambles y las líneas de fabricación que se producen dentro de la fabricación del producto
- Especificar los tiempos de producción y restricciones existentes entre líneas y operaciones
- Equilibrar las líneas y operaciones a través de las diferentes estaciones de trabajo, y zonas

de producción, identificando cualquier carga de trabajo versus ciclo de tiempo

- Validar la secuencia de ensamblaje en un área de trabajo.

El plan de procesos de la DAPMONSTER consta de las cuatro etapas, ensamble, fabricación, calidad y logística. Ya se ha identificado las operaciones de cada una de estas áreas, teniendo operaciones de corte, impresión 3D y corte CNC en el área de fabricación, en las etapas de ensamble se incluyen operaciones de calidad, y por último logística para la adquisición e importación de componentes detallados en tablas EBOM de la DAPMONSTER.

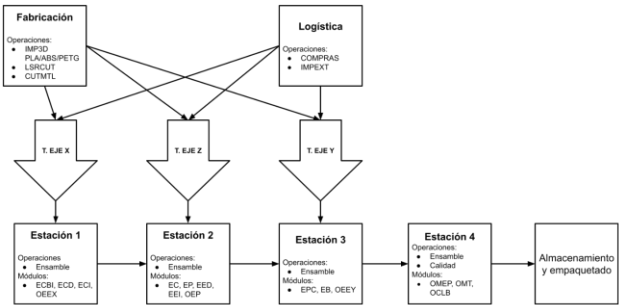
La Tabla 18 muestra las siglas que se han determinado para cada módulo, esto con el fin de estandarizar y reducir la cantidad de caracteres al momento de crear el plan de procesos en el software DELMIA.

*Tabla 18. Operaciones y módulos del PP de la DAPMONSTER*

| <b>Nro.</b> | <b>Nombre</b>              | <b>Alias</b> |
|-------------|----------------------------|--------------|
| <b>1</b>    | Ensamble Cabezal impresión | ECBI         |
| <b>2</b>    | Ensamble Carro Derecho     | ECD          |
| <b>3</b>    | Ensamble Carro Izquierdo   | ECI          |
| <b>4</b>    | Op. E. Eje X               | OEEX         |

|    |                             |      |
|----|-----------------------------|------|
| 5  | Ensamble Control            | EC   |
| 6  | Ensamble Pórtico            | EP   |
| 7  | Ensamble Extrusor Derecho   | EED  |
| 8  | Ensamble Extrusor Izquierdo | EEl  |
| 9  | Op. E. Pórtico              | OEP  |
| 10 | Op. M. eje X en pórtico     | OMEP |
| 11 | Ensamble Plataforma Cama    | EPC  |
| 12 | Ensamble Base               | EB   |
| 13 | Op. E. Eje Y                | OEEY |
| 14 | Op. M Total                 | OMT  |
| 15 | Op. Calibración             | OCLB |

De este modo la Figura 82 muestra la distribución de operaciones en cada etapa del plan de procesos para la fabricación de la DAPMONSTER



*Figura 82. Plan de procesos para la fabricación de la DAPMONSTER*

Al establecer la estructura del plan de procesos es necesario realizar una estimación de los tiempos de producción para cada operación dentro del plan de procesos, con esto es posible realizar la simulación del PP y saber el tiempo estimado de producción en un tiempo determinado, así como también la identificación de cuellos de botella dentro del sistema. Información clave para la determinación y selección de los recursos que la planta de producción necesita para producir cierta cantidad de impresoras 3D. La Tabla 19 muestra los tiempos estimados y con error humano de cada operación.

*Tabla 19. Tiempo de producción de las operaciones de la DAPMONSTER*

| Modulo / Operaciones   | Ensamble |         | Impresión 3D |         | Corte Laser |         |
|------------------------|----------|---------|--------------|---------|-------------|---------|
|                        | T1 [h]   | T1E [h] | T2 [h]       | T2E [h] | T3 [h]      | T3E [h] |
| E: Carro Derecho       | 0,4      | 0,5     | 8,1          | 9,4     | 0,2         | 0,2     |
| E. Carro Izquierdo     | 0,4      | 0,5     | 6,3          | 7,2     | 0,2         | 0,2     |
| E: Cabezal             | 0,8      | 0,9     | 18,6         | 21,4    | 0,1         | 0,1     |
| Op. Eje X              | 0,3      | 0,3     |              |         |             |         |
| E. Extrusores          | 0,5      | 0,6     | 17,0         | 19,6    | 0,1         | 0,1     |
| E. Control electrónico | 0,6      | 0,7     | 0,0          |         | 0,8         | 0,9     |
| E. Pórtico             | 0,6      | 0,7     | 12,5         | 14,4    | 0,3         | 0,4     |
| Op. Pórtico            | 0,6      | 0,7     |              |         |             |         |
| Op. Pórtico eje X      | 0,1      | 0,1     |              |         |             |         |
| E. Plataforma          | 0,8      | 0,9     | 18,0         | 20,7    | 0,6         | 0,7     |
| E. Bancada             | 1,1      | 1,3     | 24,9         | 28,7    | 1,1         | 1,3     |
| Op. Bancada            | 0,3      | 0,4     |              |         |             |         |
| Op. Pórtico Bancada    | 0,5      | 0,6     |              |         |             |         |
| Op. Calibración        | 0,8      | 0,9     |              |         |             |         |

T\*: tiempo esperado                      T\*E: tiempo con error humano

T\*MP: tiempo mínimo por pieza de impresión

Los tiempos de logística, para la compra local se tiene un aproximado de tres días laborables, y para los artículos importados un tiempo de envío de 35 días laborables.

La Tabla 20 muestra los valores del porcentaje del error humano en una planta de fabricación, estos valores se toman para poder calcular el tiempo de fabricación de la DAPMONSTER, considerando un escenario muy malo para su fabricación.

*Tabla 20. Valores de error humano en procesos de manufactura*

| <b>Tipo de error</b>                                                                                       | <b>Probabilidad<br/>(NTP620)</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Falta de limpieza del puesto de trabajo, lo que dificulta la labor de las tareas.                          | 0,001                            |
| Falta de experiencia y conocimiento en el puesto de trabajo                                                | 0,003                            |
| Cantidad de stress presente en la persona que realiza la labor.                                            | 0,001                            |
| La dificultad de la tarea puede aumentar la cantidad de errores si no se tiene estandarizada la actividad. | 0,1                              |
| No comunicar los cambios realizados en el sistema o registrarlos en una bitácora.                          | 0,003                            |
| Error en el set up de las máquinas                                                                         | 0,1                              |
| Mala interpretación lectura de planos: medidas, cortes, forma de la pieza, codificación de la pieza.       | 0,1                              |
| Mal planteamiento del plan de producción de la planta (tiempos de producción)                              | 0,003                            |
| Falta de calibración de los equipos                                                                        | 0,05                             |
| Mal alambrado de las piezas (no sujeto fuertemente)                                                        | 0,2                              |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| Error en ensamble | 1,211 |
| Error en maquinas | 1,151 |

Fuente: [84]

Con la información recopilada anteriormente es posible realizar la simulación del plan de procesos en el software Delmia, el cual contiene herramientas para crear enlaces entre el MBOM y la estructura del plan de procesos definida en la Figura 82.

Los enlaces creados permiten determinar las operaciones de cada pieza de la DAPMONSTER, la Figura 81 muestra dos opciones para la utilización del PP, para la DAPMONSTER se realiza un PP exclusivo el cual puede ser utilizado en diferentes plantas de fabricación si lo requiere.

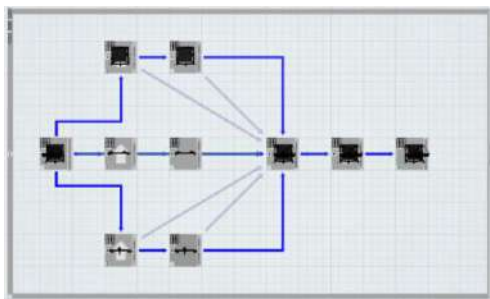
Al igual que el MBOM, Delmia ha determinado las operaciones y sistemas que puede tener un plan de procesos, los sistemas pueden contener operaciones, y las operaciones son simples acciones que se deben llevar a cabo para la obtención de una parte o pieza específica. De modo general los sistemas son:

- Loading/General Operation: una operación básica, usada generalmente como una operación de ensamblaje
- General Operation: también es usada para operaciones de (Cargando / Atornilla miento)

- Point Fastening/Curve Fastening: usado para operaciones de soldadura, unión, unión atornillada
- Unloading Operation: usado para remover partes de un ensamble
- Transfer Operation: usado para mover un ensamble de un lugar a otro
- Remove Material: usado para operaciones de maquinado

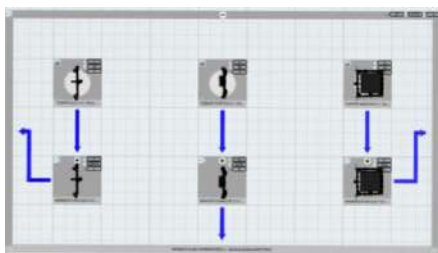
En la Figura 82 se muestra la estructura del PP de la DAPMONSTER, y mediante los conceptos de las operaciones que ofrece Delmia, es posible plasmar el PP, en donde se han determinado como sistemas generales a las estaciones de trabajo y a las áreas de manufactura. La operación de impresión 3D, corte laser y corte de metal, son representadas como una operación en general, ya que no existe una operación que este identificada exclusivamente para esas actividades, y por ultimo las operaciones de ensamble se han identificado como operaciones de carga o montaje. Tambien se han añadido sistemas de transporte, fuente de ingreso de piezas y partes, y de despacho de la DAPMONSTER total, con el fin de poder obtener resultados tras la simulacion, con los tiempos previamente descritos en la Tabla 20.

De este modo, la Figura 83 muestra la estructura completa del PP elaborada en el software Delmia.



*Figura 83. Plan de procesos de la DAPMONSTER implementado en Delmia*

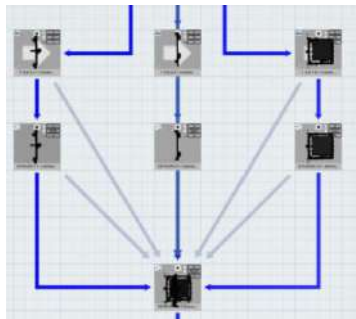
En la Figura 84 se indica la estructura del plan de procesos para las operaciones de manufactura, en donde se contemplan las operaciones de impresión 3d y de corte por laser, cada subensamble de los ejes X, Y, Z, tienen sistemas tipo fuente que distribuyen la materia prima hacia las maquinas en donde se ha separado por submodulo, las operaciones de manufactura, optimizando lo que mas se pueda para poder obtener la mayor capacidad de fabricacion.



*Figura 84. Sistema de manufactura del PP de la DAPMONSTER*

Las Figura 85 muestran la distribución de las cuatro estaciones de trabajo que al momento de llegar las piezas desde manufactura y almacenamiento, se ensamblan por módulos la DAPMONSTER.

En la estación uno se tiene el ensamble del eje X, en la estación dos el ensamble del eje z, en la estación tres el ensamble del eje Y, y en la estación cuatro el ensamble completo de la maquina, para posteriormente ser almacenada o empacada según sea necesario.



*Figura 85. Estructura de las estaciones de ensamblaje del PP*

La aplicación Process Plan de Delmia permite determinar los tiempos de producción de cada operación dentro de la estructura ya definida, y puede ser visualizada en un diagrama de Gannt, indicando también el flujo del producto en cada operación, de esta manera se puede observar las rutas de cada sistema y su tiempo de terminación, de igual manera se puede ver las rutas con mayor tiempo de funcionamiento. La Figura 86 muestra el diagrama de Gannt del sistema de impresión 3D, el cual no tiene secuencia y todo se ejecuta al mismo tiempo.



*Figura 86. Diagrama de Gantt del sistema de impresión 3D*

De la misma manera en la Figura 87 muestra el flujo de los modulos en cada estacion, estas operaciones si tienen concatenacion unas con otras y representan el ensamblaje de cada modulo, y se ejecutan al mismo tiempo, siempre y cuando ya haya llegado todas sus partes para el ensamble.

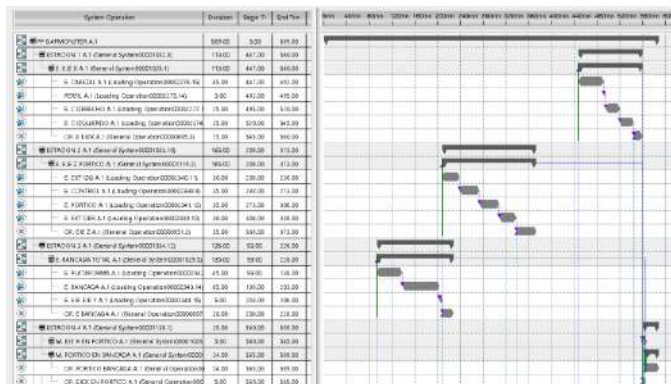


Figura 87. Diagrama de Gantt de los sistemas de ensamble

Con la estructuración y determinación de tiempos de producción para cada operación del plan de procesos de la DAPMONSTER, es posible realizar la simulación del mismo mediante Delmia, con la aplicación Process Plan Flow.

Este módulo cuenta con cuatro operaciones que deben ser colocadas en la estructura de la Figura 83, estas se describen a continuación:

- General: usado para modelar un sistema en general
- Transfer: es usado para modelar el transporte de productos entre sistemas, las operaciones de transporte de un producto están definidas, asociando el componente específico a transportar a otro sistema, el producto da un determinado tiempo en el sistema antes de ser conectado con sistemas inferiores, este tiene una capacidad de producto.
- Source: es usado para modelar la llegada de productos dentro de un sistema de producción. Propiedades como la forma de llegada y el tipo de llegada pueden ser definidos.
- Sink: usado para modelar el despacho de productos desde un sistema de producción

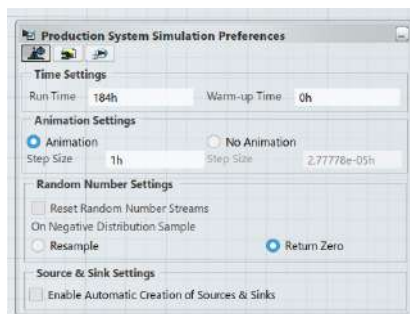
- **Buffer:** usado para modelar el almacenamiento de productos. Atributos como capacidad, reglas de almacenamiento y conexión entre sistemas pueden ser definidos

Para la simulación se debe establecer un tiempo de producción el cual debe estar acorde a un número de horas laborales, en este caso se ha considerado que se trabaja seis días a la semana por un periodo seguido de ocho horas, cada día y un día solo por seis horas. La Tabla 21 muestra el tiempo total laborable durante un mes de funcionamiento.

*Tabla 21. Tiempo de simulación del plan de procesos*

| <b>Tiempo<br/>simulación</b> | <b>Días<br/>Laborables</b> | <b>Horas<br/>laborables</b> | <b>Hora<br/>laborables</b> | <b>Tiempo<br/>Total</b> |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                              |                            | <b>Lunes a<br/>Viernes</b>  | <b>Sábado</b>              | <b>Simulación</b>       |
| 4 semanas                    | 6 días                     | 8 h                         | 6 h                        | 184 h                   |

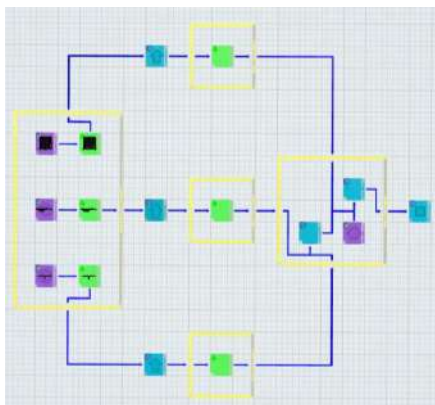
La Figura 88 muestra el tiempo establecido para la simulación del PP, con un paso de una hora.



*Figura 88. Configuración del tiempo de simulación del PP en Delmia*

El simulador tiene la opción de visualizar cada sistema en tiempo real, estos son clasificados por color según el estado en el que se encuentren, en la Figura 89 se indican los sistemas utilizados para la simulación y su estado en la simulación.





*Figura 89. Sistemas y plan de procesos dentro del simulador de Delmia*

El simulador dispone de varias graficas que ayudan a ver el comportamiento de todos los sistemas y operaciones del PP, en la Figura 90 se muestran todas las graficas disponibles.

**1. Tiempo de ciclo**



**2. Tiempo de operaciones**



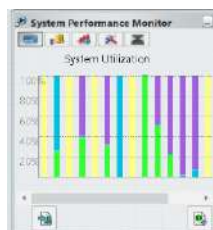
**3. Inventario general**



**4. Productos**



**5. Uso del sistema**



**6. Cuello de botella**



*Figura 90. Funcionalidades del simulador Process Plan Flow Simulation*

La simulación ofrece el comportamiento detallado del PP, las gráficas mostradas en la Figura 90 son todas las que ofrece el simulador, y se puede determinar a partir de estas la siguiente información:

1. Tiempo de ciclo: esta grafica muestra el tiempo completo de todas la operaciones dentro de un sistema, por lo que si un sistema esta compuesto de varios sistemas, este mostrara los tiempos de ejecucion de cada sistema.
2. Tiempo de operaciones: al igual que la funcion anterior, esta grafica permite ver los tiempos de las operaciones dentro de un sistema, en las cuales se puede ver tiempos de proceso y tiempos de espera hasta poder realizar la siguiente operación, según el flujo de prodcuto que se haya especificado
3. Inventario general: esta grafica permite visualizar el estado de los productos brutos, y los productos que se han quedado en medio de una operación.
4. Productos: esta grafica indica los productos de entrada y de salida de un sistema despues de haber realizado sus operaciones.
5. Uso del sistema: esta grafica muestra el estado de cada sistema en uso en funcion del ciclo de trabajo establecido para la elaboracion de un producto.
6. Cuello de botella: esta grafica muestra en porcentaje los sistemas que retrasan la

produccionn o el desarrollo de los demas sistemas del PP.

## **Diseño de la Distribución en Planta.**

### **Introducción**

En esta sección se implementará la distribución de la planta de producción considerando todos los recursos necesarios para la realización de las operaciones del PP, de forma general ya se tiene entendido el funcionamiento de producción, así como su secuencia de fabricación. Por lo tanto, la idea es clara al momento de diseñar la distribución de planta.

Con la aplicación de Delmia Equipment Allocation, se determinará la posición de los recursos y se establecerán zonas.

### **Tipos de distribución en planta**

En la actualidad se han desarrollado criterios de diseños de planta enfocados, en los tres elementos básicos de una planta de producción; materiales, maquinaria y el hombre. Estos tres elementos han considerado cuatro tipos principales de distribución en planta, estos se señalan a continuación [85]:

- *Por posición fija:* en esta distribución el producto es definido en una posición y los recursos que lo transforman están fijos a su alrededor, este se caracteriza por tener una demanda baja u ocasional, dificultad para realizar cambios y está altamente personalizado.
- *Por proceso:* se usa cuando hay gran cantidad de productos con baja demanda de ellos, aquí las operaciones se encuentran agrupadas, y se analiza una demanda baja, por lo que los equipos no están determinados a un solo producto, este se caracteriza por, tener altos lotes de productos por proceso, las maquinas con funciones y capacidades similares, los departamentos o zonas van de acuerdo con los procesos, y bajo porcentaje de uso de las maquinas.
- *Por producto:* denominada también producción encadena, en donde la maquinaria y equipos están agrupados en una misma zona por su proceso de fabricación, y se usa cuando el producto es el mismo o no existe variedad significativa en sus modelos, el producto tiene alta demanda de forma constante. Se recomienda este tipo de distribución cuando

el suministro de materiales es fácil y continuo, se caracteriza por plazos de entrega reducidos y baja flexibilidad

- *Hibrido*: esta distribución busca una optimización entre la distribución por procesos y por producto, y con esta combinación permite una flexibilidad de alto volumen o de bajo volumen en cualquier empresa, existen dos formas para desarrollar esta distribución:
  - Célula de trabajo: esta trabaja con múltiples maquinas, en donde un operario utiliza diferentes maquinas, generando un flujo de línea, y este proceso es ejecutado cuando los volúmenes de producción son bajos y no se necesita determina más operarios, reduciendo así los niveles de inventarios, y la maquinara va en forma de U.
  - Tecnología de grupo: se usa en volúmenes de producción bajos, y se usa cuando se trabaja con un solo operario, en este proceso son agrupadas las maquinas por los productos más similares, con esto se

optimiza las rutas de recorrido del producto y es reducido el tiempo de permanencia en talleres.

### **Principios y factores influyentes para la selección de la distribución en planta**

El autor del libro Localización, distribución en planta y manutención, señala que existen seis principios para la obtención de una distribución de planta eficiente, estos son [86]:

- *Integración de conjunto*: indica la unificación, de los recursos de planta generando un conjunto funcional unificado y estable.
- *Mínima distancia recorrida*: los recursos de planta deben estar alineados de manera sucesiva, con el fin de que los recorridos del producto sean mínimos, además que sean distancias muy cortas, optimizando tiempos de traslado y costo que estos generan.
- *Circulación*: este principio indica orden en las áreas de trabajo, en la acción de las operaciones de cada una, evitando retrocesos en producción, siendo así una línea de producción ideal y sin interferencias.
- *Espacio cubico*: este principio tiene como objetivo la reducción de espacios o áreas de

trabajo, optimizando la economía, en donde se analiza espacios verticales y horizontales, para una óptima distribución.

- *Satisfacción y seguridad*: la empresa brinda seguridad a sus operarios, creando un ambiente laboral tranquilo, y de confianza, generando satisfacción en los empleados. Con esto la eficiencia de estos es mucho mejor.
- *Flexibilidad*: indica que la distribución en planta pueda ser reordenada fácilmente, sin mayores costos de movilidad y tiempo también.

Los factores que influyen directa e indirectamente en la elaboración de los productos de una planta de producción son elementos y factores de esta como son; material, maquinaria, factor humano, factor movimiento, factor espera, factor servicio y factor edificio.

### **Método Systematic Layout Planning (SLP)**

Esta es una planeación sistemática de distribución de planta, que se basa en la organización y la optimización de la distribución, la cual consta de cuatro fases, estas son [85], [86]:

- *Localización:* en esta fase se debe indicar la mejor disposición del sitio o lugar de la planta, se debe analizar la ubicación geográfica más adecuada, optimizando entradas y salidas de los recursos de transferencia o movilidad.
- *Distribución general de conjuntos:* en esta fase se debe determinar el flujo de producción, y analizar las relaciones que se tiene entre zonas de trabajo, indicando sus conexiones unas con otras.
- *Distribución detallada:* en esta fase se analiza, los puestos de trabajo y áreas para la ubicación de máquinas y herramientas
- *Instalación:* en esta fase se crea la distribución de planta, de acuerdo con los resultados de los análisis anteriores.

### **Definición y selección de zonas y recursos de planta**

Con el breve estudio de los tipos de distribución de planta se ha determinado que el concepto de distribución que más se adopta al objetivo que se le quiere dar a la planta de producción, es la distribución híbrida tipo célula de trabajo, ya que el objetivo de la planta es principalmente la versatilidad que se le dará en el futuro, fabricando impresoras multimodelo, además que el volumen de

produccion es bajo y medio, con proyeccion a alto, tambien el concepto de distribucion por proceso se utilizara para la distribucion en planta.

Se debe considerar tambien que se planteara en un futuro tambien la fabricacion de otro tipo de tecnologias de manufactura aditiva, y se tiene en mente la de selección por laser sinterizada (SLS).

La distribucion por procesos sera adoptada para la distribucion general, delimitando de este modo cinco zonas en planta, teniendo una zona de impresión 3d, mecanizados CNC, ensamblaje, bodegaje y almacenamiento y oficinas e ingenieria. Mientras que la zona de impresión y de ensamble, se contemplan con el proceso hibrido de celula de trabajo.

Todas estas decisiones se tomaran en funcion de los principios y factores de influencia para la determinacion de la distribucion de planta, y se indican el razonamiento a continuacion:

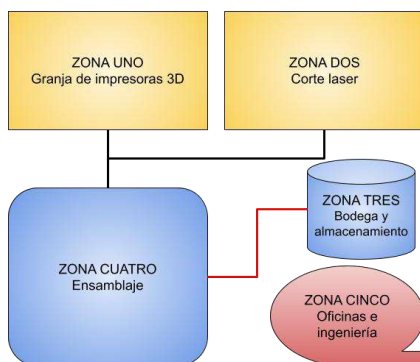
Las zonas de impresión 3D y de mecanizados CNC se ubicaran en paralelo, con el fin de tener un orden y determinacion de las zonas de manufactura.

La zona de bodegaje y almacenamiento estaran por debajo de la zona de mecanizados CNC, y estas tres zonas estaran alrededor de la zona de ensamble, con

esto se garantiza recorridos minimos de los productos, una circulacion sin interferencias, espacios bien delimitados, unificados y optimizados.

Ademas que la flexibilidad de la planta esta determinada por las dos zonas de fabricacion, por su tecnologia aplicada, ya que la impresión 3D ofrece versatilidad y flexibilidad para la creacion de cualquier objeto o pieza, y la maquinaria CNC un poco mas restrictiva, pero se tomara en cuenta maquinaria que trabaje con la mayoría clase de materiales.

Dicho esto, y considerando la estructura del PP, se ha determinado la distribucion en planta mostrada en la Figura 91, en donde se muestra en bloques la distribucion de estas zonas y la ruta o flujo de los productos entre ellas.



*Figura 91. Diagrama de la distribución en planta*

El flujo de los componentes se indican de forma unidireccional desde las Zonas uno y dos hacia la zona cuatro, y la zona tres de forma bidireccional, cuando una impresora es terminada, estas son transportadas hacia la zona tres, además que varios componentes salen de la zona tres hacia la zona cuatro.

Para las zonas uno y dos, es necesario determinar el número de máquinas o su tipo de tecnología, esta finalidad está en función de los tiempos de fabricación indicados en la Tabla 21, de los cuales los de la zona de impresión 3D, son muy elevados con respecto a las demás operaciones e incluso de las operaciones de corte por láser.

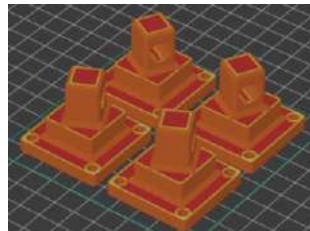
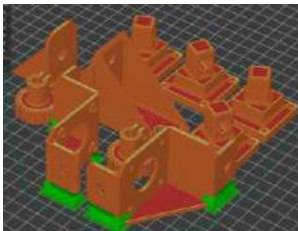
#### *Selección de los recursos de la zona uno y dos*

Los tiempos determinados en la Tabla 21 son considerando la impresión 3D conjunta de los elementos por módulo, es decir que se ha considerado el uso de ocho impresoras, considerando que a simple vista el tiempo de producción se alarga demasiado por el tiempo de fabricación de cada módulo, se puede realizar la implementación del doble de máquinas para la

reducción del tiempo, distribuyendo las piezas por modulo equitativamente con esto se reduce el tiempo de impresión a la mitad.

Considerando estos dos escenarios y tras varias simulaciones del plan de procesos se obtuvo una producción mensual de 7 máquinas, y el uso de los sistemas y más detalles se especifican en los resultados de las simulaciones del anexo siete. En la Figura 92 se muestra la forma de impresión de las piezas del módulo pórtico.

- a) Impresión completa del módulo pórtico      b) Impresión a partes del módulo pórtico



*Figura 92. Representación de las piezas imprimibles del módulo pórtico*

Viendo la gran diferencia de tiempo de fabricación, se ha realizado tablas con tiempos y cantidad de piezas que se deben imprimir por modulo, de esta manera se puede realizar un análisis del número de máquinas necesario para la disminución de tiempos de

fabricación, en el anexo seis se indican los tiempos necesarios para cada pieza de cada módulo, y las maquinas necesitadas por cada módulo. De este modo a resumen en la Tabla 22 se indican los valores de tiempo de impresión máximos por cada pieza, tomando estos como referencia para una simulación del PP. No se consideran las demás figuras por que la producción no sigue hasta que haya terminado de imprimir la última pieza.

*Tabla 22. Tiempos de impresión e impresoras 3D necesitadas*

| <b>Modulo</b>            | <b>Nro. Piezas</b> | <b>Impresión/<br/>pieza [h]</b> | <b>Nro. Maquinas</b> |
|--------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Cabezal impresión</b> | 8                  | 6,47                            | 8                    |
| <b>Carro Derecho</b>     | 6                  | 3,28                            | 7                    |
| <b>Carro Izquierdo</b>   | 3                  | 3,28                            | 3                    |
| <b>Extrusor</b>          | 7                  | 3,23                            | 7                    |
| <b>Pórtico</b>           | 3                  | 5,8                             | 9                    |
| <b>Plataforma</b>        | 3                  | 12,7                            | 3                    |
| <b>Bancada</b>           | 8                  | 6,5                             | 11                   |

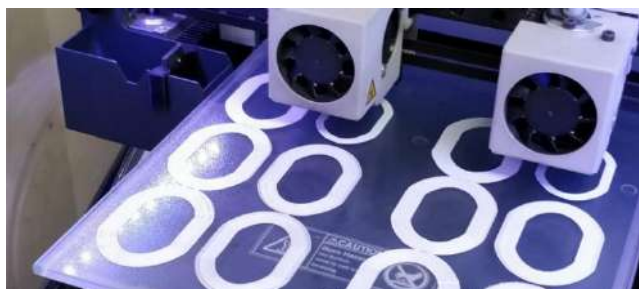
De la tabla anterior se puede concluir que para poder disminuir el tiempo de impresión es necesario

utilizar 38 impresoras 3D que trabajaran de forma simultánea y cada una está designada para una pieza en específico. De este modo se realiza otra simulación con los nuevos tiempos para obtener los resultados, de forma ideal y con error.

Los resultados de las dos siguientes simulaciones indican un numero de producción mensual de 14. Los resultados se pueden revisar en el anexo siete.

De este modo se demuestra que para la máxima optimización de la planta de producción es necesario disminuir lo mejor posible el tiempo de impresión 3D, además de economizar en espacio, ya que para aumentar la producción y disminuir el tiempo de impresión 3D es obligatorio la implementación de más y más impresoras 3D.

La tecnología IDEX, es capaz de incrementar la producción y disminuir a la mitad la impresión de objetos idénticos, y dado a que existen varias piezas que se repiten entre módulos, se implementara esta tecnología, la Figura 93 muestra el funcionamiento de este sistema.



*Figura 93. Tecnología IDEX [Fuente: [87]]*

Con el uso de esta tecnología es posible dividir a la mitad o incluso mas el tiempo de fabricacion de piezas similares, considerando esto y que se han considerado las cantidades de cada pieza indicados en las tablas de los anexos. Los tiempos mayormente optimizados y numero de maquinas quedan de la siguiente manera. Indicados en la Tabla 23

*Tabla 23. Tiempos de impresión 3D con tecnología IDEX*

| <b>Módulo</b>            | <b>Nro. Piezas</b> | <b>Impresión/ pieza [h]</b> | <b>Nro. Máquinas</b> |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>Cabezal impresión</b> | 8                  | 6,47                        | 8                    |
| <b>Carro Derecho</b>     | 6                  | 3,28                        | 7                    |
| <b>Carro Izquierdo</b>   | 3                  | 3,28                        | 3                    |
| <b>Extrusor</b>          | 7                  | 3,23                        | 7                    |
| <b>Pórtico</b>           | 3                  | 1,61                        | 9                    |
| <b>Plataforma</b>        | 3                  | 3,17                        | 5                    |
| <b>Bancada</b>           | 8                  | 3,4                         | 14                   |

Al implementar esta tecnología el numero de maquinas aumento muy poco y el tiempo de fabricacion se redujo mucho, quedando de este modo para una primera simulacion de analisis los tiempos de fabricacion indicadon en la Tabla 24, y el numero de maquinas y tecnologia utilizada, como punto de partida. Indicando los tiempos de forma ideal y con error humano, tal y como se realizo en la Tabla 21.

*Tabla 24. Tiempos optimizados con tecnología IDEX*

| <b>Módulo</b>            | <b>T2 [h]</b> | <b>T2E [h]</b> |
|--------------------------|---------------|----------------|
| <b>Cabezal impresión</b> | 6,47          | 7,44           |
| <b>Carro Derecho</b>     | 3,28          | 3,77           |
| <b>Carro Izquierdo</b>   | 3,28          | 3,77           |
| <b>Extrusor</b>          | 3,23          | 3,71           |
| <b>Pórtico</b>           | 1,61          | 1,85           |
| <b>Plataforma</b>        | 3,17          | 3,64           |
| <b>Bancada</b>           | 3,4           | 3,91           |

De este modo se determina el uso de 45 impresoras tridimensionales de las cuales 18 deben tener tecnología IDEX. De modo que se ha determinado y justificado en primera instancia el recurso tecnologico para la fabricacion de piezas por impresión 3D.

Para la zona dos, que se refiere a mecanizados CNC, se requiere de una maquina versatil y precisa, la cual tenga la propiedad de poder trabajar con casi cualquier material, siendo de interes el MDF y los aceros, de este modo se determina que se necesita

una maquina con tecnologia por fibra laser, que puede manejar los materiales anteriormente mencionados. Tambien los tiempos de produccion mostrados en la Tabla 21, para el corte laser son tomados como referencia del uso de una maquina de corte laser por CO2 de 80W de potencia, con una velocidad de 5,25 mm/s. considerando que la tecnologia de laser por fibra es mejor y mas rapida, se determina optima la selección de una maquina de estas características y de un area de trabajo mayor o igual a las planchas y placas de material que tienen un tamaño estandar de 1200 x 2400 mm.

Los demas aditamentos, accesorios y muebleria industrial necesitada para cada zona esta determinada de la siguiente manera:

1. Zona Uno: esta zona requiere de muebles o estanterias para el ordenamiento de las impresoras 3D, tambien se requiere de estanterias para la ubicación del filamento necesitado para imprimir, en este caso se debe adquirir el material sugerido en el pliego de condiciones. Tambien se requiere de un organizador movil para el transporte de las piezas impresas en 3D hacia la zona cuatro de ensamblaje.

2. Zona Dos: esta zona requiere de racks o estanterías para la organización de la materia prima, además de carros o módulos organizadores móviles, requeridos para la transportación de las piezas procesadas hacia la zona cuatro de ensamblaje.
3. Zona Tres: esta zona requiere de estanterías para la organización de materiales importados y adquiridos localmente, además de espacio para poder ubicar las impresoras 3D ya fabricadas.
4. Zona Cuatro: esta zona requiere de mesas de trabajo para el ensamblaje de componentes, también requiere de organizadores para la mejor manipulación de los materiales, es necesario para cada estación de ensamble cajas de herramientas.
5. Zona Cinco: esta zona, considerada como administrativa que trabaja virtualmente en conjunto con las demás zonas, debe estar equipada con escritorios, sillas y estanterías con el fin de tener un mostrador de las máquinas, y ser también un lugar de comercialización de las máquinas.

Establecidas y determinadas las funciones y recursos necesarios para la distribución en planta, se ha

adjuntado en el anexo cuatro una lista de recursos organizada por las zonas de la planta. En esta se indica, la cantidad, descripción y valor de cada recurso. De este modo se tiene una primera representación de la distribución en planta. Los valores de cada recurso han sido tomados de la plataforma mercado libre y son referenciales para un primer cálculo de la viabilidad económica de la planta de producción, tema que será abordado en la siguiente sección.

Para poder representar los recursos, Delmia ha clasificado los tipos de recursos disponibles, y la función que estos cumplen, estos se describen a continuación:

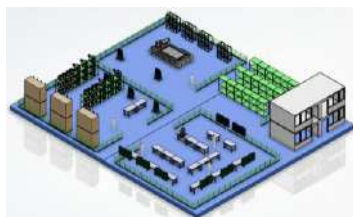
Area: este recurso tiene la función de organizar y su conexión con las operaciones indican la función de decir en donde se encuentra otros recursos

- ManufacturingCell: permite organizar un conjunto de recursos
- Worker: este recurso indica operaciones de trabajo
- Robot: al igual que worker, pero este no es programable
- Transport: indica recursos de transporte
- NC Machine: trabajo quien

- Industrial Machine: trabajo quien
- Inspect: trabajo quien
- Conveyor: trabajo quien
- Tool equipment: no trabajo con
- Storage: no trabajo con
- Control equipment: trabajo quien
- Logic controller: trabajo quien
- Sensor: no trabajo con
- User defined resource: no trabajo con

A cada recurso anteriormente mencionado, se puede implementar un objeto 3D, el cual tendra el tamaño y forma mas aproximada a los que se comercializan actualmente en el mercado, de esta forma y con la estructura representada en la Figura 91, se ha conseguido implementar digitalmente la planta de produccion.

La Figura 94 muestra la distribucion en planta elejida con todos los recursos necesarios a simple vista.



*Figura 94. Distribución en planta de la Fabrica DAP3D*

Esta distribución es definitiva aun que los recursos, es decir maquinas, contenedores y dispositivos de almacenamiento pueden variar, y estos serán definidos en concreto en el cálculo de viabilidad de la planta de producción.

En la Figura 95;

- a) Representa la zona uno, en donde esta implementada impresoras 3D con tecnología IDEX y muebles de almacenamiento para los filamentos necesarios, la zona es controlada por un operario.
- b) Representa la zona dos, donde se implementan dos maquinas de corte laser, de tamaño industrial, y rack industriales para el alojamiento de planchas de acero, MDF y de mas materiales que serán cortados, esta zona es controlada por un operario.
- c) En esta zona, se ha implementado las cuatro estaciones de ensamble en donde se tiene tres operarios, los cuales ensamblaran al mismo tiempo los modulos.
- d) En esta zona, se tienen los componentes importados y comprados a nivel nacional, tambien se almacenan las impresoras listas, para su envio a cliente o distribuidor final.

a) Zona Uno



b) Zona Dos



c) Zona Cuatro



d) Zona Tres



*Figura 95. Zonas de la planta de producción*

## **Viabilidad económica de la planta de fabricación**

### **Introducción**

En esta sección se realizará un estudio aproximado de los recursos necesarios para el funcionamiento de la planta de fabricación, para esto se toma como referencia la distribución de planta anteriormente descrita.

Se realizará una investigación de los precios que están actualmente en el mercado ecuatoriano de cada recurso que se necesite. También se realizará un

estudio de los recursos económicos necesarios para el funcionamiento de la planta en un lapso de un año.

Por último, se realizará el cálculo de viabilidad económica determinada por el valor actual neto (VAN) y la tasa de interés de retorno (TIR) valores indicadores del comportamiento económico de la planta de fabricación.

### **Recursos de planta (activos fijos)**

Los recursos fijos de planta son aquellos que se adquieren con el fin de no venderlos, y estos servirán a largo plazo para la producción de las impresoras dentro de la fábrica.

Estos recursos están repartidos en cuatro zonas, en donde se lleva a cabo un proceso distinto, y se ha establecido de la siguiente manera:

Zona Uno: esta zona es donde se lleva a cabo las operaciones de impresión 3D, por lo que consta de impresoras 3D, estanterías para la organización de las impresoras, además de cajoneras para almacenar la materia prima utilizada, en este caso el filamento. Para facilidad del uso de las impresoras esta zona deberá consta de una red ethernet para su comunicación y control mediante una computadora. También cuenta con mesas de trabajo y una caja de

herramientas para la remoción de material soporte de las impresiones. Por último, se necesita de organizadores móviles, los cuales sirven para clasificar las partes impresas y movilizarlas hacia sus estaciones de ensamblaje

Zona Dos: en esta zona se realiza el corte de piezas por láser, y también se dispone de una sierra mecánica para el corte de perfilería en general, esta sección dispone de estanterías y rack industriales para el almacenamiento de materia prima, en este caso planchas de MDF y acero. Por último, se tiene organizadores móviles para la movilización de partes a sus estaciones de ensamble

Zona Tres: en esta zona se almacena el material que es comprado e importado, por lo que se requiere de estanterías, y montacargas para la manipulación de los materiales.

Zona Cuatro: en esta zona se realiza la operación de ensamble, en donde se utilizará mesas de trabajo, organizadores para el fácil acceso de piezas, cajas de herramientas para las operaciones de ensamble y estanterías para almacenar misceláneos

Zona Cinco: en esta zona se tiene la parte administrativa y comercial de la planta de

fabricación, la cual consta con escritorios personales, computadores, vitrinas y asientos para los clientes. En el Anexo Cuatro se especifican a detalle todos los recursos considerados para este primer cálculo de la viabilidad económica.

Al haber determinado cada uno de los recursos necesarios para la distribución de planta, el último recurso que se necesita es el terreno y la nave en donde se implementaran todos los recursos, para esto se ha determinado la ubicación de la planta, la cual debe estar en un lugar estratégico, que no sea cerca de sectores residenciales, y sea accesible. Con este criterio se ha elegido el sector sur de la ciudad de Quito, por la ventaja de su valor bajo por metro cuadrado y accesibilidad. También se ha considerado el costo de construcción por metro cuadrado, el cual no abarca acabados de lujo, solamente funcionales y acordes a una planta de fabricación industrial, la Tabla 25 muestra los valores.

*Tabla 25. Valores del terreno de la planta de fabricación*

| TERRENO Y CONSTRUCCIÓN |          |          |                                     |          |              |
|------------------------|----------|----------|-------------------------------------|----------|--------------|
| Código                 | Cantidad | Producto | Descripción                         | Precio   | Total        |
| 31T                    | 350      | Terreno  | Terreno o lugar para la fabrica     | \$150,00 | \$52.500,00  |
| 35C                    | 200      | Nave     | Construcción sin terminados de lujo | \$380,00 | \$76.000,00  |
|                        |          |          |                                     | Total    | \$128.500,00 |

### Recursos de funcionamiento (activos circulantes)

La Tabla 26 muestra los valores de los gastos mensuales para el funcionamiento normal de la planta de fabricación, dentro de estos valores se contemplan los sueldos del personal, así como los recursos que estos necesitan.

*Tabla 26. Valores de los gastos mensuales de la planta de producción*

| <b>GASTOS MENSUALES</b> |                 |                                      |                        |               |                     |
|-------------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|---------------|---------------------|
| <b>Código</b>           | <b>Cantidad</b> | <b>Producto</b>                      | <b>Descripción</b>     | <b>Precio</b> | <b>Precio Total</b> |
| <b>3L</b>               | 800             | LUZ                                  | kW/h                   | \$ 0,13       | \$ 100,24           |
| <b>4ª</b>               | 60              | AGUA                                 | m3                     | \$ 0,48       | \$ 28,80            |
| <b>8I</b>               | 1               | INTERNET                             | Plan oficina           | \$ 60,00      | \$ 60,00            |
| <b>8º</b>               | 5               | OPERARIO                             | técnico u tecnólogo    | \$ 350,00     | \$ 1.750,00         |
| <b>9I</b>               | 1               | INGENIERO                            | Mecánico y software    | \$1.100,00    | \$ 1.100,00         |
| <b>8L</b>               | 1               | LIMPIEZA                             |                        | \$ 360,00     | \$ 360,00           |
| <b>8G</b>               | 50              | GASOLINA                             | Extra                  | \$ 2,00       | \$ 100,00           |
| <b>8M</b>               | 2               | MNT AUTO                             | Dos camionetas         | \$ 150,00     | \$ 300,00           |
| <b>10P</b>              | 1               | Publicidad                           | Redes sociales         | \$ 300,00     | \$ 300,00           |
| <b>80ª</b>              | 1               | <i>Access best-in-class Planning</i> | 3DEXPERIENCE           | \$ 474,00     | \$ 474,00           |
| <b>16C</b>              | 1               | COMUNITY MANAGER                     | Marketing y publicidad | 800           | 800                 |
|                         |                 |                                      |                        | Total         | \$ 5.373,04         |
|                         |                 |                                      |                        | AL AÑO        | \$64.476,48         |

Para complementar el valor de los gastos mensuales se debe considerar el valor de la materia prima para la fabricación de una DAPMONSTER, para esto se detalla los valores de cada módulo en Tabla 27.

*Tabla 27. Valores de los insumos y materia prima para la creación de una DAPMONSTER*

| DAPMONSTER INSUMOS |          |                |          |              |
|--------------------|----------|----------------|----------|--------------|
| Código             | Cantidad | Producto       | Precio   | Precio Total |
| 7C                 | 1        | CABEZAL        | \$ 46,34 | \$ 46,34     |
| 10C                | 1        | CARRO DERE     | \$ 14,13 | \$ 14,13     |
| 9C                 | 1        | CARRO IZQ      | \$ 18,90 | \$ 18,90     |
| 14M                | 1        | MODULO CONTROL | \$ 58,22 | \$ 58,22     |
| 8E                 | 2        | EXTRUSOR       | \$ 18,91 | \$ 37,82     |
| 7P                 | 1        | PÓRTICO        | \$ 47,36 | \$ 47,36     |
| 10P                | 1        | PLATAFORMA     | \$ 77,10 | \$ 77,10     |
| 7B                 | 1        | BANCADA        | \$ 99,68 | \$ 99,68     |
|                    |          |                | Total    | \$ 399,56    |
|                    |          |                | AL AÑO   | \$115.073,28 |

El valor unitario de \$ 399,56 corresponde a los insumos comprados, importados y fabricados que compone la DAPMONSTER, no se contempla la mano de obra ni el diseño ingenieril, ya que estos rubros se cubren dentro de los pagos mensuales de los operarios e ingenieros a cargo de su desarrollo. El valor unitario se debe considerar en función del número de máquinas a fabricar por un año de producción. Se ha considerado un número mínimo de producción de 24 máquinas, por lo que se necesita un

capital anual de \$ 115.073,28 para la adquisición de insumos.

### **Cálculo del VAN y TIR**

El cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), son indicadores de la viabilidad económica de un proyecto, y a partir de estos valores es posible determinar el número de unidades que se deben comercializar para generar ingresos.

Al obtener estos resultados se puede optimizar la producción en planta lo máximo posible, utilizando los recursos ya establecidos y recalcular estos valores.

Para este cálculo se ha determinado el escenario en un periodo de cinco años, la Tabla 28 muestra un desglose de estos valores en el transcurso de este tiempo.

Se tiene tres valores de flujo de caja, estos son:

- Flujo benefico: este representa el valor económico de ganancias que se genera en un año con la venta de un cierto número de unidades, con el fin de ejemplificar se ha considerado la venta mínima de 24 unidades

mensuales, y que la demanda del producto no varía en el transcurso de los cinco años. Este valor puede aumentar o disminuir dependiendo del mercado actual.

- Flujo costo: estos representan los valores de gasto anual para la producción de las impresoras, los valores desglosados, son los gastos anuales en personal y materia prima, y de forma ideal se mantiene constante sin fluctuaciones de precios, ya sea de alza o baja.
- Flujo beneficio neto: este valor representa la ganancia anual de la planta de producción, el cual es la resta de las ganancias generadas por las ventas con los gastos para la producción de estas.

El cálculo del VAN permite reflejar el valor actual del dinero en función del tiempo, en donde este se reduce según el interés que la banca, en caso de préstamo, o la inflación del mercado, en caso de tener el capital. Para su cálculo se necesita especificar la ganancia anual y el capital inicial para poner en funcionamiento a la planta de producción. El capital inicial necesitado es la suma de los valores de los recursos fijos de la distribución de planta y efectivo de un año para la adquisición de insumos y pago de

personal. Para el funcionamiento de la planta se necesita de un monto de \$373.232,10, monto inicial con el que se adquiere todos los insumos listados de la Tabla 54 a la Tabla 25 y capital para el funcionamiento y producción de un año, valores indicados en la Tabla 26 y en Tabla 27, además se supone que el dinero es un préstamo bancario el cual clasifica a la planta de producción dentro del segmento productivo PYMES con una tasa anual máxima de interés de 11.83%.

*Tabla 28. Flujo de caja de la planta de producción*

| CALCULO VAN Y TIR |                  |                  |                      |                |             |
|-------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------|-------------|
| Años              | Flujo Beneficio  | Flujo costo      | Flujo beneficio neto | Ganancia Anual | Interés (k) |
| <b>0</b>          | <b>0</b>         | \$<br>385.481,34 | \$ -385.481,34       |                |             |
| <b>1</b>          | \$<br>287.712,00 | \$<br>179.649,00 | \$ 108.063,00        | \$ 96.631,50   |             |
| <b>2</b>          | \$<br>287.712,00 | \$<br>179.649,00 | \$ 108.063,00        | \$ 86.409,28   |             |
| <b>3</b>          | \$<br>287.712,00 | \$<br>179.649,00 | \$ 108.063,00        | \$ 77.268,42   | 11,83%      |
| <b>4</b>          | \$<br>287.712,00 | \$<br>179.649,00 | \$ 108.063,00        | \$ 69.094,54   |             |
| <b>5</b>          | \$<br>287.712,00 | \$<br>179.649,00 | \$ 108.063,00        | \$ 61.785,33   |             |

El cálculo del TIR permite reflejar la tasa máxima que podría tener el proyecto, y su cálculo se genera a partir del valor en cero del VAN.

Y el índice de rentabilidad refleja un numero adimensional que al ser mayor que la unidad demuestra que el proyecto genera ganancias con respecto al capital de inversión.

Para esta ejemplificación se han tomado la venta de 24 DAPMONSTER mensuales, y los valores de VAN y TIR están indicados en la Tabla 28, indicando que es un proyecto viable pero no muy atractivo ya que al quinto año de funcionamiento de la planta se tiene una ganancia neta de \$ 5.707,74, además que el TIR está muy cerca del interés impuesto por el banco, con un valor de 12%, es decir que, si este fluctúa incrementalmente, el proyecto no es viable. En resumen, la Tabla 29 muestra los valores netos que se deben cumplir para un beneficio y funcionamiento normal de la planta de fabricación.

*Tabla 29. Resumen económico de la producción de planta*

| DAPMONSTER INSUMOS |                   |           |              | Recuperación de capital (meses) | Recuperación de capital (Máquinas) |
|--------------------|-------------------|-----------|--------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Producto           | Descripción       | Precio    | Precio Total |                                 |                                    |
|                    | Inversión inicial |           | \$385.481,34 |                                 |                                    |
| DAPMONSTER         | Precio Venta      | \$ 999,00 | \$23.976,00  | 18                              | 432                                |

La Tabla 29 muestra el valor de venta al público de la DAPMONSTER de \$999, con la venta de 24 máquinas mensualmente se recupera el capital en 18 meses o se deben vender 432 máquinas.

Este cálculo se volverá a efectuar al haber optimizado lo mejor posible el PP de la DAPMONSTER, y será

viable siempre y cuando el número de impresoras mensuales fabricadas sea mayor a 24 unidades.

Este cálculo se volverá a efectuar al haber optimizado lo mejor posible el PP de la DAPMONSTER, y será viable siempre y cuando el número de impresoras mensuales fabricadas sea mayor a 24 unidades. Este valor de producción mensual deberá ser el mínimo para que sea viable la planta de producción de impresoras 3D, de modo que se debe optimizar el PP para la obtención más optimizada posible con los recursos ya descritos en la distribución en planta.



## **Capítulo 4.** Análisis de los Resultados de la Simulación de Fabricación





## **Capítulo 4 - Análisis de los Resultados de la Simulación de Fabricación**

### **Introducción**

En este capítulo se realizará el análisis de las simulaciones del plan de procesos y la distribución de los recursos en la planta de producción.

La simulación del plan de procesos se indica las impresoras producidas en el tiempo laboral determinado en la Tabla 21, con la simulación es posible indicar el comportamiento de los sistemas, tiempos de uso, cuellos de botella, y la trazabilidad de los productos y sus estados en planta. En un principio no se realizará modificaciones de tiempos de operación ni modificación de partes o piezas de la DAPMONSTER, solo se identificará la productividad de la planta, y evaluará con el número de unidades mínimas determinadas en el capítulo anterior.

Después de los primeros resultados se analizará las posibles mejoras en el PP y optimizará lo máximo posible para la obtención del mayor número de unidades mensuales.

Al obtener la máxima capacidad de la planta se indicará y especificará las operaciones de cada recurso de la planta de fabricación y su uso.

### **Simulación del plan de procesos**

En primera instancia se ha realizado la simulación usando la estructura determinada en la Figura 82 y los tiempos de las operaciones de la Tabla 19.

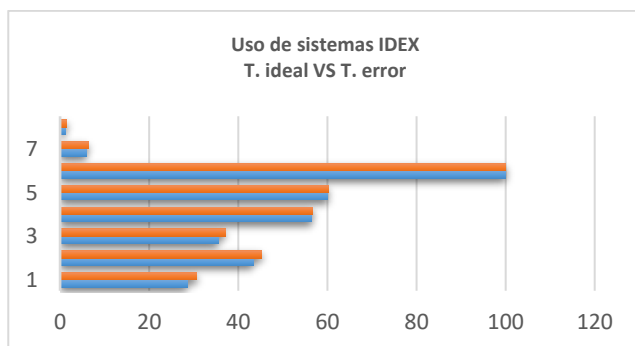
Al haber identificado todas las gráficas que ofrece el simulador de Delmia, se han obtenido dos resultados, uno con tiempos ideales de producción y el otro resultado con tiempos considerando el error humano en planta. En la Tabla 30 se indica la numeración con los que se han generado las gráficas que se verán a continuación.

*Tabla 30. Numeración de sistemas de procesos*

| <b>Numero</b> | <b>Sistema</b>               |
|---------------|------------------------------|
| <b>1</b>      | <b>E. Eje X A.1</b>          |
| <b>2</b>      | <b>E. Eje Z PORTICO</b>      |
| <b>3</b>      | <b>E. BANCADA TOTAL</b>      |
| <b>4</b>      | <b>MANUFACTURA EJE Z</b>     |
| <b>5</b>      | <b>MANUFACTURA EJE Y</b>     |
| <b>6</b>      | <b>MANUFACTURA EJE X</b>     |
| <b>7</b>      | <b>M. PORTICO EN BANCADA</b> |
| <b>8</b>      | <b>M. EJE X EN PORTICO</b>   |

De este modo se ha resumido los resultados en las siguientes graficas.

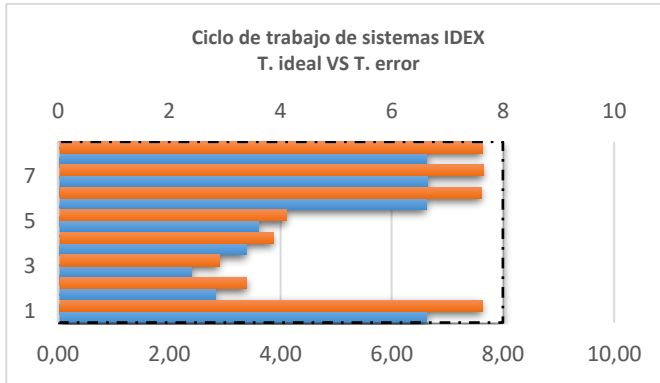
La Gráfica 3 muestra una comparativa de los porcentajes de uso de los sistemas de manufactura del PP, en color naranja son los valores obtenidos de la simulación con los tiempos de error humano en planta y de color azul la simulación con los tiempos ideales.



*Gráfica 3. Uso de los sistemas del PP de la DAPMONSTER*

Estos valores indican que para el sistema de manufactura del eje X tiene un uso al máximo del 100%, y el menor utilizado es el sistema de ensamble de los módulos pórtico y bancada.

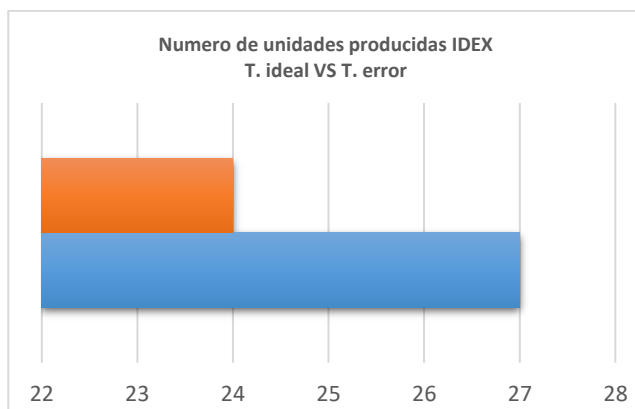
La Gráfica 4 muestra los ciclos de trabajo de los sistemas, en donde se puede denotar que para el caso en el que se considera el error humano en planta sobrepasa el tiempo de ciclo diario que es de ocho horas laborables, esto quiere decir que no se termina de procesar las operaciones a cabalidad en un solo día. Mientras que los resultados de la simulación con tiempos ideales, si completan sus operaciones dentro de las horas laborables.



*Gráfica 4. Tiempos de ciclos de trabajo de los sistemas del PP de la DAPMONSTER*

La Gráfica 4 también indica los ciclos de trabajo maximos de cada sistema, del cual se puede indicar que el de mayor duración es el de ensamble del montaje del pórtico en la bancada, esto se debe a que en las operaciones anteriores existe un retraso de llegada de los módulos para complementar esta operación.

La Gráfica 5 muestra el número de unidades producidas mensualmente en ambos escenarios, para el escenario con error humano se tiene 24 unidades producidas, mientras que para el escenario ideal se tiene 27 unidades.



*Gráfica 5. Número de unidades producidas por el PP de la DAPMONSTER*

En un escenario ideal, con los recursos ya establecidos y sin la modificación de tiempos ni añadidura de horas laborables, la planta es viable, aunque si existiera algún retraso o accidente, no se complementa con el número mínimo de unidades determinadas en la Tabla 29 y se perdería dinero. Los resultados económicos de la Tabla 28 no son muy atractivos por lo que es necesario optimizar el PP.

### **Optimización del plan de procesos**

Con las dos simulaciones anteriores se determinó que el cuello de botella está ubicado en la operación de impresión 3D del módulo cabezal, esto se debe a que una pieza necesita de mucho tiempo para ser

fabricada en comparación a las demás, con la disminución del tiempo de fabricación se podrá optimizar la producción, en el anexo seis en la

Tabla 61 la pieza a tratar es denominada guía de cables, y existen dos posibilidades para optimizar el tiempo de impresión:

- Modificar la geometría de esta pieza, o cortarla en dos o tres partes y analizar nuevamente si es necesario añadir una impresora 3D
- Modificar la configuración y parámetros de impresión 3D en el software de rebanado.

Ambas opciones son muy validas, pero la más fácil es la segunda, de este modo solo se modifica la programación de la impresora 3D y no se debe tocar a la figura ni mucho menos a los recursos de la distribución de planta.

Se ha determinado de forma general los parámetros de impresión indicados en la Tabla 18, y para poder disminuir el tiempo se necesita cambiar los siguientes aspectos:

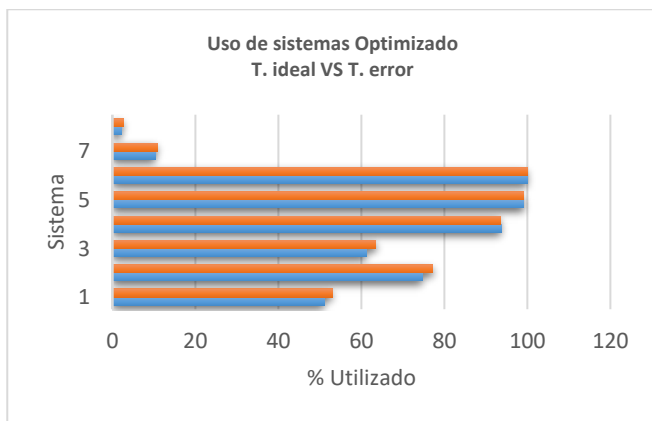
- Altura de capa, se ha aumentado a un valor de 0.35mm

- Porcentaje de relleno: se ha disminuido en un 20%

Tras estas dos modificaciones, el tiempo de impresión se redujo casi la mitad de su tiempo anterior, obteniendo un tiempo de 3 horas 48 minutos.

Al haber reducido el tiempo de impresión del componente, se obtienen los siguientes resultados:

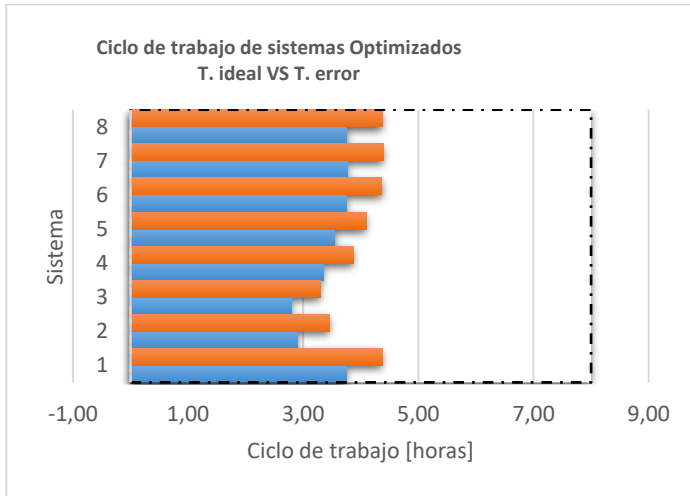
La Gráfica 6 muestra los resultados del porcentaje de uso de los sistemas, en donde se puede denotar un aumento en su uso



*Gráfica 6. Porcentaje de uso de sistemas para el PP optimizado*

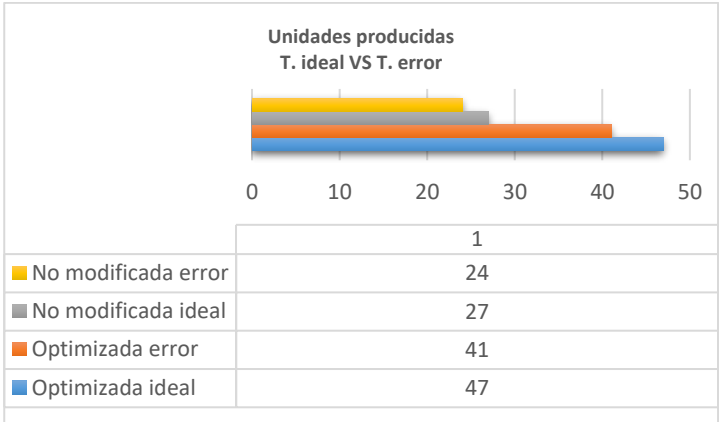
La Gráfica 7 muestra el ciclo de trabajo de los sistemas, estos se redujeron aproximadamente la

mitad con respecto a la simulación anterior, siendo la producción diaria mucho más eficiente, de este modo se obtiene mayor número de impresoras producidas.



*Gráfica 7. Ciclos de trabajo de los sistemas del PP optimizado*

La Gráfica 8 muestra una comparativa entre las diferentes propuestas del PP con su capacidad de producción, y se puede demostrar que gracias a la intervención en el cuello de botella se pudo duplicar la producción, así como también el uso de cada sistema.



*Gráfica 8. Comparativa de unidades producidas mensualmente*

Con el nueva capacidad de la planta de fabricacion, es necesario recalculer los valores del VAN y TIR. La Tabla 31 muestra los valores recalculados y se presentan todos los escenarios simulados.

*Tabla 31. Comparativa económica en función de la producción mensual de la DAPMONSTER*

| <b>Produccion</b>            | <b>24</b> | <b>27</b> | <b>41</b> | <b>47</b> |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>VAN</b>                   | 18316,22  | 69442,80  | 366873,09 | 494343,21 |
| <b>TIR</b>                   | 0,14      | 0,19      | 0,40      | 0,47      |
| <b>I. RENT</b>               | 1,05      | 1,17      | 1,79      | 2,00      |
| <b>Recuperación meses</b>    | 18        | 17        | 13        | 12        |
| <b>Recuperación maquinas</b> | 432       | 448       | 523       | 555       |

En el primer escenario con un PP sin optimización y con error humano de manufactura el proyecto no es viable y se tiene pérdidas a los cinco años con 45 mil dólares. En el segundo escenario se había dicho que es el punto de equilibrio del proyecto, en donde las ganancias son mínimas y este funciona de forma ideal, es decir que ante cualquier tipo de perturbación o error se generarían pérdidas.

El tercer y cuarto escenario muestran los resultados tras la optimización del PP, en donde se ha llegado a duplicar la producción mensual de impresoras, y en el último caso se tiene una ganancia mayor al capital invertido, en donde el proyecto se vuelve muy atractivo.

a) Ciclos de trabajo      b) Uso de sistemas      c) Cuello de botella      d) Inventario



*Figura 96. Resultados de las simulaciones en Delmia Process Plan Flow Simulation*

La Figura 96, muestra las gráficas obtenidas en la simulación, del cual se puede realizar una

comparativa entre los resultados de las cuatro simulaciones. En el anexo siete se indica a detalle los reportes generados, tras las cuatro simulaciones.

Para las dos primeras simulaciones sin la optimización de la operación de manufactura del eje X, el uso de los sistemas es muy bajo, es decir que no se aprovecha al máximo sus funciones. Esto cambia cuando se realiza el cambio en la operación de manufactura del eje X, en donde se aumenta el uso de los sistemas, siendo un PP más productivo.

El cuello de botella sigue siendo en todos los casos, en el sistema de manufactura del eje X, en donde se debe realizar un rediseño de componente, o el cambio de forma de manufacturarlo para la reducción del tiempo de fabricación. Siempre considerando el costo, beneficio, analizando nuevamente los indicadores económicos VAN y TIR.

Por último, para los cuatro casos el inventario en las operaciones, son de más del 70% de componentes en materia prima, esto quiere decir que no han sido procesadas y los trabajos no han quedado a medias, mientras que existe un 30% de componentes que se han quedado en una operación.



*Figura 97. Estado de inventario de las simulaciones del PP*

## **Simulación de la distribución en planta**

El objeto de esta simulación es indicar la asignación de operaciones a los recursos ya establecidos, con esto es posible analizar y balancear los recursos de cada zona de la planta. Se han de determinar operaciones solo en tres zonas, en donde los recursos de tipo trabajo se han establecido. La Figura 98 muestra los porcentajes de uso de cada recurso con respecto al ciclo de trabajo laboral establecido, de ocho horas laborables.



Figura 98. Balance de los recursos de planta

En las tres graficas del simulador, se han representado las zonas de; corte laser, ensamblado y de impresión 3D.

Todos los recursos muestran que son capaces de realizar todas sus actividades dentro del ciclo laboral, por lo que se determina que los recursos establecidos de manera inicial son suficientes y no se necesita de añadiduras en ningún aspecto.

Los recursos establecidos para la impresión 3D, están determinados por el objeto que más se demore en ser fabricado,





## **Capítulo 5. Conclusiones y Trabajos Futuros**





## Conclusiones y Trabajos Futuros

### Conclusiones

Los métodos usados en todos los tipos de manufactura aditiva, desarrollados hasta la actualidad proponen a futuro su creación y desarrollo, al igual que el estudiado en este TFM. Pudiendo así, decir que la idea de la planta de producción de impresoras 3D, engloba todos los sistemas de manufactura aditiva.

La investigación y desarrollo en la manufactura aditiva ha repercutido en la historia de la industria, siendo esta usada en casi cualquier campo, ofreciendo soluciones de fabricación muy versátiles y dirigidas. Disminuyendo el uso de los métodos tradicionales de fabricación. Y la comercialización de esta tecnología ha crecido abismalmente.

Gracias al proyecto RepRap, la facilidad de adquisición de impresoras 3D, aumento en gran cantidad, surgiendo oportunidades de todo tipo en la industria.

El estudio de la cinemática de las impresoras 3D, sugiere la creación de impresoras 3D multi modelo, pudiendo clasificarlas según su uso.

Prusa y Luzlbot, basan su proceso de fabricación por RepRap, mientras que Creality usa procesos de producción tradicionales. Esto por la diferencia de demanda, uso y aplicación que tiene cada uno. Se puede decir que marcas como BCN3D, MakerBot, Prusa y Luzlbot, dirigen su mercado a la industria, mientras que Creality a público en general y aficionados.

El incremento de importación de impresoras 3D en Ecuador, indica interés en su adquisición, también que su principal proveedor es China, y se puede decir que el público interesado en mayoría es aficionado y público en general.

Con el conocimiento adquirido la posibilidad de crear maquinas mejoradas y personalizadas, es posible sobresalir con las de importación, de este modo innovar y persistir en el mercado.

Se debe considerar mucho la zona de marketing para la implementación de nuevas estrategias y la atracción de diferentes campos y clientes en donde se pueda aplicar esta tecnología

Los requisitos de diseño y fabricación determinados para la DAPMONSTER son de alto interés para el

público en general, ya que supera las características de las maquinas comerciales.

Se ha optimizado el diseño de la DAPMONSTER con nuevos componentes, y nuevas simulaciones, obteniendo una mejor maquina tanto a nivel ingenieril y para su producción.

Se ha determinado que mientras más pequeños sean los movimientos de los ejes (X, Y o Z), la maquina debe ser capaz de aguantar frecuencias naturales elevadas, dicho esto la estructura debe ser más rígida y resistente y es recomendable utilizar la cinemática adecuada.

Al ordenar y establecer por módulos a la DAPMONSTER, es muy fácil la determinación de las operaciones de fabricación, También fue de mucha ayuda y simplificación la codificación de cada parte, así en planta es muy sencillo acceder a esta información. La determinación por módulos incurre a la posibilidad de fácil acceso a modificaciones y re uso en nuevos modelos de máquinas, ofreciendo versatilidad y reducción de tiempos en diseño y manufactura

La estructura del plan de procesos se diseñó a fin de obtener alta producción, y puede ser tomada como

base para la fabricación de otros modelos de impresora.

El VAN y TIR, son determinantes para la modificación de toda la planta y su producción, desde los componentes de máquina, estructura del plan de procesos, y distribución en planta ya que prima la economía sobre cualquier aspecto.

El VAN y el TIR consideran un punto de partida para determinación de la capacidad mínima de producción de la planta en función de la viabilidad económica

En la actual distribución en planta, existe la posibilidad de implementar nuevas zonas de fabricación, basado en su concepto de distribución híbrida y flexible.

Los recursos de la distribución de planta son suficientes para la producción actual de impresoras 3D, y puede ser agregada para un aumento en la producción.

Los resultados de las simulaciones indican que la producción está en función de la productividad de la granja de impresoras 3D, y es prescindible su automatización y mejoramiento, hasta que otra zona sea el cuello de botella.

Tras la investigación metódica, y desarrollo ordenado de este TFM, se ha logrado cumplir y alcanzar todos los objetivos planteados, y mediante simuladores, observar el comportamiento de la planta de fabricación, obteniendo los resultados expuestos en este trabajo.

### **Trabajos Futuros**

En el desarrollo de este TFM, han surgido varias interrogantes que no se han resuelto, ya que varias están fuera de los objetivos, pero que ayudarían ampliamente al desarrollo de todos los campos que se han abordado. Estos serán indicados a continuación:

El desarrollo de una base de datos de componentes CAD, que generen todos los parámetros que se requieren para generar, tablas con lista de materiales y sé que estos se organicen automáticamente por proceso de fabricación, además que estén conectadas con una red o proveedor que pueda proporcionar los componentes, disponibilidad y precio.

Desarrollo de un aplicativo que genere una estructuración del plan de procesos optimizada en todos los aspectos, en donde se utilice información

económica y evalué la mejor opción para obtener la mayor rentabilidad, comparando el uso de recursos con el beneficio económico mediante los indicadores utilizados en este TFM.

Desarrollo de un plan de fabricación para máquinas de manufactura aditiva de tecnología *Selective Laser Sintering* (SLS), que actualmente en varios países se están comercializando y popularizando por los reducidos costos que estas tienen, además que su desarrollo ingenieril solo cambia en el aspecto de la estructuración mecánica y electrónica, mas no en su control por software, esto quiere decir que se puede utilizar el mismo software con el que se ha diseñado la DAPMONSTER, modificarlo y acoplarlo a esta nueva tecnología.

Desarrollo de un plan de fabricación multi modelo que permita la construcción de varios modelos cinemáticos de impresoras 3D FDM, utilizando la misma estructura modular, con leves cambios, y realizar un análisis económico en donde se determine la cantidad exacta de unidades por modelo cinemático en función a la demanda del mercado actual.

Optimización del plan de fabricación actual, mediante el uso de AVG en planta, así como la

automatización completa del sistema de impresión 3D, mediante el uso de brazos robotizados y monitorización mediante inteligencia artificial, que en la actualidad se utiliza para la vigilancia de las impresoras 3D.





## **Bibliografía y Referencias**





## Bibliografía y Referencias

### Referencias Electrónicas

- [1] «Ingeniería concurrente aplicada al sector del calzado. Caso práctico - 3Ciencias». <https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/ingenieria-concurrente-aplicada-al-sector-del-calzado-caso-practico/> (accedido feb. 10, 2021).
- [2] «Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies». <https://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm> (accedido feb. 10, 2021).
- [3] F. Peng, B. D. Vogt, y M. Cakmak, «Complex flow and temperature history during melt extrusion in material extrusion additive manufacturing», *Addit. Manuf.*, vol. 22, pp. 197-206, ago. 2018, doi: 10.1016/j.addma.2018.05.015.
- [4] T. Caffrey, T. Wohlers, y I. Campbell, *Executive Summary*. 2016.
- [5] «File:Mendel.jpg - RepRap». <https://reprap.org/wiki/File:Mendel.jpg> (accedido feb. 10, 2021).
- [6] A. Awad, S. J. Trenfield, S. Gaisford, y A. W. Basit, «3D printed medicines: A new branch of digital healthcare», *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 548, n.º 1. Elsevier B.V., pp.

- 586-596, sep. 05, 2018, doi: 10.1016/j.ijpharm.2018.07.024.
- [7] R. Jones *et al.*, «Reprap - The replicating rapid prototyper», *Robotica*, vol. 29, n.º 1 SPEC. ISSUE, pp. 177-191, ene. 2011, doi: 10.1017/S026357471000069X.
- [8] J. Horvath y J. Horvath, «A Brief History of 3D Printing», en *Mastering 3D Printing*, Berkeley, CA: Apress, 2014, pp. 3-10.
- [9] «About us - Prusa3D - 3D Printers from Josef Průša». <https://www.prusa3d.com/about-us/> (accedido feb. 10, 2021).
- [10] M. Bhuvanesh Kumar y P. Sathiya, «Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges», *Thin-Walled Structures*, vol. 159. Elsevier Ltd, p. 107228, feb. 01, 2021, doi: 10.1016/j.tws.2020.107228.
- [11] «Historique | L'impression 3D : une (r)évolution industrielle». <https://impression3dindustrie.wordpress.com/reperes/historique/> (accedido feb. 10, 2021).
- [12] «Z Corp Spectrum Z510 Printer Lets FigurePrints Play Outside the Game - Digital Engineering 24/7». <https://www.digitalengineering247.com/article/>

- z-corp-spectrum-z510-printer-lets-figureprints-play-outside-the-game/ (accedido feb. 11, 2021).
- [13] «Acetone 3D Print Smoothing Guide: 6 Easy Steps | All3DP». <https://all3dp.com/2/acetone-3d-print-smoothing-easy-steps/> (accedido feb. 11, 2021).
- [14] «RapMan 3D Printer Review - Buy 3D Printer». <https://buy3dprinter.org/3d-printer-reviews/rapman3dprinter/> (accedido feb. 11, 2021).
- [15] «Using Lifelike 3D Models to Train for Complex Pediatric Surgery | Materialise - Innovators you can count on». <https://www.materialise.com/en/blog/complex-pediatric-surgery-training> (accedido feb. 10, 2021).
- [16] «Outside the Box: How GE Aviation Entered the Brave New World of Additive Manufacturing | The GE Aviation Blog | Aerospace & Flight News». <https://blog.geaviation.com/manufacturing/outside-the-box-how-ge-aviation-entered-the-brave-new-world-of-additive-manufacturing/> (accedido feb. 11, 2021).
- [17] «LulzBot Mini | LulzBot». <https://www.lulzbot.com/store/printers/lulzbot>

-mini#&gid=2&pid=2 (accedido feb. 13, 2021).

- [18] S. Barone, P. Neri, A. Paoli, A. V. Razionale, y F. Tamburrino, «Development of a DLP 3D printer for orthodontic applications», en *Procedia Manufacturing*, ene. 2019, vol. 38, pp. 1017-1025, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.187.
- [19] F. Cosmi y A. Dal Maso, «A mechanical characterization of SLA 3D-printed specimens for low-budget applications», en *Materials Today: Proceedings*, ene. 2019, vol. 32, pp. 194-201, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.602.
- [20] H. Chen, D. H. Cheng, S. C. Huang, y Y. M. Lin, «Comparison of flexural properties and cytotoxicity of interim materials printed from mono-LCD and DLP 3D printers», *J. Prosthet. Dent.*, oct. 2020, doi: 10.1016/j.prosdent.2020.09.003.
- [21] P. Cai *et al.*, «Effects of slurry mixing methods and solid loading on 3D printed silica glass parts based on DLP stereolithography», *Ceram. Int.*, vol. 46, n.º 10, pp. 16833-16841, jul. 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.03.260.
- [22] A. Nouri y A. Sola, «Electron beam melting in biomedical manufacturing», en *Metallic Biomaterials Processing and Medical Device Manufacturing*, Elsevier, 2020, pp. 271-314.

- [23] «Electron Beam Melting (EBM) | GE Additive». <https://www.ge.com/additive/ebm> (accedido feb. 11, 2021).
- [24] «Electron Beam Melting - Additively». <https://www.additively.com/en/learn-about/electron-beam-melting#read-more> (accedido feb. 11, 2021).
- [25] J. Milberg y M. Sigl, «Electron beam sintering of metal powder», *Prod. Eng.*, vol. 2, n.º 2, pp. 117-122, jun. 2008, doi: 10.1007/s11740-008-0088-2.
- [26] O. D. Jucan, R. Gădălean, H. F. Chicinaș, M. Hering, N. Bâlc, y C. O. Popa, «Study on the indirect selective laser sintering (SLS) of WC-Co/PA12 powders for the manufacturing of cemented carbide parts», *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 96, p. 105498, feb. 2021, doi: 10.1016/j.ijrmhm.2021.105498.
- [27] G. Hussain *et al.*, «Design and development of a lightweight SLS 3D printer with a controlled heating mechanism: Part A», *Int. J. Light. Mater. Manuf.*, vol. 2, n.º 4, pp. 373-378, dic. 2019, doi: 10.1016/j.ijlmm.2019.01.005.
- [28] S. Petzold, J. Klett, A. Schauer, y T. A. Osswald, «Surface roughness of polyamide 12 parts manufactured using selective laser sintering», *Polym. Test.*, vol. 80, p. 106094, dic. 2019, doi:

- 10.1016/j.polymertesting.2019.106094.
- [29] «DIY-SLS-3D-Printer : 30 Steps (with Pictures) - Instructables».  
<https://www.instructables.com/DIY-SLS-3D-Printer/> (accedido feb. 14, 2021).
- [30] «History of 3D Printing | Stratasys».  
<https://www.stratasys.com/explore/article/3d-printing-history> (accedido feb. 14, 2021).
- [31] F. M. Mwema y E. T. Akinlabi, «Basics of Fused Deposition Modelling (FDM)», en *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, Springer, 2020, pp. 1-15.
- [32] Krishnanand, S. Soni, y M. Taufik, «Design and assembly of fused filament fabrication (FFF) 3D printers», *Mater. Today Proc.*, oct. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.627.
- [33] B. Evans y B. Evans, «A World of 3D Printers», en *Practical 3D Printers*, Berkeley, CA: Apress, 2012, pp. 1-26.
- [34] T. Wakimoto, R. Takamori, S. Eguchi, y H. Tanaka, «Growable robot with 'additive-additive-manufacturing'», en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, abr. 2018, vol. 2018-April, pp. 1-6, doi: 10.1145/3170427.3188449.
- [35] B. M. Schmitt, C. F. Zirbes, C. Bonin, D. Lohmann,

- D. C. Lencina, y A. Da Costa Sabino Netto, «A comparative study of cartesian and delta 3d printers on producing PLA parts», en *Materials Research*, 2017, vol. 20, pp. 883-886, doi: 10.1590/1980-5373-mr-2016-1039.
- [36] «3D Printers with Different Kinematics: Comparison, Advantages and Disadvantages | Top 3D Shop». <https://top3dshop.com/blog/3d-printer-kinematics-explained> (accedido feb. 14, 2021).
- [37] A. Y. Abdelhamid, M. Abdeldayem, y M. H. Mabrouk, «LOW COST X-Y CORE POSITIONING SYSTEM USING STEPPER MOTOR», 2018.
- [38] A. R. Avdeev, A. A. Shvets, y I. S. Torubarov, «Investigation of Kinematics of 3D Printer Print Head Moving Systems», en *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, mar. 2020, pp. 461-471, doi: 10.1007/978-3-030-22041-9\_50.
- [39] «(4) Prusa Factory Tour! Print Farm / Prusament / SL1 / MK3S / Prusa Lab! - YouTube». <https://www.youtube.com/watch?v=BjoQw5fGk6Q> (accedido feb. 15, 2021).
- [40] «Sobre nosotros | Creality 3D». <https://www.creality.com/es/about-us> (accedido feb. 15, 2021).
- [41] «(4) Creality 3D Company Tour (2018) -

YouTube».

<https://www.youtube.com/watch?v=2cq7BGmq1lo> (accedido feb. 15, 2021).

- [42] «MakerBot Stories | Fixtures for Our Factory — and Yours | MakerBot».  
<https://www.makerbot.com/stories/news/makerbot-stories-fixtures-for-our-factory-and-yours/>  
(accedido feb. 15, 2021).

- [43] «(4) MakerBot HQ Where 3D Makers Are Made | TechCrunch Makers - YouTube».  
<https://www.youtube.com/watch?v=cC0B-1CcOmQ> (accedido feb. 15, 2021).

- [44] «A Trip Inside Makerbot's New Factory - Digg».  
<https://digg.com/2015/makerbot-new-factory>  
(accedido feb. 15, 2021).

- [45] «bcn3d logo - Búsqueda de Google».  
[https://www.google.com/search?q=bcn3d+logo&sxsrf=ALeKk022zAZLj2JajVlwlmdkk6AYf3AU4g:1613424082946&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwir3teK6ezuAhULw1kKHTx6DjIQ\\_AUoAXoECBQQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=wXAeq4bMIIHMIM](https://www.google.com/search?q=bcn3d+logo&sxsrf=ALeKk022zAZLj2JajVlwlmdkk6AYf3AU4g:1613424082946&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwir3teK6ezuAhULw1kKHTx6DjIQ_AUoAXoECBQQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=wXAeq4bMIIHMIM) (accedido feb. 15, 2021).

- [46] «(4) 22 3D Printers Working at once! RepRapBCN Factory - YouTube».  
<https://www.youtube.com/watch?v=EsKWCOIkUzs> (accedido feb. 15, 2021).

- [47] «(4) BCN3D gives us a backstage tour of its factory in Barcelona - YouTube». <https://www.youtube.com/watch?v=fohfMnkpKQ> (accedido feb. 15, 2021).
- [48] «About us - BCN3D Technologies». <https://www.bcn3d.com/about-us/> (accedido feb. 15, 2021).
- [49] «LulzBot 3D Printers: A Glimpse Into The Future of American Manufacturing». <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2015/04/30/lulzbot-3d-printers-a-glimpse-into-the-future-of-american-manufacturing/?sh=2d90e1ee1645> (accedido feb. 15, 2021).
- [50] «US 3D Printing: Market Demand, Growth, Share & Forecast 2024». <https://www.researchnester.com/reports/us-3d-printing-market/88> (accedido feb. 15, 2021).
- [51] «Global 3D Printing Software & Services Market – Analysis and Forecast (2017 to 2021)». <https://www.researchandmarkets.com/reports/4425006/global-3d-printing-software-and-services-market> (accedido feb. 15, 2021).
- [52] «Lista de los mercados proveedores para un producto importado por Ecuador Producto : 8443399000». <https://www.trademap.org>

(accedido feb. 15, 2021).

- [53] «Impresora 3d | MercadoLibre.com.ec». [https://listado.mercadolibre.com.ec/impresora-3d#D\[A:impresora 3d\]](https://listado.mercadolibre.com.ec/impresora-3d#D[A:impresora 3d]) (accedido feb. 15, 2021).
- [54] «2021 Best 3D Printers (February) | All3DP». <https://all3dp.com/1/best-3d-printer-reviews-top-3d-printers-home-3-d-printer-3d/> (accedido feb. 17, 2021).
- [55] «Titan Extruder – E3D Online». <https://e3d-online.com/collections/extruders/products/titan-extruder> (accedido feb. 18, 2021).
- [56] S. Grosu, C. Rodriguez-Guerrero, V. Grosu, B. Vanderborght, y D. Lefeber, «Evaluation and analysis of push-pull cable actuation system used for powered orthoses», *Front. Robot. AI*, vol. 5, n.º SEP, 2018, doi: 10.3389/frobt.2018.00105.
- [57] «Direct vs Bowden | Airwolf 3D». <https://airwolf3d.com/data/download-direct-vs-bowden/> (accedido feb. 19, 2021).
- [58] «linear bearing - Búsqueda de Google». [https://www.google.com/search?q=linear+bearing&sxsrf=ALeKk00K3A3Vvyqi\\_32e5sd-laFRXp7EAQ:1613751881578&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj4uqCdrvbuAhWBTjABHSsfA\\_wQ\\_AUoAXoECBAQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=0EK0zWE2S5tPIM](https://www.google.com/search?q=linear+bearing&sxsrf=ALeKk00K3A3Vvyqi_32e5sd-laFRXp7EAQ:1613751881578&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj4uqCdrvbuAhWBTjABHSsfA_wQ_AUoAXoECBAQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=0EK0zWE2S5tPIM) (accedido feb.

19, 2021).

- [59] «v slot profile and wheels - Búsqueda de Google».  
[https://www.google.com/search?q=v+slot+profile+and+wheels&sxsrf=ALeKk00Bqv6wLmwb503jUSIBf6xmVnXhg:1613753241416&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiYpNals\\_buAhVAQzABHYP2CtEQ\\_AUoAXoECA4QAw#imgsrc=HkMf3Zy9tTYpFM](https://www.google.com/search?q=v+slot+profile+and+wheels&sxsrf=ALeKk00Bqv6wLmwb503jUSIBf6xmVnXhg:1613753241416&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiYpNals_buAhVAQzABHYP2CtEQ_AUoAXoECA4QAw#imgsrc=HkMf3Zy9tTYpFM) (accedido feb. 19, 2021).
- [60] «Motor control loop - RepRap».  
[https://reprap.org/wiki/Motor\\_control\\_loop](https://reprap.org/wiki/Motor_control_loop) (accedido feb. 19, 2021).
- [61] «Belt Driven Linear Actuator Price - Treotham Automation».  
<http://www.treotham.com.au/component-data-centre/belt-driven-linear-actuator-price> (accedido feb. 19, 2021).
- [62] «China Gear Rack for Linear Motion Power Transmission Parts - China Rack, Gear Rack».  
<https://leadrack-taizhou.en.made-in-china.com/product/JvonlyVlhBrR/China-Gear-Rack-for-Linear-Motion-Power-Transmission-Parts.html> (accedido feb. 19, 2021).
- [63] «Single Phase Ball Screw Actuators, Valve Motion: Linear Motion Valve, 115 V AC, Rs 6000 /piece | ID: 21495561548».

- <https://www.indiamart.com/proddetail/ball-screw-actuators-21495561548.html> (accedido feb. 19, 2021).
- [64] «8 Bit 3D Printer Board Comparison | 3DAddict». <https://3daddict.com/8-bit-3d-printer-board-comparison/> (accedido feb. 19, 2021).
- [65] «2021 Best 3D Printer Controller Boards | All3DP». <https://all3dp.com/2/3d-printer-controller-boards/> (accedido feb. 19, 2021).
- [66] «Graphic LCD Display for RepRap 3D printers». <https://www.reprap.me/mks-tft28.html> (accedido feb. 19, 2021).
- [67] «3D Printing Layer Height: How Much Does It Matter? | All3DP». <https://all3dp.com/2/3d-printer-layer-height-how-much-does-it-matter/> (accedido feb. 20, 2021).
- [68] «Flow Rate benchmarking of a Hotend — CNC Kitchen». <https://www.cnckitchen.com/blog/flow-rate-benchmarking-of-a-hotend> (accedido feb. 20, 2021).
- [69] «Volcano HotEnd – E3D Online». <https://e3d-online.com/collections/hotends/products/volcano-hotend> (accedido feb. 20, 2021).
- [70] «Herringbone Gear - an overview | ScienceDirect Topics».

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/herringbone-gear> (accedido feb. 21, 2021).

- [71] «Motor paso a paso NEMA 17 stepper - Tienda Prometec».  
<https://store.prometec.net/producto/motor-nema-17-stepper/> (accedido feb. 21, 2021).
- [72] «Direct vs Bowden | Airwolf 3D».  
<https://airwolf3d.com/data/download-direct-vs-bowden/> (accedido feb. 21, 2021).
- [73] «USOS Y APLICACIONES».
- [74] «Linear Advance | Marlin Firmware».  
[https://marlinfw.org/docs/features/lin\\_advance.html](https://marlinfw.org/docs/features/lin_advance.html) (accedido feb. 21, 2021).
- [75] «Power-loss Recovery | Marlin Firmware».  
<https://marlinfw.org/docs/gcode/M413.html> (accedido feb. 21, 2021).
- [76] «Filament Tolerances – Precision 3D Filament».  
<https://precision3dfilament.com/blogs/news/15202543-filament-tolerances> (accedido feb. 21, 2021).
- [77] «InFiDEL - Inline Filament Diameter Estimator (lowcost) | PrusaPrinters».  
<https://www.prusaprinters.org/es/prints/57154-infiDANK> (accedido feb. 22, 2021).
- [78] «Prusa Knowledge Base | Mesh bed leveling».

- [https://help.prusa3d.com/en/article/mesh-bed-leveling\\_112163](https://help.prusa3d.com/en/article/mesh-bed-leveling_112163) (accedido feb. 22, 2021).
- [79] «Unified Bed Leveling | Marlin Firmware». [https://marlinfw.org/docs/features/unified\\_bed\\_leveling.html](https://marlinfw.org/docs/features/unified_bed_leveling.html) (accedido feb. 27, 2021).
- [80] «ATMEGA2560 pdf, ATMEGA2560 Descripcion, ATMEGA2560 datasheets, ATMEGA2560 Vista :: ALLDATASHEET »:  
<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/107092/ATMEL/ATMEGA2560.html> (accedido feb. 27, 2021).
- [81] «This is information on a product in full production. STM32F205xx STM32F207xx», 2020. Accedido: feb. 27, 2021. [En línea]. Disponible en: [www.st.com](http://www.st.com).
- [82] «What is process planning? | Elsevier Enhanced Reader». <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B9780750651295500039?token=12F77DCC31023086A8420A70F2FB2BA01F23FD052393926D08E0C6C110F1A291C4175D02C7FAB0ACB110FA6A77AD2710> (accedido mar. 01, 2021).
- [83] «Preparados para la 4ª revolución industrial Fabricación Aditiva».
- [84] K. M. Salas-Arias, C. Elena Madriz-Quirós, O. Sánchez-Brenes, M. Sánchez-Brenes, y J. Bautista

- Hernández-Granados, «Factores que influyen en errores humanos en procesos de manufactura moderna Factors that influence human errors in modern manufacturing processes», doi: 10.18845/tm.v31i1.3494.
- [85] E. Avilés, *Diseño y distribución en planta para la Empresa REENCAVI Compañía Anónima*. 2019.
- [86] «Localización, distribución en planta y manutención - Josep M. Vallhonrat, Josep María Vallhonrat Bou, Albert Corominas - Google Libros».  
[https://books.google.com.ec/books?id=B5Gch3V2XXcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=B5Gch3V2XXcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) (accedido abr. 25, 2021).
- [87] «Todo sobre la tecnología IDEX: duplicando la productividad con la mitad de inversión».  
<https://www.bcn3d.com/es/todo-sobre-tecnologia-idex-duplicando-productividad-con-la-mitad-de-inversion/> (accedido abr. 18, 2021).
- [88] «FIEL COPIA DEL ORIGINAL TAXFINCORP CÍA. LTDA. © 2020», 2020.





**Anexos**





## Anexos

### Lista de materiales de ingeniería (EBOM)

*Tabla 32. Lista de materiales de la bancada*

| ENSAMBLE BANCADA |                                |                  |                            |
|------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|
| Código           | Sub/Pieza                      | Referencia       | Material                   |
| 20ANSE           | Angulo modular base            | D001             | ABS                        |
| 16SOES           | Angulo refuerzo                | D002             | MDF                        |
| 12BOMM           | bocín dos                      | M5               | ABS                        |
| 12BOMM           | bocín uno                      | M5               | ABS                        |
| 16SYLT           | Correa sincrónica              | XL 10mm          | Fibra de vidrio y neopreno |
| 10EJMM           | Eje lineal                     | 12 x 620 mm      | Acero al carbono AISI 136  |
| 9FITO            | Filamento                      | 1kg              |                            |
| 20PLRA           | Final de carrera               | 5V 0.5A          |                            |
| 10FU2V           | Fuente de alimentación         | 12V 40A          |                            |
| 15MEOR           | Mecanismo tensor               | D103             |                            |
| 7NE23            | Motor a pasos                  | Nema 23          |                            |
| 5PAAS            | Patas regulables               | 3/8 x 1          |                            |
| 12PEMM           | Perfil V-slot                  | 30 x 30 x 590 mm | Aluminio 6060              |
| 12PEMM           | Perfil V-slot                  | 30 x 30 x 660 mm | Aluminio 6060              |
| 14PEON           | Perno                          | 5/16 x 1/2       | Acero ASTM A194            |
| 11POOD           | Polea dentada                  | GT2 40 dientes   | ABS                        |
| 9FU0T            | Polea sincrónica               | GT 2 20 dientes  | Aluminio                   |
| 12ANAS           | Refuerzo bancado               | D003             | MDF                        |
| 27COMA           | Refuerzo soporte ejes          | D004             | MDF                        |
| 11PO23           | Refuerzo soporte motor a pasos | D005             | PETG                       |
| 18AYAY           | Refuerzo soporte polea dentada | D006             | MDF                        |
| 9ROEA            | Rodamiento de bolas            | 605zz SFK        | Acero                      |
| 16PODE           | Soporte de Switch de encendido | D007             | MDF                        |

|               |                                       |                    |                 |
|---------------|---------------------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>17SOMM</b> | Soporte eje lineal                    | D008               | PETG            |
| <b>32SORA</b> | Soporte eje lineal con fin de carrera | D009               | PETG            |
| <b>16SOTO</b> | Soporte filamento                     | D010               | MDF             |
| <b>13SOTE</b> | Soporte fuente de alimentación        | D011               | MDF             |
| <b>13SO23</b> | Soporte motor a pasos                 | D012               | MDF             |
| <b>16POAS</b> | Soporte para patas                    | D013               | PETG            |
| <b>19SO.0</b> | Soporte polea dentada                 | D014               | PETG            |
| <b>12SWDE</b> | Switch de encendido general           | 110V / 220V<br>15A |                 |
| <b>10TACH</b> | Tapa conexiones Switch                | D015               | PLA             |
| <b>20AS4)</b> | Tornillo                              | M3 x 30            | Acero ASTM A194 |
| <b>19AS4)</b> |                                       | M3 x 6             | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS4)</b> |                                       | M4 x 12            | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS4)</b> |                                       | M5 x 30            | Acero ASTM A194 |
| <b>20TO +</b> |                                       | 5/16 x 1/2         | Acero ASTM A194 |
| <b>15TOAS</b> |                                       | 1/8 x 1/2 UNC      | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS 5</b> | Tuerca hexagonal                      | M5 G5              | Acero ASTM A194 |
| <b>21AS1)</b> |                                       | 3/8 G5 UNC         | Acero ASTM A194 |
| <b>22AS1)</b> |                                       | 5/16 G5 UNC        | Acero ASTM A194 |
| <b>5M3G5</b>  |                                       | M3 G5              | Acero ASTM A194 |
| <b>13TUAS</b> |                                       | 1/8 G5 UNC         | Acero ASTM A194 |
| <b>14RODA</b> | Varilla roscada                       | 3/8 B3             | Acero ASTM 193  |

*Tabla 33. Lista de materiales del sistema de extrusión*

| <b>ENSAMBLE SISTEMA DE EXTRUSION</b> |                     |                   |                 |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Código</b>                        | <b>Sub / Pieza</b>  | <b>Referencia</b> | <b>Material</b> |
| <b>14BOOR</b>                        | bocín colocación    | D001              | PLA             |
| <b>14CALA</b>                        | Case sensor fil     | D002              | PLA             |
| <b>13COFE</b>                        | Conector neumático  | M6                | Bronce          |
| <b>38LRV2</b>                        | Engranaje conducido | D008              | PLA             |
| <b>37HEV2</b>                        | Engranaje conductor | D003              | PETG            |
| <b>23EXHO</b>                        | Extrusor mecánico   | 40 x 40           | Aluminio        |
| <b>6NE17</b>                         | Motor a pasos       | Nema 17           |                 |
| <b>20AS7)</b>                        | Perno               | M5 x 50           | Acero ASTM A194 |

|               |                      |                 |                 |
|---------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| <b>26ASNC</b> |                      | 1/4 x 1 1/4 UNC | Acero ASTM A194 |
| <b>27ASNT</b> | Prisionero           | M4              | Acero 304       |
| <b>9ROEA</b>  | Rodamiento de bolas  | 605zz SFK       | Acero           |
| <b>24GUDE</b> | Soporte 605zz        | D004            | PLA             |
| <b>25GUE2</b> |                      | D005            | PLA             |
| <b>28EXTE</b> | Soporte del extrusor | D007            | MDF             |
| <b>17FIDA</b> | Switch               | 12v 1A          |                 |
| <b>13TAIL</b> | Tapa sensor fil      | D006            | PLA             |
| <b>20AS4)</b> | Tornillo             | M3 x 30         | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS4)</b> |                      | M3 x 35         | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS6)</b> |                      | M3 x 12         | Acero ASTM A194 |
| <b>5M3G5</b>  | Tuerca hexagonal     | M3 G5           | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS 5</b> |                      | M5 G5           | Acero ASTM A194 |
| <b>22AS1)</b> |                      | 5/16 G5 UNC     | Acero ASTM A194 |

*Tabla 34. Lista de materiales de la plataforma*

| ENSAMBLE PLATAFORMA |                        |               |                 |
|---------------------|------------------------|---------------|-----------------|
| Código              | Sub/Pieza              | Referencia    | Material        |
| 14BOOR              | bocín de silicón       | D001          | TPU             |
| 14POMA              | Case rodamiento lineal | D002          | PLA             |
| 12COMA              | Conector plataforma    | D003          | MDF             |
| 10COMA              | Corte plataforma 1     | D004          | MDF             |
| 10COMA              | Corte plataforma 2     | D005          | MDF             |
| 14LILA              | Limpia boquillas       | D006          | ABS             |
| 12PAON              | Pad de impresión 3D    | 500 x 500 mm  | Polycarbonato   |
| 15CAOD              | Placa de aluminio      | D007          | Aluminio 6060   |
| 19BO50              | Relé                   | 12V 50A       |                 |
| 12PLED              | Resistencia térmica    | 200 x 200 mm  | PCB             |
| 6LMUU               | Rodamiento lineal      | LM12uu        | Acero           |
| 20AS4)              | Tornillo               | M4 x 25       | Acero ASTM A194 |
| 20AS4)              |                        | M3 x 16       | Acero ASTM A194 |
| 20AS5)              |                        | M4 x 40       | Acero ASTM A194 |
| 20AS4)              |                        | M3 x 30       | Acero ASTM A194 |
| 15TOAS              |                        | 1/8 x 1/2 UNC | Acero ASTM A194 |
| 19AS5)              |                        | M4 x 6        | Acero ASTM A194 |
| 20AS 5              | Tuerca hexagonal       | M4 G5         | Acero ASTM A194 |
| 5M3G5               |                        | M3 G5         | Acero ASTM A194 |
| 13TUAS              |                        | 1/8 G5 UNC    | Acero ASTM A194 |

*Tabla 35. Lista de materiales del pórtico*

| ENSAMBLE PORTICO |                           |                  |                 |
|------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| Código           | Sub/Pieza                 | Referencia       | Material        |
| 16AC58           | Acople flexible           | D001             | TPU             |
| 15ANOR           | Angulo modular            | D002             | ABS             |
| 16SOES           | Angulo refuerzo           | D003             | MDF             |
| 23ACTG           | Complemento acople motor  | D004             | PETG            |
| 6NE17            | Motor a pasos             | Nema 17          |                 |
| 12PEMM           | Perfil V-slot             | 30 x 30 x 590 mm | Aluminio 6060   |
| 12PEMM           |                           | 30 x 30 x 660 mm | Aluminio 6060   |
| 18PETO           | Perilla                   | D007             | TPU             |
| 14PEON           | Perno                     | 5/16 x 1/2       | Acero ASTM A194 |
| 12MOCO           | Refuerzo pórtico          | D005             | ABS             |
| 16MOIR           |                           | D006             | ABS             |
| 10ROTO           | Rodamiento de bolas       | 608zz SKF        | Acero           |
| 21GU Z           | Soporte 608zz             | D007             | PLA             |
| 17SOIR           | Soporte motor eje Z       | D008             | ABS             |
| 13SORZ           |                           | D009             | ABS             |
| 19PLCO           | Soporte refuerzos pórtico | D010             | MDF             |
| 14RE Z           | T refuerzo                | D011             | MDF             |
| 20TO +           | Tornillo                  | 5/16 x 1/2       | Acero ASTM A194 |
| 15TOAS           |                           | 1/8 x 1/2 UNC    | Acero ASTM A194 |
| 19AS4)           |                           | M3 x 6           | Acero ASTM A194 |
| 20AS6)           |                           | M3 x 12          | Acero ASTM A194 |
| 21AS1)           | Tuerca hexagonal          | 3/8 G5 UNC       | Acero ASTM A194 |
| 13TUAS           |                           | 1/8 G5 UNC       | Acero ASTM A194 |
| 22AS1)           |                           | 5/16 G5 UNC      | Acero ASTM A194 |
| 5M3G5            |                           | M3 G5            | Acero ASTM A194 |
| 16VAM8           | Varilla roscada           | 5/6 B7 UNC       | Acero ASTM 193  |
| 10VADA           |                           | 3/8 B7 UNC       | Acero ASTM 193  |

*Tabla 36. Lista de materiales del módulo de control*

| ENSAMBLE MODULO DE CONTROL |                          |               |                 |
|----------------------------|--------------------------|---------------|-----------------|
| Código                     | Sub/Pieza                | Referencia    | Material        |
| 3LCCD                      | Display LCD              | 128 x 64      |                 |
| 9A4ED                      | Driver TMC2100           | 12 a 48V 3A   |                 |
| 21PW0W                     | Modulo Mosfet            | 12V 2A        |                 |
| 10RAGA                     | Ramps 1.4 y Arduino Mega | 8 bits        |                 |
| 27SOCA                     | Tapa frontal             | D001          | MDF             |
| 29SO 2                     | Tapa inferior            | D002          | MDF             |
| 29SO 6                     | Tapa lateral derecha     | D003          | MDF             |
| 29SO 7                     | Tapa lateral izquierda   | D004          | MDF             |
| 29SO 8                     | Tapa posterior           | D005          | MDF             |
| 29SO 4                     | Tapa superior            | D006          | MDF             |
| 20TO +                     | Tornillo                 | 5/16 x 1/2    | Acero ASTM A194 |
| 15TOAS                     |                          | 1/8 x 1/2 UNC | Acero ASTM A194 |
| 20AS6)                     |                          | M3 x 12       | Acero ASTM A194 |
| 13TUAS                     | Tuerca hexagonal         | 1/8 G5 UNC    | Acero ASTM A194 |
| 22AS1)                     |                          | 5/16 G5 UNC   | Acero ASTM A194 |
| 5M3G5                      |                          | M3 G5         | Acero ASTM A194 |
| 11FA01                     | Ventilador 40 x 40 mm    | 12V 0,15A     |                 |

*Tabla 37. Lista de materiales del carro derecho*

| <b>ENSAMBLE CARRO DERECHO</b> |                               |                   |                 |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Código</b>                 | <b>Sub/Pieza</b>              | <b>Referencia</b> | <b>Material</b> |
| <b>11BOA5</b>                 | bocín dos                     | M5                | ABS             |
| <b>15BOOR</b>                 | bocín fijo patín              | D001              | ABS             |
| <b>11BOA5</b>                 | bocín uno                     | M5                | ABS             |
| <b>10EXCO</b>                 | Patín excéntrico              | D101              |                 |
| <b>5FIOS</b>                  | Patín fijo                    | D102              |                 |
| <b>17AS65</b>                 | Perno                         | M8 x 65           | Acero Clase 8.8 |
| <b>11POOD</b>                 | Polea dentada                 | GT2 40 dientes    | ABS             |
| <b>9ROEA</b>                  | Rodamiento de bolas           | 605zz SFK         | Acero           |
| <b>24ISHV</b>                 | Rodela                        | M8                | Acero ASTM A194 |
| <b>17AS2)</b>                 | Rodela                        | M5                | Acero ASTM A194 |
| <b>18TEP2</b>                 | Soporte carro derecho frontal | D003              | MDF             |
| <b>22EJTE</b>                 | Soporte carro derecho trasero | D004              | MDF             |
| <b>18TEP1</b>                 | Soporte tensor                | D005              | MDF             |
| <b>12NUEZ</b>                 | Soporte tuerca eje Z          | D006              | ABS             |
| <b>19EJOD</b>                 | Tapa trasera eje Z            | D007              | MDF             |
| <b>18TEP3</b>                 | Tensor de correa sincrónica   | D008              | PETG            |
| <b>20TO +</b>                 | Tornillo                      | 5/16 x 1/2        | Acero ASTM A194 |
| <b>15TOAS</b>                 |                               | 1/8 x 1/2 UNC     | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS4)</b>                 |                               | M5 X 25           | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS4)</b>                 |                               | M5 X 45           | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS 5</b>                 | Tuerca hexagonal              | M5 G5             | Acero ASTM A194 |
| <b>22AS1)</b>                 |                               | 5/16 G5 UNC       | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS 5</b>                 |                               | M8 G8.8           | Acero ASTM A194 |
| <b>1151AZ</b>                 |                               | 5/16 G5           | Acero ASTM A194 |
| <b>13TUAS</b>                 |                               | 1/8 G5 UNC        | Acero ASTM A194 |
| <b>15KS 5</b>                 |                               | M5                | Acero ASTM A194 |

*Tabla 38. Lista de materiales del carro izquierdo*

| <b>ENSAMBLE CARRO IZQUIERDO</b> |                         |                   |                 |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Código</b>                   | <b>Sub/Pieza</b>        | <b>Referencia</b> | <b>Material</b> |
| <b>15BOOR</b>                   | bocín fijo patín        | D001              | ABS             |
| <b>6NE17</b>                    | Motor a pasos           | Nema 17           |                 |
| <b>10EXCO</b>                   | Patín excéntrico        | D101              |                 |
| <b>5FIOS</b>                    | Patín fijo              | D102              |                 |
| <b>17AS65</b>                   | Perno                   | M8 x 65           | Acero Clase 8.8 |
| <b>9FU0T</b>                    | Polea sincrónica        | GT 2 20 dientes   | Aluminio        |
| <b>24ISHV</b>                   | Rodela                  | M8                | Acero ASTM A194 |
| <b>16EJOD</b>                   | Soporte carro izquierdo | D002              | MDF             |
| <b>12NUEZ</b>                   | Soporte tuerca eje Z    | D003              | ABS             |
| <b>19EJOD</b>                   | Tapa trasera eje Z      | D004              | MDF             |
| <b>20AS4)</b>                   | Tornillo                | M3 x 16           | Acero ASTM A194 |
| <b>15TOAS</b>                   |                         | 1/8 x 1/2 UNC     | Acero ASTM A194 |
| <b>19AS4)</b>                   |                         | M3 x 6            | Acero ASTM A194 |
| <b>20TO +</b>                   |                         | 5/16 x 1/2        | Acero ASTM A194 |
| <b>1151AZ</b>                   | Tuerca hexagonal        | 5/16 G5           | Acero ASTM A194 |
| <b>20AS 5</b>                   |                         | M8 G8.8           | Acero ASTM A194 |
| <b>13TUAS</b>                   |                         | 1/8 G5 UNC        | Acero ASTM A194 |
| <b>22AS1)</b>                   |                         | 5/16 G5 UNC       | Acero ASTM A194 |

*Tabla 39. Lista de materiales del cabezal de impresión*

| ENSAMBLE CABEZAL DE IMPRESIÓN |                                                   |               |                 |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|-----------------|
| Código                        | Sub / Pieza                                       | Referencia    | Material        |
| 15ACEX                        | Acoplamiento de banda sincrónica                  | D001          | PETG            |
| 13COFE                        | Acople neumático                                  | M6            | Bronce          |
| 14DIER                        | Diodo Láser                                       | 5v 1W         |                 |
| 8FAAL                         | Ducto Ventilador de capa                          | D002          | ABS             |
| 13SOES                        | Guía de cables                                    | D003          | PLA             |
| 10EXCO                        | Patín excéntrico                                  | D101          |                 |
| 5FIOS                         | Patín fijo                                        | D102          |                 |
| 17AS40                        | Perno                                             | M8 x 40       | Acero Clase 8.8 |
| 17AS65                        |                                                   | M8 x 65       | Acero Clase 8.8 |
| 9FU2V                         | Resistencia del terminal                          | 12v 30W       |                 |
| 14AROR                        | Rodela plana                                      | M12           | Acero ASTM A194 |
| 18SE12                        | Sensor Inductivo                                  | 12v           |                 |
| 11EJAL                        | Soporte cabezal de impresión                      | D004          | MDF             |
| 13EXD2                        | Soporte de terminales calefactados                | D005          | ABS             |
| 12SOER                        | Soporte Diodo Láser                               | D006          | PLA             |
| 9BOAN                         | Soporte ventilador disipador                      | 20 x 20 mm    | Plástico        |
| 10EX 2                        | Tapa de terminales calefactados                   | D007          | ABS             |
| 13VOND                        | Terminal calefactado                              | Volcano E3D   | Aluminio        |
| 9TEOR                         | Termistor                                         | Pt100         |                 |
| 15TOAS                        | Tornillo                                          | 1/8 x 1/2 UNC | Acero ASTM A194 |
| 20AS6)                        |                                                   | M3 x 12       | Acero ASTM A194 |
| 20AS4)                        |                                                   | M3 x 30       | Acero ASTM A194 |
| 20AS4)                        |                                                   | M3 x 16       | Acero ASTM A194 |
| 19AS4)                        |                                                   | M3 x 6        | Acero ASTM A194 |
| 21TUVO                        |                                                   | M12 G5        | Acero ASTM A194 |
| 20AS 5                        | Tuerca Hexagonal                                  | M8 G8.8       | Acero ASTM A194 |
| 13TUAS                        |                                                   | 1/8 G5 UNC    | Acero ASTM A194 |
| 11FA01                        | Ventilador de capa                                | 40 x 40mm     |                 |
| 8FA20                         | Ventilador del disipador del terminal calefactado | 20 x 20 mm    |                 |

## Lista de materiales del plan de procesos

*Tabla 40. Procesos de la bancada*

| Código | Sub/Pieza                             | Operación |
|--------|---------------------------------------|-----------|
| 5PAAS  | Patas regulables                      | COMPRAS   |
| 14PEON | Perno                                 |           |
| 20AS4) | Tornillo                              |           |
| 19AS4) |                                       |           |
| 20AS4) |                                       |           |
| 20AS4) |                                       |           |
| 20TO + |                                       |           |
| 15TOAS |                                       |           |
| 20AS 5 | Tuerca hexagonal                      |           |
| 21AS1) |                                       |           |
| 22AS1) |                                       |           |
| 5M3G5  |                                       |           |
| 13TUAS |                                       |           |
| 14RODA | Varilla roscada                       |           |
| 20ANSE | Angulo modular base                   | Imp3DABS  |
| 12BOMM | bocín dos                             |           |
| 12BOMM | bocín uno                             |           |
| 15MEOR | Mecanismo tensor                      |           |
| 11POOD | Polea dentada                         |           |
| 11PO23 | Refuerzo soporte motor a pasos        | Imp3DPETG |
| 17SOMM | Soporte eje lineal                    |           |
| 32SORA | Soporte eje lineal con fin de carrera |           |
| 16POAS | Soporte para patas                    |           |
| 19SO.0 | Soporte polea dentada                 |           |
| 10TACH | Tapa conexiones Switch                | Imp3DPLA  |
| 16SYLT | Correa sincrónica                     | IMPEXT    |
| 10EJMM | Eje lineal                            |           |
| 9FITO  | Filamento                             |           |
| 20PLRA | Final de carrera                      |           |
| 10FU2V | Fuente de alimentación                |           |
| 7NE23  | Motor a pasos                         |           |
| 9FU0T  | Polea sincrónica                      |           |
| 9ROEA  | Rodamiento de bolas                   |           |
| 12SWDE | Switch de encendido general           |           |
| 16SOES | Angulo refuerzo                       | LSRCUT    |
| 12ANAS | Refuerzo bancado                      |           |

|               |                                |        |
|---------------|--------------------------------|--------|
| <b>27COMA</b> | Refuerzo soporte ejes          |        |
| <b>18AYAY</b> | Refuerzo soporte polea dentada |        |
| <b>16PODE</b> | Soporte de Switch de encendido |        |
| <b>16SOTO</b> | Soporte filamento              |        |
| <b>13SOTE</b> | Soporte fuente de alimentación |        |
| <b>13SO23</b> | Soporte motor a pasos          | CUTMTL |
| <b>12PEMM</b> | Perfil V-slot                  |        |
| <b>12PEMM</b> | Perfil V-slot                  |        |

*Tabla 41. Procesos del sistema de extrusión*

| <b>Código</b> | <b>Sub/Pieza</b>     | <b>Operación</b> |
|---------------|----------------------|------------------|
| <b>5PEO</b>   | Perno                | COMPRAS          |
| <b>5PEO</b>   | Perno                |                  |
| <b>10PRO</b>  | Prisionero           |                  |
| <b>8TOO</b>   | Tornillo             |                  |
| <b>8TOO</b>   | Tornillo             |                  |
| <b>8TOO</b>   | Tornillo             |                  |
| <b>16TUL</b>  | Tuerca hexagonal     |                  |
| <b>16TUL</b>  | Tuerca hexagonal     |                  |
| <b>16TUL</b>  | Tuerca hexagonal     |                  |
| <b>19ENR</b>  | Engranaje conductor  | Imp3DPETG        |
| <b>16BON</b>  | bocín colocación     | Imp3DPLA         |
| <b>15CAL</b>  | Case sensor fil      |                  |
| <b>19ENO</b>  | Engranaje conducido  |                  |
| <b>13SOZ</b>  | Soporte 605zz        |                  |
| <b>15TAL</b>  | Tapa sensor fil      |                  |
| <b>13SOZ</b>  | Soporte 605zz        |                  |
| <b>18COO</b>  | Conector neumático   | IMPEXT           |
| <b>17EXO</b>  | Extrusor mecánico    |                  |
| <b>13MOS</b>  | Motor a pasos        |                  |
| <b>19ROS</b>  | Rodamiento de bolas  |                  |
| <b>6SWH</b>   | Switch               |                  |
| <b>20SOR</b>  | Soporte del extrusor | LSRCUT           |

*Tabla 42. Procesos de la plataforma*

| Código | Sub/Pieza              | Operación |
|--------|------------------------|-----------|
| 20AS4) | Tornillo               | COMPRAS   |
| 20AS4) |                        |           |
| 20AS5) |                        |           |
| 20AS4) |                        |           |
| 15TOAS |                        |           |
| 19AS5) |                        |           |
| 20AS 5 | Tuerca hexagonal       |           |
| 5M3G5  |                        |           |
| 13TUAS |                        |           |
| 14LILA | Limpia boquillas       | Imp3DABS  |
| 14POMA | Case rodamiento lineal | Imp3DPLA  |
| 14BOOR | bocín de silicón       | Imp3DTPU  |
| 12PAON | Pad de impresión 3D    | IMPEXT    |
| 15CAOD | Placa de aluminio      |           |
| 19BO50 | Relé                   |           |
| 12PLED | Resistencia térmica    |           |
| 6LMUU  | Rodamiento lineal      | LSRCUT    |
| 12COMA | Conector plataforma    |           |
| 10COMA | Corte plataforma 1     |           |
| 10COMA | Corte plataforma 2     |           |

*Tabla 43. Procesos del pórtico*

| Código | Sub/Pieza                 | Operación |
|--------|---------------------------|-----------|
| 14PEON | Perno                     | COMPRAS   |
| 20TO + | Tornillo                  |           |
| 15TOAS |                           |           |
| 19AS4) |                           |           |
| 20AS6) |                           |           |
| 21AS1) | Tuerca hexagonal          |           |
| 13TUAS |                           |           |
| 22AS1) |                           |           |
| 5M3G5  |                           |           |
| 16VAM8 | Varilla roscada           |           |
| 10VADA |                           |           |
| 12PEMM | Perfil V-slot             | CUTMTL    |
| 12PEMM |                           |           |
| 15ANOR | Angulo modular            | Imp3DABS  |
| 12MOCO | Refuerzo pórtico          |           |
| 16MOIR |                           |           |
| 17SOIR | Soporte motor eje Z       |           |
| 13SORZ |                           |           |
| 23ACTG | Complemento acople motor  | Imp3DPETG |
| 21GU Z | Soporte 608zz             | Imp3DPLA  |
| 16AC58 | Acople flexible           | Imp3DTPU  |
| 18PETO | Perilla                   |           |
| 6NE17  | Motor a pasos             | IMPEXT    |
| 10ROTO | Rodamiento de bolas       |           |
| 16SOES | Angulo refuerzo           | LSRCUT    |
| 19PLCO | Soporte refuerzos pórtico |           |
| 14RE Z | T refuerzo                |           |

*Tabla 44. Procesos módulo de control electrónico*

| Código | Sub/Pieza                | Operación |
|--------|--------------------------|-----------|
| 20TO + | Tornillo                 | COMPRAS   |
| 15TOAS |                          |           |
| 20AS6) |                          |           |
| 13TUAS | Tuerca hexagonal         |           |
| 22AS1) |                          |           |
| 5M3G5  |                          |           |
| 3LCCD  | Display LCD              | IMPEXT    |
| 9A4ED  | Driver TMC2100           |           |
| 21PW0W | Modulo Mosfet            |           |
| 10RAGA | Ramps 1.4 y Arduino Mega |           |
| 11FA01 | Ventilador               |           |
| 27SOCA | Tapa frontal             | LSRCUT    |
| 29SO 2 | Tapa inferior            |           |
| 29SO 6 | Tapa lateral derecha     |           |
| 29SO 7 | Tapa lateral izquierda   |           |
| 29SO 8 | Tapa posterior           |           |
| 29SO 4 | Tapa superior            |           |

*Tabla 45. Procesos del carro derecho*

| Código | Sub/Pieza                     | Operación |
|--------|-------------------------------|-----------|
| 17AS65 | Perno                         | COMPRAS   |
| 24ISHV | Rodela                        |           |
| 17AS2) | Rodela                        |           |
| 20TO + | Tornillo                      |           |
| 15TOAS |                               |           |
| 20AS4) |                               |           |
| 20AS4) |                               |           |
| 20AS 5 | Tuerca hexagonal              |           |
| 22AS1) |                               |           |
| 20AS 5 |                               |           |
| 1151AZ |                               |           |
| 13TUAS |                               |           |
| 15KS 5 | Tuerca mariposa               |           |
| 11BOA5 | bocín dos                     | Imp3DABS  |
| 15BOOR | bocín fijo patín              |           |
| 11BOA5 | bocín uno                     |           |
| 11POOD | Polea dentada                 |           |
| 12NUEZ | Soporte tuerca eje Z          |           |
| 18TEP3 | Tensor de correa sincrónica   | Imp3DPETG |
| 9ROEA  | Rodamiento de bolas           | IMPEXT    |
| 18TEP2 | Soporte carro derecho frontal | LSRCUT    |
| 22EJTE | Soporte carro derecho trasero |           |
| 18TEP1 | Soporte tensor                |           |
| 19EJOD | Tapa trasera eje Z            |           |
| 10EXCO | Patín excéntrico              | MECACNC   |
| 5FIOS  | Patín fijo                    |           |

*Tabla 46. Procesos del carro izquierdo*

| Código | Sub/Pieza               | Operación |
|--------|-------------------------|-----------|
| 17AS65 | Perno                   | COMPRAS   |
| 24ISHV | Rodela                  |           |
| 20AS4) | Tornillo                |           |
| 15TOAS |                         |           |
| 19AS4) |                         |           |
| 20TO + |                         |           |
| 1151AZ | Tuerca hexagonal        |           |
| 20AS 5 |                         |           |
| 13TUAS |                         |           |
| 22AS1) |                         |           |
| 15BOOR | bocín fijo patín        | Imp3DABS  |
| 12NUEZ | Soporte tuerca eje Z    |           |
| 6NE17  | Motor a pasos           | IMPEXT    |
| 9FU0T  | Polea sincrónica        |           |
| 16EJOD | Soporte carro izquierdo | LSRCUT    |
| 19EJOD | Tapa trasera eje Z      |           |
| 10EXCO | Patín excéntrico        | MECACNC   |
| 5FIOS  | Patín fijo              |           |

*Tabla 47. Procesos del cabezal de impresión*

| Código | Sub/Pieza                                         | Operación |
|--------|---------------------------------------------------|-----------|
| 17AS40 | Perno                                             | COMPRAS   |
| 17AS65 |                                                   |           |
| 15TOAS | Tornillo                                          |           |
| 20AS6) |                                                   |           |
| 20AS4) |                                                   |           |
| 20AS4) |                                                   |           |
| 19AS4) |                                                   |           |
| 21TUVO | Tuerca                                            |           |
| 20AS 5 | Tuerca Hexagonal                                  |           |
| 13TUAS |                                                   |           |
| 8FAAL  | Ducto Ventilador de capa                          | Imp3DABS  |
| 13EXD2 | Soporte de terminales calefactados                |           |
| 10EX 2 | Tapa de terminales calefactados                   |           |
| 15ACEX | Acoplamiento de banda sincrónica                  | Imp3DPETG |
| 13SOES | Guía de cables                                    | Imp3DPLA  |
| 12SOER | Soporte Diodo Láser                               |           |
| 13COFE | Acople neumático                                  | IMPEXT    |
| 14DIER | Diodo Láser                                       |           |
| 9FU2V  | Resistencia del terminal                          |           |
| 14AROR | Rodela plana                                      |           |
| 18SE12 | Sensor Inductivo                                  |           |
| 9BOAN  | Soporte ventilador disipador                      |           |
| 13VOND | Terminal calefactado                              |           |
| 9TEOR  | Termistor                                         |           |
| 11FA01 | Ventilador de capa                                |           |
| 8FA20  | Ventilador del disipador del terminal calefactado |           |
| 11EJAL | Soporte cabezal de impresión                      | LSRCUT    |
| 10EXCO | Patín excéntrico                                  | MECACNC   |
| 5FIOS  | Patín fijo                                        |           |

## Flujo de los procesos de manufactura

Tabla 48. Flujo del proceso de impresión 3D

| FLUJO DEL PROCESO DE IMPRESIÓN 3D                   |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                           |                     |
|-----------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|
| Nombre del proceso                                  |  | Impresión 3D                                                                        |                                                                                     | I. del flujo:                                                                       |                                                                                     | F. del flujo                                                                        | 4 mar 21                                                  |                     |
| Preparado por:                                      |  | Daniel Peralta                                                                      |                                                                                     |                                                                                     | Aprobado por:                                                                       |                                                                                     | Carlos Vila                                               |                     |
| Símbolos de proceso                                 |  |    | Operaciones                                                                         |                                                                                     |                                                                                     |    | inspección                                                |                     |
|                                                     |  |    | Retrasos                                                                            |                                                                                     |                                                                                     |    | Almacenamiento                                            |                     |
|                                                     |  |    | Transporte                                                                          |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                           |                     |
| Operación                                           |  | símbolo del proceso                                                                 |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | Descripción de operación                                                            | Herramienta                                               |                     |
| Imp3DPLA /<br>Imp3DABS /<br>Imp3DPETG /<br>Imp3DTPU |  |    |    |    |    |    | configuración y rebanado digital de las partes a imprimir | Slicer              |
|                                                     |  |    |    |    |    |    | Guardado de Código G en memoria                           | Windows             |
|                                                     |  |    |    |    |    |    | Puesta en marcha de la impresora                          | Operario            |
|                                                     |  |    |    |    |    |    | Supervisión de impresión de primera capa                  | Operario            |
|                                                     |  |    |    |    |    |    | Remoción de pieza impresa de la plataforma                | Operario            |
|                                                     |  |  |  |  |  |  | Remoción de soportes                                      | Operario / Espátula |
|                                                     |  |  |  |  |  |  | inspección dimensional                                    | Pie de rey          |
|                                                     |  |  |  |  |  |  | Transporte a estación de ensamblaje                       | Operario            |

*Tabla 49. Flujo de procesos de corte laser*

| FLUJO DEL PROCESO DE CORTE LASER |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                     |             |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|
| Nombre del proceso               | Corte Laser                                                                         |                                                                                     | I. del flujo:                                                                       |                                                                                     | F. del flujo                                                                        | 4 mar 21                                            |             |
| Preparado por:                   | Daniel Peralta                                                                      |                                                                                     |                                                                                     | Aprobado por:                                                                       | Carlos Vila                                                                         |                                                     |             |
| símbolos de proceso              |    | Operaciones                                                                         |                                                                                     |    | inspección                                                                          |                                                     |             |
|                                  |    | Retrasos                                                                            |                                                                                     |    | Almacenamiento                                                                      |                                                     |             |
|                                  |    | Transporte                                                                          |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                     |             |
| Operación                        | símbolo del proceso                                                                 |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | Descripción de operación                            | Herramienta |
| LSRCUT                           |    |    |    |    |    | configuración y optimización de los planos de corte | AutoCAD     |
|                                  |    |    |    |    |    | configuración de parámetros de corte en la maquina  | CorelDraw   |
|                                  |    |    |    |    |    | Ubicación de material en mesa de trabajo            | Operario    |
|                                  |   |   |   |   |   | Remoción de excedentes de material                  | Operario    |
|                                  |  |  |  |  |  | inspección dimensional                              | Pie de rey  |
|                                  |  |  |  |  |  | Trasporte a la estación de ensamblaje               | Operario    |

*Tabla 50. Flujo de procesos de corte de metales*

| FLUJO DEL PROCESO DE CORTE METALES |  |                     |             |               |               |                          |                                      |                 |
|------------------------------------|--|---------------------|-------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Nombre del proceso                 |  | Corte Recto         |             | I. del flujo: |               | F. del flujo             | 4 mar 21                             |                 |
| Preparado por:                     |  | Daniel Peralta      |             |               | Aprobado por: |                          | Carlos Vila                          |                 |
| símbolos de proceso                |  | ●                   | Operaciones |               |               | ■                        | inspección                           |                 |
|                                    |  | D                   | Retrasos    |               |               | ▲                        | Almacenamiento                       |                 |
|                                    |  | ➡                   | Transporte  |               |               |                          |                                      |                 |
| Operación                          |  | Símbolo del proceso |             |               |               | Descripción de operación |                                      | Herramienta     |
| CUTMTL                             |  | ●                   | D           | □             | △             | ➡                        | Colocación de materia prima          | Operario        |
|                                    |  | ●                   | D           | □             | △             | ➡                        | Remoción de rebabas                  | Lija / Cuchilla |
|                                    |  | ○                   | D           | □             | △             | ➡                        | Transporte a la estación de ensamble | Operario        |

*Tabla 51. Flujo de procesos del mecanizado CNC*

| FLUJO DEL PROCESO DE MECANIZADO CNC |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                         |             |            |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|------------|
| Nombre del proceso                  |  | Mecanizado CNC                                                                      |                                                                                     |                                                                                     | I. del flujo:                                                                       |                                                                                     | F. del flujo                            | 4 mar 21    |            |
| Preparado por:                      |  | Daniel Peralta                                                                      |                                                                                     |                                                                                     | Aprobado por:                                                                       |                                                                                     | Carlos Vila                             |             |            |
| símbolos de proceso                 |  |    | Operaciones                                                                         |                                                                                     |                                                                                     |    | inspección                              |             |            |
|                                     |  |    | Retrasos                                                                            |                                                                                     |                                                                                     |    | Almacenamiento                          |             |            |
|                                     |  |    | Transporte                                                                          |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                         |             |            |
| Operación                           |  | símbolo del proceso                                                                 |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | Descripción de operación                                                            |                                         | Herramienta |            |
| MECACNC                             |  |    |    |    |    |    | Revisión y envío de plano mecánico      |             | Ingeniero  |
|                                     |  |    |    |    |    |    | Logística para fabricación              |             | Ingeniero  |
|                                     |  |    |    |    |    |    | inspección dimensional                  |             | Pie de rey |
|                                     |  |  |  |  |  |  | Almacenamiento                          |             | Bodeguero  |
|                                     |  |  |  |  |  |  | Transporte a las estaciones de ensamble |             | Operario   |

*Tabla 52. Flujo de procesos de Importación de componentes*

| FLUJO DEL PROCESO DE IMPORTACIÓN |                     |             |   |               |               |                                         |              |                  |  |
|----------------------------------|---------------------|-------------|---|---------------|---------------|-----------------------------------------|--------------|------------------|--|
| Nombre del proceso               | Importación         |             |   | I. del flujo: |               |                                         | F. del flujo | 4 mar 21         |  |
| Preparado por:                   | Daniel Peralta      |             |   |               | Aprobado por: |                                         | Carlos Vila  |                  |  |
| símbolos de proceso              | ●                   | Operaciones |   |               | ■             | inspección                              |              |                  |  |
|                                  | D                   | Retrasos    |   |               | ▲             | Almacenamiento                          |              |                  |  |
|                                  | ➡                   | Transporte  |   |               |               |                                         |              |                  |  |
| Operación                        | símbolo del proceso |             |   |               |               | Descripción de operación                |              | Herramienta      |  |
| IMPEXT                           | ●                   | D           | □ | △             | ➡             | Identificación de proveedores           |              | Agente comercial |  |
|                                  | ●                   | D           | □ | △             | ➡             | Negociación y logística                 |              | Agente comercial |  |
|                                  | ○                   | D           | □ | ▲             | ➡             | Almacenamiento                          |              | Bodeguero        |  |
|                                  | ○                   | D           | □ | △             | ➡             | Distribución a estaciones de ensamblaje |              | Operario         |  |

*Tabla 53. Flujo de procesos de compras de insumos*

| FLUJO DEL PROCESO DE COMPRAS |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                       |  |                  |  |
|------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--|------------------|--|
| Nombre del proceso           |  | Compras                                                                             |                                                                                     |                                                                                     | I. del flujo:                                                                       |                                                                                     | F. del flujo                          |  | 4 mar 21         |  |
| Preparado por:               |  | Daniel Peralta                                                                      |                                                                                     |                                                                                     | Aprobado por:                                                                       |                                                                                     | Carlos Vila                           |  |                  |  |
| símbolos de proceso          |  |    | Operaciones                                                                         |                                                                                     |                                                                                     |    | inspección                            |  |                  |  |
|                              |  |    | Retrasos                                                                            |                                                                                     |                                                                                     |    | Almacenamiento                        |  |                  |  |
|                              |  |    | Transporte                                                                          |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                       |  |                  |  |
| Operación                    |  | símbolo del proceso                                                                 |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | Descripción de operación              |  | Herramienta      |  |
| COMPRAS                      |  |    |    |    |    |    | Identificación de proveedores         |  | Agente comercial |  |
|                              |  |    |    |    |    |    | Creación de ruta de compras           |  | Agente comercial |  |
|                              |  |    |    |    |    |    | Almacenamiento                        |  | Operario         |  |
|                              |  |  |  |  |  |  | Transporte a estaciones de ensamblaje |  | Operario         |  |

## Lista de los recursos de planta de producción de impresoras 3D

*Tabla 54. Valores de recursos de la zona uno de la planta de fabricación*

| ZONA UNO (GRANJA DE IMPRESORAS 3D) |          |                       |                                            |                                                                                     |          |              |
|------------------------------------|----------|-----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|
| Código                             | Cantidad | Producto              | Descripción                                | Imagen                                                                              | Precio   | Precio Total |
| 21E                                | 8        | Estantería Industrial | Para la colocación de las impresoras       |    | \$65,00  | \$520,00     |
| 9C                                 | 6        | Cajoneras             | De uso para almacenar el filamento         |    | \$120,00 | \$720,00     |
| 18D                                | 18       | DAPINDUSTRIAL IDEX    | 20x20x30cm                                 |    | \$650,00 | \$11.700,00  |
| 10D                                | 27       | DAPCORE XY            | 30x30x40cm                                 |    | \$450,00 | \$12.150,00  |
| 14G                                | 5        | Gabinete móvil        | Organizador Herramientas 3 Repisas Muth    |    | \$78,00  | \$390,00     |
| 12R                                | 1        | Red Ethernet          | Monitorización remota de impresoras        |                                                                                     | \$450,00 | \$450,00     |
| 15M                                | 2        | Mesa de trabajo       | Uso para remoción de soportes de impresión |  | \$65,00  | \$130,00     |
| 20C                                | 1        | Caja de herramientas  | Complemento de la mesa de trabajo          |                                                                                     | \$895,50 | \$895,50     |
|                                    |          |                       |                                            |                                                                                     | Total    | \$ 26.955,50 |

*Tabla 55. Valores de recursos de la zona dos de la planta de fabricación*

| ZONA DOS (CORTE CNC y POR ARRANQUE DE VIRUTA) |          |                       |                                                          |                                                                                   |             |              |
|-----------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
| Código                                        | Cantidad | Producto              | Descripción                                              | Imagen                                                                            | Precio      | Total        |
| 13A                                           | 3        | Anaqueles móviles     | Organizador Herramientas 3 Repisas Muth                  |  | \$78,00     | \$234,00     |
| 21E                                           | 4        | Estantería Industrial | Para la colocación de materia prima                      |  | \$65,00     | \$260,00     |
| 15R                                           | 3        | Rack Industrial       | Para colocación de planchas de metal o MDF               |  | \$110,00    | \$330,00     |
| 18C                                           | 1        | CNC de corte fibra    | 120x240 3 kW                                             |  | \$24.000,00 | \$24.000,00  |
| 16S                                           | 2        | Sierra eléctrica      | Hyundai Sierra Ingletador 1800 W 4800 Rpm Diámetro 255mm |  | \$189,00    | \$378,00     |
|                                               |          |                       |                                                          |                                                                                   | Total       | \$ 25.202,00 |

*Tabla 56. Valores de recursos de la zona tres de la planta de fabricación*

| ZONA TRES (BODEGA) |          |                       |                                                              |                                                                                   |            |              |
|--------------------|----------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|
| Código             | Cantidad | Producto              | Descripción                                                  | Imagen                                                                            | Precio     | Total        |
| 15R                | 10       | Rack Industrial       | Colocación de impresoras terminadas                          |  | \$110,00   | \$1.100,00   |
| 21E                | 10       | Estantería Industrial | Para colocación de material importado y comprado             |  | \$65,00    | \$650,00     |
| 10M                | 1        | Montacarga            | Montacarga vehículo                                          |  | \$4.500,00 | \$4.500,00   |
| 10M                | 6        | Montacarga            | Montacargas, Paleta, Elevador Apilador Hidráulico 2 Tonelada |  | \$850,00   | \$5.100,00   |
|                    |          |                       |                                                              |                                                                                   | Total      | \$ 11.350,00 |

*Tabla 57. Valores de recursos de la zona cuatro de la planta de fabricación*

| ZONA CUATRO (ENSAMBLE) |          |                      |                                                                 |                                                                                   |          |             |
|------------------------|----------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|
| Código                 | Cantidad | Producto             | Descripción                                                     | Imagen                                                                            | Precio   | Total       |
| 20C                    | 4        | Caja de herramientas | Caja numero dos                                                 |                                                                                   | \$900,46 | \$3.601,84  |
| 16M                    | 16       | Mesas de trabajo     | En donde se ensamblan los módulos de las impresoras             |  | \$65,00  | \$1.040,00  |
| 14O                    | 6        | Organizadores        | Organizador De Herramientas 43 Piezas Y1690c-1 Genérico         |  | \$181,00 | \$1.086,00  |
| 11E                    | 9        | Estanterías          | Acción buffer para cuellos de botellas en estaciones de trabajo |  | \$35,00  | \$315,00    |
|                        |          |                      |                                                                 |                                                                                   | Total    | \$ 6.042,84 |

*Tabla 58. Valores de recursos de la zona cinco de la planta de fabricación*

| ZONA CINCO (OFCINAS/INGENIERIA/SHOW ROOM) |          |               |                                                              |                                                                                    |            |            |
|-------------------------------------------|----------|---------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| Código                                    | Cantidad | Producto      | Descripción                                                  | Imagen                                                                             | Precio     | Total      |
| 10E                                       | 4        | Escritorio    | Escritorio Mueble Moderno En L Estación De Trabajo Modular   |   | \$165,00   | \$660,00   |
| 13S                                       | 4        | Silla publico | Tándem 3 Puestos Metálico Silla Asientos Oficina Consultorio |   | \$150,00   | \$600,00   |
| 7D                                        | 4        | Desktop       | Computador CPU Pc Escritorio Intel I5 1tb DVD I3 I7          |   | \$440,00   | \$1.760,00 |
| 6L                                        | 2        | Laptop        | Asus TUF Fx505dt-wb72 R7 16gb 256ssd 1tb Gtx1650 15.6 Negra  |   | \$1.225,00 | \$2.450,00 |
| 5S                                        | 12       | Silla         | Silla ejecutiva                                              |   | \$26,00    | \$312,00   |
| 9M                                        | 4        | Mostrador     | Vitrina Mostrador De 3.30 Metros De Aluminio                 |  | \$500,00   | \$2.000,00 |
|                                           |          |               |                                                              |                                                                                    | Total      | \$7.782,00 |

| CAJA DE HERRAMIENTAS UNO |          |                      |                                                          |                                                                                    |              |                  |
|--------------------------|----------|----------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|
| Código                   | Cantidad | Producto             | Descripción                                              | Imagen                                                                             | Precio       | Total            |
| 19T                      | 2        | Taladro inalámbrico  | Taladro Inalámbrico Percutor 20v Dewalt Dcd776 Original  |   | \$120,00     | \$240,00         |
| 8E                       | 4        | Estilete             | Estilete Tipo Cuchillo Profesional Marca Ingco           |   | \$11,00      | \$44,00          |
| 13S                      | 3        | Set de brocas        | Kit Juego De Brocas Con Accesorios 50 Piezas Marca Bosch |   | \$35,00      | \$105,00         |
| 9E                       | 2        | Entenalla            | Inco 6 pulgadas                                          |   | \$47,00      | \$94,00          |
| 6S                       | 2        | Sierra               | Arco De Sierra Stanley, Original, Cortadora Manual       |   | \$5,00       | \$10,00          |
| 13S                      | 2        | Set machuelos        | Juego De Machuelos                                       |   | \$46,00      | \$92,00          |
| 9S                       | 2        | Set limas            | 6 piezas Mini Lima Metal 3mmx14cm Mango Goma Kendo       |   | \$15,00      | \$30,00          |
| 20C                      | 1        | Caja de herramientas |                                                          |   | \$228,00     | \$228,00         |
| 6P                       | 3        | Pinzas               | Juego Alicates Alto Nivel 3pcs Ingco                     |  | \$17,50      | \$52,50          |
|                          |          |                      |                                                          |                                                                                    | <b>Total</b> | <b>\$ 895,50</b> |

| CAJA DE HERRAMIENTAS DOS |          |                      |                                                              |                                                                                     |              |                  |
|--------------------------|----------|----------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|
| Código                   | Cantidad | Producto             | Descripción                                                  | Imagen                                                                              | Precio       | Total            |
| 20S                      | 2        | Set destornilladores | Set De Destornillado Res 18 Pzas Ingco                       |    | \$25,00      | \$50,00          |
| 13S                      | 2        | Set de llaves        | Set De Llaves Mixtas 12pcs Total                             |    | \$75,00      | \$150,00         |
| 16S                      | 2        | Set llaves Allen     | Jgo 8 Piezas Llaves Allen Hexagonales 1.5-2-2.5-3-4-5-6-8mm  |    | \$14,28      | \$28,56          |
| 12S                      | 2        | Set de dados         | Caja De Herramientas Dados Set Juego De Tubos Boca Llave     |    | \$65,00      | \$130,00         |
| 6P                       | 1        | Pinzas               | Juego Alicates Alto Nivel 3pcs Ingco                         |    | \$ 17,50     | \$17,50          |
| 8E                       | 2        | Escuadra             | Escuadra Metálica 12 Stanley                                 |    | \$7,20       | \$14,40          |
| 10C                      | 2        | Calibrador           | Calibrador Digital Electrónico Metálico 15cm Pie De Rey Elec |    | \$20,00      | \$40,00          |
| 10F                      | 2        | Flexómetro           | Medidor Flexómetro Láser                                     |    | \$8,50       | \$17,00          |
| 19T                      | 1        | Taladro inalámbrico  | Taladro Inalámbrico Percutor 20v Dewalt Dcd776 Original      |    | \$ 120,00    | \$120,00         |
| 20C                      | 1        | Caja de herramientas |                                                              |   | \$ 228,00    | \$ 228,00        |
| 13S                      | 3        | Set de brocas        | Kit Juego De Brocas Con Accesorios 50 Piezas Marca Bosch     |  | \$ 35,00     | \$ 105,00        |
|                          |          |                      |                                                              |                                                                                     | <b>Total</b> | <b>\$ 900,46</b> |

## Lista de propiedades del filamento

*Tabla 59. Materiales de filamentos comerciales*

| Material                                                  | Temperatura   | Ventajas                        | Desventajas                                                          |
|-----------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>ABS<br/>(Acrilonitrilo<br/>Butadieno<br/>Estireno)</b> | 210°C - 250°C | Barato                          | No biodegradable                                                     |
|                                                           |               | Durable y resistente            | Altas temperaturas de inyección                                      |
|                                                           |               | Buenas propiedades mecánicas    | Expulsa olores<br>Necesidad de cama calefactada                      |
| <b>PLA (Acido poli láctico)</b>                           | 180°C-230°C   | Facilidad de impresión          | Atrae humedad                                                        |
|                                                           |               | No expulsa olores               | Deforma a temperaturas > 50°C                                        |
|                                                           |               | Mayor flexibilidad              | Almacenamiento en condiciones controladas                            |
|                                                           |               | Biodegradable                   |                                                                      |
| <b>PET<br/>(Polietileno tereftalato)</b>                  | 210°C - 230°C | Resistente y flexible           | calibración para impresión nivel avanzado                            |
|                                                           |               | No absorbe humedad del ambiente | Temperaturas de boquilla y cama calefactada con calibración muy fina |
|                                                           |               | FDA, indicado para              |                                                                      |

|                                     |             |                                        |                                 |         |
|-------------------------------------|-------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------|
|                                     |             | productos alimenticios                 |                                 |         |
| NYLON (Poliamida)                   | 210°C-250°C | Resistente, durable y flexible         | Temperaturas altas de impresión |         |
|                                     |             | 100% termoplástico                     | Emisión de gases tóxicos        |         |
|                                     |             | Menos frágil que ABS y PLA             | Absorbe fácilmente              | humedad |
| PVA (Alcohol polivinílico)          | 190°C-220°C | Biodegradable, no toxico               | Absorbe fácilmente              | humedad |
|                                     |             | Soluble en agua                        | Alto costo                      |         |
|                                     |             | Buena durabilidad                      |                                 |         |
|                                     |             | Facilidad de impresión                 |                                 |         |
| HIPS (Poliestireno de alto impacto) | 230°C-250°C | Biodegradable                          | Necesidad calefactada           | de cama |
|                                     |             | Soluble y de fácil remoción            | Problemas en la adhesión        |         |
|                                     |             | Compatible con materiales industriales |                                 |         |

|                                       |             |                                                    |                                           |
|---------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>PLA Magnético</b>                  | 195°C-220°C | Muy resistente y larga duración                    | Inflexible                                |
|                                       |             | No soluble                                         | Costoso                                   |
|                                       |             | Poca contracción en cambios bruscos de temperatura |                                           |
| <b>Conductivo</b>                     | 215°C-230°C | No soluble                                         | Costoso                                   |
|                                       |             | No necesita cama calefactada                       | Contracciones por cambios de temperatura  |
|                                       |             | Ideal para circuitos de tecnología TTL             | Baja durabilidad                          |
| <b>PLA Fibra de carbono</b>           | 190°C-230°C | Estabilidad dimensional                            | Contiene partículas abrasivas             |
|                                       |             | Mayor rigidez                                      | Uso exclusivo de boquilla                 |
| <b>TPE (termoplástico elastómero)</b> | 225°C-235°C | Alta elasticidad y resistencia a la abrasión       | Dificultad de impresión                   |
|                                       |             | Poca contracción en cambios                        | Calibración para impresión nivel avanzado |

bruscos de  
temperatura

Fuente. <https://3dinsider.com/3d-printin 1>

## Lista de los tiempos de impresión de las piezas plásticas de cada modulo

*Tabla 60. Tiempos de impresión del módulo Bancada*

| <b>Bancada</b>         |                                       |                 |                            |             |                        |
|------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------|------------------------|
| <b>Código</b>          | <b>Pieza</b>                          | <b>Cantidad</b> | <b>T.<br/>Impresión[h]</b> | <b>Idex</b> | <b>T. Idex<br/>[h]</b> |
| <b>20ANSE</b>          | Angulo modular base                   | 4               | 6,5                        | 2           | 1.61                   |
| <b>12BOMM</b>          | Bocín dos                             | 1               | 0,1                        |             | 0.1                    |
| <b>12BOMM</b>          | Bocín uno                             | 1               | 0,2                        |             | 0.2                    |
| <b>15MEOR</b>          | Mecanismo tensor                      | 1               | 1,3                        |             | 1,3                    |
| <b>11POOD</b>          | Polea dentada                         | 1               | 1,7                        |             | 1,7                    |
| <b>11P023</b>          | Refuerzo soporte motor a pasos        | 1               | 3,3                        |             | 3,3                    |
| <b>17SOMM</b>          | Soporte eje lineal                    | 3               | 5,3                        | 2           | 1,76                   |
| <b>32SORA</b>          | Soporte eje lineal con fin de carrera | 1               | 2,0                        |             | 2                      |
| <b>16POAS</b>          | Soporte para patas                    | 4               | 2,5                        | 2           |                        |
| <b>19SO.0</b>          | Soporte polea dentada                 | 1               | 1,7                        |             | 1,7                    |
| <b>10TACH</b>          | Tapa conexiones Switch                | 1               | 3,4                        |             | 3,4                    |
| <b>Numero maquinas</b> |                                       |                 | 11                         | 14          |                        |

*Tabla 61. Tiempos de impresión del módulo Cabezal*

| <b>Cabezal de impresión</b> |                                    |                 |                                 |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Código</b>               | <b>Sub/Pieza</b>                   | <b>Cantidad</b> | <b>T.<br/>Impresión<br/>[h]</b> |
| <b>8FAAL</b>                | Ducto Ventilador de capa           | 1               | 3,43                            |
| <b>13EXD2</b>               | Soporte de terminales calefactados | 1               | 3,57                            |
| <b>10EX 2</b>               | Tapa de terminales calefactados    | 1               | 1,35                            |
| <b>15ACEX</b>               | Acoplamiento de banda sincrónica   | 1               | 0,48                            |
| <b>13SOES</b>               | Guía de cables                     | 1               | 6,47                            |
| <b>12SOER</b>               | Soporte Diodo Láser                | 1               | 0,68                            |
| <b>15BOOR</b>               | Bocín Separador                    | 6               | 1,87                            |
| <b>16BOCO</b>               | Bocín Excéntrico                   | 2               | 0,75                            |
| <b>Numero Maquinas</b>      |                                    |                 | <b>8</b>                        |

*Tabla 62. Tiempos de impresión del módulo Plataforma*

| Plataforma      |                        |          |              |      |             |
|-----------------|------------------------|----------|--------------|------|-------------|
| Código          | Sub/Pieza              | Cantidad | T. Impresión | Idex | T. Idex [h] |
| 14LILA          | Limpia boquillas       | 1        | 1,3          |      | 1,3         |
| 14POMA          | Case rodamiento lineal | 4        | 12,7         | 2    | 3,17        |
| 14BOOR          | Bocín de silicón       | 6        | 5,3          | 2    | 2,65        |
| Numero maquinas |                        |          | 3            | 5    |             |

*Tabla 63. Tiempos de impresión del módulo Pórtico*

| Pórtico         |                          |          |              |      |             |
|-----------------|--------------------------|----------|--------------|------|-------------|
| Código          | Sub/Pieza                | Cantidad | T. Impresión | Idex | T. Idex [h] |
| 15ANOR          | Angulo modular           | 2        | 3,22         | 1    | 1,61        |
| 12MOCO          | Refuerzo pórtico         | 4        | 5,80         | 2    | 1,45        |
| 16MOIR          |                          |          |              |      |             |
| 17SOIR          | Soporte motor eje Z      | 2        | 5,08         | 2    | 1,27        |
| 13SORZ          |                          |          |              |      |             |
| 23ACTG          | Complemento acople motor | 2        | 0,17         |      |             |
| 21GU Z          | Soporte 608zz            | 2        | 2,77         | 1    | 1,38        |
| 16AC58          | Acople flexible          | 2        | 2,92         | 1    | 1,46        |
| 18PETO          | Perilla                  | 2        | 2,80         | 1    | 1,4         |
| Numero Maquinas |                          |          | 9            | 9    |             |

*Tabla 64. Tiempos de impresión del módulo Carro Izquierdo*

| Carro Izquierdo   |                      |          |              |
|-------------------|----------------------|----------|--------------|
| Código            | Pieza                | Cantidad | T. Impresión |
| 15B00R            | Bocín fijo patín     | 6        | 1,87         |
| 12NUEZ            | Soporte tuerca eje Z | 1        | 3,28         |
| 16BOCO            | Bocín excéntrico     | 2        | 0,75         |
| Numero Impresoras |                      |          | 3            |

*Tabla 65. Tiempos de impresión del módulo Carro Derecho*

| Carro Derecho   |                             |          |              |
|-----------------|-----------------------------|----------|--------------|
| Código          | Sub/Pieza                   | Cantidad | T. Impresión |
| 11BOA5          | Bocín dos                   | 1        | 0,05         |
| 15B00R          | Bocín fijo patín            | 6        | 1,87         |
| 11BOA5          | Bocín uno                   | 1        | 0,05         |
| 11POOD          | Polea dentada               | 1        | 0,48         |
| 12NUEZ          | Soporte tuerca eje Z        | 1        | 3,28         |
| 18TEP3          | Tensor de correa sincrónica | 1        | 1,15         |
| 16BOCO          | Bocín excéntrico            | 2        | 0,75         |
| Numero Maquinas |                             |          | 7            |

*Tabla 66. Tiempos de impresión del módulo Extrusor*

| <b>Extrusor</b>        |                     |                 |                     |
|------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| <b>Código</b>          | <b>Sub/Pieza</b>    | <b>Cantidad</b> | <b>T. Impresión</b> |
| <b>19ENR</b>           | Engranaje conductor | 1               | 0,88                |
| <b>16BON</b>           | Bocín colocación    | 2               | 1,20                |
| <b>15CAL</b>           | Case sensor fil     | 1               | 0,50                |
| <b>19ENO</b>           | Engranaje conducido | 1               | 3,23                |
| <b>13SOZ</b>           | Soporte 605zz       | 1               | 1,35                |
| <b>15TAL</b>           | Tapa sensor fil     | 1               | 0,20                |
| <b>13SOZ</b>           | Soporte 605zz       | 1               | 0,55                |
| <b>Numero Maquinas</b> |                     |                 | <b>7</b>            |

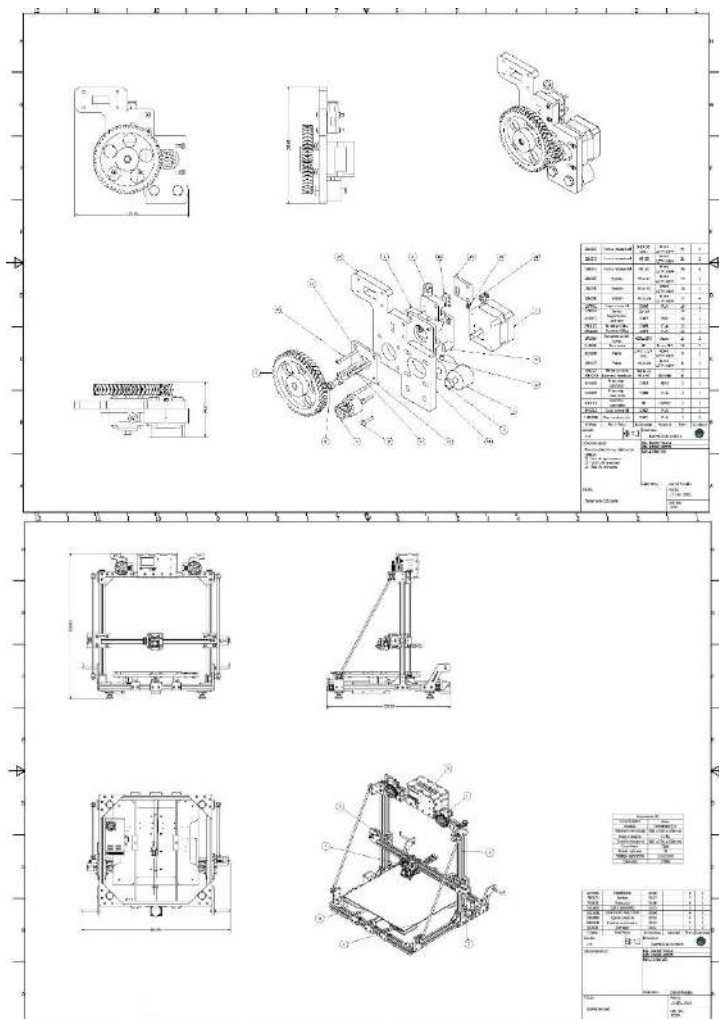


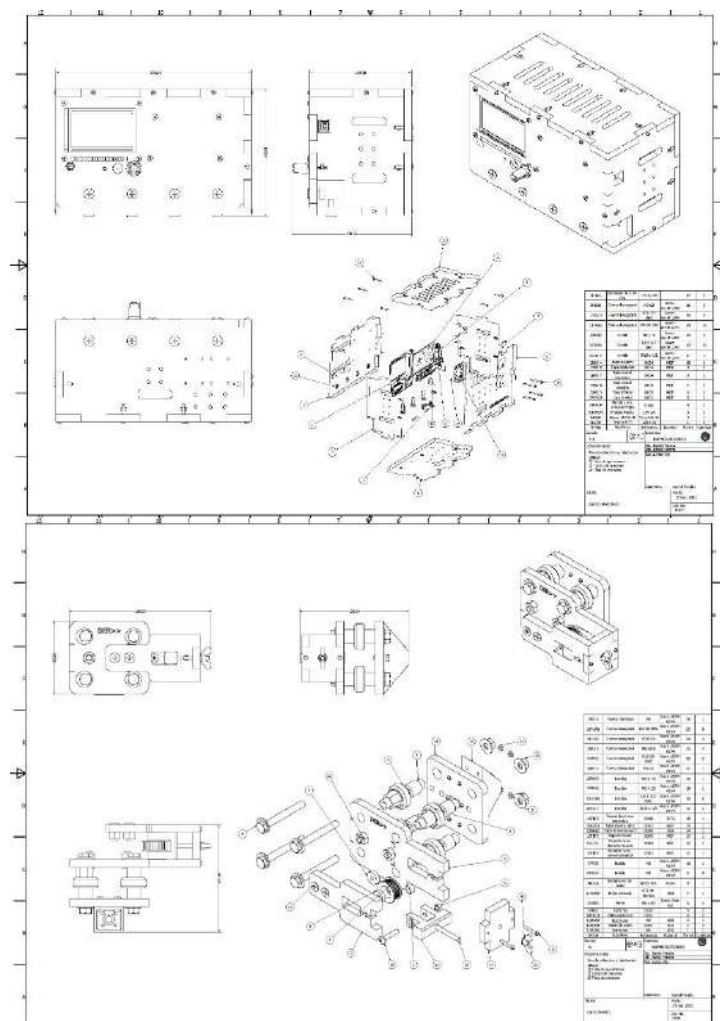
## Planos

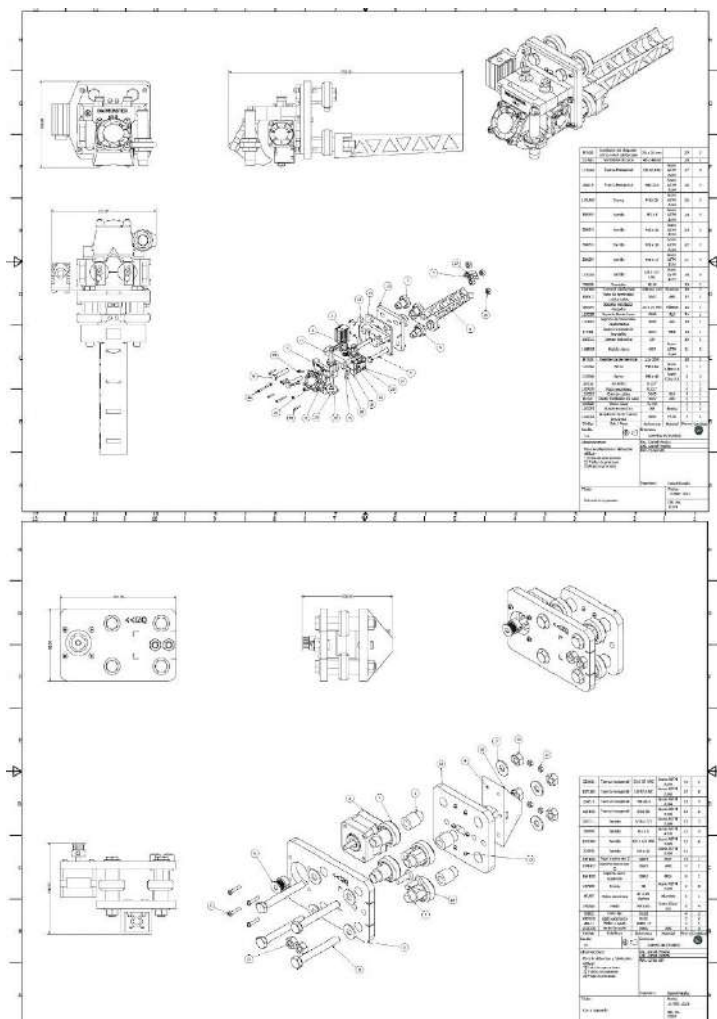




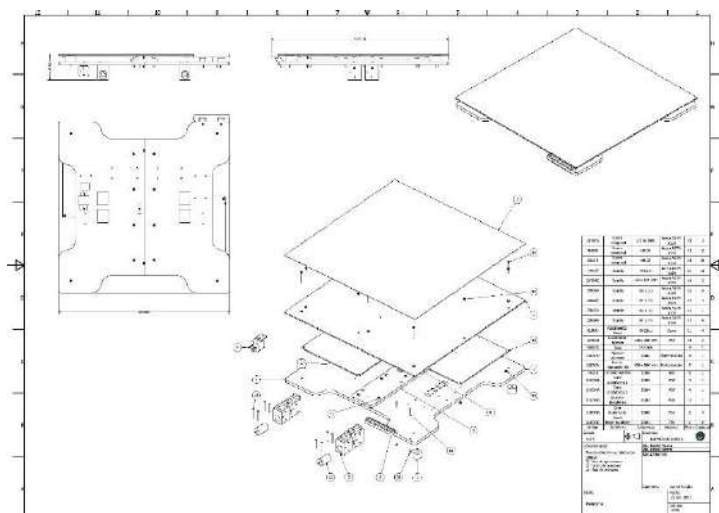
## PLANOS















## **Pliego de condiciones**





## Pliego de condiciones

### Condiciones generales

En este documento, se tratarán las reglas que se deben considerar para poner en marcha el proyecto. En un principio este trabajo se ha realizado con la finalidad de tener un panorama claro de la implementación de una planta de producción de impresoras 3D, en el Ecuador.

Tras el estudio de este proyecto se ha demostrado la capacidad de poder hacerlo, y más que nada obtener un beneficio con la implementación de este. Para este es necesario determinar pautas para la realización del proyecto, y este consta de tres condiciones; facultativas, económicas y legales.

Además de las especificaciones técnicas e informáticas que se deben cumplir para que el proyecto funcione. Los valores económicos y de producción se han considerado

### Condiciones de índole facultativas

**Artículo 1:** todos los requisitos indicados en este documento se deberán seguir rigurosamente por los interesados en el desarrollo del proyecto, el

incumplimiento de algún requisito será reflejado económicamente o en la producción anual de máquinas, y el creador de este proyecto no es responsable.

**Artículo 2:** la información dispuesta en planos sobre las características técnicas de los elementos e insumos de importación y compra local deben ser los idénticos y aprobados para su adquisición.

**Artículo 3:** los parámetros de impresión indicados en la tabla de procesos deben seguirse estrictamente, si se deseara cambiar estos parámetros, o existe dificultad para imprimir con las especificaciones, es necesario acudir con el autor del proyecto

### **Condiciones índole económicas**

**Artículo 1:** el préstamo bancario debe realizarse siempre y cuando tenga un valor de interés menor o igual al establecido en este proyecto, en caso de que este valor haya fluctuado por la situación económica de cualquier índole, se debe recalcular la producción

**Artículo 2:** si existiera interesados en formar una sociedad y aportar dinero para implementar la planta de fabricación, el capital se tomaría bajo un

porcentaje menor o igual al interés que el banco ofrece

**Artículo 3:** si llegara a existir alguna modificación o mejora, en el aspecto de los recursos de planta, ya sea por la terminación de algún recurso, en beneficio para la planta, estos deben considerarse en el cálculo del presupuesto completo de la planta.

## Condiciones de índole técnicas

### Materiales

Los materiales que se describen a continuación son indicados para la fabricación de las partes de la DAPMONSTER, estos se han seleccionado por su buen comportamiento y funcionamiento, ya que los valores técnicos y propiedades mecánicas no existen, solo se ha experimentado sin realizar ningún ensayo mecánico destructivo.

### Filamento

El filamento de marca eSun y Sunlu, de origen chino han demostrado un buen desempeño, por lo que se recomienda utilizar estas marcas, tanto para PLA, ABS, TPU y PETG, que son los filamentos necesarios para la impresión 3D de los componentes de la

DAPMONSTER. Todos los parámetros y figuras están diseñadas en función a este filamento.

Si por algún motivo, no se pudiera utilizar estos materiales, es necesario realizar pruebas dimensionales y de resistencia, de todos modos, es necesario verificar los siguientes parámetros del filamento reemplazo:

- Tolerancia dimensional
- Resistencia a la flexión
- Absorción de humedad
- Proceso de calidad de manufactura

Los valores de las características antes mencionadas deben ser iguales o superiores a la de la marca recomendada.

### *MDF*

La fibra de mediana densidad es proporcionada por la empresa NOVOPAN, la cual proporciona las características mecánicas usadas en la simulación de elementos finitos para los componentes de la DAPMONSTER.

### *Maquinaria*

#### *Impresora 3D*

Aun que en los recursos de activos fijos de la distribución en planta ya se han determinado las

impresoras que se utilizaran, es necesario determinar las características técnicas mínimas que debe tener si fuera necesario adquirir otras o mejorar el proceso de impresión 3D:

- Sistema IDEX
- Plataforma con fleje magnético o similar
- Conexión ethernet o wifi
- Modelo cinemático CoreXY o HBOT
- Extrusor y terminal calefactado con flujo mayor a 15mm<sup>3</sup>/s
- Volumen de trabajo mayor o igual a 200 x 200 x 200 mm
- Laminador Cura, Prusa Slicer o similar
- Plataforma calefactada temperatura máxima 100 °C
- Lector de USB, tarjeta SD

### *Cortadora laser*

Esta máquina debe ser capaz de cortar materiales al MDF, además de esto debe hacerlo rápido y con alta precisión, en función a la versatilidad de la planta, el cálculo de los recursos fijos se había determinado el precio de una máquina de corte laser por fibra de las siguientes características:

- Potencia fibra laser 3kW
- Área de trabajo 1200 x 2400 mm

- Software de operación Corel, Match y compatible con formatos PDF, DXF, DWG
- Corte de materiales con espesores hasta 20 mm, sea metal o MDF

### Personal

Los ensambladores y operarios de las maquinas deben tener una formación técnica básica, mucha habilidad para poder repetir operaciones de ensamble y uso de herramientas.

Facilidad de aprendizaje y memorización rápida, ordenados y responsables



## **Presupuesto**





## Presupuesto

### Coste de mano de obra

Es necesario determinar los costes y tiempo que este proyecto ha demandado, el tiempo utilizado para la realización del trabajo se ha distribuido de la siguiente manera

Autor: 650 horas

- Lecturas bibliográficas: 140 horas
- Capacitación: 170 horas
- Realización del proyecto: 190 horas
- Redacción del informe: 150 horas

Tutor: 30 horas

- Orientación y revisión: 30 horas

El salario mínimo en el Ecuador está indicado por sector, como la fabricación de impresoras tridimensionales resulta un nuevo sector para la industria ecuatoriana, se tomará el sector que más se aproxime a las operaciones que se realizan en la planta.

Existe una rama económica de productos industriales, que determina la fabricación de

maquinaria, equipos, accesorios, aparatos eléctricos.  
En donde se puede situar la impresora 3D.

*Existen varios cargos, pero el que más se asemeja al perfil es jefe de planta quien tiene un sueldo mínimo sectorial de \$435,12 [88], y suponiendo que se trabaja 8 horas, 5 días a la semana, por los 365 días del año, descontando los días festivos en el Ecuador que son 27 y los fines de semana que al año son 96, los días laborables en total son 242. De acuerdo con esto el valor por hora del autor es de \$2,70, y el costo del Tutor por hora según (Seguridad Social, 2019), es de \$30,78, la*

Tabla 67 muestra los valores totales del costo de desarrollo intelectual del proyecto

*Tabla 67. Costes de mano de obra*

| <b>Autor</b>                    |              |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| <b>Tarea</b>                    | <b>Horas</b> | <b>Coste</b> |
| <b>Lecturas bibliográficas</b>  | 140          | \$ 378       |
| <b>Capacitación</b>             | 170          | \$ 459       |
| <b>Realización del proyecto</b> | 190          | \$ 513       |
| <b>Redacción del informe</b>    | 150          | \$ 405       |
| <b>Tutor</b>                    |              |              |

---

|                               |    |          |
|-------------------------------|----|----------|
| <b>Orientación y revisión</b> | 30 | \$ 923.4 |
|-------------------------------|----|----------|

---

El valor total es de \$ 2678.4, hay que destacar que el sueldo base en el Ecuador para el autor está demasiado por debajo, se toma el valor citado como referencia, ya que no existen otras referencias o indicadores a nivel nacional que determinen un salario que merezca todas las aptitudes del autor.





# **Coste de implementación de la planta de producción de impresoras 3D**





## **Coste de implementación de la planta de producción de impresoras 3D**

### **Costes fijos**

Los costes fijos de la planta ya han sido determinados y no requieren de cambios, ya que con la actual distribución de planta y con los recursos determinados, tras la optimización del sistema de impresión 3D, lo único que se cambió fue la configuración de máquina, reduciendo el tiempo, sin necesidad de añadir recursos. De este modo lo único que se debe recalcular son los costos anuales de efectivo que requiere la planta para la producción mensual optimizada.

### **Costes anuales**

Los costos anuales de la planta de fabricación están en función del número de unidades producidas mensualmente, el cálculo indicado en la viabilidad económica del proyecto indica los valores que la planta necesita en su punto de equilibrio. Tras la optimización del tiempo de fabricación se obtuvieron dos escenarios, de los cuales se considera el escenario considerado con el error humano, es decir

el que produce 43 impresoras mensualmente. De este modo el flujo anual de la planta se indica en la Tabla 68.

*Tabla 68. Presupuesto Insumos Anuales*

| DAPMONSTER INSUMOS |          |                   |             |                  |
|--------------------|----------|-------------------|-------------|------------------|
| Código             | Cantidad | Producto          | Precio      | Precio Total     |
| 7C                 | 1        | CABEZAL           | \$<br>46,34 | \$<br>46,34      |
| 10C                | 1        | CARRO DERE        | \$<br>14,13 | \$<br>14,13      |
| 9C                 | 1        | CARRO IZQ         | \$<br>18,90 | \$<br>18,90      |
| 14M                | 1        | MODULO<br>CONTROL | \$<br>58,22 | \$<br>58,22      |
| 8E                 | 2        | EXTRUSOR          | \$<br>18,91 | \$<br>37,82      |
| 7P                 | 1        | PORTICO           | \$<br>47,36 | \$<br>47,36      |
| 10P                | 1        | PLATAFORMA        | \$<br>77,10 | \$<br>77,10      |
| 7B                 | 1        | BANCADA           | \$<br>99,68 | \$<br>99,68      |
| Total              |          |                   |             | \$<br>399,56     |
| AL AÑO             |          |                   |             | \$<br>196.583,52 |

En la planta el único valor que cambia por su producción es el valor de los insumos para la fabricación de la máquina, también se debe

considerar los valores de consumo eléctrico tomando en consideración el aumento de producción, de modo que se deben considerar los sistemas de impresión 3D, en donde la utilización de los sistemas incrementa, la Tabla 69 muestra el incremento y los valores.

*Tabla 69. Usos de sistemas de impresión 3D en planta*

| Sistema  | Sin optimizar | Optimizado |
|----------|---------------|------------|
| M. Eje X | 100%          | 100%       |
| M. Eje Y | 42%           | 42%        |
| M. Eje Z | 53%           | 96%        |

El incremento es solamente en el sistema de manufactura del eje Z en un 41% y, en principio se había considerado el consumo eléctrico de 800kW mensuales, y se había considerado que la impresión 3D utiliza un 60% de ese consumo, de este modo idealmente se tendría que cada sistema ocupa un 20% y que el sistema del eje Z incrementa se tiene un aumento de 65,6 kW extras al valor mensual de este modo los gastos anuales, se indican en la

Tabla 70

*Tabla 70. Presupuesto valores anuales de personal y servicios*

| <b>GASTO ANUAL PERSONAL Y SERVICIOS</b> |                 |                                                             |                        |               |                     |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|---------------------|
| <b>Código</b>                           | <b>Cantidad</b> | <b>Producto</b>                                             | <b>Descripción</b>     | <b>Precio</b> | <b>Precio Total</b> |
| <b>3L</b>                               | 866             | LUZ                                                         | kW/h                   | \$<br>0,13    | \$<br>108,51        |
| <b>4A</b>                               | 60              | AGUA                                                        | m3                     | \$<br>0,48    | \$<br>28,80         |
| <b>8I</b>                               | 1               | INTERNET                                                    | Plan oficina           | \$<br>60,00   | \$<br>60,00         |
| <b>8O</b>                               | 5               | OPERARIO                                                    | Técnico u tecnólogo    | \$<br>350,00  | \$<br>1.750,00      |
| <b>9I</b>                               | 1               | INGENIERO                                                   | Mecatrónico            | \$1.100,00    | \$<br>1.100,00      |
| <b>8L</b>                               | 1               | LIMPIEZA                                                    |                        | \$<br>360,00  | \$<br>360,00        |
| <b>8G</b>                               | 50              | GASOLINA                                                    | Extra                  | \$<br>2,00    | \$<br>100,00        |
| <b>8M</b>                               | 2               | MNT AUTO                                                    | Dos camionetas         | \$<br>150,00  | \$<br>300,00        |
| <b>10P</b>                              | 1               | Publicidad                                                  | Redes sociales         | \$<br>300,00  | \$<br>300,00        |
| <b>59P</b>                              | 1               | Planning, 3D Design, Simulation and Manufacturing solutions | 3D Experience          | \$<br>474,00  | \$<br>474,00        |
| <b>16C</b>                              | 1               | COMMUNITY MANAGER                                           | Marketing y publicidad | 800           | 800                 |
| <b>Total</b>                            |                 |                                                             |                        |               | \$<br>5.381,31      |

|        |                 |
|--------|-----------------|
| AL AÑO | \$64.575,7<br>2 |
|--------|-----------------|

Al haber considerado estos insumos que han variado por la optimización del plan de procesos, se puede obtener un presupuesto aproximado para la implementación de la planta de producción.

Tabla 71. Presupuesto anual

| DESCRIPCION          | PRECIO        |
|----------------------|---------------|
| ACTIVOS FIJOS        | \$ 205.832,34 |
| INSUMOS              | \$ 196.583,52 |
| PERSONAL Y SERVICIOS | \$ 64.575,72  |
|                      | \$ 466.991,58 |

El presupuesto mostrado en la Tabla 71 es el monto necesitado para la adquisición de los recursos de la planta de producción, y los valores anuales de insumos y de personal y servicios, para que la planta funcione en un año. Si se considera que solo el primer año se debe realizar la adquisición de los activos fijos, entonces el capital necesitado a partir del segundo año es de \$ 261.159,24, y que, con la producción mensual de 41 impresoras, al

año se tiene un valor de \$ 491.508,00. De este modo en la Tabla 72 se indican los valores capitales requerido en función a la autonomía propia, es decir que el capital requerido inicialmente sera hasta poder pagar todos los valores y no depender de ninguna entidad bancaria para el funcionamiento de la planta de producción.

Tabla 72. Cálculo del capital necesitado en función de la producción e independencia de la planta.

| CALCULO VAN Y TIR |                 |              |                      |                |             |                                  |
|-------------------|-----------------|--------------|----------------------|----------------|-------------|----------------------------------|
| Años              | Flujo Beneficio | Flujo costo  | Flujo beneficio neto | Ganancia Anual | Interés (k) | VAN para ser Independiente       |
| 0                 | 0               | \$466.991,58 | \$ - 466.991,58      |                | 11,83%      |                                  |
| 1                 | \$491.508,00    | \$261.159,24 | \$230.348,76         | \$205.981,19   |             | \$ -261.010,39 Empresa del Banco |
| 2                 | \$491.508,00    | \$261.159,24 | \$ 230.348,76        | \$184.191,35   |             | \$-76.819,04 Empresa del Banco   |
| 3                 | \$491.508,00    | \$261.159,24 | \$230.348,76         | \$164.706,56   |             | \$87.887,53 Empresa del Banco    |
| 4                 | \$491.508,00    | \$261.159,24 | \$230.348,76         | \$147.282,99   |             | \$ 235.170,51 Empresa del Banco  |
| 5                 | \$491.508,00    | \$261.159,24 | \$ 230.348,76        | \$131.702,57   |             | \$366.873,09 Independencia       |

La Tabla 72 muestra una independencia al quinto año de funcionamiento de la planta, este valor es tomado cuando la ganancia, determinada por el valor actual neto es mayor al gasto anual para poder cubrir con

los gastos en un año, considerando el interés que una entidad financiera tiene, en este caso es del 11.83%.

De este modo el indicador de independencia económica determina que a partir del quinto año la planta es totalmente independiente y además tiene un excedente de aproximadamente \$105.000 con respecto al valor base de gasto anual. De este modo se para alcanzar la independencia el valor requerido para financiar este proyecto es la suma de los recursos fijos y anuales hasta el cuarto año.

El valor total es de \$ 1.772.787,77 como préstamo de capital, para el funcionamiento completo de 5 años, considerando todos los recursos e insumos necesarios para la producción mensual de 41 máquinas, y también que la planta llega a ser independiente con capital suficiente para funcionar sola un año completo.



En un mundo donde la manufactura aditiva redefine los límites de la producción, este libro ofrece un análisis integral del diseño, fabricación y gestión de impresoras tridimensionales, con un enfoque en tecnologías de extrusión de material como el FDM. Desde los fundamentos históricos de la impresión 3D hasta la optimización de plantas de producción virtuales mediante herramientas avanzadas de PLM, esta obra combina teoría y práctica para explorar cada etapa del proceso: diseño cinemático, selección de sistemas (cartesianos y no cartesianos), planificación de procesos, simulación de distribución en planta y viabilidad económica.

Destacan análisis detallados de marcas líderes (Prusa, Creality, MakerBot), estudios de mercado, estrategias empresariales y el impacto de la iniciativa RepRap en la democratización de la tecnología. Con un enfoque multidisciplinario, el texto integra ingeniería mecánica, gestión de proyectos y herramientas digitales para ofrecer una guía esencial a ingenieros, emprendedores y académicos.

Este libro no solo es una referencia técnica, sino una invitación a innovar en la era de la fabricación digital, donde la simulación y la optimización estratégica convergen para transformar ideas en realidades tangibles. Una lectura indispensable para quienes buscan dominar los desafíos y oportunidades de la manufactura aditiva en el siglo XXI.

ISBN: 978-9942-7375-1-9



Quito 2025