



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA

ESCUELA DE DISEÑO

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**"DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D DE BAJO COSTO PARA LA ESCUELA DE DISEÑO DE LA
PUCESI"**

**PREVIO A LA *OBTENCIÓN* DEL TÍTULO DE
LICENCIADO EN *DISEÑO* DE PRODUCTOS Y CONTROL DE PROCESOS**

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Innovación e Industria

AUTOR: LUIS ANTONIO JARAMILLO CASTRO

ASESOR: JOSE MIGUEL SEGNINI MAIZO

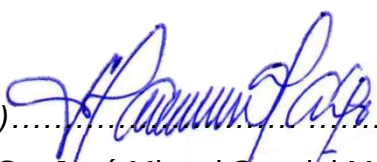
Ibarra, 2019

Mg. José Miguel Segnini

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el cual se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Diseño, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, PUCE-SI; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f.).....

MSc. José Miguel Segnini Maizo

C.C.: 102079863

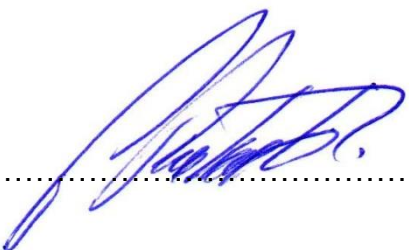
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):.....

MSc. José Miguel Segnini Maizo

C.C: 102079863

(f):.....

Mtr. Servio Roberto Andrade Viana

C.C: 1001292927

(f):.....

Mgs. Melba Carolina Herrera Ramírez

C.C: 04001253059

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Luis Antonio Jaramillo Castro, declaro conocer y aceptar la disposición del Art.66 del Instructivo de Trabajo de Grado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra PUCE-SI, que en su parte pertinente manifiesta textualmente: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional de la universidad”

Ibarra, 2019

f):.....

Luis Antonio Jaramillo Castro

C.C.: 1003113949

AUTORÍA

Yo, Luis Antonio Jaramillo Castro, portador de la cédula de ciudadanía N° 1003113949, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad mía y que se han respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.

f.).....

Luis Antonio Jaramillo Castro

C.C.: 1003113949

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, marzo del 2019

f).....

Luis Antonio Jaramillo Castro
C.C.: 1003113949

DEDICATORIA

A mis padres Antonio y Martha quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por infundir en mí el ejemplo de esfuerzo, de no tener miedo ante las adversidades que se pueden presentar, por estar conmigo siempre.

A mis hermanas Carolina y Elizabeth por su cariño y absoluto apoyo, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, por la ayuda que me brindaron gracias. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, la forma en cómo me acompañan en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

No tengo palabras para expresar todo el amor y agradecimiento hacia mi madre, por su fe, su generosidad y su incansable ayuda en todo momento, gracias a ella he llegado a culminar un peldaño más de mi vida.

De igual manera mis agradecimientos a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a mis profesores, gracias a cada uno por su gran paciencia, dedicación, considerable apoyo y sobre todo amistad.

Expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, profe José Segnini por la confianza, paciencia, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo gracias a su conocimiento y enseñanza, por ser principal colaborador durante todo este proceso.

A los Profesores que me hecho sobrellevar los estudios y me han visto desarrollar como persona, y gracias a sus preparaciones hoy puedo sentirme feliz.

Agradecer a quien siempre ha cuidado de mí por estar persistentemente a mi lado.

INDICE

CERTIFICACIÓN DE ASESOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iv
AUTORÍA	v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
INDICE	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1. Situación actual	3
1.2. Identificación, descripción y diagnóstico de la problemática	4
1.3. Justificación	5
1.4. Alcance	7
1.5. Limitaciones	7
1.6. Objetivos del proyecto integrador	7
1.6.1. Objetivo general	8
1.6.2. Objetivos específicos	8
1.7. Originalidad y Aporte	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Objetos 3D	9
2.2. Impresión 3D	9
2.3. Impresoras 3D	9
2.4. Manufactura aditiva	10
2.4.1. Tipos de manufactura aditiva	11
2.5. Historia de la impresora 3d	13
2.6. Componentes de la impresora 3D	15
	ix

2.7.	Tipos de impresora 3D con tecnología FDM	16
2.7.1.	Impresoras 3D cartesianas	17
2.7.2.	Impresoras 3D Polares	17
2.7.3.	Impresora 3D Delta	18
2.7.4.	Brazos robóticos	18
2.8.	Impresoras 3D existentes	19
2.9.	Implementación en la sociedad	24
2.10.	Implementación en la educación	24
2.11.	Programas para el diseño asistido por ordenador	26
2.11.1.	Autodesk Inventor (CAE)	26
2.11.2.	Expert Choice ComparionTM.	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE DISEÑO		28
3.1	Propuesta de Metodología para el Diseño	28
3.1.1.	Definición estratégica: ¿Qué vamos hacer?	30
3.1.2.	Diseño de concepto: El producto a grandes rasgos	30
3.1.3.	Diseño de detalle: Afinando detalles	30
3.1.4.	Verificación y Testeo: Poniendo a prueba el diseño	30
3.1.5.	Producción: Todo listo para producir	31
3.2.	Análisis de Requerimientos	31
3.3.	Conceptualización	31
3.4.	Selección y Diseño de la Propuesta	32
3.5.	Alternativas para la forma de Diseño	32
3.5.1.	Alternativas de Formas y Mecanismos	32
3.5.2.	Alternativas carcasa	35
3.6.	Material	37
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		38
4.1.	Análisis jerárquico para selección de Alternativas	38
4.2.	Selección de alternativas de mecanismo	38
4.2.1.	Selección de la forma exterior	40
4.3.	Generación de la geometría. Propuesta con Autodesk Inventor®	42
4.3.1.	Funcionamiento de la impresora	43
4.3.2.	Peso de la propuesta	44

4.4. Análisis estructural	44
4.5. Verificación numérica del dispositivo. Convergencia	47
4.6. Propuesta final	48
4.7. Dimensiones generales de la impresora	48
4.8. Gestión de Proceso de Producción	49
4.8.1. Descripción del proceso productivo	49
4.9. Análisis presupuestario	50
4.9.1. Cómputos métricos	51
4.9.2. Costo asociado a la construcción del prototipo	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56
Anexos	61
Anexo A. Planos constructivos de la impresora 3D	62
Anexo B. Marca	68
Anexo C. Manual de usuario	71
Anexo D. Verificación y testeo.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Casas comerciales nacionales y descripción de dispositivos que oferta.	5
Tabla 2.1. Componentes básicos para la construcción de una impresora 3D.	15
Tabla 2.2. Referentes comerciales (Gamma Alta).	19
Tabla 2.3. Referentes comerciales (Tipo Cartesianas).	20
Tabla 2.4. Referentes comerciales (Tipo Delta).	21
Tabla 2.5. Referentes académicos (Ecuador).	22
Tabla 4.1. Distribución del peso estimado de la impresora.	44
Tabla 4.2. Propiedades mecánicas de los materiales de la estructura.	44
Tabla 4.3. Especificaciones técnicas.	48
Tabla 4.4. Cálculos métricos.	51
Tabla 4.5. Presupuesto para fabricación del prototipo.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Varios Modelos de Impresoras 3D.	10
Figura 2.2. Objetos fabricados por Impresoras 3D.	10
Figura 2.3. Proceso de fabricación.	12
Figura 2.4. Fabricacion por SLA.	12
Figura 2.5. Explicación de materiales polyjet.	13
Figura 2.6. Impresora 3D Cartesiana.	17
Figura 2.7. Impresora 3D tipo Polar.	17
Figura 2.8. Impresora 3D tipo Delta.	18
Figura 2.9. Impresora 3D tipo Brazo Robótico.	19
Figura 3.1. Metodología de diseño propuesta por el INTI.	29
Figura 3.2. Metodología de diseño utilizada	29
Figura 3.3. Propuesta 1 – Estructura circular.	33
Figura 3.4. Propuesta 2 – Seis barras.	34
Figura 3.5. Propuesta 3 – minimalista.	34
Figura 3.6. Propuesta 4 – Tres barras.	35
Figura 3.7. Propuesta 1 – Carcasa tubular.	38
Figura 3.8. Propuesta 2 – Carcasa triangular.	39
Figura 3.9. Propuesta 3 – Carcasa completa.	40
Figura 4.1. a) Propuesta 1 – Impresora circular b) Propuesta 2 – Seis barras c) Propuesta 3 – Impresora minimalista d) Propuesta 4 – Tres barras.	42
Figura 4.2. Resultados para la síntesis de tipo y sistema de mecanismo.	43
Figura 4.3. Propuestas desarrolladas. a) Modelo 1 b) Modelo 2 c) Modelo 3	44
Figura 4.4. Resultados para la síntesis de forma exterior.	44
Figura 4.5. Geometría propuesta para la impresora 3D tipo Delta.	45
Figura 4.6. Geometría propuesta para la carcasa impresora 3D tipo Delta.	46
Figura 4.7. Malla última en el refinamiento de las dos piezas críticas.	48
Figura 4.8. Distribución de los esfuerzos de Von Misses en las dos piezas críticas.	49
Figura 4.9. Factor de seguridad en las dos piezas críticas.	50
Figura 4.10. Convergencia de los esfuerzos máximos en la estructura tubular de la impresora 3D	50
Figura 4.11. Imágenes fotorrealistas de la propuesta final.	51

Figura 4.12. Dimensiones generales de la impresora (en milímetros).	53
Figura 4.13. Proceso de ensamblado.	54

RESUMEN

En el ámbito educativo, la impresión 3D ya se ha incorporado en varios proyectos de investigación y entornos de laboratorio a nivel mundial. De aquí a los próximos años, las impresoras 3D se utilizarán cada vez más en el arte, el diseño, la fabricación y las ciencias para crear modelos en 3D que ilustren conceptos complejos o que ayuden en el proceso de generación de ideas y diseños más allá de lo novedoso. En base a esto, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador - sede de Ibarra (PUCESI) adquirió en el año 2009 un dispositivo de impresión 3D, el cual, en la actualidad no se encuentra operativo al 100% debido al alto costo del material de impresión, a su baja velocidad de fabricación, al antiguo sistema operativo que utiliza y, por último, no cuenta con servicio técnico especializado en el país. En base a estos y otros factores en esta investigación, se presenta un diseño conceptual de una impresora 3D con restricciones asociadas al uso de geometrías sencillas, material disponible en la zona y de bajo costo. Para esto, se propone un proceso de diseño donde se presentan alternativas de mecanismos y formas para seleccionar las más adecuadas según los requerimientos planteados.

Posteriormente, utilizando programas computacionales de diseño y de ingeniería (CAD y CAE) se realizan simulaciones numéricas validadas para definir la estructura principal de la impresora, capaz de soportar cargas sin deformarse permanentemente. Los resultados muestran que se puede materializar un diseño en el que se realiza un análisis cinemático y de resistencia de materiales utilizando programas computarizados que sirven para definir totalmente la geometría y materiales del dispositivo. Concluyendo que es posible generar un dispositivo de impresión 3D con la mayoría de los materiales disponibles en el mercado nacional y que sea de costo accesible para utilizarlos como una herramienta en el proceso teórico-práctico de la enseñanza en la Universidad.

Palabras Claves: Impresora 3D; bajo costo; impresión 3D, prototipos.

ABSTRACT

In the educational field, 3D printing has already been incorporated into several research projects and laboratory environments worldwide. From here to the next few years, 3D printers will be used more and more in art, design, manufacturing and science to create 3D models that illustrate complex concepts or that help in the process of generating ideas and novel designs. Based on this, the Pontifical Catholic University of Ecuador - Ibarra campus (PUCESI) acquired in 2009 a 3D printing device, which, at present, is not 100% operational due to the high costs of printing material, at its low manufacturing speed, to the old operating system that it uses and, finally, it does not have a specialized technical service in the country. Based on these and other factors in this research, we present a conceptual design of a 3D printer with restrictions associated with the use of simple geometries, material available in the area and low cost. For this, a design process is proposed where alternative mechanisms and ways to select the most appropriate according to the requirements presented are presented. Later, using computer design and engineering programs (CAD and CAE) validated numerical simulations are carried out to define the main structure of the printer, capable of supporting loads without permanently deforming. The results show that a design can be materialized in which a kinematic and material resistance analysis is carried out using computer programs that serve to fully define the geometry and materials of the device. Concluding that it is possible to generate a 3D printing device with most of the materials available in the national market and that it is affordable to use them as a tool in the theoretical-practical process of teaching at the University.

Keywords: *3D printer; low cost; 3D printing, prototype.*

INTRODUCCIÓN

El proceso educativo se ha alejado definitivamente de los modelos verticales y unidireccional profesor - alumno para convertirse en un modelo en el que todos participan, crean y se interrelacionan. Por otro lado, las nuevas tecnologías de bajo coste permiten a los docentes incluir el acceso y manipulación de objetos tridimensionales (objetos tangibles), dejando a un lado la divulgación educativa por entornos virtuales. Apoyándose de esto, la impresión 3D se presenta como un complemento de este proceso educativo-participativo.

Estos equipos de impresión comenzaron siendo de uso exclusivo de la industria y profesionales, pero ahora están migrando desde la fábrica hasta las academias, ayudando a incentivar el desarrollo de la capacidad creativa y de invención tanto del estudiante como del docente. La Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra (PUCESI), posee dentro de sus activos un equipo de impresión 3D, este equipo no ha podido ser incluido en el proceso teórico práctico de la enseñanza debido al alto costo de sus consumibles, haciendo poco rentable su inclusión en la educación. Desde la liberación de las patentes industriales en el año 2004, se han realizado investigaciones direccionadas a la construcción de estos dispositivos, en Ecuador (Maldonado, 2012), (Romero & Vaca, 2015), (Sánchez A. G., 2015), (Romero & Vaca, 2015), (Iza & Lema, 2016) y (Vasconez & Viteri, 2017) han desarrollado equipos de impresión 3D para la generación de objetos plásticos, pero ninguno de estos, está encaminado a utilizar componentes, materiales y tecnología existente en el país para la fabricación.

La investigación a realizar se centra en diseñar y construir una impresora 3D de bajo costo que considere la mayoría de sus materiales, componentes y tecnología disponibles en Ecuador para su construcción. Para esto, se utiliza una modificación del proceso de diseño propuesto por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en el cual, primero se presentan alternativas de mecanismos, formas y materiales para seleccionar en un proceso jerárquico las más adecuadas según los requerimientos planteados. Posteriormente, utilizando programas CAD - CAE se realizan simulaciones numéricas

validadas para definir la estructura de la impresora 3D, capaz de soportar cargas máximas dadas por los motores sin deformarse permanentemente.

El proyecto está estructurado en cinco capítulos, cada uno de los cuales se desarrollan para cumplir con los objetivos planteados, puntualizando delimitaciones, y describiendo métodos de aplicación al problema, hasta llegar al diseño completo de la impresora.

En el primer capítulo se aborda la necesidad de fabricar una impresora 3D de bajo costo, definiendo los objetivos, alcances y limitaciones, destacando la originalidad y el aporte de la investigación desarrollada. En el segundo capítulo se describen los aspectos teóricos que respaldan cada uno de los elementos necesarios para presentar el diseño propuesto y que se acompaña de la situación actual de dispositivos de impresión 3D que van desde los propuestos por universidades e institutos hasta la disponibilidad de los mismos en el mercado. En el tercer capítulo, con la incorporación de una metodología de diseño se desarrolla variantes de solución y por medio de esta se involucran a expertos para asesoramiento particular en el área de impresión 3D, donde se despliega información necesaria y suficiente para la conceptualización y proceso de diseño, que se lleva a cabo mediante el uso de herramientas computacionales, estableciendo así un proceso innovador que introduce en el diseño no sólo la estética, si no, el cálculo en ingeniería para validar los materiales y formas utilizadas para el dispositivo. En el cuarto capítulo mediante la obtención de la alternativa designada se procede a presentar los resultados conseguidos en cada una de las fases del proceso de diseño, para llegar a una propuesta geométrica final, que además de presentar la forma, exhibe la identidad corporativa del producto. Para finalizar se presentan las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente investigación.

CAPÍTULO I

PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se detalla el estudio realizado para formalizar el diagnóstico del problema a desarrollar, considerando para ello una descripción detallada de la situación actual, donde se desprende la necesidad de diseñar una máquina de manufactura aditiva, puntualizando las limitaciones de construcción y comercialización que tienen países emergentes como Ecuador, donde las materias primas concernientes a los materiales específicos no se encuentran disponibles con bajo costo. Sin embargo, al identificar, justificar y diagnosticar la problemática de forma global, considerando la población objetivo, se observa que es posible materializar un dispositivo de bajo costo con materiales que se encuentren disponibles en el país (Chagna, A., 2017).

1.1. Situación actual

La escuela de Diseño de la PUCE-SI cuenta con un equipo de impresión 3D marca Stratasys, modelo Mojo, la cual no se encuentra operativa. El inconveniente fundamental, es que presenta fallas de operación que no han podido ser reparadas en su totalidad, tampoco se cuenta con el servicio técnico especializado y, por último, los consumibles (cartuchos) para imprimir que utiliza tienen un costo considerablemente alto en comparación a los actuales ofertados en el mercado.

La dinámica del sector de producción de componentes de prototipado rápido a nivel mundial está marcada hoy en día por el creciente aumento, su uso y la interacción con esta tecnología, hace pensar que casi obligatoriamente que las Escuelas en Diseño deben tener estos equipos para la realización de prototipos de diferentes formas.

Por lo anterior es imprescindible que los institutos de educación superior se desarrollen específicamente en el área tecnológica con equipos de impresión 3D, cuyo objetivo permita a los docentes incluir el acceso y manipulación de objetos tridimensionales (objetos tangibles), dejando a un lado la divulgación educativa por entornos virtuales.

1.2. Identificación, descripción y diagnóstico de la problemática

Ecuador dispone de pocas y jóvenes empresas que brindan servicios y ventas de impresión 3D (por deposición de plástico), como se presenta en la tabla 1.1. Un dato curioso a destacar es que no existen en el país empresas fabricantes de impresoras 3D, o por lo menos, ninguna registrada en la web, ya que solo prestan un servicio.

Por ahora, el acceso a los servicios de impresión 3D en Ecuador es limitado, esto debido al alto costo de los insumos y maquinarias, producto de los elevados impuestos arancelarios de importación. Para aceptar y adoptar esta tecnología en nuestro país más allá de la tecnología en sí, va a depender de factores culturales para que realmente tenga éxito y logre su desarrollo. Para ello, se deberá promover una cultura tecnológica a partir de la impresión 3D con el respaldo de adecuadas políticas públicas que fomenten la fabricación frente al consumo individual, porque sin ellas es probable que terminemos en una sociedad más consumista repercutiendo evidentemente de manera negativa sobre el medio ambiente (Segnini & Romero, 2014).

Desde hace seis años el país cuenta con laboratorios de fabricación digital (Fab Lab), los cuales, son una red mundial que cuentan con espacio de producción de objetos físicos a escala personal o local que agrupa máquinas controladas por ordenadores. Dichos laboratorios no solo cuentan con este tipo de impresoras, sino que también fabrican, pero solo para desarrollar proyectos propios.

No obstante, existen diversos tipos de investigaciones realizados en Universidades de Ecuador (Maldonado, 2012), (Acuña, Rivas, Chancusi, & Navarrete, 2014), (Romero & Vaca, 2015), (Sánchez, 2015) y (Romero M., 2016) asociadas al diseño de impresoras 3D. Sin embargo, las propuestas allí presentadas no están direccionadas hacia un dispositivo de impresión 3D de bajo costo y que, además, una vez puesta en marcha, pueda imprimir partes faltantes para su ensamblado final.

Tabla 1.1. Casas comerciales nacionales que distribuyen dispositivos.

Empresas Nacionales	Descripción	Producto	Página web
1Innova3D	Distribución autorizada de SeeMeCMC y Flasforge.	Impresoras 3D Filamentos 3D	innova3d.net
Sais3d	Servicio de diseño 3D y desarrollando productos.	Diseño y modelado 3D Prototipado rápido Herramientas de prototipado rápido	sais3d.com
Makergroup Ecuador	Venta de impresoras e insumos 3D.	Diseño y modelado 3D Impresoras 3D Filamentos 3D	makergroupecuador.com
Megacore	Venta, consultoría e integración de servicios informáticos.	Suministros de impresión Impresoras 3D	megacore.com.ec
Tele automática	Diseño e implantación hacia la impresión 3D	Servicio de impresión Impresoras 3D	teleautomatica.com
3-Bean	Representantes de la marca ZORTRAX con impresión 3D	Impresoras 3D Filamentos 3D	bean-3d.com
MercadoLibre	Empresa online de compra y venta en todo tipo de productos.	Impresoras 3D Filamentos 3D	mercadolibre.com.ec

1.3. Justificación

Ecuador como país emergente, en muchas ocasiones se ve en la necesidad de importar equipos, en pro del desarrollo de productos (cortadoras laser, centros de mecanizado, termoformado, impresoras 3D, entren otros), los cuales suelen tener altos costos, por lo

tanto, se hace indispensable que se desarrollen propuestas para la construcción de estos equipos que consideren la materia prima disponible en el mercado Nacional y así disminuir considerablemente el costo total del equipo. Aunado a esto, muchas investigaciones **(Blázquez, Orcos, Mainz, & Sáez, 2018)**, **(Rua, Jimenez, Gutierrez, & Villamizar, 2018)**, **(Torras, 2016)**, afirman que la inclusión de la impresión 3D en ambientes educativo puede ser una herramienta que ayude a incentivar el desarrollo de la capacidad creativa y de invención de los estudiantes.

Bajo esta premisa, es imperativo que la Escuela de Diseño, cuente con equipos que beneficie al aprendizaje teórico-práctico acorde con las necesidades y exigencia de la carrera, elevando así la calidad de conocimientos. Este motivo y los expuestos anteriormente, traen como consecuencia la necesidad por parte de la escuela de contar con un equipo de Impresión 3D operativo que pueda ayudar a materializar las ideas de los usuarios (estudiantes, investigadores y profesores) de las tres carreras de Diseño.

Por otro lado, es importante señalar que el manejo de materiales, mano de obra y maquinarias en el país tendería a bajar los costos de fabricación del producto; en relación con la adquisición de equipos similares.

Adicionalmente, esta investigación contribuye con los siguientes objetivos, políticas y lineamientos del Plan del Buen Vivir 2013 – 2017 que están alineados con el Plan Regional de Desarrollo, de la Zona 1: Objetivo. Impulsar la transformación de la matriz productiva, 10.2.a. Articular la investigación científica, tecnológica y la educación superior con el sector productivo, para una mejora constante de la productividad y competitividad, 10.3.b. Fomentar la generación de capacidades técnicas y de gestión en los servicios, para mejorar su prestación y contribuir a la transformación productiva. 10.1.f. Articular la educación y la investigación a la generación de capacidades técnicas y de gestión, para dinamizar la transformación productiva.

1.4. Alcance

Será un importante aporte para el desarrollo tecnológico en una de las zonas de planificación en que se organiza el Ecuador, Esmeraldas, Imbabura, Carchi y Sucumbíos son parte de la zona 1, ya que además de desarrollar e implementar metodológicamente diversas técnicas a considerar para el desarrollo de productos, podrá contribuir con el mejoramiento de educación universitaria en la Escuela de Diseño ya que permitirá realizar prácticas de gran interés e importancia en la academia e incluso en la investigación. Esta impresora podrá ser incorporada en la Industria asociada al Prototipado rápido, además se elevará el nivel científico en la PUCESI, lo que generará a mediano plazo la posibilidad de materializar otros proyectos que aporten soluciones a diversos tipos de problemas.

1.5. Limitaciones

Existen cuatro limitaciones en esta investigación: la primera está asociada a que no se cuenta con equipos de control numérico computarizados en la Universidad para fabricar con precisión los componentes de la impresora, motivo por el cual, se debe tercerizar esta tarea.

La segunda limitante está relacionada a la ausencia de un laboratorio de electrónica donde se puedan realizar pruebas de los componentes electrónicos por adquirirse.

La tercera viene dada al uso de programas numéricos para la simulación y análisis de mecanismos que no posee la PUCESI y por lo tanto se utilizan los cedidos por la Universidad de los Andes – Venezuela.

La última limitante se refiere a que el estudio planteado no comprende el análisis de la oferta y la demanda, puesto que no es el objetivo de esta investigación y además hasta ahora en el país esta información no está disponible públicamente con datos fidedignos.

1.6. Objetivos del proyecto integrador

Para lograr las metas fijadas en el desarrollo del proyecto se han planteado los siguientes objetivos de trabajo.

1.6.1. Objetivo general

Realizar el diseño conceptual de una impresora 3D de bajo costo para la escuela de diseño de la PUCESI.

1.6.2. Objetivos específicos

- Definir dispositivos disponibles en el mercado nacional y avances obtenidos en Universidades en Ecuador en el diseño de impresoras 3D.
- Investigar, analizar y diseñar propuestas que cumplan con los requerimientos de diseño.
- Proponer tipos de materiales de comercialización nacional para los dispositivos propuestos, así como los componentes electrónicos.
- Determinar la factibilidad de las propuestas planteadas en cuanto a lo estético de la impresora 3D.
- Caracterizar la alternativa más ventajosa de acuerdo a diversos criterios y objetivos.
- Modelar a través de programas CAD la geometría de la alternativa seleccionada
- Elaborar el prototipo del dispositivo.

1.7. Originalidad y Aporte

Este proyecto es el primero de su tipo realizado en la Pontificia Universidad Católica en diseñar una máquina de control numérico computarizado capaz de fabricar objetos tridimensionales y que, a su vez, sea capaz de autoreplicarse (fabricar piezas para la impresora misma).

Además, incorpora básicamente tres aspectos, el primero: introduce una metodología de diseño con el uso de programas de Ingeniería asistida por computador (CAE del inglés Computer Aided Engineering) para la simulación numérica de comportamiento mecánico, la segunda propone para la selección de alternativas con el uso de Expert Choice® y por último ha permitido un intercambio multidisciplinario mediante el uso de programas para Ingeniería con la Universidad de Los Andes en Venezuela.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta la terminología y conceptos necesarios para plantear el desarrollo de una impresora 3D, el cual contiene la descripción y estadísticas sobre empresas ecuatorianas, los aportes a la sociedad y educación. Se incluye también un esquema con dispositivos existentes en el mercado, desarrollo de equipos análogos desarrollados por Institutos y Universidades.

2.1. Objetos 3D

Un objeto 3D o tridimensional es aquel que tiene anchura, altura y profundidad. Estos fueron desarrollados inicialmente para satisfacer la necesidad de crear modelos tridimensionales reales, llamados prototipos, por lo que un diseñador, ingeniero o arquitecto, podría producir un objeto experimental sin tener que recurrir para hacer pruebas a la producción en fábrica, reduciendo enormemente los costos y ampliando las posibilidades técnicas (Silva, Silva, & Queijo, 2013).

2.2. Impresión 3D

La impresión 3D, también conocida como manufactura por adición, es un proceso por el cual se crean objetos físicos colocando un material por capas en base a un modelo digital. Todos los procesos de impresión 3D requieren que el software, el hardware y los materiales trabajen en conjunto.

La tecnología de impresión 3D puede utilizarse para crear todo tipo de cosas, desde prototipos y piezas simples hasta productos finales altamente técnicos, como piezas para aeronaves, edificios ecológicos, implantes médicos e incluso órganos artificiales (Autodesk, s.f.).

2.3. Impresoras 3D

Son dispositivos electromecánicos que construyen un objeto a partir de archivos digitales CAD (Computer-Aided Design, por sus siglas en inglés), mediante la adición de capas plásticas. Para generar un objeto con una impresora 3D, en lugar de restar o quitar

material a través de mecanizados o cortes, inyectado en un molde, termo formado, etc., como suelen fabricarse los objetos tradicionalmente, se usa la técnica de fabricación aditiva.

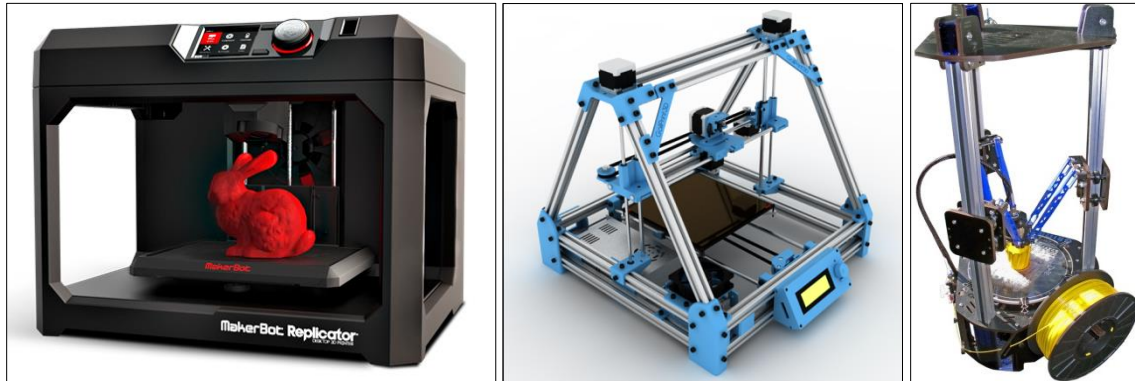


Figura 2.1. Varios Modelos de Impresoras 3D. Imágenes extraídas de (Makerbot, 2016), (Polo, 2014) y (Griffin, 2014).

Además de poder generar formas más complejas y orgánicas que con mecanizado tradicional, también es posible trabajar y experimentar con materiales poco convencionales o exóticos.



Figura 2.2. Objetos fabricados por Impresoras 3D. Imágenes extraídas de www.3dnatives.com

2.4. Manufactura aditiva

Manufactura aditiva (FA) es un nombre oficial usado en la industria de manufactura, definición registrada como ASTM F2792 para todas las aplicaciones de tecnologías de prototipos rápidos (Wohlers, 2016). El cual, es un proceso que consiste en agregar o unir materiales mediante la adición capa por capa y así construir cuerpos tridimensionales.

Este proceso se lleva a cabo a partir de modelados computarizados 3D. Algunos sinónimos son impresión 3d, fabricación aditiva, procesos aditivos, manufactura por capas.

2.4.1. Tipos de manufactura aditiva

Existen varias tecnologías dentro de la manufactura aditiva, entre la más importantes se encuentran

- **Modelado por deposición fundida (FDM)**

El modelado por deposición fundida (también conocido como FDM, por sus siglas en inglés) utiliza un principio similar a la pistola de silicona, en la cual, un material plástico termofundible es obligado a pasar por una boquilla que se encuentra a una temperatura mayor al punto de fusión del plástico, lo que origina que de la boquilla salga el material en estado líquido y sea distribuido para formar la primera capa del objeto, este proceso es repetido posesionando la boquilla a una altura igual a su diámetro para formar la segunda capa y así sucesivamente hasta formar el objeto (ver figura 2.3). Esta tecnología es la más económica debido a su simplicidad, motivo por el cual será la tecnología utilizada en este proyecto.

- **Estereolitografía (SLA)**

La forma como se trabaja con esta tecnología 3D es por medio de capas de resina líquida fotosensible en el que un rayo láser va dándole forma al objeto para que luego se endurezca. Luego este mismo va formando capas tras capas (ver figura 2.4). Esta tecnología es comúnmente utilizada para generar piezas artísticas muy detalladas, prototipos no funcionales, y puede ser usada también para crear matrices para moldeo a la cera, la que presenta un alto costo de producción.

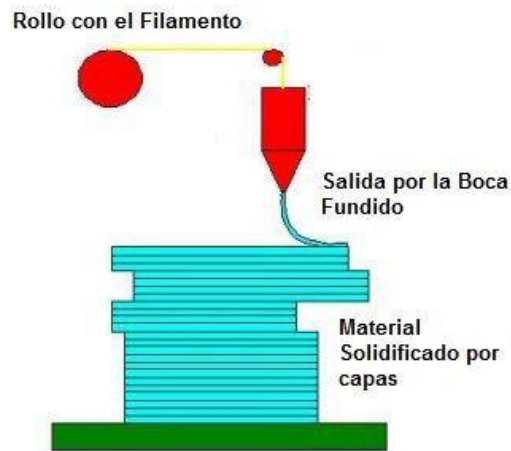


Figura 2.3. Proceso de fabricación. Imagen extraída de edgardosilvi.wordpress.com

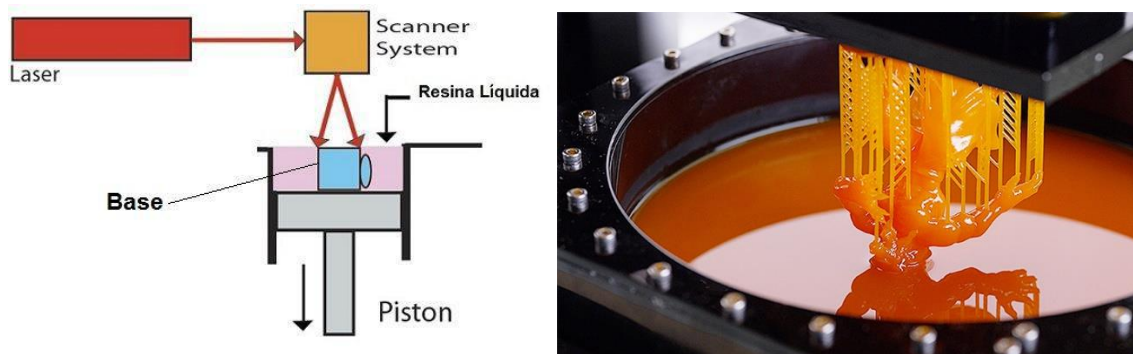


Figura 2.4. Fabricación por SLA. Imágenes extraídas de www.3dnatives.com

- **Fotopolímeros (Polyjet)**

El proceso de impresión 3D Polyjet utiliza decenas de boquillas que proyectan microgotas de materia sobre una plataforma. Durante cada proyección, una luz ultravioleta es emitida y solidifica el fotopolímero. Estas etapas son repetidas, capa por capa, hasta la obtención de la pieza (ver figura 2.5), la cual no necesita ninguna etapa de terminación, el proceso de impresión Polyjet es ideal ya que combina una amplia gama de materiales, incluyendo la combinación de varios de manera simultánea con una gran variedad de colores para desarrollar prototipos completamente ensamblados y geometrías complejas y detalladas con materiales con distintas propiedades (Sánchez S. , 2016).

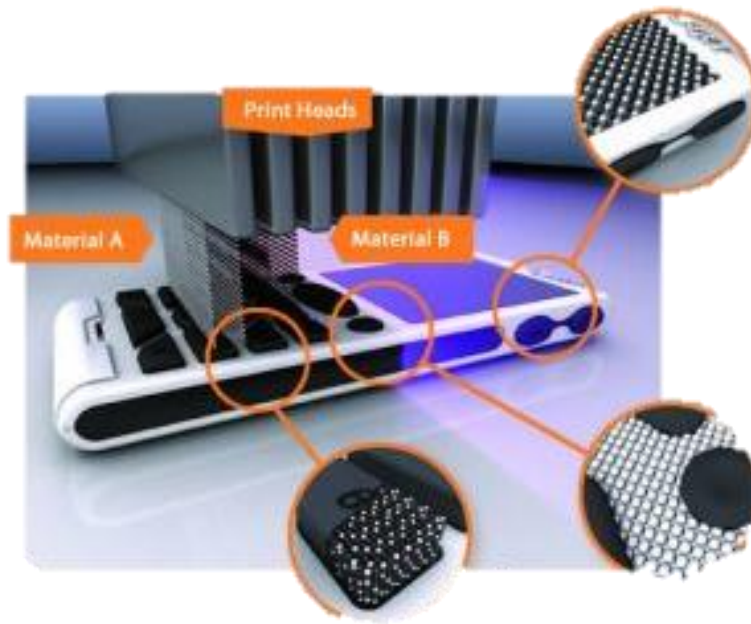


Figura 2.5. Explicación de materiales polyjet. Imagen extraída de www.3dnatives.com

2.5. Historia de la impresora 3d

Las impresoras de computadoras que pueden construir objetos en 3D mediante la adición precisa de capas delgadas de material encima de las demás datan de los años ochenta (Bird, 2012). Pero no fue sino hasta 1981, que Hideo Kodama, del Instituto Municipal de Investigaciones Industriales de Nagoya, inventó dos métodos de fabricación de manufactura aditiva de un modelo de plástico tridimensional con un polímero foto-endurecible, en el que el área de exposición a los rayos UV era controlada por un patrón de máscara o transmisor de fibra de barrido (Wikipedia®, 2017a). Dos años después, 1983, Alain Le Méhauté, Olivier de Witte y Jean Claude André presentaron su patente para el proceso de estereolitografía. Curiosamente tres semanas antes que Chuck Hull presentase su propia patente de estereolitografía. La aplicación de los inventores franceses fue abandonada por la compañía General Electric francesa, alegando falta de potencial comercial. Luego en 1984, Chuck Hull cofundador de 3DSYSTEMS Corporation desarrolló un sistema de prototipado basado en el proceso conocido como estereolitografía, en el que se adicionan capas mediante el curado de fotopolímeros con láseres de rayos UV. Según Jorquera (2017) algunas fuentes siguen atribuyendo la tecnología al equipo francés. La contribución de Hull fue complementada con el diseño

del formato de archivo STL (STereoLithography) ampliamente aceptado por el software de impresión 3D, así como las estrategias digitales de corte y relleno comunes a muchos procesos actuales. Pocos años después, 1989, Scott Crump, fundador de Stratasys, ideó y patentó una nueva tecnología de fabricación aditiva llamada FDA (Fused Deposition Modeling) basado en la extrusión de un fino cordón de plástico derretido, inspirado en el funcionamiento de la pistola de silicón caliente (Jorquera, 2017). Según Marcos (2013) este método permitió con el tiempo una mayor difusión de la impresión 3D abaratando costes y permitiendo a pequeños usuarios y talleres no industriales tener acceso a esta tecnología para fines propios.

Durante la década de los noventa ocurren grandes avances de esta tecnología a nivel industrial y surgen proyectos interesantes, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) fue el siguiente en patentar una nueva tecnología y también el término “impresión 3D”. Dos estudiantes de posgrado Jim Bredt y Tim Anderson modificaron una impresora de inyección de tinta para suministrar un fluido adherente sobre un lecho de polvo, en vez de usar láser o calor. La impresora tridimensional (3PD) fue patentada por el MIT en 1993, en 1995 Bredt y Anderson fundaron Z Corporation quedándose con la licencia en exclusiva, años más tarde, 2012, fue adquirido por 3DSystem, su principal colaborador (Paniagua, 2013). A partir de ahí, la impresión 3D comenzó a perfilarse como una revolución en el mercado doméstico a través del proyecto RepRap, y es donde entra en juego la comunidad Maker (hazlo tú mismo). Ante los altos precios de las impresoras 3D, en 2005 el Dr. Bowyer un profesor en ingeniería mecánica de la Universidad de Bath en Reino Unido y líder del proyecto RepRap, desarrolla la primera impresora 3D auto replicable (capacidad de imprimir casi la totalidad de las piezas que la componen). Este hecho constituye la entrada del Open-source (fuente abierta) en la historia de la impresión tridimensional y un gran paso hacia su normalización en el mercado. Basándose en el proyecto RepRap, surgen a su vez varios proyectos con la misma idea, favorecer el desarrollo de esta tecnología y acercarla al mayor número posible de comunidades. De entre todos sobresale Makerbot Industries, y su modelo Makerbot (Marcos, 2013).

Makerbot surge como proyecto Open-source que a través de una fuerte comunidad de usuarios fue tomando forma en una impresora que ya no solo podía autor replicarse a sí misma, sino que podía ser ensamblada por cualquier persona con unas habilidades técnicas mínimas. Al mismo tiempo surgieron comunidades de intercambio de ideas y diseños para impresoras 3D, siendo una de las más importantes “Thingiverse” (Marcos, 2013). Las impresoras Makerbot fueron de hardware abierto hasta el verano de 2012 cuando se lanza la Replicator 2. Makerbot decidió cerrar el diseño de su nueva impresora tomando un rumbo netamente comercial, el objetivo principal era impulsar la manufactura personal, conseguir que el consumidor tuviese una impresora 3D en su casa (Paniagua, 2013).

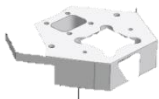
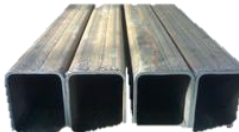
Tras el fenómeno de la impresora Makerbot, la popularización de la impresión 3D ha conseguido escalar importancia en casi todos los campos tecnológicos. Entre ellos, uno de los que está generando nuevas posibilidades formativas es el sector educativo.

2.6. Componentes de la impresora 3D

Cada impresora tiene particularidades distintas, pero en líneas generales, todas cuentan con componentes bases, como se muestran en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Componentes básicos para la construcción de una impresora 3D.

Nombre	Imagen	Descripción
Bobina-filamento plástico		Material biodegradable, uno de los más usados en la impresión 3d.
Extrusor (Coldend)		Herramienta con la cual se difiere del molde en un proceso continuo.
Punta caliente		Disipador de calor plástico (heatsink) con guía de filamento y boquilla.

Esquina estructural		Base de construcción y soporte para tubos de aluminio.
Electrónica		Componente mecánico y electrónico controlador encargado de unir dispositivos externos.
Cama caliente		Elemento imprescindible al depositar el filamento fundido para obtener una buena adherencia sin afectar la impresión.
Tubo aluminio		Material sobre las cuales están colocadas la superficie y base de una impresora 3D.
Vidrio templado		Vidrio de seguridad que protege la cama caliente (Hotbed).
Riel lineal		Barra metálica sobre la cual se desplaza de forma guiada un elemento.

2.7. Tipos de impresora 3D con tecnología FDM

Cuando se habla de tipos de impresoras 3D, normalmente se enfocan en las diversas tecnologías 3D antes descritas. Este apartado se centrará en la tecnología FDM por ser la tecnología seleccionada para la construcción de la impresora. Este proceso de FDM cuenta con diferentes e interesantes tipos de máquinas que buscan alcanzar diversos resultados. A continuación, se describirán las más resaltantes.

2.7.1. Impresoras 3D cartesianas

Como lo expresa Contreras (2017), es sin dudar el tipo de impresora FDM más común que hay en el mercado, reciben este nombre debido a que utilizan un sistema de coordenadas dimensionales (el eje X, Y y Z) que se utiliza para determinar dónde y cómo moverse en tres dimensiones, estos son utilizados para determinar la correcta localización del cabezal de impresión y corregir la dirección del movimiento (ver figura 2.6). La cama de impresión de esta máquina se mueve únicamente en el eje Z, el extrusor se sitúa sobre el eje X y el Y, así puede moverse en cuatro direcciones.

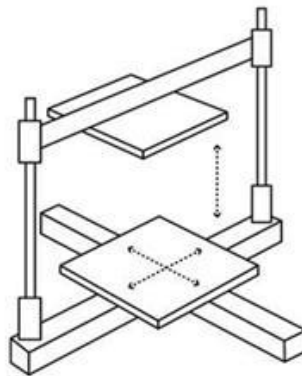


Figura 2.6. Impresora 3D Cartesiana. Imagen extraída de <http://tecnoimpre3d.com/delta/>.

2.7.2. Impresoras 3D Polares

La diferencia entre esta máquina con respecto a las cartesianas, es que está utiliza las coordenadas polares para imprimir en 3D. Los conjuntos de coordenadas describen puntos en una cuadrícula circular en lugar de un cuadrado, no determinados por los ejes X, Y y Z, pero con ángulo y longitud. Esto significa que la cama de impresión gira, y la cabeza de impresión puede moverse hacia arriba, abajo, izquierda y derecha (ver figura 2.7); y el extrusor puede moverse de arriba a abajo (Contreras, 2017).

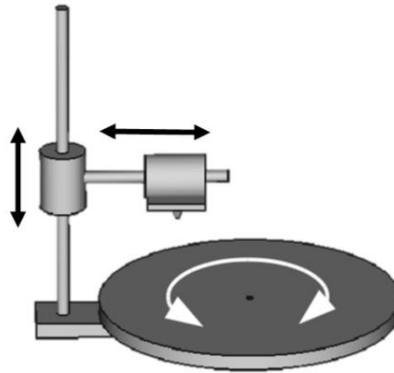


Figura 2.7. Impresora 3D tipo Polar. Imagen extraída de (Vargas, 2017).

2.7.3. Impresora 3D Delta

Trabajan con coordenadas cartesianas y sus características principales son la cama de impresión circular combinada con el extrusor que se fija por encima con una configuración triangular, a esto se le atribuye el nombre “Delta” (ver figura 2.8). Cada uno de los 3 dispositivos puede moverse hacia arriba y hacia abajo, lo que permite que el cabezal de impresión se mueva en tres dimensiones. Las impresoras 3D Delta fueron diseñadas para aumentar la velocidad y aceleración de impresión sin afectar la precisión, motivo por el cual será la utilizada en este proyecto.

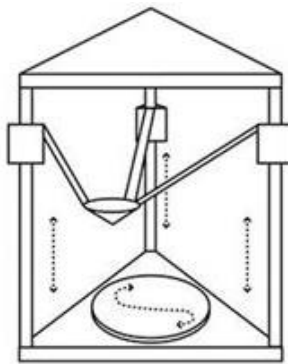


Figura 2.8. Impresora 3D tipo Delta. Imagen extraída de <http://tecnoimpre3d.com/delta/>

2.7.4. Brazos robóticos

Este método de impresión FDM 3D emula funciones parecidas a las de un brazo humano, esta máquina posee articulaciones interconectadas que permiten tanto un movimiento rotacional, como un movimiento traslacional o desplazamiento lineal (ver figura 2.9).

Estas impresoras no necesitan una cama de impresión fija y tiene una mayor movilidad. El movimiento de la cabeza del extrusor es también extremadamente flexible, abriendo un montón de nuevas posibilidades de diseños complejos. Desafortunadamente, la calidad todavía no está tan cerca de una impresora cartesiana, polar o delta (Contreras, 2017).

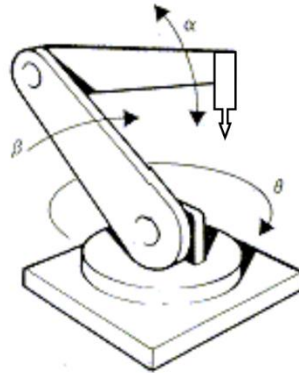


Figura 2.9. Impresora 3D tipo Brazo Robótico. Imagen reconstruida de <http://fedeicoherrera.blogspot.com/2010/>

2.8. Impresoras 3D existentes

Existen empresas pioneras en el desarrollo y comercialización de impresoras 3D, como es el caso de Stratasys, 3D Systems, Makerbots y Ultimaker, por nombrar algunas, en las tablas 2.2, 2.3 y 2.4 se encuentra un resumen esquemático de los modelos de impresora más destacados.

Tabla 2.2. Referentes comerciales (Gamma Alta)

Imagen	Nombre	Tecnología	Tipo	Precio
	Stacker S4	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$10995 + Importación

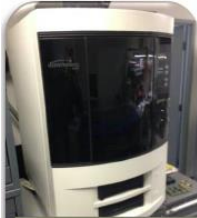
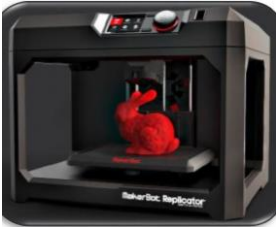
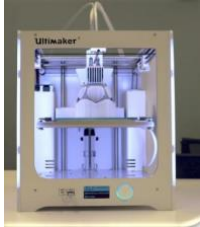
	Stratasys DimensionSST	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$8700+ Importación
	Stratasys uPrintSE	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$15900 + Importación
	Airwolf 3D AXIOM 20	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$8995 + Importación

Tabla 2.3. Referentes comerciales (Tipo Cartesianas)

Imagen	Nombre	Tecnología	Tipo	Precio
	Makerbot Replicator+	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$2499 + Importación
	Ultimaker3	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$3495 + Importación
	Robo R2	Tecnología FDM	Tipo Cartesiana	\$1499+ Importación



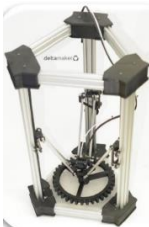
CubePro3D
Systems

Tecnología
FDM

Tipo
Cartesiana

\$1230+
Importación

Tabla 2.4. Referentes comerciales (Tipo Delta).

Imagen	Nombre	Tecnología	Tipo	Precio
	Atom2.0	Tecnología FDM	Tipo Delta	\$1699 + Importación
	DeltaMaker	Tecnología FDM	Tipo Delta	\$2649 + Importación
	DreamMaker	Tecnología FDM	Tipo Delta	\$999+ Importación
	AltairPro	Tecnología FDM	Tipo Delta	\$3899+ Importación

Académicamente en Ecuador, se han mostrados avances en el desarrollo de equipos de impresión 3D (ver tabla 2.5). Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE) en el año 2006 presentan una propuesta de impresora 3D para fabricar objetos de cera

(Bonilla & Dávalos, 2006). Desde el año 2012 se han presentado proyectos en varias universidades del país, como son, la Universidad Internacional del Ecuador (Maldonado, 2012), la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo (Romero & Vaca, 2015), la Universidad Técnica de Ambato (Sánchez A. G., 2015), la Universidad San Francisco de Quito (Romero M. Á., 2016), la Universidad Técnica de Cotopaxi (Iza & Lema, 2016), la Universidad Técnica del Norte (Quito, 2016) y la Universidad Politécnica Salesiana (Vasconez & Viteri, 2017), todas direccionadas al desarrollo de una máquina de control numérico computarizado (CNC) para el modelado de plástico por deposición fundida.

Tabla 2.5. Referentes académicos (Ecuador).

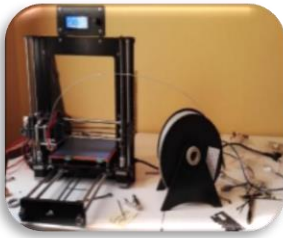
Imagen	Universidad	Tecnología	Tema
	Escuela Superior Politécnica De Chimborazo	FDM	Construcción de una impresora 3d, para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de modelado por deposición fundida (MDF)
	Universidad Politécnica Salesiana	FDM	Implementación de un prototipo de impresora 3D controlada inalámbricamente por bluetooth
	Escuela Politécnica Del Ejército	FDM	Prototipo de impresora para modelos 3d en cera



Universidad San Francisco
De Quito

FDM

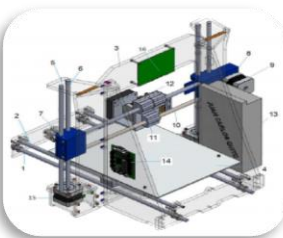
Diseño y Construcción de
una Impresora 3D de
Plástico



Universidad Técnica De
Cotopaxi

FDM

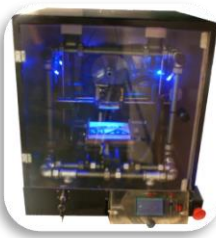
Implementación de una
impresora 3d de control
numérico computarizado
CNC para la producción
de prototipos de plástico



Universidad Técnica del
Norte

FDM

Ensamblaje de una
impresora 3d para la
fabricación de piezas
automotrices con
polímero ABS



Universidad Técnica del
Norte

FDM

Diseño, construcción y
programación de una
máquina CNC aplicada al
prototipado rápido de
modelado por deposición
fundida



Universidad Técnica De
Ambato

FDM

Impresora 3d de
escritorio basada en el
modelo open source para
la elaboración de objetos
físicos

2.9. Implementación en la sociedad

En concordancia con lo expuesto por TecpanecatI (2017), la implementación de esta tecnología en la sociedad tiene como objetivo la creación y el desarrollo de nuevos productos y procesos que sirvan para mejorar, salvaguardar y procurar la calidad de vida del ser humano. Esta tecnología ha pasado de ser exclusivamente de uso industrial a ser un proceso disponible para el público en general lo cual ha provocado que se incursione en otras áreas como la industria de alimentos, la academia con la creación de maquetas y prototipos, el entretenimiento con la creación de juguetes y la industria de la moda con la creación de calzado y lencería, entre otras.

Esta tecnología ayuda a reducir los tiempos de generación de prototipos de baja y alta fidelidad, lo cual genera menores costos en el proceso de diseño. También, en algunos casos los costos de desarrollo son mucho más bajos ya que la materia prima es más barata, reutilizable y reduce la mano de obra (TecpanecatI, 2017).

2.10. Implementación en la educación

En el sector educativo, la impresión 3D puede ser una herramienta en áreas como la arquitectura, el diseño, la ingeniería o la medicina, ayudando a incentivar el desarrollo de la capacidad creativa y de invención de los estudiantes. En estos últimos años ha aumentado la accesibilidad y disponibilidad debido a la reducción en el coste de la tecnología. (Ovejero, 2013).

La Universidad de Texas (UT) y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) son los pioneros en la introducción de estos equipos a ambientes educativos, de hecho, del MIT en el año 2004 salió la patente de impresión tridimensional (3PD).

Uno de los aspectos más significativos de la impresión 3D para la educación es que permite una exploración más auténtica de objetos que puedan no encontrarse disponibles de forma inmediata para las universidades. Por ejemplo, estudiantes de antropología de la Universidad de Miami (EEUU) pueden manipular y estudiar réplicas de objetos frágiles, como antiguos jarrones egipcios, que han sido escaneados e

impresos en el laboratorio de impresión 3D de la universidad. Similarmente, en el GeoFabLab de la Universidad Estatal de Iowa (EEUU), estudiantes de geología y aficionados pueden examinar especímenes impresos en 3D de fósiles raros, cristales y minerales sin riesgo de dañar aquellos objetos valiosos. De igual manera, la Universidad de Malaya (Malasia) utiliza esta tecnología para imprimir órganos humanos en 3D para que profesionales médicos puedan practicar sus cirugías utilizando los mismos instrumentos que se emplean en las cirugías reales (Segnini, Vergara, & Provenzano, Prospectiva para el diseño y fabricación de una ortesis impresa en 3D, 2017). En América latina, estudiantes de la Universidad de Piura en Perú usan impresoras 3D para la creación de prototipos de automóviles (Johnson, Adams Becker, Gago, E., & Martín, 2013), de forma similar, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) desarrollan una técnica de impresión 3D que hace prótesis craneales en 15 horas (Molina, 2015), la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) desarrollan prótesis de una mandíbula impresas en 3D y elaborada en ácido poliláctico, material compuesto de maíz y glicerina (UPAEP, 2016), el Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada (LIFIA) de la Universidad Nacional de la Plata (Argentina) están desarrollando impresoras que utiliza polímeros no convencionales y sus posibles combinaciones con materiales biológicos, materiales celulares y sistemas híbridos, la Universidad Nacional de Mar del Plata en Argentina desarrollo una impresora con cabezal para imprimir cerámicos por deposición fundida (Baraño, 2015), por último, la Universidad Simón Bolívar (USB) en Venezuela cuenta con un espacio para que los estudiantes a un bajo costo puedan imprimir sus prototipos y maquetas, en esa misma dirección, el grupo de Biomecánica de la USB están fabricando implantes de orejas como una solución a la deformidad congénita llamada microtia (Berroterán, Pelliccioni, Candal, Minguella, & Martínez, 2014), (Berroterán, Candal, & Pelliccioni, 2015).

Mientras la impresión 3D gana terreno en la educación, las universidades ecuatorianas están empezando a crear espacios para cultivar la creatividad y estimular la investigación creativa en torno a esta tecnología emergente. Algunos ejemplos son, el laboratorio de fabricación digital (FabLab UTPL) de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL),

que es un espacio destinado a mejorar la creatividad, innovación e investigación (Flores, 2015). De igual forma, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ha creado un laboratorio de fabricación digital (AsiriLabs) para estudiantes y público en general (ESPOL, 2016). Estos espacios, equipados con los últimos escáneres 3D, impresoras 3D, sensores de movimiento 3D y equipos de corte láser, no sólo permiten el acceso a las herramientas, sino que también fomentan la colaboración dentro de una comunidad (Johnson., Adams Becker, Estrada, & Freeman, 2015).

A pesar de lo anterior, la impresión 3D en Latinoamérica sigue siendo una tecnología que presenta poca penetración, se espera un crecimiento del uso de estas herramientas como en todo el mundo.

2.11. Programas para el diseño asistido por ordenador

Actualmente los programas computacionales facilitan el proceso de fabricación, construcción y diseño con el fin de, documentar, evaluar y optimizar procesos. Entre estos programas se encuentra los programas de diseño asistido por computadora (CAD), de Ingeniería asistida por computadora (CAE) y Fabricación asistida por computadora (CAM), estos programas permiten una re-configuración y análisis previo de lo que se diseña o se plantea. A continuación, se describen los programas utilizados en esta investigación (Chagna, A., 2017).

2.11.1. Autodesk Inventor (CAE)

Es el programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes (Álvarez, 2015). En el proyecto se realiza las piezas mecánicas, basándose en las dimensiones del dispositivo, con este se levanta la geometría 3D y se elabora la documentación y simulación del producto.

2.11.2. Expert Choice Comparion™.

Es un programa computacional orientado a la toma de decisiones, que permite analizar y sintetizar por medio de valores numéricos asignados propiedades a las alternativas

dadas. El programa es empleado en la toma de decisiones en cuanto a mecanismo, material, forma (Expert Choice, 2018).

En resumen, en este capítulo como parte de la investigación requerida, se describen todos los componentes, métodos y técnicas relacionados con el entorno de la impresión 3D, así como los avances comerciales y académicos en pro del desarrollo de equipos de fabricación 3D.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE DISEÑO

En este capítulo se describe el proceso metodológico usado para el desarrollo del dispositivo de impresión 3D. Se considera la investigación ejecutada y pautas obtenidas por especialistas y teniendo presente el diseño de productos, se expone alternativas de: mecanismos y geometrías teniendo en cuenta la forma, estructura y estética, que posteriormente serán evaluadas y elegidas de acuerdo a requerimientos y determinantes que se acoplen a la estrategia sistemática que incorpora criterios metodológicos de diseño, con una introducción de simulación numérica. Estableciendo la conceptualización, imagen corporativa y la propuesta previa que será evaluada para obtener la propuesta final (Chagna, A., 2017).

3.1 Propuesta de Metodología para el Diseño

Una metodología de diseño es una guía, cuya meta se centra en orientar al diseñador durante el proceso proyectual, esta no es una fórmula para constituir rutinas, si no son pautas para lograr objetivos (Segnini, Chagna, & Vergara, Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla, 2018).

La metodología que será utilizada es una modificación a la propuesta desarrollada por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), titulada Proceso de Diseño: fases para el desarrollo de productos (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2009), en la cual proponen un proceso de diseño que esquematiza el recorrido para diseñar un producto. Está organizado en término de fases de trabajo (ver figura 3.1), que persiguen objetivos específicos. Conjugua instancias de mayor libertad creativa junto a otras de implementación y control.



Figura 3.1. Metodología de diseño propuesta por el INTI. Extraído de (INTI, 2009).

Esta metodología está determinada por diferentes fases que abarcan desde la definición estratégica hasta el fin de vida del producto. Esto no significa que el proceso sea estrictamente secuencial, ya que algunas fases pueden darse de manera simultánea e integrada. En esta investigación adaptaremos este modelo a los primeros cinco pasos (ver figura 3.2), de manera, que el proceso terminaría en la fabricación del prototipo.



Figura 3.2. Metodología de diseño utilizada.

3.1.1. Definición estratégica: ¿Qué vamos hacer?

Inicio del proceso de diseño. A partir de un problema detectado se comienza a analizar y procesar la información disponible. Se busca obtener una primera orientación estratégica del proyecto, delimitando los márgenes de acción. Definir *Qué se va a hacer*, sin avanzar en *Cómo hacerlo* (INTI, 2009). En esta fase también se explora antecedentes pertinentes que contribuyan en la elaboración de una base de datos, para la estructuración, creación y registro del marco conceptual y teórico (Segnini, Chagna, & Vergara, Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla, 2018).

3.1.2. Diseño de concepto: El producto a grandes rasgos

En esta etapa el análisis y la creatividad dan forma a la idea del producto, de manera tal que pueda ser entendida por terceros. Marca el rumbo a seguir a partir de una conceptualización clara del producto. En esta etapa se analizan distintas alternativas para luego seleccionar una de ellas para llegar al diseño de detalle (INTI, 2009).

3.1.3. Diseño de detalle: Afinando detalles

Definir formalmente al producto y las especificaciones técnicas para su producción. Armado del proyecto definiendo aspectos perceptivos y utilitarios, conjuntos y subconjuntos, geometría y vínculos entre partes, materiales a utilizar y procesos de producción (INTI, 2009).

3.1.4. Verificación y Testeo: Poniendo a prueba el diseño

Durante todo el diseño de detalle del producto se debe verificar que éste cumpla efectivamente con las características conceptuales del producto. Verificar entre otros aspectos, la seguridad, la calidad, confiabilidad y manutención.

Comprobar el cumplimiento de las especificaciones establecidas en las fases anteriores facilitando su paso a producción. En esta fase también se verifican tanto características técnicas como compatibilidades dimensionales, de ensamblado y montaje con miras a su fabricación. Se trata de un proceso iterativo en el que la solución técnica se convertirá progresivamente en una solución factible de ser producida (INTI, 2009).

3.1.5. Producción: Todo listo para producir

Puesta en marcha de la producción, fabricando una prueba piloto, utilizando y poniendo a punto los medios productivos necesarios. La fluidez del desarrollo de las actividades de esta fase reflejará de alguna manera las bondades del diseño trabajadas previamente (INTI, 2009).

3.2. Análisis de Requerimientos

Como se explicó anteriormente, en la universidad existe una impresora 3D, la cual no se encuentra operativa al 100%, ésta cuenta con un software de control cerrado que no permite manipulación en las variables de impresión, las actualizaciones de software han caducado debido a la pérdida de garantía lo que implica que solo trabaje con el sistema operativo Windows 7® o inferior y, por último, no se cuenta con servicio técnico especializado en el país. Motivo por el cual, la velocidad de impresión es muy baja, no se pueden realizar modificaciones en el proceso de fabricación, los consumibles que utiliza son de alto costo de adquisición (aproximadamente 600 USD en Ecuador), lo que representa un problema para utilizarlo como elemento de enseñanza.

Dada esta premisa, se plantea la construcción de una impresora 3D que sea funcional a cualquier sistema operativo, se puedan realizar modificaciones en las variables de impresión (temperatura de impresión, velocidad de impresión, calidad de la impresión, activación del sistema de enfriamiento, porcentaje de relleno, entre otras), sea de fácil mantenimiento, que utilice los consumibles económicos desarrollados en la actualidad, que sea liviana, económica y fácil de transportar.

3.3. Conceptualización

El producto parte del análisis de plantear la construcción de una impresora 3D de bajo costo la cual utilizara tecnología FDM y en la que sus materiales y componentes estén disponibles en Ecuador. La fabricación de la impresora 3D será realizada con materiales de bajo costo juntos con piezas que pueden ser creadas con una misma maquina 3D. Al ser una impresora tipo Delta su imagen es sencilla, apoyando su estética en una carcasa (case, por su nombre en inglés) con un diseño de cortes rectos y líneas lisas definidas,

haciendo que la estética de la impresora sea sobresaliente dándole un valor agregado a este dispositivo.

3.4. Selección y Diseño de la Propuesta

Para la selección de mecanismos y formas se sigue un proceso analítico jerárquico necesario para ejecutar el paquete computacional Expert Choice Comparion, se les da un valor numérico a las opciones planteadas que están regidas bajo el principio de la metodología y acorde a propiedades y procesos analíticos, para que la herramienta sintetice dichos valores y tome las decisiones que se adapten a los requerimientos y determinantes del proyecto (Expert Choice, 2018).

3.5. Alternativas para la forma de Diseño

En el bosquejo preliminar del diseño de la forma, se exponen alternativas geometrías que concilian el concepto de diseño y se asocian a los sistemas de impresión 3D contemporáneos, para ello, se consideran mecanismos que cumplen con las restricciones de movimiento asociadas. Esto implica experimentar con formas y diseños variados entre los cuales se presentan figuras circulares, cuadradas, triangulares y en “Y”, de las cuales se desprenden y apoyan para la creación del dispositivo.

3.5.1. Alternativas de Formas y Mecanismos

Según la investigación realizada por Jorgenson (2017), Contreras (2017), Guerrero (2017) y Sánchez (2015), la más idónea para ambientes educativos es la impresora 3D tipo Delta (ver apartado 2.6) puesto que entrega una alta velocidad y aceleración de impresión, imprime con una alta definición, es redimensionable sin afectar la calidad, es fiable y precisa, posee amplia capacidad de movimiento, su cama de impresión es estática, y por último, las correas de transmisión de movimiento se mantienen tensas por mucho tiempo asegurando una continua y precisa calibración.

Bajo la luz de lo anterior, se presentan a continuación cuatro diseños de impresora tipo delta. Teniendo en cuenta que el funcionamiento de los componentes de las impresoras

delta no varía salvo pequeños detalles, la diferencia significativa está en la base y sistema estructural. Es aquí donde se hará mayor énfasis.

Propuesta 1 – Impresora circular: Este modelo se diseñó para ser fabricada en madera (MDF), apoyando su diseño en formas con áreas circulares (ver figura 3.3) para crear la plataforma que es el lugar donde la unión mediante barras hace que se deposite el material fundido por medio del extrusor para la creación del objeto que sostienen las guías con rieles que permite a los motores mover los brazos mediante las poleas.

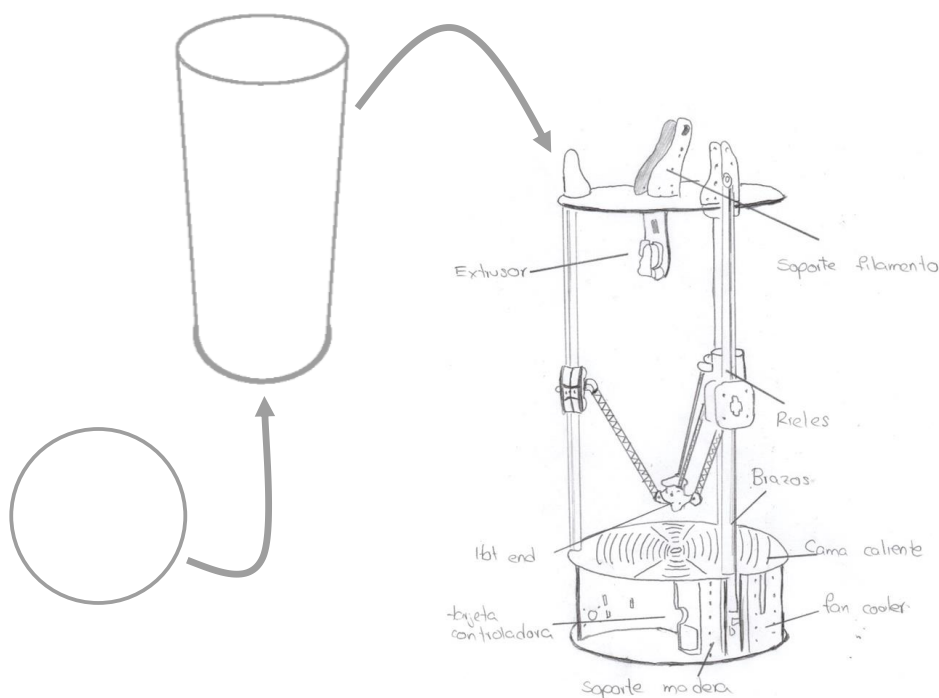


Figura 3.3. Propuesta 1 – Estructura circular.

Propuesta 2 – Seis barras: Este modelo se diseñó con seis barras circulares huecas de aluminio, lo que implica que por cada motor tendrá dos barras, la forma es una fusión entre triangular y circular fabricado de lámina de aluminio de 6mm de espesor (ver figura 3.4), su soporte en la que las poleas corren entre dos barras por cada eje, el extrusor se encuentra en la parte inferior unido a un ventilador encargado de ayudar con el proceso de enfriamiento, al finalizar las barras se encuentra el filamento en posición vertical para un mejor desempeño.

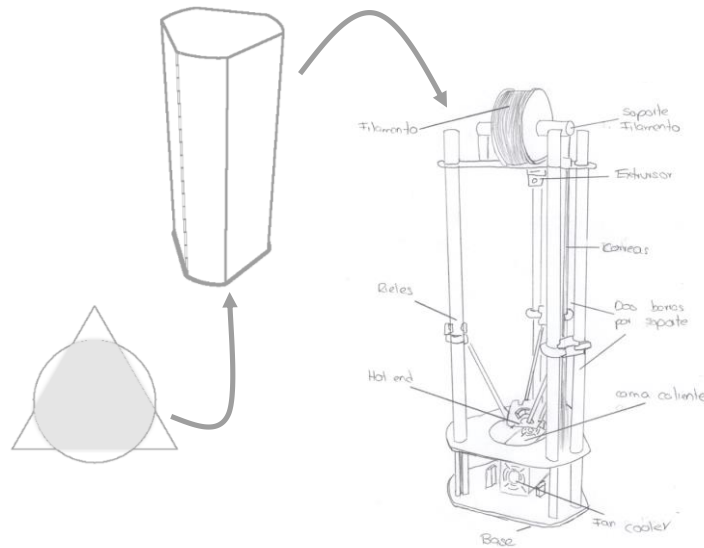


Figura 3.4. Propuesta 2 – Seis barras.

Propuesta 3 – Impresora minimalista: Diseño pensado en sencillez, su forma estética minimalista tratando de usar la menor cantidad de material posible reduciendo en peso y gastos, diseñada con barras de aluminio extruido para dar rigidez, solo posee las piezas necesarias para la construcción de la impresora como son, tres barras (sin soporte lateral) cada una con su correa y brazos mecánicos necesarios para el movimiento, así como, la cama caliente situada sobre una plataforma corriente en la base.

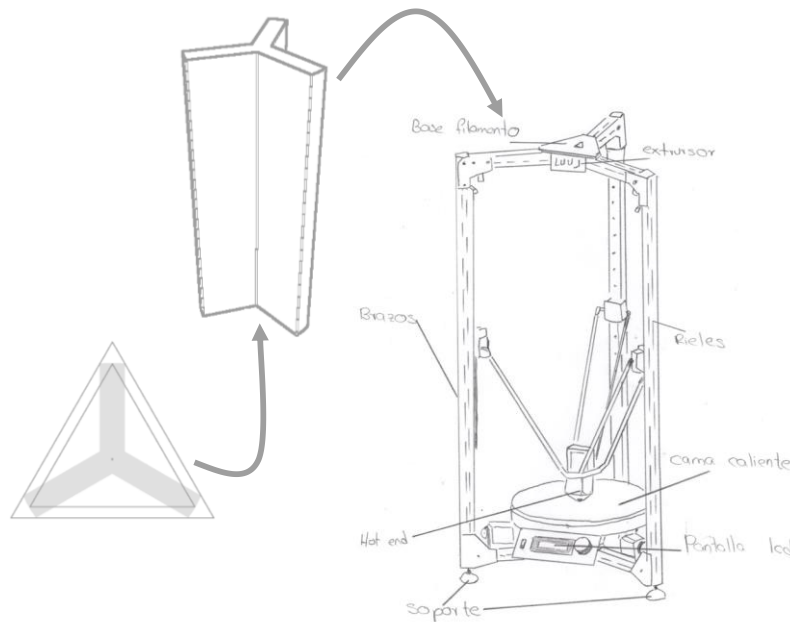


Figura 3.5. Propuesta 3 – minimalista.

Propuesta 4 – Tres barras: una fusión de diseño entre la propuesta 2 y 3, al tomar en cuenta detalles de estos modelos (y otros más) se ha logrado una impresora con una buena estética entre la unión de las figuras geométricas (ver figura 3.6), la cual cuenta con barras huecas de aluminio y soportes de plástico para dar ligereza al diseño y en donde el rollo de filamento está posicionado en la parte superior de manera horizontal.

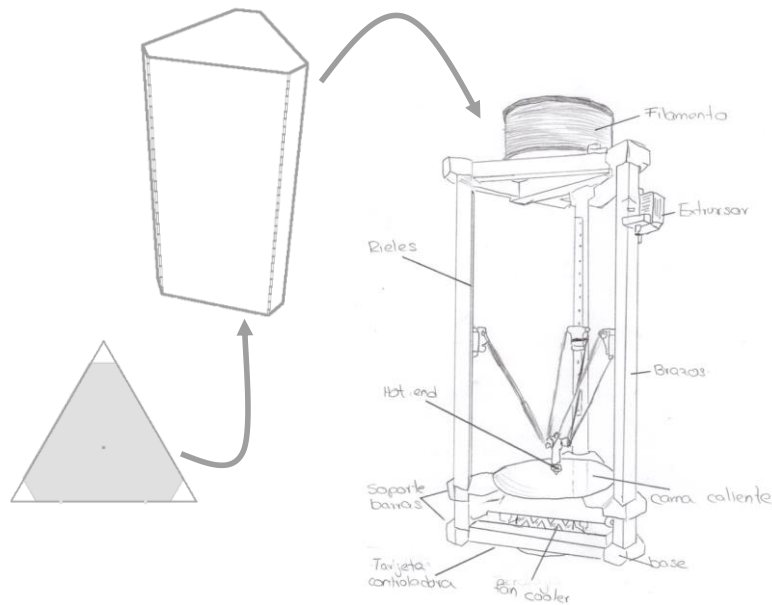


Figura 3.6. Propuesta 4 – Tres barras.

3.5.2. Alternativas carcasa

La forma es muy importante y se deberá elegir en función de la utilidad de la máquina, ya que protegerá la impresora y todos sus elementos. Apoyado en esto, se desarrollaron tres modelos, que entregan varios atributos al producto como son, seguridad, practicidad, estética y estilo. Buscando protección y resaltar la imagen de la impresora.

Propuesta 1 – carcasa tubular: Esta carcasa se pensó para cubrir mejor la parte superior e inferior dejando al descubierto la parte central, apoyando su diseño en formas con áreas circulares (ver figura 3.7) para crear un armazón que permita observar el proceso de fabricación.

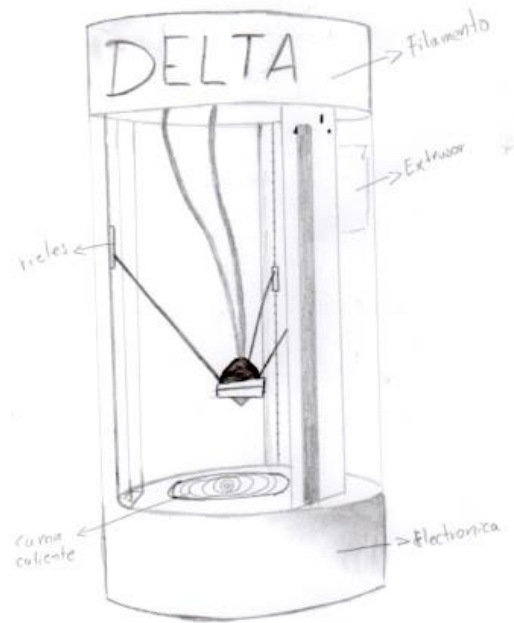


Figura 3.7. Propuesta 1 – Carcasa tubular.

Propuesta 2 – carcasa triangular: En este diseño se pensó cubrir la estructura de aluminio, así como la parte superior e inferior de igual manera desistiendo de recubrir la parte central (ver figura 3.4, 3.8) para establecer una carcasa libre en los paneles.



Figura 3.8. Propuesta 2 – Carcasa triangular.

Propuesta 3 – Carcasa completa: Este modelo se trazó para que consiga cubrir en su totalidad la impresora (ver figura 3.9) contando con puertas cristalinas que permite ver la creación del producto al mismo tiempo que mantiene una temperatura y protege todas las piezas de la impresora, aumentando considerablemente su estética y funcionalidad.

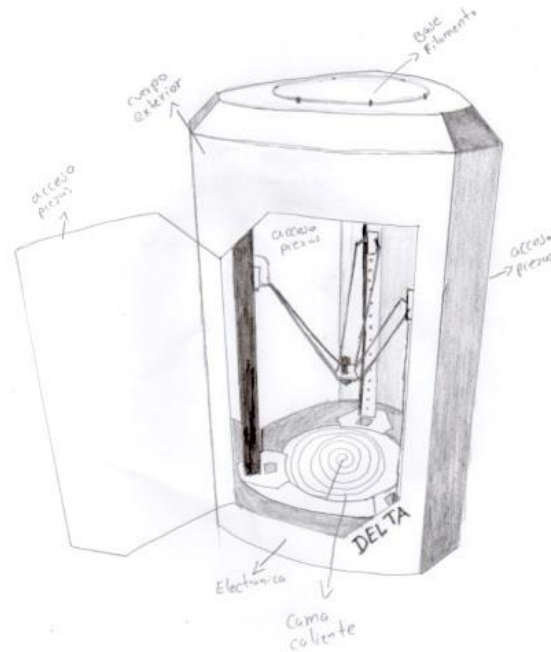


Figura 3.9. Propuesta 3 – Carcasa completa.

3.6. Material

Posteriormente al diseño y elección de propuesta, la fabricación de la impresora 3D, contara con aluminio por su ligereza el cual permite que el dispositivo sea liviano y fácil de movilizar, de igual manera, se utilizaran piezas fabricadas con impresión 3D, específicamente de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), siendo un material muy fácil de encontrar en el país y uno de los más populares para imprimir por su resistencia mecánica.

En resumen, en este capítulo se han presentado las alternativas para los mecanismos y las formas que serán evaluadas según varios criterios asociados a los requerimientos de diseño. También se presentó el material a utilizar, el cual es fácil adquisición dentro del país.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se evalúa las alternativas jerárquicamente, donde se consideran los factores asociados a: Fabricación, ligereza, estética y costo. Se han utilizado programas CAD y CAE para desarrollar la impresora 3D. Así mismo, el paquete computacional Expert Choice Comparion™ es la herramienta encargada de realizar la selección de alternativa.

Adicionalmente, se presenta un análisis estructural que establece las condiciones de necesarias para la posición del modelo, y una vez lograda son simuladas para conseguir la geometría adecuada para finalmente validar numéricamente con la convergencia hacia la solución y disponer de los datos necesarios para la fabricación la impresora 3D.

4.1. Análisis jerárquico para selección de Alternativas

La representación del proceso de diseño presentado establece alternativas para: mecanismo a desarrollar y forma externa para la impresora 3D. De esta manera, se presentaron diferentes bocetos los que cada uno cuenta con especificaciones, las que son sometidas a una evaluación y selección por la herramienta Expert Choice Comparion™, que se detallan a continuación. (Segnini, Chagna, & Vergara, Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla, 2018).

4.2. Selección de alternativas de mecanismo

El proceso parte con el planteamiento de alternativas y configuración de criterios para la selección de la estructura junto a los mecanismos que cumplen con las características de impresión. De las cuatro propuestas planteadas (ver figura 4.1) se escogen uno para el desarrollo de la impresora, para la cual se considera como objetivo la velocidad de impresión, la calidad de impresión, el peso y la compatibilidad a cualquier sistema

operativo de computación. Los criterios que sirven para seleccionar las alternativas son: la fácil fabricación, el peso del producto, la estética y el bajo costo.

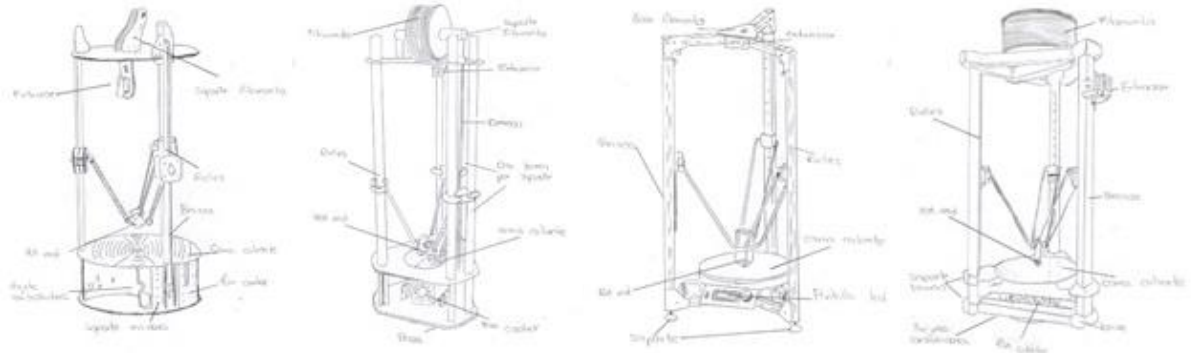


Figura 4.1. a) Propuesta 1 – Impresora circular **b)** Propuesta 2 – Seis barras **c)** Propuesta 3 – Impresora minimalista **d)** Propuesta 4 – Tres barras.

Los criterios se plantean según el grado de importancia, donde se busca que las piezas y elementos que la componen sean de fácil fabricación, debido a que este dispositivo va será empleado para la enseñanza debe ser ligero de manera de facilitar el transporte, considerando además que esté disponible al menor costo y que sea estéticamente llamativo.

Una vez que se evalúan las alternativas de acuerdo a los criterios y su ponderación se obtiene que el más apropiado es el modelo cuatro (propuesta con tres barras) según se aprecia en la figura 4.2. Esta propuesta se diseñó pensando en que partes de sus componentes fuesen impresos por la misma máquina, lo que reduce los costos de fabricación y el peso, así mismo, es una propuesta donde su estructura principal y componentes son fáciles de armar.

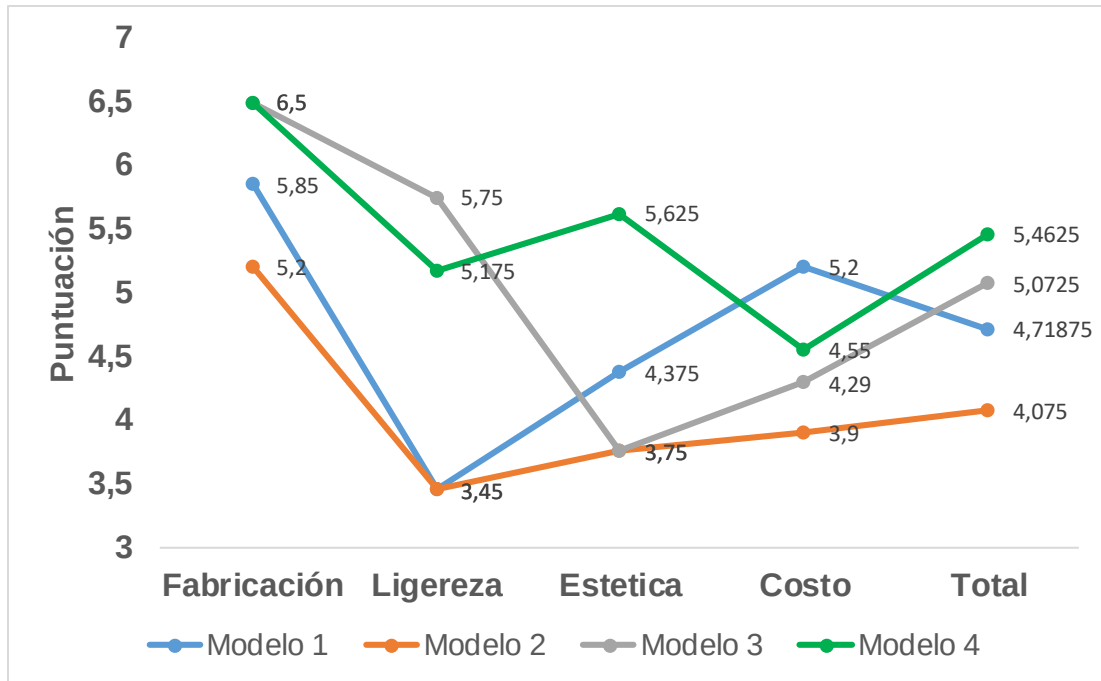


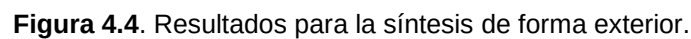
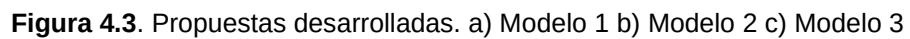
Figura 4.2. Resultados para la síntesis de tipo y sistema de mecanismo.

De igual manera, se observa que el modelo 1 (impresora circular) es la que presenta menor costo y una buena estética, pero cuenta con un peso elevado. Así mismo, el modelo 3 (minimalista) es liviano y tiene una fácil fabricación, pero la estética no sobresale. Por último, el modelo 2, a pesar de cumplir con todos los requisitos de diseño planteados en el apartado 3.1, es pesado y más complicado de fabricar técnica y económicamente.

4.2.1. Selección de la forma exterior

En el capítulo anterior se presentaron tres propuestas (ver figura 4.3) en cuanto a la forma exterior, las cuales fueron proyectadas bajo la condición de acoplarse estéticamente a la estructura y mecanismo de la impresora. Se involucró un proceso creativo apoyado del concepto de formas orgánicas y minimalistas para mejorar la estética del producto.

Los criterios considerados por orden de importancia son: estética del producto, la ligereza del producto, la dificultad de fabricación de las propuestas y funcionalidad. Cabe



4.3. Generación de la geometría. Propuesta con Autodesk Inventor®

Una vez seleccionadas las propuestas mediante el análisis jerárquico, se juntan en un producto de manera de mejoras aún más la propuesta final sin afectar las características establecidas.

Las figuras 4.6 muestra el resultado de la generación de la geometría en Autodesk Inventor® para cada uno de los componentes necesarios que conforman la impresora 3D.

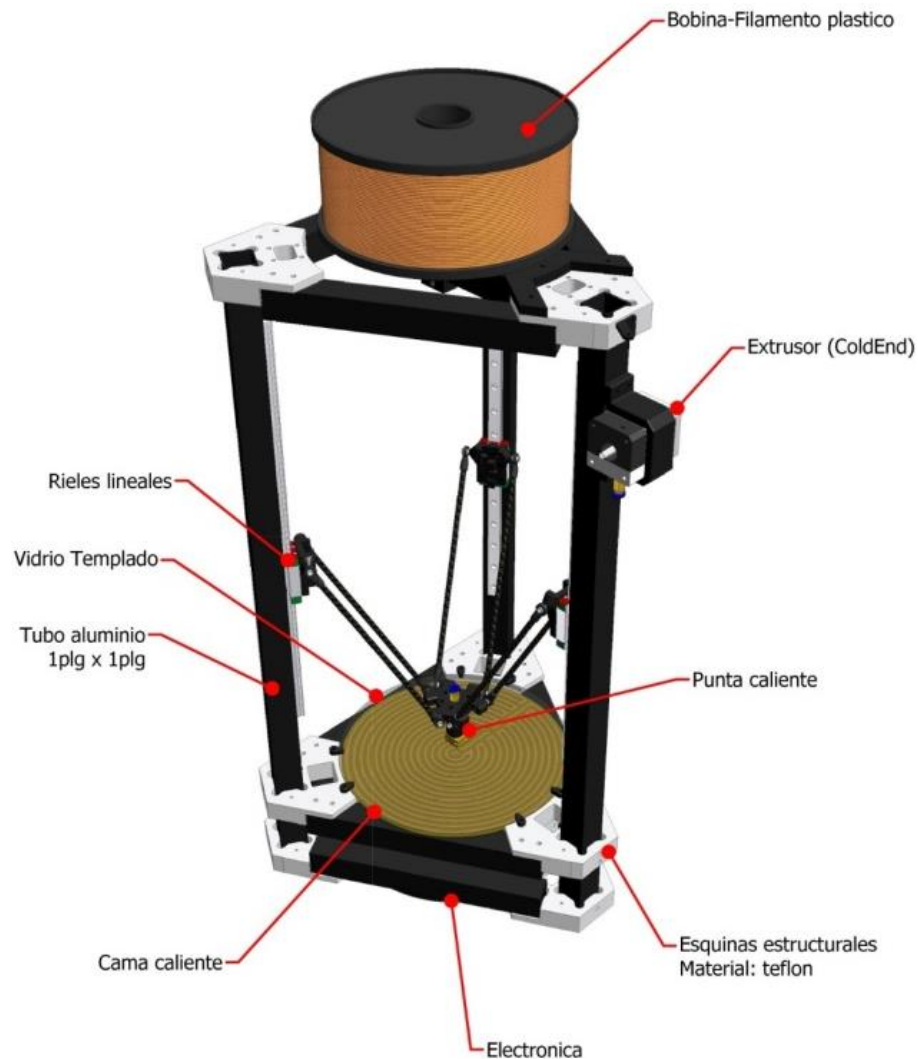


Figura 4.5. Geometría propuesta para la impresora 3D tipo Delta.

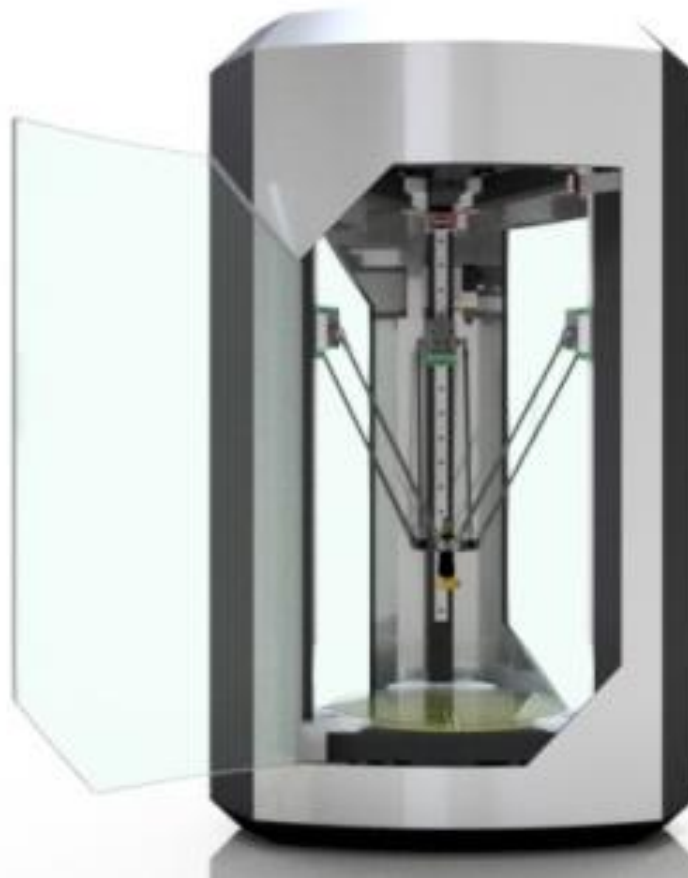


Figura 4.6. Geometría propuesta para la carcasa impresora 3D tipo Delta.

4.3.1. Funcionamiento de la impresora

La impresora consta de piezas de fundamental necesidad para su construcción como son: punta caliente para fundir el filamento plástico, bobina con el filamento plástico que es la materia prima para la impresión el cual es fundido a una alta temperatura para crear una pieza en 3D, un extrusor ubicado en la parte superior el cual empuja o retrae el filamento hacia la punta caliente, rieles lineales que son los guías para los brazos móviles, vidrio templado que funciona como base plana donde se imprimen las piezas, tubos de aluminio 1plg x 1plg que contribuyen como vigas para la impresora, cama caliente ubicado debajo del vidrio que mantiene la temperatura en la base de la pieza, esquina estructurales que soportan los tubos de aluminio y la electrónica que controla toda la información.

Una vez realizado los diseños (modelado 3D) se procede a manufacturarlo por medio de la impresión 3D, los archivos son convertidos en extensión “.stl” (formato utilizados en las impresoras 3D) luego es transferido a un software de código abierto "Cura", el cual secciona (rebana en capas de 0.2mm) las piezas y genera el código “G” (código de programación CNC), que es interpretado por la impresora como un objeto de capa a capa para la impresión.

4.3.2. Peso de la propuesta

Se realizó una estimación del peso que tendría la impresora 3D con ayuda del software de diseño. Para ello, se introdujeron las densidades respectivas de acuerdo al material de cada pieza, obteniendo como resultado la tabla 4.1, donde se muestra el peso total de la Impresora.

Tabla 4.1. Distribución del peso estimado de la impresora

Componente	Peso
Impresora 3D	6.73 Kg
Bobina de Filamento Plástico	1.00 Kg
Carcaza	2.35 Kg
Total	10.08 Kg

4.4. Análisis estructural

El análisis de esfuerzos fue hecho utilizando el método de elementos finitos (MEF), a través del software ANSYS®. De acuerdo al diseño mostrado en la figura 4.6. las piezas involucradas en éstos, con sus respectivos materiales, son las siguientes: los tubos de aluminio, las esquinas estructurales de teflón, las sujeciones de ABS y los tornillos de sujeción, que en conjunto forman la base estructural de la impresora 3D. Las propiedades mecánicas de los materiales se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Propiedades mecánicas de los materiales de la estructura

Material	Módulo de Poisson	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo último de Tensión (MPa)	Módulo Young (GPa)	Densidad (g/cm³)
Aluminio	0,33	275	310	68,900	2,710

ABS	0,38	20	29,6	2,240	1,060
Teflón	0,46	21	37.9	0,861	0,941
Acero Inox.	0,30	260	540	192,980	8,000

Nota: Tabla reconstruida de Chagna (2017) y Autodesk Inventor®.

Las cargas aplicadas a la estructura son el torque producido por cada motor paso a paso (3.2 kg/cm) y la fuerza que ejerce el mismo peso de la estructura (49.17 N).

En cuanto a las simulaciones, los análisis son estáticos, los materiales se consideran lineales e isotrópicos.

La simulación de análisis estructural estático, se utiliza la plataforma de ANSYS® con mallas refinadas de topologías tetraédricas (ver figura 4.8) que convergen hacia la solución con relación de convergencia menor al 3%. Al obtener resultados donde la geometría y material del sistema son capaces de soportar las cargas máximas sin deformarse permanentemente, se precisa la geometría final para pasar al diseño de detalle con la realización de los planos (Segnini, Chagna, & Vergara, 2018).

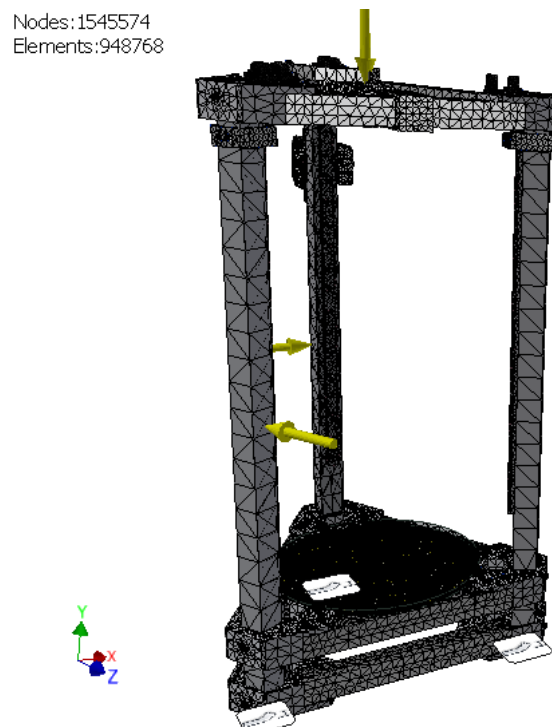


Figura 4.7. Malla última en el refinamiento de las dos piezas críticas.

En la figura 4.9 y 4.10 se muestran el esfuerzo equivalente de Von Mises en el último refinamiento de malla y el factor de seguridad estático, respectivamente. En estas, puede observarse que el esfuerzo producido por el torque de los motores (3.2 kg/cm) y el peso de 4.9 kg de la estructura es menor que la resistencia del material, ya que, éste no sobrepasa los 2.043 MPa; mientras que la resistencia a la fluencia del ABS es de 20 MPa. Por lo anterior, se puede verificar que el factor de seguridad presentado en las ecuaciones 4.1, es superior a la unidad y por lo tanto la estructura tubular de la impresora no se deforma permanentemente y está lejos del límite de rotura del material.

$$\text{Factor de seguridad}_{\text{ABS}} = 20 / 2.043 = 9.79 \cong 10 \quad (4.1)$$

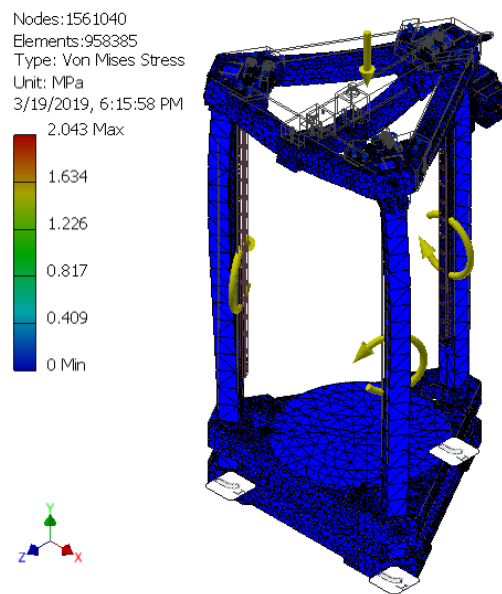


Figura 4.8. Distribución de los esfuerzos de Von Mises en las dos piezas críticas.

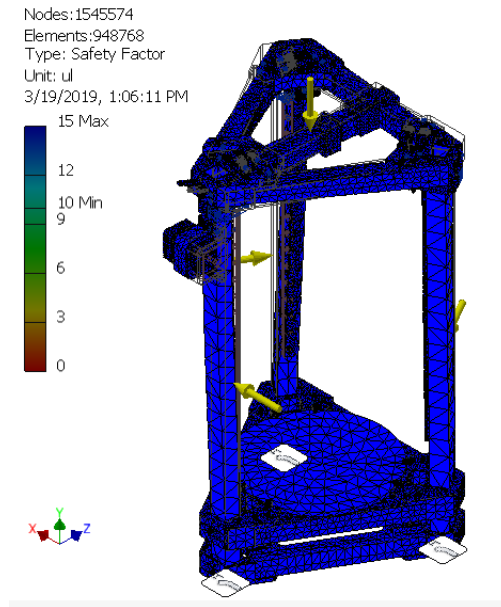


Figura 4.9. Factor de seguridad en las dos piezas críticas.

Por lo anterior, es fácil visualizar que, con estas magnitudes de trabajo, la impresora no fallará y tendrá deformaciones pequeñas.

4.5. Verificación numérica del dispositivo. Convergencia

Para la verificación de la simulación realizada se analiza la curva de convergencia de esfuerzos de Von-Mises hacia la solución. En la figura 4.11, se muestra que para la base estructural se realizaron 11 refinamientos, de los cuales a partir del noveno converge hacia el esfuerzo máximo de 2.043 MPa, lo que define que este es el valor esperado según las cargas introducidas, con una tasa de convergencia inferior al 0,758%.

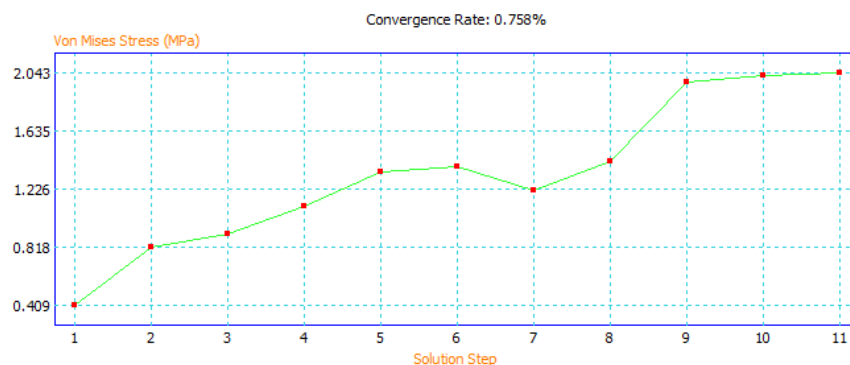


Figura 4.10. Convergencia de los esfuerzos máximos en la estructura tubular de la impresora 3D.

4.6. Propuesta final

El producto final es una impresora 3D tipo Delta, la cual, está compuesta por una carcasa de fibra de vidrio, una estructura en aluminio y teflón, un mecanismo de articulación de seis brazos y la electrónica (ver figura 4.12).



Figura 4.11. Imágenes fotorrealistas y especificaciones técnicas de la propuesta final.

La impresora es un elemento diseñado al bajo costo y fácil uso, de tal forma, que pueda ser introducido como herramienta educativa en los procesos de enseñanza teórico-práctica. Por otra parte, la impresora está diseñada para que sea fácil de transportar y tenga un bajo costo en materia prima.

4.7. Dimensiones generales de la impresora

Para tener una imagen general de la zona ocupada por la impresora, en este apartado se presenta el dimensionamiento general del producto (ver figura 4.15). Los planos detallados del producto se encuentran en el apartado Anexo A

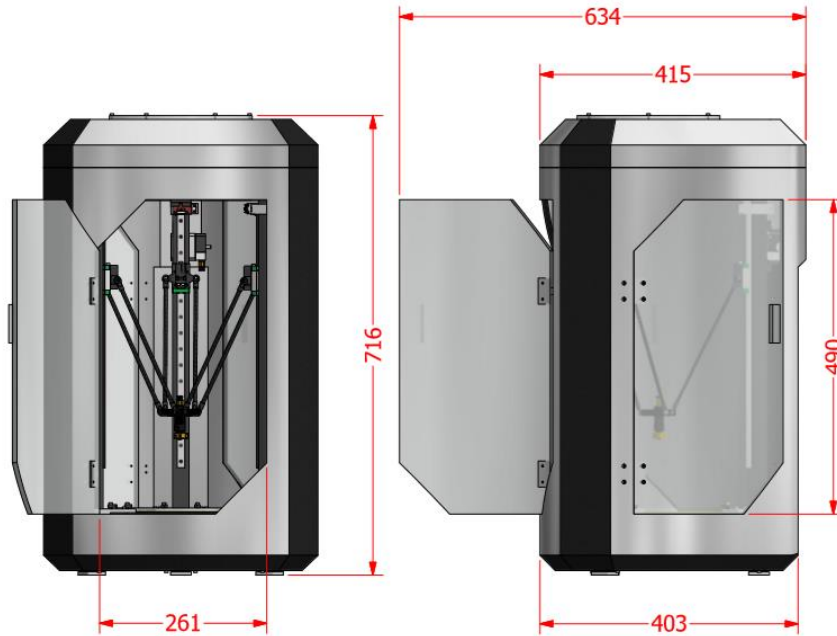


Figura 4.12. Dimensiones generales de la impresora (en milímetros).

Cabe destacar que los planos constructivos se desarrollaron tomando en cuenta las medidas más generales del producto, puesto que la mayoría de la impresora 3D se diseñó para ser construido mediante fabricación aditiva (impresora 3D) y CNC, motivo por el cual cuenta con muchas formas irregulares difícil de acotar. Es por ello, que en esta investigación se hará entrega de los archivos digitales en formato (stl) que define la geometría de objetos 3D.

4.8. Gestión de Proceso de Producción

En este apartado se define el proceso de fabricación del producto diseñado, donde se considera desde la tecnología disponible hasta la diagramación de dicho proceso.

4.8.1. Descripción del proceso productivo

El proceso productivo propuesto en este proyecto es una mezcla entre manual y automatizado, pues requiere en sus fases la intervención del hombre y de máquinas automatizadas. Los siguientes pasos definen el proceso de producción de cada uno de los dispositivos.

El centro de mecanizado conocido también como CNC se utiliza para la construcción de las esquinas estructurales y de las poleas. Con la ayuda de la manufactura aditiva (impresora 3D) se fabrica la mayoría de las piezas de la impresora, por último, los tubos de aluminio son cortados manualmente utilizando una tronzadora industrial.

Los rieles, dispositivos electrónicos y correas son dispositivos comerciales estándar, por lo cual no necesitan de proceso de fabricación. Una vez fabricado todos los componentes se procedió al proceso de ensamblado (ver figura 4.16)

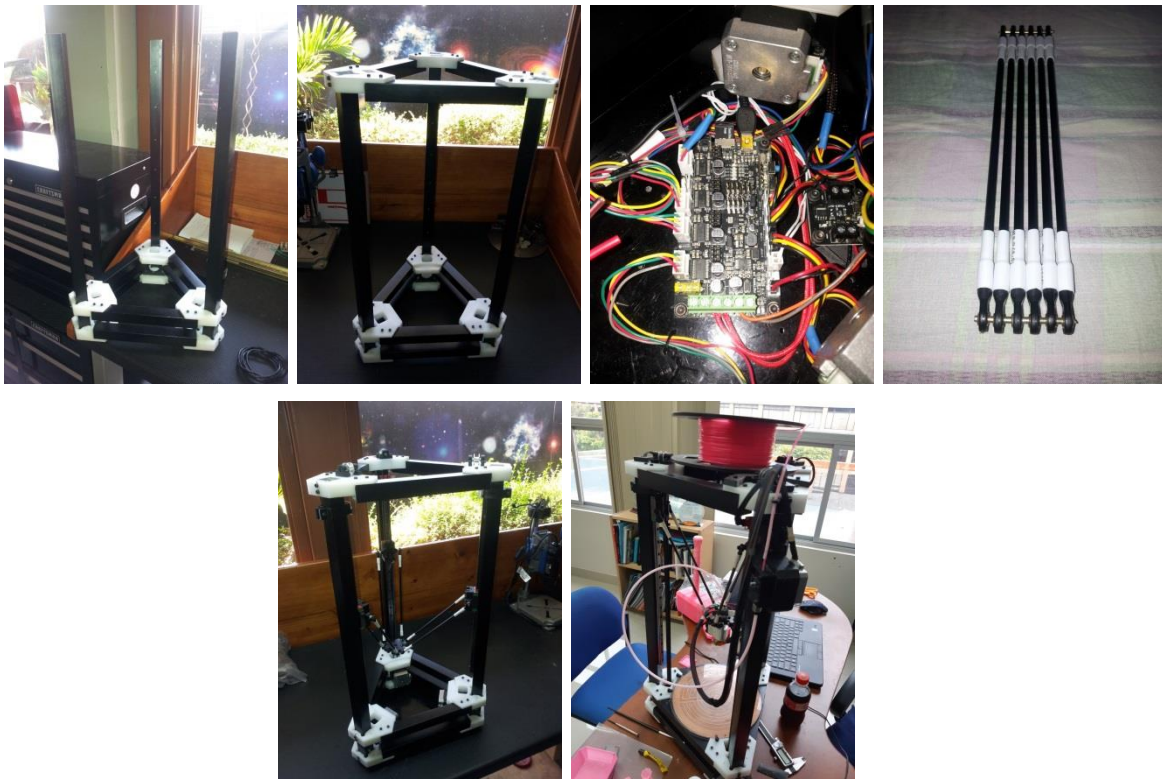


Figura 4.13. Proceso de ensamblado.

4.9. Análisis presupuestario

A continuación, se presentan todos los factores relacionados con el costo asociado al prototipo

4.9.1. Cálculos métricos

En este apartado se listará todos los materiales necesarios para construir el prototipo a escala real. En la tabla 4.4 se muestran los cálculos métricos estimados para la construcción del mismo.

Tabla 4.4. Cálculos métricos.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Motor paso a paso NEMA17	4	pza.
2	Correa GT2 6mm de ancho	6	mts
3	Polea GT2 5mm	6	pza.
4	PTFE 350x350x20mm	1	pza.
5	Cama Caliente 144W - 12V	1	pza.
6	Vidrio templado Ø220mm - 5lineas	1	pza.
7	Tarjeta controladora Smoothieboard	1	pza.
8	Riel lineal de 40cm con carro	3	pza.
9	Barra Fibra Carbono Ø5mm -18 cm	6	pza.
10	Punta Caliente de 0,4mm, 12V-30W	1	pza.
11	Ventilador 40x40mm - 12V	1	pza.
12	Ventilador 40x40mm - 5V	4	pza.
13	Brazo oscilante de plástico (RodEnd)	12	pza.
14	Extrusor para Punta Caliente	1	pza.
15	Manguera Techflex de 1/4"	2	mts
16	Rodamiento 623ZZ 3x10x4mm	6	pza.
17	Rodamiento 6200ZZ 30x10x9mm	1	pza.
18	Suiche límite mecánico con LED	3	pza.
19	Cable con conector de 4pin (1m)	5	mts
20	Cable con conector de 3pin (1m)	3	mts
21	Cable con conector de 2pin (1m)	4	mts
22	Tubo de teflón Øe 4mm - Øi 2mm	1	mts
23	Conector neumático de 4mm	2	pza.
24	Filamento de ABS Ø1,75mm	1	Kg
25	Tubo de Aluminio de 1"x1"	4	mts
26	Partes imprimibles en ABS	30	pza.
27	Acople aluminio Punta Caliente	1	pza.
28	Tornillería Milimétrica	105	pza.
29	Fuente de poder 12V-400W	1	pza.
30	Suiches, conectores y cable USB	1	pza.

31	Servicio de Mecanizado de piezas	1	Serv.
32	Servicio de Dibujante	15	día
33	Servicio de Electrónico de 1era	15	día
34	Servicio de Ingeniería	30	día

4.9.2. Costo asociado a la construcción del prototipo

Una vez estimado los cálculos métricos, se presupuestó el prototipo (ver tabla 4.5), tomando como precios referenciales las casas comerciales Aluvid® ubicada en la ciudad de Ibarra, Electronics Ecuador® en Quito, Para la tercerización de los procesos de fabricación, la empresa LaFabrica3D® ubicada en Guayaquil y el FabLab Yachay ubicada en Urcuquí.

Tabla 4.5. Presupuesto para fabricación del prototipo.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P.U (\$)
1	Motor paso a paso NEMA17	4	pza.	6,80
2	Correa GT2 6mm de ancho	6	mts	2,10
3	Polea GT2 5mm	6	pza.	2,00
4	PTFE 350x350x20mm	1	pza.	340,00
5	Cama Caliente 144W - 12V	1	pza.	25,00
6	Vidrio templado Ø220mm - 5lineas	1	pza.	2,50
7	Tarjeta controladora Smothieware	1	pza.	145,00
8	Riel lineal de 40cm con carro	3	pza.	35,00
9	Barra Fibra Carbono Ø5mm -18 cm	6	pza.	0,83
10	Punta Caliente de 0,4mm, 12V-30W	1	pza.	35,00
11	Ventilador 40x40mm - 12V	1	pza.	1,50
12	Ventilador 40x40mm - 5V	4	pza.	1,50
13	Brazo oscilante de plástico (RodEnd)	12	pza.	0,58
14	Extrusor para Punta Caliente	1	pza.	35,00
15	Manguera Techflex de 1/4"	2	mts	1,25
16	Rodamiento 623ZZ 3x10x4mm	6	pza.	0,40
17	Rodamiento 6200ZZ 30x10x9mm	1	pza.	2,00
18	Suiche limite mecánico con LED	3	pza.	1,80
19	Cable con conector de 4pin (1m)	5	mts	0,85
20	Cable con conector de 3pin (1m)	3	mts	0,60
21	Cable con conector de 2pin (1m)	4	mts	0,40
22	Tubo de teflón Øe 4mm - Øi 2mm	1	mts	1,20

23	Conector neumático de 4mm	2	pza.	1,00
24	Filamento de ABS Ø1,75mm	1	Kg	25,00
25	Tubo de Aluminio de 1"x1"	4	mts	0,70
26	Partes imprimibles en ABS	30	pza.	2,30
27	Acople aluminio Punta Caliente	1	pza.	5,00
28	Tornillería Milimétrica	105	pza.	0,10
29	Fuente de poder 12V-400W	1	pza.	20,00
30	Suiches, conectores y cable USB	1	pza.	25,00
31	Servicio de Mecanizado de piezas	1	Serv.	100,00
				820,42

El proyecto de investigación inicio tras la recopilación de información sobre impresoras 3d, servicios que se prestan, investigaciones, dispositivos de venta en el país, con el fin de entender de mejor manera el contenido de investigación, desde este punto, se desarrolló propuestas que podrían ser idóneas para lo requerido en el proceso de diseño. Al igual que Segnini, Chagna, & Vergara (2018), se evaluó las opciones presentadas y se comparó con equipos desarrollados por empresas dedicadas a esta área y se proyectó un plan de trabajo donde se definió la creación de un equipo mecánico, donde se introdujo la simulación del mecanismo seleccionado considerando la geometría y material, finalizando con una verificación numérica donde se demuestra que el dispositivo diseñado es el ideal después de ser sometido a pruebas de usuario.

El capítulo finaliza presentando la imagen corporativa del producto, un manual de uso acompañado del proceso y costos de construcción del prototipo y cálculos métricos.

CONCLUSIONES

Se diseñó una impresora 3D tipo delta para la escuela de diseño de la PUCESI. El proceso seguido consideró la evaluación y selección de posibles alternativas de solución para el sistema de accionamiento y material, con la ayuda de la herramienta computacional Autodesk Inventor® (CAD-CAE) se realizó el modelado y documentación de la geometría del dispositivo de impresión, el estudio cinemático y el análisis estructural del dispositivo.

Las conclusiones y recomendaciones del producto se presentan a continuación:

- Se ha desarrollado una propuesta de diseño de un dispositivo de impresión 3D, capaz de fabricar piezas físicas, basado en un modelo sencillo con materiales disponibles en el mercado nacional y que sea de costo accesible para poder implementarse como herramienta didáctica en el proceso de aprendizaje teórico-práctico.
- Los resultados de análisis estructural obtenido para la distribución del esfuerzo y el factor de seguridad muestran que la geometría planteada, cumple con los requisitos preestablecidos donde la estructura tubular base no se deformará permanentemente. Por lo tanto, el dispositivo de impresión 3D no fallará desde el punto de vista de resistencia y deflexión del material.
- Se realizó un estudio de convergencia y error, encontrándose que los valores convergen y representan un porcentaje de error menor al 3%, lo cual refleja la precisión del estudio realizado y a la vez hace válida la simulación para el análisis con carga estática.

Se ha introducido dentro del proceso de diseño el uso de CAD, CAE y CAM proponiendo una metodología de diseño combinada que considerando factores estéticos y funcionales pueden llevar a corto plazo a la innovación de productos en el mercado nacional, ya que antes de construir el prototipo puede realizarse simulaciones que sirvan para visualizar el comportamiento en servicio en el menor tiempo posible.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio del sistema de impresión 3D, se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Incluir este dispositivo de impresión 3D en la programación académica de la Escuela de Diseño.
- Mantener el equipo en una superficie plana y libre de vibraciones.
- Mantener el equipo en un ambiente sin humedad, de lo contrario utilizar equipos de deshumidificación.
- Continuar actualizando este dispositivo con sensor para autocalibración y componentes de doble extrusión.

Adquirir un dispositivo termográfico para realizar un estudio de transferencia de calor y así optimizar las variables de impresión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 3dnatives. (2017). *3dnatives.com*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/>: <https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/>
- Álvarez, S. (2015). *Autodesk Inventor un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D*. Recuperado el 05 de Mayo de 2018, de 3dCADPortal.com: <http://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor-un-sistema-de-diseno-mecanico-inteligente-con-modelado-3d.html>
- Autodesk. (s.f.). *¿Qué es la impresión 3D?* Obtenido de Autodesk Solutions: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>
- Barañao, L. (2015). *Impresión 3D en Argentina: acciones, proyectos, actores*. Obtenido de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva: <http://cindefi.quimica.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/file/Impresion%203D%20en%20Argentina/Impresion%203D%20en%20Argentina.pdf>
- Berroterán, M., Candal, M., & Pelliccioni, O. (2015). Efecto de los parámetros de proceso (manufactura aditiva) en la fabricación de implantes para Microtia: Empleo de herramienta CAE. *Memorias del V Congreso Venezolano de Bioingeniería*, 6 - 9.
- Berroterán, M., Pelliccioni, O., Candal, M. V., Minguella, J., & Martínez, M. (2014). *Propuestas Innovadoras para intervenciones quirúrgicas de pacientes con Microtias*. Obtenido de Jornadas de investigación: Encuentro academico industrial (JIFI): https://www.researchgate.net/profile/Orlando_Pelliccioni_Monrroy/publication/280745119_PROPUESTAS_INNOVADORAS_PARA_INTERVENCIONES_QUIRURGICAS_DE_PACIENTES_CON_MICROTIAS/links/55c5560208aea2d9bdc39aec/PROPUESTAS-INNOVADORAS-PARA-INTERVENCIONES-QUIRURGICAS-
- Bird, J. (2012). *Exploring the 3D printing opportunity*. Obtenido de Financial Times: <https://www.ft.com/content/6dc11070-d763-11e1-a378-00144feabdc0?mhq5j=e1>
- Blázquez, P. J., Orcos, L., Mainz, J., & Sáez, D. (2018). Propuesta metodológica para la mejora del aprendizaje de los alumnos a través de la utilización de las impresoras 3D como recurso educativo en el aprendizaje basado en proyectos. *Psicología*,

- Conocimiento y Sociedad*, 8(1), 162-193. Obtenido de <http://www.scielo.edu.uy/pdf/pcs/v8n1/1688-7026-pcs-8-01-139.pdf>
- Bonilla, J., & Dávalos, S. (2006). *Prototipo de impresora para modelos 3d en cera*. Sangolquí - Ecuador: Escuela Politécnica Del Ejército (ESPE).
- Chagna, A. (2017). *Diseño conceptual de un dispositivo para rehabilitación de rodilla (Tesis de pregrado)*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Sede Ibarra.
- Contreras, L. (2017). *Tipos de impresoras 3D FDM: Delta, Cartesiana, Polar y Brazo robótico*. Obtenido de 3dnatives. El sitio web de la impresión 3D: <https://www.3dnatives.com/es/tipos-impresoras-3d-fdm-190620172/>
- ESPOL. (2016). *Inauguración del Primer Fab Lab de Guayaquil*. Obtenido de Espol Noticias: <http://www.espol.edu.ec/es/evento/inauguraci%C3%B3n-del-primer-fab-lab-de-guayaquil>
- Expert Choice. (2018). *Nuestra metodología de toma de decisiones*. Obtenido de Soluciones Expert Choice: cómo funciona nuestro proceso de decisión: <https://expertchoice.com/our-decision-making-methodology/>
- Flores, G. (2015). *Laboratorios digitales permiten que la tecnología sea más accesible*. Obtenido de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/tendencias/laboratorios-digitales-tecnologia-robotica-ecuador.html>
- Griffin, M. (2014). *Configuring OctoPrint for SeeMeCNC Orion Delta Printer*. Obtenido de Adafruit.com: <https://learn.adafruit.com/octoprint-open-source-host-software/configuring-octoprint-for-seemecnc-orion-delta-printer>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (2009). *Proceso de diseño: fases para el desarrollo de productos*. Obtenido de Centro de Investigaciones y Desarrollo en Diseño Industrial: https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/n141_proceso.pdf
- Iza, A. S., & Lema, P. A. (2016). *Implementación de una impresora 3D de control numérico computarizado CNC para la producción de prototipos de plástico que tecnificara el laboratorio de robótica de la Universidad Técnica de Cotopaxi periodo 2016*. Latacunga - Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Gago, D., E., G., & Martín, S. (2013). *Un Análisis Regional del Informe Horizon NMC*. Obtenido de Perspectivas tecnológicas:

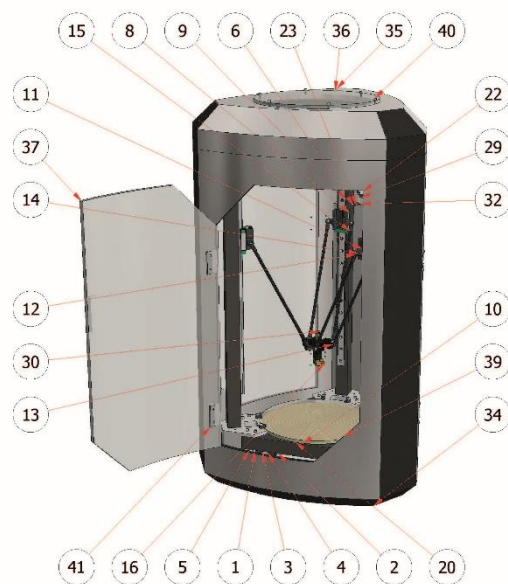
- Educación superior en América Latina 2013 - 2018.:
<https://www.nmc.org/pdf/2013-technology-outlook-latin-america-ES.pdf>
- Johnson., L., Adams Becker, S., Estrada, V., & Freeman, A. (2015). *NMC Horizon Report: Edición Educación Superior*. Texas - EEUU: New Media Consortium.
- Jorquera, A. (2017). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. España: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Obtenido de España: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Makerbot. (2016). *The Makerbor replicator+*. Obtenido de makerbot.com: <https://www.makerbot.com/3d-printers/replicator/>
- Maldonado, G. (2012). *Diseño, construcción y programación de una máquina de control numérico aplicada al prototipado rápido de modelado por deposición fundida de material para el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Internacional del Ecuador*. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- Marcos, A. (2013). *La historia del futuro industrial: cómo surgió la impresión 3D*. Obtenido de Teleco to walk: <https://telecotowalk.wordpress.com/2013/11/01/la-historia-del-futuro-industrial-como-surgio-la-impresion-3d/>
- Molina, M. (2015). *Fabrican implantes craneales con tecnología 3D*. Obtenido de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Mexico: <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/salud/625-stock-implantes-craneales>
- Ovejero, B. (2013). *Impacto de la impresión 3D en bibliotecas*. Obtenido de Biblogtecarios.es: <http://www.biblogtecarios.es/beatrizovejero/impacto-de-la-impresion-3d-en-bibliotecas/>
- Paniagua, S. (2013). *De RepRap a Makerbot: la impresión 3D y la manufactura personal*. Obtenido de SorayaPaniagua.com: <http://www.sorayapaniagua.com/2013/02/18/de-reprap-a-makerbot-la-impresion-3d-y-la-manufactura-personal/>
- Polo, L. (2014). *Un grupo de jóvenes desarrolla una impresora 3D para su inminente comercialización*. Obtenido de Mundodiario: <https://www.mundidiario.com/articulo/economia/impresora-3d-desarrollada-padron/20140106142735013786.html>

- Quito, J. C. (2016). *Ensamblaje de una impresora 3D para la fabricación de piezas automotrices con polímero ABS*. Ibarra - Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Romero, C. E., & Vaca, G. O. (2015). *Construcción de una impresora 3d, para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de modelado por deposición fundida (MDF)*. Riobamba – Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Romero, M. Á. (2016). *Diseño y Construcción de una Impresora 3D de Plástico*. Quito - Ecuador: Universidad San Francisco De Quito.
- Rua, E. B., Jimenez, F., Gutierrez, G. A., & Villamizar, N. I. (2018). Impresión 3D como herramienta didáctica para la enseñanza de algunos conceptos de ingeniería y diseño. *Revista Ingeniería*, 23(1), 70-83. doi:DOI: 10.14483/23448393.12248
- Sánchez, A. G. (2015). *Impresora 3D de escritorio basada en el modelo open source para la elaboración de objetos físicos*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Sánchez, S. (2016). *La impresión 3D PolyJet, te explicamos todo!* Obtenido de 3dnatives. El sitio web de la impresión 3D: <https://www.3dnatives.com/es/la-impresion-3d-polyjet23072015/>
- Segnini, J., Chagna, A., & Vergara, M. (2018). Diseño de un dispositivo para autorehabilitación pasiva de rodilla. *Axioma*, XIV(18).
- Segnini, J., Vergara, M., & Provenzano, S. (2017). Prospectiva para el diseño y fabricación de una ortesis impresa en 3D. En *Diseño de dispositivos de rehabilitación y órtesis* (págs. 153-175). Ibarra: Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes.
- Silva, M. C., Silva, K., & Queijo, J. (2013). *Impresora 3D ¿Revolución tecnológica o social?* Obtenido de [www.academia.edu: https://www.academia.edu/5176492/Impresoras_3D_Revoluci%C3%B3n_tecnol%C3%B3gica_o_social](https://www.academia.edu/5176492/Impresoras_3D_Revoluci%C3%B3n_tecnol%C3%B3gica_o_social)
- Tecpanecatl, J. (2017). *Análisis del manejo, evolución y mercado de la impresión 3D de prótesis y órganos con materiales biocompatibles (Tesis de Grado)*. Mexico: Universidad de las Américas Puebla. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/tecpanecatl_duran_j/

- Torras, M. (2016). *Los beneficios de las impresoras 3D en la enseñanza*. Recuperado el 10 de 03 de 2019, de Mundo Digital. Ciencia y tecnología: <http://www.mundodigital.net/los-beneficios-de-las-impresoras-3d-en-la-ensenanza/>
- UPAEP. (2016). *UPAEP lidera desarrollo de tecnología en impresión 3D en el campo de la Ingeniería Biomédica*. Obtenido de Noticias UPAEP: <https://vinculacionupaep.wordpress.com/2016/02/26/upaep-lidera-desarrollo-de-tecnologia-en-impresion-3d-en-el-campo-de-la-ingenieria-biomedica/>
- Vargas, A. (2017). *Construyendo una impresora 3D. 5: Un poco de teoría*. Obtenido de Programacion, electronica, Linux y un poco de todo: <https://alejandro-anv.blogspot.com/2017/03/>
- Vasconez, E., & Viteri, A. (2017). *Implementación de un prototipo de impresora 3D controlada inalámbricamente por bluetooth*. Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Wikipedia®. (2017a). *Impresión 3D*. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D
- Wohlers, T. (2016). *Manufactura aditiva*. Obtenido de 3DCADPortal: <http://www.3dcadportal.com/manufactura-aditiva.html>

Anexos

Anexo A. Planos constructivos de la impresora 3D



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	6	Esquina Dic2018
2	9	1x1x220
3	3	Base Motor
4	4	NEMA17 Stepping Motors_NEMA17-L38
5	3	pulley
6	3	1x1 Dic2018
7	3	Esquina Arriba Dic2018
8	3	Miniature Linear Guides - Block_SSELB13
9	3	Miniature Linear Guides - Rail_SSEB13-395
10	1	HeatBed D220 Nuevo
11	3	Carriage Deltamerida 4
12	12	RodEnd2
13	1	Effector para LED Nuevo
14	12	RodEnd1
15	6	Brazos
16	1	JHead_Nozzle
17	6	Chumacera10mm Imprimir Abril2015
18	3	Eje Pulley
19	6	623
20	1	Vidrio 220x6
21	3	PortaEndStop
22	3	Endstop_Microswitch_1A125 VAC_DesjgnByMakerbot
23	1	PortaExtruder
24	1	Part1 Modelo2
25	1	Part2 Modelo2
26	1	Part3 Modelo2
27	1	Tubo Carrete
28	1	Part4 Modelo2
29	1	Extruder Robodigg
30	2	One-Touch Couplings - Threaded Connectors_MSCNL4-M5
31	1	Guia Filamento
32	1	ColdEnd Abajo
33	1	Filamento
34	1	Carcaza
35	1	tapa carcaza Dic2018
36	1	Tapa Acrilica Carcaza
37	3	puerta carcaza
38	3	Regatones 1x1
39	6	PisaVidrio
40	100	CNS 3932 - M 3 x 12
41	4	Bisagra 2

Dibujado por Luis A. Jaramillo C.

Aprobado por José M. Segnini M.

Título

Diseño de una impresora 3D de bajo costo para la escuela de diseño de la PUCESI



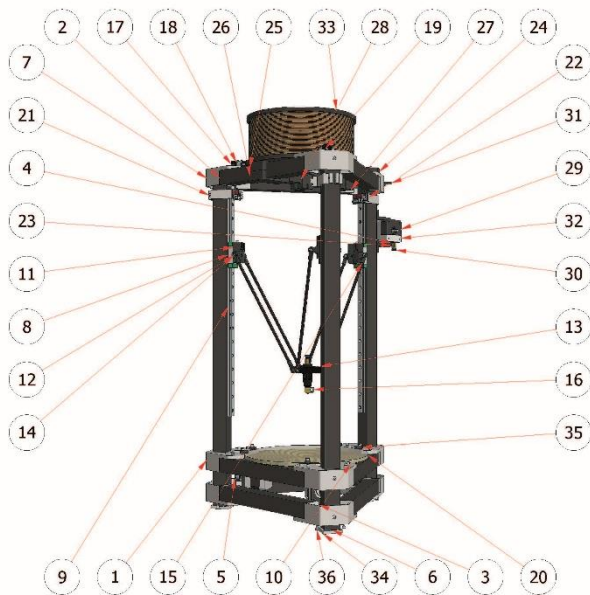
Tamaño A3

Escala

N° Partes

1:7

Pagina 1 de 6



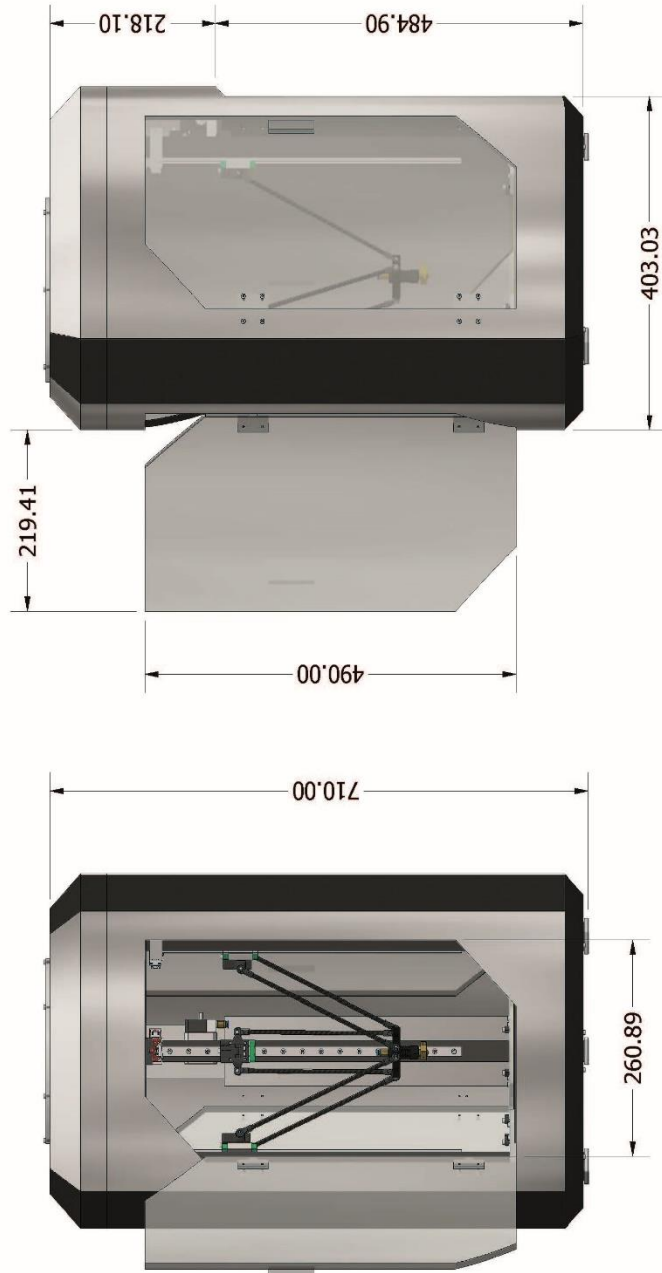
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	6	Esquina Dic2018
2	9	1x1x220
3	3	Base Motor
4	4	NEMA17 Stepping Motors_NEMA17-L38
5	3	pulley
6	3	1x1 Dic2018
7	3	Esquina Arriba Dic2018
8	3	Miniature Linear Guides - Block_SSELB13
9	3	Miniature Linear Guides - Rail_SSEB13-395
10	1	HeatBed D220 Nuevo
11	3	Carriage Deltamerida 4
12	12	RodEnd2
13	1	Effector para LED Nuevo
14	12	RodEnd1
15	6	Brazos
16	1	JHead_Nozzle
17	6	Chumacera10mm Imprimir Abril2015
18	3	Eje Pulley
19	6	623
20	1	Vidrio 220x6
21	3	PortaEndStop
22	3	Endstop_Microswitch_1A125VAC_Desj nByMakerbot
23	1	PortaExtruder
24	1	Part1 Modelo2
25	1	Part2 Modelo2
26	1	Part3 Modelo2
27	1	Tubo Carrete
28	1	Part4 Modelo2
29	1	Extruder Robodigg
30	2	One-Touch Couplings - Threaded Connectors_MSCNL4-M5
31	1	Guia Filamento
32	1	ColdEnd Abajo
33	1	Filamento
34	3	Regatones 1x1
35	6	PisaVidrio
36	78	CNS 3932 - M 3 x 12

Dibujado por Luis A. Jaramillo C.
Aprobado por José M. Segnini M.
Título
 Diseño de una impresora 3D de bajo costo para la escuela de diseño de la PUCESI

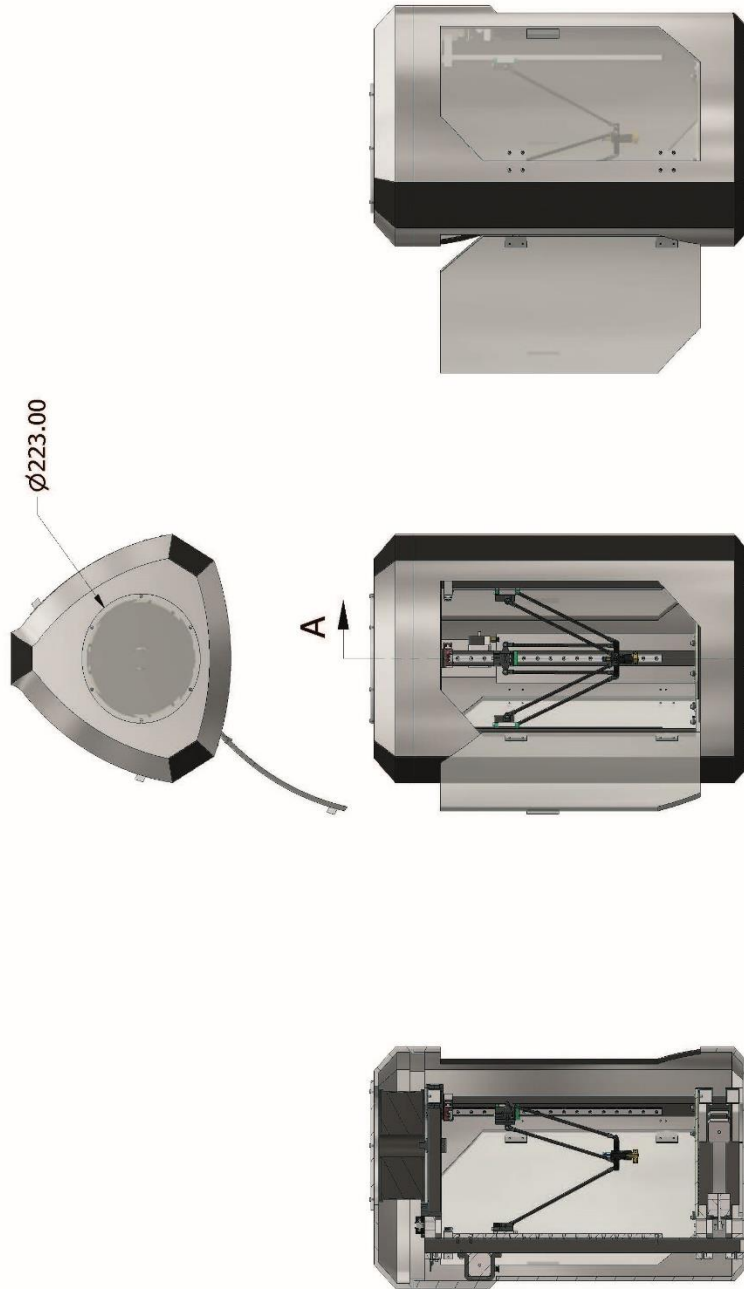


Tamaño A3
Nº Partes

Escala 1:7
 Pagina 2 de 6

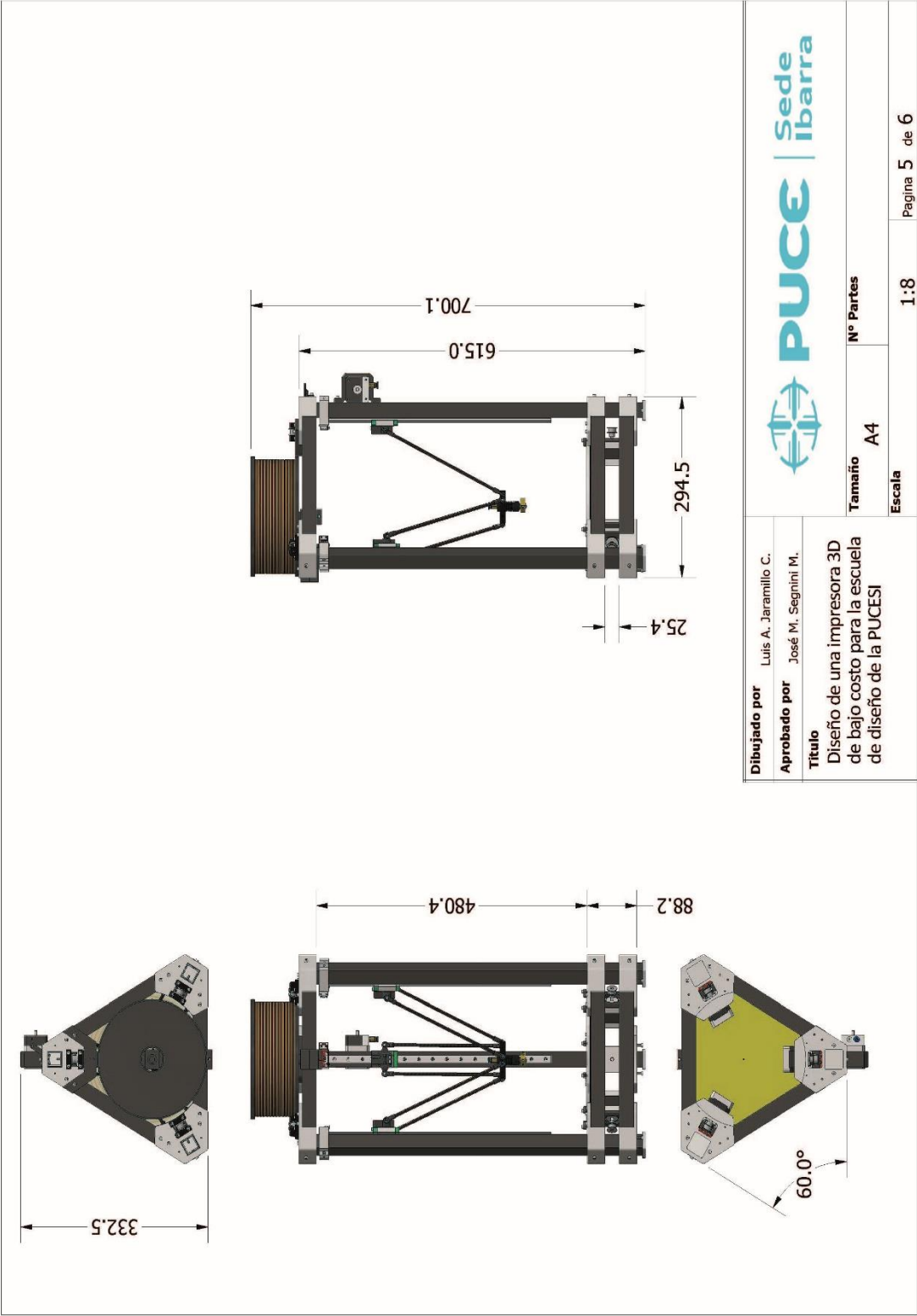


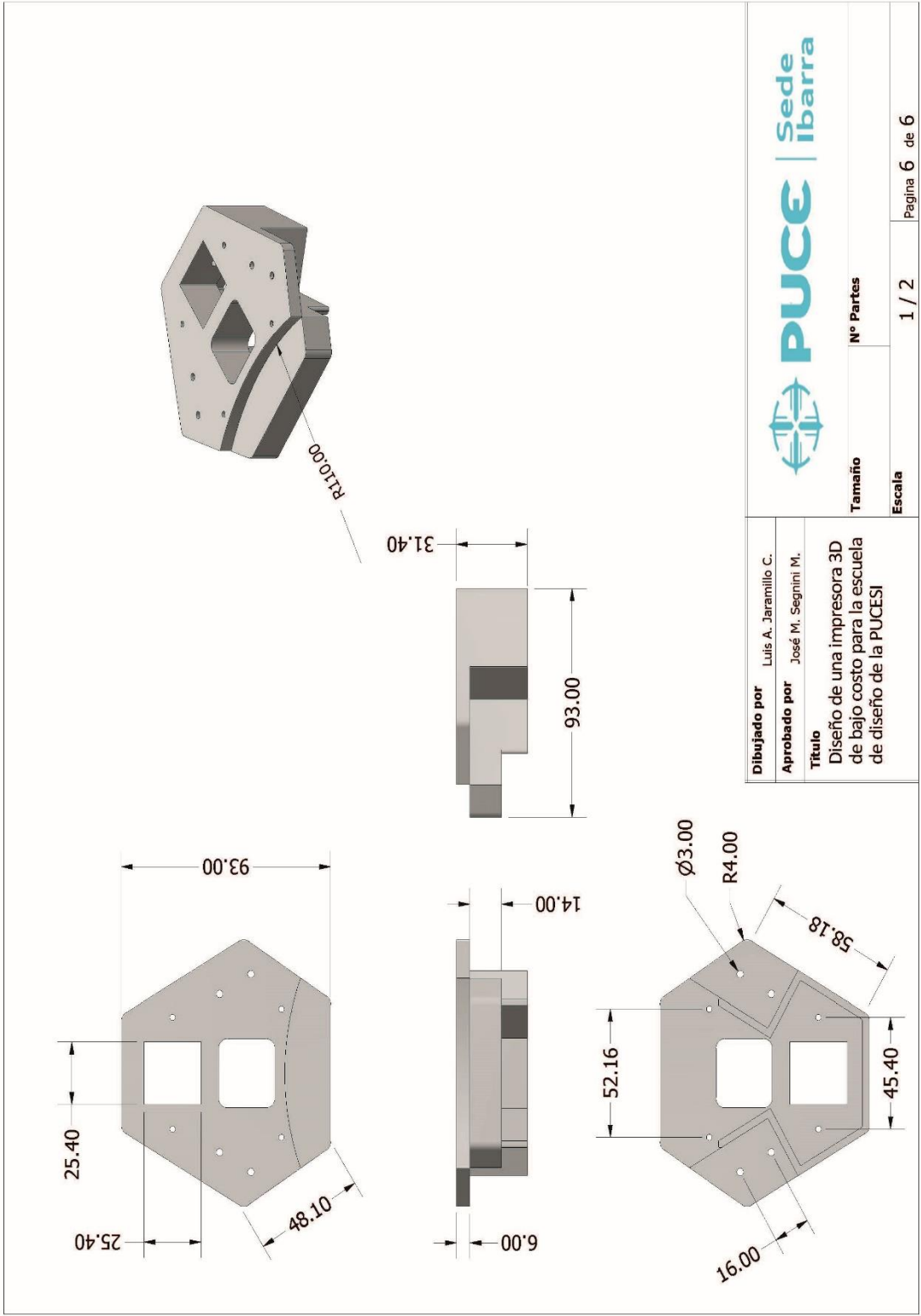
Dibujado por	Luis A. Jaramillo C.	PUCE Sede Ibarra	
Aprobado por	José M. Segnini M.	Tamaño	A4
Título	Diseño de una impresora 3D de bajo costo para la escuela de diseño de la PUCESI		
Nº Partes		Escala	1:7
		Pagina 3 de 6	



Corte A-A

A		 PUCE Sede Ibarra	
Dibujado por	Luis A. Jaramillo C.		
Aprobado por	José M. Segnini M.		
Título	Diseño de una impresora 3D de bajo costo para la escuela de diseño de la PUCESI		
Tamaño	A4	Nº Partes	
Escala	1:10	Pagina 4 de 6	





Anexo B. Marca

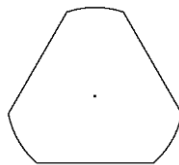
Como valor agregado a este proyecto, se presenta la marca del producto:

Delta Mer-Iba es una marca creada pensando en desarrollar impresoras 3D de bajo costo. Sus productos están destinados a instituciones educativas. Su objetivo principal será proporcionar productos realizados con impresión 3D innovadores y de alta calidad.

La marca ha sido creada pensando en la fusión entre el tipo de impresora (Delta) y las iniciales de los nombres de las ciudades natales de quienes formaron el equipo de trabajo, José Segnini (Mérida) y Luis Antonio Jaramillo (Ibarra) al unir el nombre de las ciudades resulta (Mer-Iba). La tipografía utilizada es Paper Clip usando mayúsculas y un tamaño más grande en la parte superior, la parte inferior se usa un tamaño más pequeño con mayúsculas y minúsculas.

DELTA
Mer - Iba

Como refuerzo al logo, se plantea la unión de dos formas geométricas características de la impresora diseñada, como son el triángulo y el círculo.



De igual manera, y resaltando el diseño de la cama caliente, se plantea incluir circuitos espirales que se comunican entre ellos.



MARCA



1)Isotipo

DELTA
Mer - iba

2)Logotipo



3)Imagotipo

SISTEMA CROMÁTICO



#fff6d2

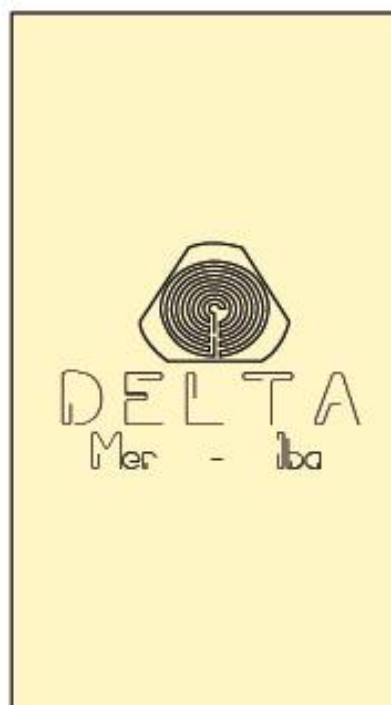
R:37
G:34
B:35
C:72%
M:66%
Y:58%
K:76%



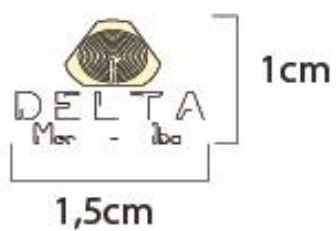
#fff6d2

R:255
G:246
B:210
C:1%
M:2%
Y:24%
K:0%

USOS DE COLOR

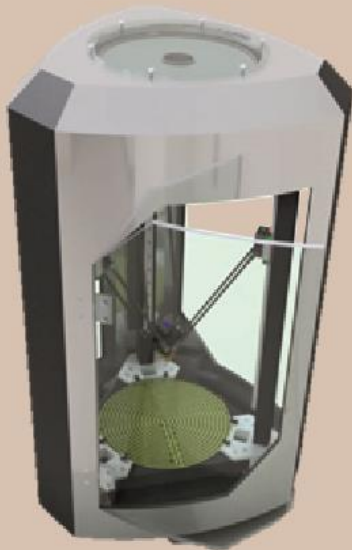


TAMAÑO MINIMO DE REDUCCIÓN



Anexo C. Manual de usuario





INFORMACIÓN PARA USUARIO.



*Verificar las velocidades y temperatura en el panel de control de realizar una impresión.

*La temperatura y velocidad de impresión varia entre cada material (ABS-PLA-TCU) y cada pieza de impresión.

*La impresora puede presentar fallos si no se presta suma atención a las temperaturas de impresión adecuada con el material.

*La limpieza de la impresora es esencial para su funcionamiento.

*La cama caliente requiere cuidado con cuanto a limpieza y control de temperatura.



Anexo D. Verificación y testeo.

