



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL PROCESO DE MANUFACTURA,
CON EL USO DE IMPRESORA 3D**

Fernando Israel Ixcoy Tizol

Asesorado por el Ing. José Manuel Prado Abularach

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR(A)	Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
EXAMINADOR(A)	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR(A)	Ing. Luis Pedro Ortiz De León
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL PROCESO DE MANUFACTURA, CON EL USO DE IMPRESORA 3D

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 20 de julio de 2015.



Fernando Israel Ixcoy Tizol



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, 24 de Octubre de 2016

Ingeniero

Juan José Peralta Dardón

Director de Escuela

Ingeniería Mecánica Industrial

Por este medio hago constar que he leído y asesorado el trabajo de graduación titulado, **“DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL PROCESO DE MANUFACTURA, CON EL USO DE IMPRESORA 3D “**, presentado por el estudiante de Ingeniería Mecánica Industrial Fernando Israel Ixcoy Tizol, quien se identifica con carné No. 200915569.

Me permito informarle que considero que cumple con los requisitos que establecen los estatutos universitarios por lo que recomiendo su aprobación e impresión.

Atentamente,

José Manuel Prado Abularach

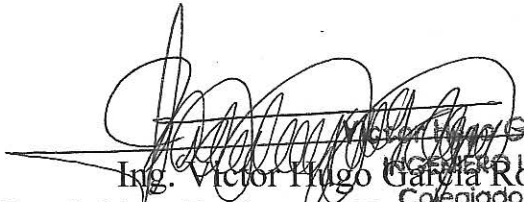
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado Activo No. 867

José Manuel Prado Abularach
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL
COLEGIADO 867



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL PROCESO DE MANUFACTURA, CON EL USO IMPRESORA 3D**, presentado por el estudiante universitario **Fernando Israel Ixcoy Tizol**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Víctor Hugo García Roque
INGENIERO INDUSTRIAL
Colegiado No. 5133
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, febrero de 2017.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL PROCESO DE MANUFACTURA, CON EL USO DE IMPRESORA 3D**, presentado por el estudiante universitario **Fernando Israel Ixcoy Tizol**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

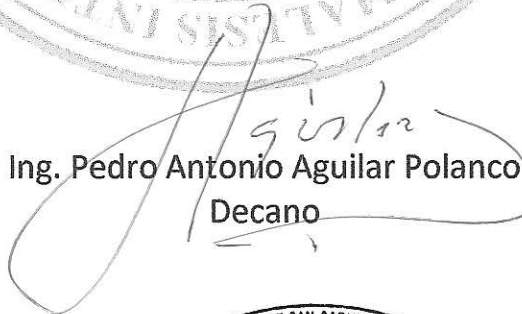


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 236.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL PROCESO DE MANUFACTURA, CON EL USO DE IMPRESORA 3D**, presentado por el estudiante universitario: **Fernando Israel Ixcoy Tizol**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi padre, amigo y todo para mí, y permitir lograr tantas cosas conforme a su voluntad, y siempre bendecirme y ayudarme.
- Mi madre** Alicia Tizol, por enseñarme a ser mejor hombre y por siempre apoyarme y nunca rendirse y perder la fe, de que puedo ser mejor.
- Mis hermanos** Por siempre estar allí, aun en los momentos más difíciles, y brindarme su apoyo y ayuda.
- Mi novia** Rosmeri de León, por ser mi ángel y bendición, mi compañera, amiga y por brindarme su ayuda.
- Mi sobrina** Por estar en mi vida y ayudarme a sonreír.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por todos los conocimientos y oportunidades de desarrollo que me brindaron.
Facultad de Ingeniería	Por desarrollar en mi vida competencias para ser mejor Persona.
La Unidad de Investigación de Ingeniería Mecánica.	Por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación.
3D systems	Por su ayuda y apoyo, con información y asesoría.
Estudio O	Por el apoyo en el desarrollo de mi trabajo de graduación.
Ing. Iván Cifuentes	Por brindarme consejos para ser mejor persona y profesional.
Ing. José Prado	Por la asesoría y consejos durante el desarrollo de todo el proceso experimental del respectivo trabajo.
Mis amigos	A todas aquellas personas que me brindaron su amistad y apoyo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.1.1. Reseña histórica	1
1.1.2. Misión	4
1.1.3. Visión.....	4
1.1.4. Estructura orgánica.....	4
1.2. Facultad de Ingeniería.....	7
1.2.1. Generalidades	7
1.2.2. Visión.....	9
1.2.3. Misión	9
1.2.4. Valores	10
1.3. Escuela de Ingeniería Mecánica.....	10
1.3.1. Misión	10
1.3.2. Visión.....	11
1.3.3. Ubicación.....	11
1.4. Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica	11
1.4.1. Funciones	11

1.4.2.	Ubicación.....	12
1.5.	Proceso de manufactura industrial.....	12
1.5.1.	Proceso	16
1.5.1.1.	Definición.....	16
1.5.1.2.	Características	16
1.5.2.	Manufactura	17
1.5.2.1.	Definición.....	17
1.5.2.2.	Tipos de procesos de manufactura	18
1.6.	Innovación tecnológica.....	19
1.7.	Impresora 3D	20
1.7.1.	Proceso de manufactura aditiva	22
1.7.2.	Tipos de impresoras 3D	23
1.7.2.1.	Impresoras 3D por estereolitografía (SLA)	23
1.7.2.2.	Impresoras 3D de sinterización selectiva por láser (SLS)	24
1.7.2.3.	Impresoras 3D por inyección	24
1.7.2.4.	Impresión por deposición de material fundido (FDM)	24
1.7.3.	Materiales.....	25
1.7.4.	Impresión 3D vs manufactura tradicional	27
1.7.5.	Futuro de la impresión 3D	30
1.7.6.	Disponibilidad para el mercado guatemalteco.....	30
1.8.	Ingeniería inversa.....	31
1.9.	Mantenimiento.....	32
1.9.1.	Definición.....	32
1.9.2.	Tipos de mantenimiento	32
1.9.2.1.	Correctivo	32
1.9.2.2.	Preventivo	32

2.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	35
2.1.	Manufactura industrial	35
2.2.	Procesos.....	37
2.2.1.	Maquinado.....	39
2.2.2.	Rectificado.....	39
2.2.3.	Fundición	40
2.2.4.	Soldadura	41
2.2.5.	Corte.....	41
2.3.	Materiales.....	42
2.3.1.	Cerámicos.....	42
2.3.2.	Polímeros.....	43
2.3.3.	Metales	44
2.4.	Equipo de manufactura.....	45
2.4.1.	Maquinaria	45
2.4.2.	Herramientas	46
2.5.	Análisis de desempeño.....	47
2.5.1.	Estándares.....	47
2.5.2.	Factores que afectan la manufactura	50
3.	PROPUESTA PARA LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICOS	51
3.1.	Diseño y personalización.....	51
3.1.1.	Identificación de requerimientos	51
3.1.2.	Diseño en 3D.....	53
3.2.	Innovación	54
3.2.1.	Manufactura limpia	55
3.2.2.	Software	57
3.2.2.1.	Versatilidad.....	58

	3.2.2.2.	Aplicaciones	59
3.2.3.		Materiales.....	61
	3.2.3.1.	Biocompatibles	62
	3.2.3.2.	Comestibles.....	64
	3.2.3.3.	Polímeros	65
	3.2.3.4.	Metales.....	68
	3.2.3.5.	Cerámicos	71
3.2.4.		Escáneres	72
3.3.		Combinación de materiales.....	75
3.4.		Análisis de muestras	77
	3.4.1.	Ensamble	77
	3.4.2.	Tiempo de fabricación	80
	3.4.3.	Materiales.....	81
	3.4.4.	Acabados superficiales.....	82
3.5.		Planificación del proceso.....	83
	3.5.1.	Diagrama de operaciones	83
	3.5.2.	Diagrama de flujo	84
	3.5.3.	Diagrama causa y efecto.....	85
3.6.		Costos	86
	3.6.1.	Equipo	86
		3.6.1.1. Impresora 3D.....	87
		3.6.1.2. Escáneres	87
	3.6.2.	Suministros.....	88
		3.6.2.1. Cartuchos de impresora 3D.....	88
	3.6.3.	Costo de producción	90
4.		IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	91
4.1.		Diseño para la producción.....	91
	4.1.1.	Requerimientos	91

4.1.2.	Diseño en 3D del producto	97
4.2.	Desarrollo tecnológico	106
4.2.1.	Manufactura con impresora 3D.....	107
4.3.	Innovación de fabricación.....	121
4.3.1.	Tiempo.....	121
4.3.2.	Ruido	124
4.3.3.	Desechos de material	126
4.4.	Propiedades del producto.....	129
4.4.1.	Físicas	130
4.4.2.	Mecánicas.....	131
4.5.	Manejo de materiales	131
4.5.1.	Materia prima.....	131
4.5.2.	Producto terminado	133
4.6.	Implementación del producto.....	138
4.7.	Logística en el proceso.....	139
4.7.1.	Ensamble.....	140
4.7.2.	Mantenimiento	141
4.7.2.1.	Correctivo	142
4.7.2.2.	Preventivo.....	143
5.	RESULTADOS O MEJORA CONTINUÍA.....	145
5.1.	Actualizaciones tecnológicas.....	145
5.2.	Evaluaciones	148
5.2.1.	Ciclo diseño	148
5.2.2.	Propiedades.....	151
5.2.3.	Rendimiento.....	154
5.2.4.	Eficiencia	154
5.2.5.	Calidad	155
5.3.	Resultados obtenidos	158

5.3.1.	Interpretación	159
5.3.2.	Aplicación	160
5.4.	Ventajas y beneficios	161
5.5.	Acciones correctivas	163
5.6.	Monitoreo y seguimiento	163
CONCLUSIONES.....		165
RECOMENDACIONES		167
BIBLIOGRAFÍA.....		169
ANEXOS.....		171

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la universidad de san carlos de Guatemala.....	5
2.	Formas de definir manufactura: a) proceso técnico, y b) proceso económico.....	18
3.	Clasificación de los procesos de manufactura tradicionales.	19
4.	Agrupación de los procesos de manufactura	38
5.	Zapatos atléticos con suela intermedia fabricada con impresora 3D ...	52
6.	Diseño 3D de aro para neumático.....	53
7.	Tejido de hígado fabricado con impresora 3D.....	54
8.	Diseño para la fabricación aditiva de implantes internos.....	55
9.	Pieza mecánica durante y después del proceso de fabricación aditiva.....	56
10.	Desarrollo de diseño de una taza por medio del programa 3D Builder de Microsoft.....	59
11.	Escaneo de una pieza de arte con el uso de la aplicación Shapematic para IOS.....	61
12.	Guía quirúrgica de implante fabricada a partir de material dental transparente en impresora 3D.....	63
13.	Pastel fabricado por la impresora ChefJet Pro con materiales comestibles	65
14.	Piezas fabricadas tridimensionalmente a partir de polipropileno (pp) o ABS.	68
15.	Pieza mecánica de cobalto fabricada por impresora 3D.....	70
16.	Pieza fabricada en 3D con filamentos de madera.....	72

17.	Digitalización de persona por medio del proceso de escaneo	75
18.	Componentes mecánicos creados por impresora 3D de múltiples materiales.....	77
19.	Malla fabricada y ensamblada simultáneamente por impresora 3D.....	79
20.	Piezas mecánicas impresas en 3D	80
21.	Herramienta industrial fabricada por distintos materiales de aporte con el uso de impresora 3D	81
22.	Acabado superficial de zapato deportivo impreso tridimensionalmente.....	82
23.	Proceso de impresión 3D para un objeto en general.	83
24.	Proceso para fabricación 3D de un objeto en general	84
25.	Diagrama de Ishikawa de la adaptación de la impresora 3D en un proceso de manufactura.....	86
26.	Vista de planta de la pieza.....	93
27.	Vista de elevación de la pieza	94
28.	Vista de perfil de la pieza.....	94
29.	Variación de forma de superficie por su tamaño y número de polígonos.....	98
30.	Modelado de esfera sin modificación de polígonos en Autocad 3D 2013.....	98
31.	Vista previa de impresión 3D de esfera.	99
32.	Vista previa de esfera con alisado en su malla.....	100
33.	Diseño de pieza con polígonos rotos	101
34.	Fallo en impresión 3D por mal diseño.....	102
35.	Diseño de pulsera para reloj en tres dimensiones	103
36.	Diseño de pieza ensamblada en programa para impresión aditiva 3D Builder.....	104
37.	Diseño de pieza ornamentaría en editor para piezas 3D en internet.....	105

38.	Diseño bien elaborado para proceso de manufactura industrial	106
39.	Exportación de diseño de AutoCad a formato estereolitográfico.....	108
40.	Vista previa de la pieza en plataforma virtual.....	109
41.	Datos de impresión de la pieza.	110
42.	Vista de material base para sujetar la pieza.....	110
43.	Indicador de aplicación de pegamento para la plataforma de impresión.....	111
44.	Aplicación de pegamento en plataforma	112
45.	Calentamiento de la plataforma de impresión.	112
46.	Panel de impresión 3D	113
47.	Impresión de base para sujetar pulsera en 3D.....	114
48.	Proceso de manufactura 3D por inyección de material.	115
49.	Movimiento controlado	116
50.	Manufactura con impresora 3D de pulsera para reloj.	117
51.	Pulsera para reloj fabricada por impresión 3D	118
52.	Impresión 3D de piezas para máquina para tatuajes.	119
53.	Piezas para máquina de tatuajes impresas en 3D.	120
54.	Tiempo establecido para la fabricación de joyas por impresión 3D (min).....	122
55.	Tiempo de fabricación (min) según la posición de impresión.....	123
56.	Nivel de ruido de impresora 3D Cube Pro.....	125
57.	Material de soporte y de la pieza a base nylon	126
58.	Cantidad de material para la fabricación de una cadena de transmisión.....	127
59.	Vista previa de impresión 3D para cadena de transmisión	128
60.	Vista previa de impresión 3D para cadena de transmisión con material de soporte, soluble al agua.....	128
61.	Material de desecho de pulsera para reloj impresa en 3D.	129

62.	Materia prima para la fabricación de pulsera para reloj por proceso aditivo.....	132
63.	Materia prima a base compuestos de madera para impresa 3D FDM.....	133
64.	Productos manufacturados por proceso aditivo 3D	135
65.	Acabados finales de la pulsera impresa en 3D	136
66.	Máquina para tatuajes con partes impresas en 3D.....	137
67.	Implementación de pulsera para reloj.....	138
68.	Implementación de aretes impresos en 3D.....	139
69.	Cadena impresa con todas sus partes ensambladas en su proceso.....	141
70.	Prótesis impresas para niños de escasos recursos de Guatemala.....	161

TABLAS

I.	Materiales biocompatibles para impresora 3D certificados por la USP (United States Pharmacopeial).....	63
II.	Especificaciones de sistemas 3D de captura del escáner	74
III.	Impresoras 3D con sus respectivos costos de adquisición.....	87
IV.	Costos de equipo de escaneo para modelado en 3D	87
V.	Costo por cartucho de material de aporte para el proceso de Impresión 3D	88
VI.	Especificaciones técnicas de la impresora 3D CUBEPRO	95
VII.	Propiedades físicas de los filamentos para impresión 3D de nylon	130
VIII.	Propiedades mecánicas de los filamentos para impresión 3D de nylon.....	131
IX.	Listado de ensayos normalizados para polímeros según las respectivas normas... ..	152

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Celsius
°F	Fahrenheit
Kg	Kilogramo
®	Marca registrada
m	Metro
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
%	Porcentaje
3D	tridimensional

GLOSARIO

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno, es un plástico muy resistente al impacto (golpes) muy utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos.
ASTM	Organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.
Biocompatibilidad	Capacidad de un material para actuar con una respuesta adecuada del medio biológico en el cual son utilizados (un ser humano u otro ser vivo).
CAD	<i>Computer-aided design</i> , es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (2D o 3D).
Elastómeros	Son aquellos tipos de compuestos que están incluidos no metales en ellos, que muestran un comportamiento elástico.
Estereolitografía	Es una forma de tecnología de manufactura utilizada para la producción de modelos, prototipos, patrones,

o piezas definitivas. Es la técnica de prototipado y fabricación rápida más antigua.

Fotopolimerización Es el procedimiento por el que se endurecen los composites. Se realiza colocando una luz especial sobre la superficie, formando una reacción química que hace que endurezca.

Grafeno Cristal de carbono en el que los átomos están dispuestos en un plano de forma hexagonal.

Innovación Es un cambio que supone una novedad.

ISO Es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización.

Manufactura aditiva Describe a las tecnologías que construyen objetos 3D mediante la adición de una capa tras otra de material para construir objetos físicos.

Metalurgia Conjunto de técnicas para extraer los metales contenidos en los minerales y transformarlos.

Nanoscópico Hace referencia normalmente a las estructuras con una escala de longitud aplicable a la nanotecnología, generalmente citado con una variación de 1 a 100 nanómetros.

Ornamental	Adorno o adornos para embellecer una cosa.
PLA	Es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable.
Polímeros	Son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.
Prototipado	Un proceso utilizado para fabricar artículos de plástico, metal o cerámica.
Pulvimetalurgia	Es un proceso de fabricación, partiendo de polvos finos y tras su compactación, para darles una forma determinada, a una temperatura determinada.
Rectificado	Finalidad de corregir las imperfecciones de carácter geométrico y dimensional que se producen durante las operaciones de manufactura.
Resina	Sustancia orgánica de consistencia pastosa, pegajosa, transparente o translúcida, que se solidifica en contacto con el aire; es de origen vegetal o se obtiene artificialmente mediante reacciones de polimerización.

Sinterización	Es el tratamiento térmico de un polvo o compactado metálico o cerámico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, para aumentar la resistencia mecánica de la pieza, ya que se ha aumentado el tamaño de grano.
Termoestables	Conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura final altamente reticulada.
Termofijos	Son materiales rígidos que tienen una estructura molecular compleja del tipo red.
Versátil	Hace referencia a la capacidad de algo o alguien de adaptarse con rapidez y facilidad a distintas funciones.

RESUMEN

La impresora 3D es la que contribuye a la formación de objetos tridimensionales a partir de diseños y modelos digitales realizados por un ordenador. Este concepto ha está revolucionando durante las últimas tres décadas debido a sus nuevas creaciones, innovaciones y los nuevos aditivos que se están utilizando para crear objetos; comúnmente, empezó con el uso de polímeros y en los últimos años se está viendo un gran avance conjuntamente con materiales metalúrgicos.

La manufactura industrial ha pasado por muchas etapas o evoluciones que han permitido desarrollar productos nunca antes pensados que brindan mayor comodidad de uso o consumo, llenando las expectativas de calidad de los consumidores.

Este tiempo por no es la excepción, debido al ingreso de nuevas tecnologías y nuevos conceptos de la ingeniería y diseño industrial, que permiten vivir una nueva era de la manufactura industrial: la llamada revolución digital, la evolución de la tecnología análoga por una digital la cual se ha estado viviendo desde los años 70 con la introducción de la computadora, modificando nuevas áreas como la mecánica, electrónica, medicina, entre otras. Muchos de los procesos tradicionales se están quedando atrás debido a su tiempo de fabricación, costo y calidad. Esta revolución está permitiendo tener productos y artefactos de manera rápida, segura y a un bajo costo.

En la revolución digital está presente la impresora 3D, debido sus novedosas creaciones, cámaras, zapatos, comida, ropa, piezas de autos y otros

artículos. Por eso se resalta la importancia de la impresora 3D en la industria ya que con el uso de aditivos se espera obtener productos más duraderos, livianos, de fácil fabricación y que puedan evolucionar a un nuevo mundo de oportunidades en la manufactura industrial.

OBJETIVOS

General

Desarrollar e innovar la tecnología en el proceso de manufactura con el uso de la impresora 3D.

Específicos

1. Determinar las posibilidades de diseño y personalización que ofrece la impresión 3D en la manufactura industrial.
2. Definir las distintas características de la impresora 3D y sus materiales aditivos en la industria.
3. Conceptuar cómo la impresora 3D puede fabricar suministros y repuestos para el proceso de manufactura industrial.
4. Analizar cómo el uso de la impresora 3D y la aportación de materiales es una combinación de calidad y eficiencia.
5. Relacionar los distintos aportes de la impresora 3D y el uso de nuevos materiales aditivos pueden reducir los costos de manufactura.
6. Identificar las ventajas que tiene la impresora 3D de otros métodos tradicionales de manufactura industrial.

7. Establecer como el uso de la impresora 3D en la fabricación de objetos pueden desarrollar una nueva industria o sector.

INTRODUCCIÓN

La manufactura hoy en día sigue evolucionando, gracias a nuevos elementos y aportes que la tecnología está proporcionando, haciendo que sea más rápida, a menor costo y con mejores resultados de precisión y calidad, hace que la industria pueda evolucionar nuevamente.

Es el caso de la impresora 3D que sigue dando nuevos resultados positivos en la industria, ya que permite la fabricación de un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material, como metal, plástico y hasta madera; Es un nuevo sustituto de otros métodos tradicionales de manufactura, debido a que reduce el material de desecho, la utilización de moldes, tiempo de preparación entre otros elementos de importancia.

Hoy en día esta tecnología ofrece unas prestaciones impresionantes que pretenden seguir revolucionando conjuntamente con la era digital. Haciendo que la manufactura pueda tener mejores ventajas de fabricación en la industria debido a las características de la combinación de distintos materiales. Por lo que se presentarán los beneficios que se podrían obtener de la combinación de la impresora 3D con sus aditivos en la manufactura.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

Universidad estatal, autónoma, la más grande y antigua de Guatemala. Establecida en el Reino de Guatemala durante la colonia española; fundada el 31 de enero de 1676 por la Real Cédula de Carlos II, conocida por sus siglas USAC. En su desarrollo como única universidad estatal, su función es dirigir y organizar la educación superior del Estado. La evolución que ha tenido la Universidad de San Carlos de Guatemala en sí se refleja en diferentes épocas de importancia, desde la independencia de Guatemala hasta la revolución. Muchos de los pensadores más importantes de la historia de Guatemala se han formado en esta casa de estudios.

1.1.1. Reseña histórica

El primer antecedente de la fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala es la gestión del primer obispo, licenciado Francisco Marroquín, ante el monarca español en su carta de fecha 1 de agosto de 1548 en la cual solicita la autorización para fundar una universidad en la ciudad de Santiago de Guatemala, hoy Antigua Guatemala. Posteriormente el Ayuntamiento de la ciudad de Santiago de Guatemala, la Real Audiencia y varias de las órdenes religiosas también enviaron similares peticiones: la necesidad de una institución de educación superior era evidente.

Sin embargo, entre la primera solicitud y la fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se establecieron Colegios de Artes, Teología y Filosofía. El primer Colegio es producto de la última voluntad del obispo Marroquín quien, al fallecer en 1563, en su testamento dejó varios bienes para

que se fundara un colegio de artes, teología y otras ciencias, lo que se logró en 1620 al establecerse el Colegio de Santo Tomás de Aquino. Luego, en los inicios del siglo XVII se fundó el Colegio de San Lucas por la Orden de la Compañía de Jesús y a estas instituciones le siguieron el Colegio de Santo Domingo y el Tridentino. Las primeras autorizaciones para otorgar grados universitarios se concedieron a estos colegios, en vista de la ausencia de una Universidad. Existen abundantes datos históricos de las solicitudes del Colegio de San Lucas ante la autoridad real para convertirse en universidad.

El 31 de enero de 1676, el monarca español Carlos II promulgó la Real Cédula de Fundación de la Universidad; documento que llegó a Guatemala el 26 de octubre de 1676, lo que se tradujo en alegría y júbilo en el Reino de Guatemala. La Universidad de San Carlos abrió por primera vez sus puertas el 7 de enero de 1681 a sesenta estudiantes inscritos: 7 de teología, 36 de filosofía y los restantes de instituto y cachiquel. En ese año, se realiza la primera protesta estudiantil por los primeros alumnos de leyes y derecho canónico debido a que los profesores nombrados en forma interina no inician sus clases; el 3 de febrero de 1681 piden a las autoridades universitarias el nombramiento del licenciado Antonio Dávila Quiñónez para la cátedra prima de leyes, la cual es autorizada el 10 de febrero del mismo año. Octubre de 1686 tomó posesión como primer rector el doctor José de Baños y Sotomayor.

El Papa Inocencio XI emite la Bula Ex-Suprema el 18 de julio de 1687 en la cual se otorga a la Universidad de Guatemala el título de Pontificia, quedando en forma definitiva el nombre de Real y Pontificia Universidad de San Carlos, en honor a San Carlos de Borromeo, santo que dedicó su vida a la vocación de servicio comunitario.

Bajo la influencia de las reformas borbónicas, se realizó la primera reforma educativa de la Universidad de San Carlos de Guatemala impulsada y realizada por el fraile franciscano doctor José Antonio de Liendo y Goicoechea, nacido en Cartago, Costa Rica, y trasladado a Guatemala desde muy niño. Se iniciaron los estudios de derecho civil romano y de gentes (internacional) estudiando a tratadistas como superando la obligación de tener un solo texto y crea la cátedra del derecho internacional o de gentes, donde se instruía sobre lo que hoy se denomina derechos humanos; además, se instituyó la cátedra de anatomía, con prácticas de disección de cadáveres de seres humanos y animales; también en las últimas décadas del siglo XVIII se impulsó el estudio profundo de las matemáticas, especialmente de la geometría, y se introdujo el método experimental en las ciencias físicas.

Esta reforma educativa de Liendo y Goicoechea produjo notables figuras académicas, entre ellas, el doctor José Felipe Flores (1770), inventor de instrumentos y teorías médicas que fueron adelantos a la medicina de la época; el doctor Narciso Esparragoza y Gallardo, innovador en la cirugía; y en el campo de las leyes, el doctor José María Álvarez, autor de la obra *Instituciones de Derecho Real de Castilla y de Indias*, obra que aún figura entre las principales de la Casa de Contratación de Sevilla. La ciudad de Santiago de Guatemala, hoy Antigua Guatemala, fue destruida por el terremoto del 29 de junio de 1773 y se decidió el traslado de la Capital del Reino al Valle de la Ermita, denominándola Guatemala de la Asunción, en honor a su Santa Patrona la Virgen de la Asunción. Los registros indican que la sede de la Universidad de San Carlos se trasladó a la nueva capital en el año de 1777. Entre disputas por los que se negaban al traslado de la Capital del Reino (terracionistas) y los que propugnaban por el traslado (traslacionistas) finalizaron los primeros cien años de la universidad.

1.1.2. Misión

En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.

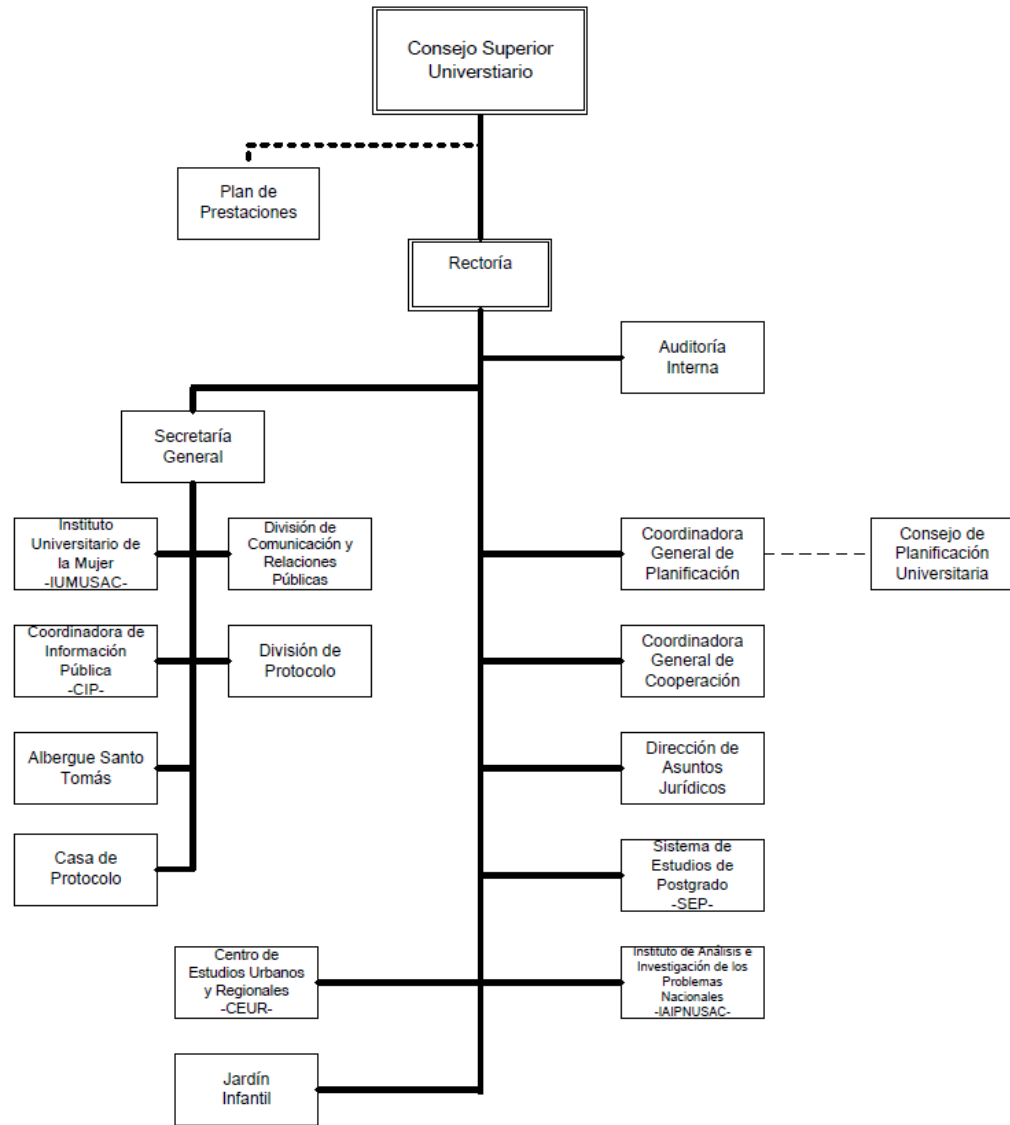
1.1.3. Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.

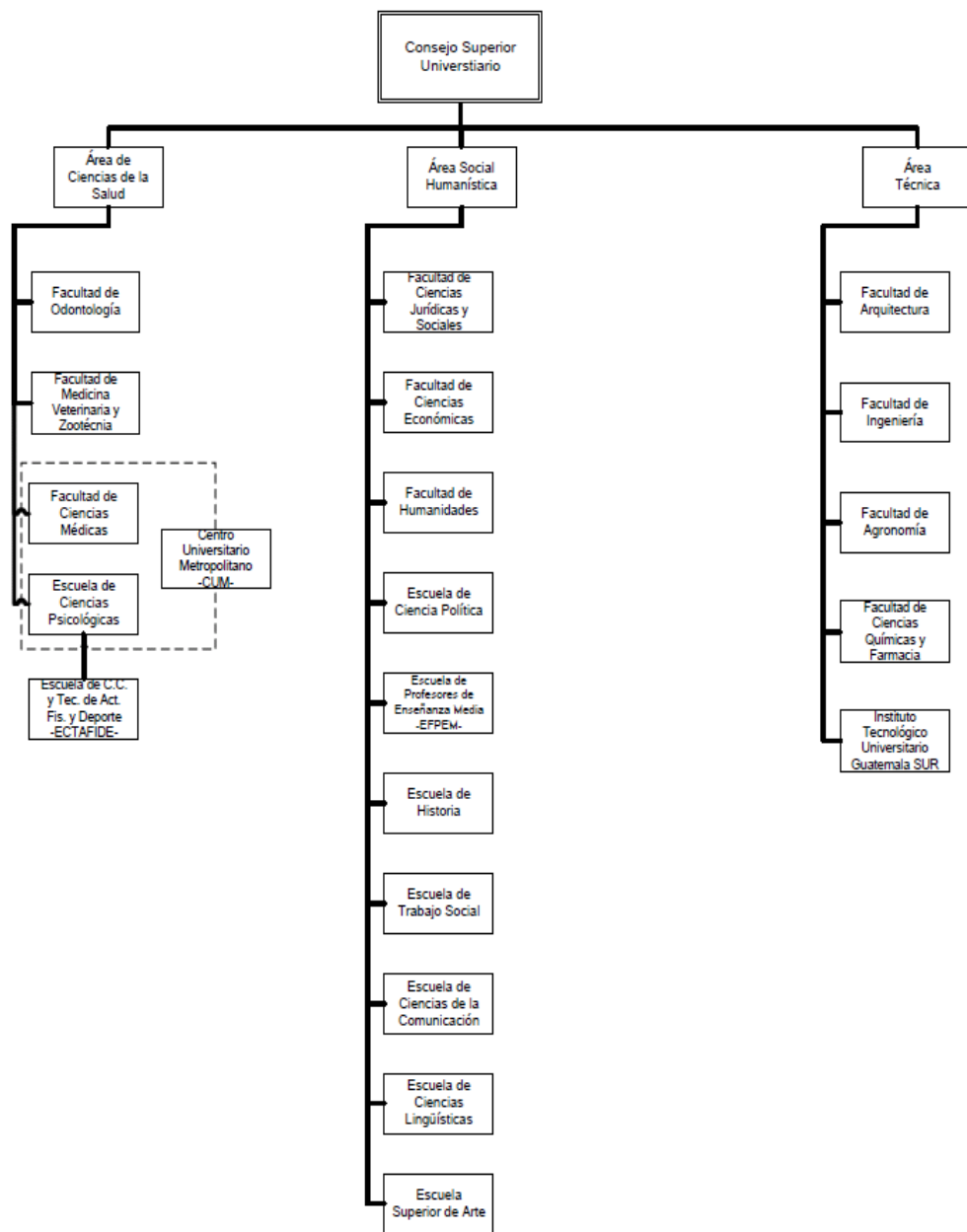
1.1.4. Estructura orgánica

La estructura orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentra integrada por unidades de decisión superior, unidades de apoyo funcional y las unidades ejecutoras del desarrollo de las funciones de docencia, investigación y extensión de la universidad.

Figura 1. Organigrama de la Universidad de San Carlos de Guatemala



Continuación de la figura 1.



Fuente: USAC. <https://www.usac.edu.gt/organigrama.php>. Consulta: 8 de mayo de 2015.

1.2. Facultad de Ingeniería

La Facultad de Ingeniería es una de las 10 facultades que conforman la Universidad de San Carlos de Guatemala. Fundada en 1880 es la facultad de ingeniería más grande de Guatemala. Atiende a una población estudiantil de más de 12 000 estudiantes de pregrado, es, por ende una de las unidades académicas más pobladas de la universidad. La facultad cuenta con 12 programas de pregrado, 8 programas de posgrado y 14 programas de maestría. Su sede está ubicada en la Ciudad Universitaria, zona 12 de la ciudad de Guatemala.

1.2.1. Generalidades

Desde 1676, en sus primeras épocas, la Universidad de San Carlos graduaba teólogos y abogados; posteriormente, a médicos. En 1769 se crearon cursos de física y geometría, lo que marcó el inicio de la enseñanza de las ciencias exactas en Guatemala. En 1834, cuando el jefe de Estado de Guatemala era Mariano Gálvez, se creó la Academia de Ciencias, sucesora de la Universidad de San Carlos y se implantó la enseñanza de álgebra, geometría, trigonometría y física. En 1873 se fundó la Escuela Politécnica para formar ingenieros militares, topógrafos y de telégrafos, además de oficiales militares.

En 1879 se estableció la Escuela de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala por decreto del Gobierno; pero en 1882, se tituló como facultad dentro de esa institución y se separó de la Escuela Politécnica.

En 1947, la facultad ofrecía solamente la carrera de ingeniería civil; en ese año los planes de estudios se cambiaron al régimen semestral en el que, en

lugar de seis años, se establecieron doce semestres para la carrera. La Escuela Técnica de la Facultad de Ingeniería se fundó en 1951 con el fin de capacitar y ampliar los conocimientos de los operarios de la construcción. Cuando el Instituto Técnico Vocacional incluyó esta labor en sus programas, la Escuela Técnica, para evitar duplicidad de esfuerzos, orientó sus actividades hacia otros campos, siempre dentro del área de la ingeniería, en cumplimiento de las funciones de extensión universitaria que le son propias. En 1953 en la Facultad de Ingeniería se creó la carrera de ingeniero arquitecto, paso que condujo a la creación de la Facultad de Arquitectura.

En 1966 en la Facultad de Ingeniería, se estableció el primer programa regional (centroamericano) de estudios de posgrado, mediante la creación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y la maestría en ingeniería sanitaria. Estos estudios son reconocidos internacionalmente. Después, ese programa se amplió con la maestría en recursos hidráulicos. La Escuela de Ingeniería Química, que desde 1939 funcionaba en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, en 1967 se integró a la Facultad de Ingeniería, en ese año también se creó la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial que tuvo a su cargo las carreras de ingeniería industrial, ingeniería mecánica y la combinada de ingeniería mecánica industrial. La Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica se creó en 1968; a su cargo quedaron las carreras de ingeniería eléctrica y la combinada de ingeniería mecánica eléctrica. En 1970 se creó la carrera de ingeniería en ciencias y sistemas con grado de licenciatura. Al final de la década de 1960 se realizaron estudios para la reestructuración y modernización del plan de estudios de la facultad.

En 1984 se creó el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) que inició sus actividades con un programa de estudios de hidrocarburos y varios cursos sobre exploración y explotación minera,

geotecnia, pequeñas centrales hidroeléctricas e investigación geotérmica; contó con el apoyo del Ministerio de Energía y Minas. Con el fin de mejorar su administración docente, en 1 986, la carrera de ingeniería mecánica se separó de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Debido al avance tecnológico en las ramas de ingeniería eléctrica, en 1 989, se creó la carrera de ingeniería electrónica a cargo de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. En 1 995 se expandió la cobertura académica de la Escuela de Postgrados, con los estudios de maestría en sistemas de construcción y en ingeniería vial; logro que permitió, en 1 996, la creación de la maestría en sistemas de telecomunicaciones. Durante el período comprendido entre 2 001 y 2 005 se iniciaron las maestrías de ciencias de ingeniería vial, gestión industrial, desarrollo municipal y mantenimiento industrial. Y en 2 007 se creó la carrera de ingeniería ambiental, con grado de licenciatura. En ese año concluyó el proceso que le otorgó la acreditación a la carrera de ingeniería química. Además, en ese período se inició el proceso en busca de la acreditación de la carrera de ingeniería civil.

1.2.2. Visión

Ser una institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional; formar profesionales en las distintas áreas de la ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional.

1.2.3. Misión

Formar profesionales en las distintas áreas de la ingeniería que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología, conscientes de la realidad nacional y regional, y comprometidos con la sociedad, sean capaces de generar

soluciones que se adapten a los desafíos del desarrollo sostenible y los retos del contexto global.

1.2.4. Valores

La Facultad de Ingeniería se dedica a la formación de profesionales de prestigio, con integridad, creatividad, sentido de la pertenencia, compromiso y honestidad para contribuir al progreso científico y tecnológico de Guatemala.

1.3. Escuela de Ingeniería Mecánica

La Escuela de Ingeniería Mecánica tiene una historia relativamente reciente como tal, debido a que, en los inicios, la carrera era administrada por la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Nació como independiente en el mes de octubre de 1986 al separarse de la escuela mencionada, por resolución de Junta Directiva a petición de estudiantes y catedráticos de aquella época; fue el principal visionario el coordinador de la Carrera de aquel entonces, el Ing. Jorge Raúl Soto Obediente (QEPD) y los estudiantes de aquel entonces Rigoberto Fong, Leonel Ramírez y Sergio Castro, entre otros. Esta separación fue necesaria dada la necesidad de desarrollar una rama de la ingeniería en forma separada, siendo la primera carrera en contar con un área exclusiva para que los catedráticos desarrollaran sus actividades y atendieran a los estudiantes, ya que esto no era posible al ser un área de la escuela en mención.

1.3.1. Misión

Formar profesionales de la ingeniería mecánica, con valores éticos y morales, capaces de generar y adaptarse a los cambios del entorno, conscientes de la realidad nacional y el avance tecnológico, comprometidos con

su sociedad, para que a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología apropiada contribuyan al bien común y desarrollo económico y sostenible del país y la región.

1.3.2. Visión

Ser una de las mejores escuelas de ingeniería mecánica en educación superior, de reconocimiento nacional e internacional por la calidad de profesionales que forma, por sus resultados dentro de la competitividad del mercado laboral cambiante tomando en cuenta el impacto de las nuevas tecnologías, de las necesidades y expectativas de sus estudiantes.

1.3.3. Ubicación

La Escuela de Ingeniería Mecánica está ubicada en el edificio T7 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en 11 avenida de zona de 12, ciudad de Guatemala.

1.4. Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica

La unidad de investigación está dentro del organigrama de la escuela y pertenece a las líneas de investigación de la escuela de ingeniería mecánica, específicamente al área de materiales.

1.4.1. Funciones

La Unidad de Investigación de Ingeniería Mecánica se dedica al estudio y desarrollo de nuevas tecnologías que puedan ayudar a evolucionar a las líneas de investigación actuales: térmica, materiales, diseño y complementarias, por

medio de la realización de proyectos, artículos, ensayos, entre otros. Todo esto con el objetivo del desarrollo de los estudiantes y demás población guatemalteca.

1.4.2. Ubicación

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica está ubicada en el primer nivel del edificio T7 de la misma facultad.

1.5. Proceso de manufactura industrial

La historia de la manufactura puede dividirse en dos partes: en el descubrimiento y la invención de los materiales por parte del hombre y los procesos de fabricación y el desarrollo de los sistemas de producción. Los materiales y procesos para la fabricación de objetos preceden a los sistemas a lo largo del tiempo. Procesos en los que se pueden mencionar: fundición, forja, y rectificado, utilizados hace mucho tiempo, para la fabricación de armas, pergaminos, cerámica y vidrio, así como otros productos. Proceso que se denominó manufactura debido al uso de las manos y artefactos para el moldeo de material para la fabricación de un producto.

Los sistemas de manufactura se definen como las formas de organizar a las personas y a los equipos con el objetivo de que se produzca con los mejores márgenes de eficiencia. Son varios los antecedentes históricos y descubrimientos que tuvieron un efecto grande en el desarrollo de los sistemas actuales de la manufactura. Esto debido a la segmentación del trabajo, en otras palabras, dividir el trabajo en tareas haciendo que los trabajadores individuales se conviertan en especialistas en la realización de una tarea en específico.

La Revolución Industrial (alrededor de 1760 a 1830) tuvo en diversos modos un efecto grande sobre la producción. Marcó el cambio entre una economía basada en la agricultura y el oficio manual a otra con base en la industria y la manufactura.

El cambio comenzó en Inglaterra, donde se inventó una serie de máquinas y la potencia del vapor reemplazó a la del agua, a la del viento y al animal. Esas ventajas dieron a la industria británica la delantera sobre las de otras naciones, e Inglaterra trató de impedir la exportación de las tecnologías nuevas. Sin embargo, finalmente la revolución se extendió a otros países europeos y a Estados Unidos.

Varios inventos de la revolución industrial contribuyeron mucho al desarrollo de la manufactura: la máquina de vapor de Watt, una tecnología nueva de generación de energía para la industria; las máquinas herramienta, que comenzaron con la perforadora de John Wilkinson, alrededor de 1775; la hiladora con varios husillos, el telar mecánico y otras para la industria textil que permitieron incrementos significativos de la productividad; y el sistema fabril, forma nueva de organizar números grandes de trabajadores de la producción con base en la división del trabajo.

En tanto Inglaterra lideraba la revolución industrial, en Estados Unidos surgía un concepto importante: la manufactura de piezas intercambiables. Se concede gran parte del crédito por este concepto a Eli Whitney (1765-1825), aunque su importancia ha sido reconocida a través de otros. En 1797, Whitney negoció un contrato para producir 10 000 mosquetes para el gobierno de Estados Unidos. En esa época, la manera de fabricar armas era artesanal, fabricar cada pieza por separado para un arma en particular, y luego ajustarlas a mano. Cada mosquete era único, y el tiempo de fabricación era considerable.

Whitney creía que los componentes podían hacerse con la exactitud suficiente para permitir su ensamblado sin ajustarlas. Después de varios años de desarrollo en su fábrica de Connecticut, en 1801 viajó a Washington para demostrar el principio. Puso los componentes de 10 mosquetes ante funcionarios gubernamentales, entre ellos, Thomas Jefferson, y procedió a seleccionar piezas al azar para ensamblar las armas. No se requirió sensibilidad o ajuste especial, y todas las armas funcionaron a la perfección. El secreto detrás de su logro era el conjunto de máquinas, refacciones y medidores especiales que había perfeccionado en su fábrica.

La manufactura de piezas intercambiables requirió muchos años de desarrollo antes de convertirse en una realidad práctica, pero revolucionó los métodos de manufactura y es un prerrequisito para la producción en masa. Debido a que su origen tuvo lugar en Estados Unidos, la producción de piezas intercambiables se conoció como el sistema americano de manufactura. De su segunda mitad y hasta al final del siglo XIX se presenció la expansión de los ferrocarriles, barcos de vapor y otras máquinas que crearon la necesidad creciente de hierro y acero. Se crearon métodos nuevos de producción para satisfacer esa demanda.

Asimismo, durante ese periodo se inventaron varios productos de consumo: la máquina de coser, la bicicleta y el automóvil. A fin de satisfacer la demanda masiva de esos artículos, se requirieron métodos más eficientes de producción. Algunos historiadores identifican los desarrollos durante ese periodo como la Segunda Revolución Industrial, que se caracterizó en términos de sus efectos sobre los sistemas de manufactura a través de lo siguiente: 1) producción en masa, 2) movimiento de la administración científica, 3) líneas de ensamblado y 4) electrificación de las fábricas.

A finales del siglo XIX, surgió en Estados Unidos el movimiento de la administración científica, en respuesta a la necesidad de planear y controlar las actividades de un número en aumento de trabajadores. Los líderes del movimiento incluían a Frederick W. Taylor (1 856-1 915), Frank Gilbreth (1 868-1 924) y su esposa Lillian (1 878-1 972). La administración científica tenía varias características: 1) el estudio de movimientos, motivado por descubrir el mejor método para ejecutar una tarea dada; 2) el estudio de tiempos para establecer estándares de trabajo para cierta labor; 3) el uso amplio de estándares en la industria; 4) el sistema de pago a destajo y otros planes similares de incentivos del trabajo; y 5) el uso de conjuntos de datos, conservación de registros y contabilidad de costos en las operaciones fabriles. Henry Ford (1 863-1 947) introdujo la línea de ensamblado en 1 913, en su planta de Highland Park. La línea de ensamblado hizo posible la producción en masa de productos de consumo complejos.

Sus métodos permitieron a Ford vender un automóvil modelo T a un precio tan bajo como \$500, lo que hizo que poseer un coche fuera algo factible para un segmento grande de la población estadounidense. En 1 881, se construyó en la ciudad de Nueva York la primera planta de generación de energía eléctrica, y pronto se utilizaron los motores eléctricos como fuente de energía para operar la maquinaria de las fábricas.

Este era un sistema que convenía más que las máquinas de vapor para distribuir energía, pues para llevarla a las máquinas se necesitaban bandas de transmisión. Alrededor de 1 920, la electricidad había sustituido al vapor como la fuente principal de energía de las fábricas de Estados Unidos. El siglo XX fue la época en la que hubo más avances tecnológicos que en todos los siglos pasados juntos. Muchos de esos desarrollos dieron origen a la automatización de la manufactura.

1.5.1. Proceso

1.5.1.1. Definición

Un proceso es el conjunto de operaciones unitarias fundamentales, mutuamente relacionadas o que al interactuar juntas para modificar o transformar las características o propiedades de la materia prima. Estas propiedades pueden ser de tipo: físicas, químicas, mecánicas, eléctricas y térmicas; con el fin de desarrollar estas operaciones en resultados productivos. Para la fabricación de un producto serán necesarias operaciones individuales, en otras palabras, estas operaciones pueden empezar desde la obtención de los materiales hasta que el producto esté terminado, esto depende de la perspectiva que le dé el fabricante ya que muchos determinan que un proceso finaliza cuando el producto está en manos de los consumidores.

1.5.1.2. Características

Las medidas fundamentales de los procesos son efectividad, eficiencia y adaptabilidad. Los procesos tienen que tener sus límites bien definidos: alcance, inicio, final, entradas, productos o elementos, clientes y proveedores.

Todo procedimiento debe ser documentado para asegurar la calidad y eficiencia del proceso. En el proceso debe haber puestos de control y evaluación, que permitan realizar la tarea de retroalimentación; estos deben estar cerca de los puntos de ejecución de las actividades.

Para tener buenos parámetros del proceso, se deben tener medidas de evaluación y objetivos relacionados con los clientes. Todo proceso es parte de otro proceso y a su vez dentro de cada proceso existen subprocesos.

1.5.2. Manufactura

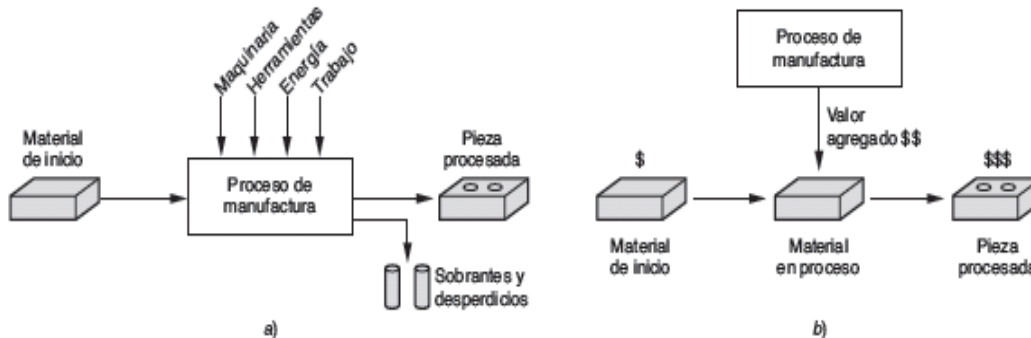
1.5.2.1. Definición

La palabra manufactura viene de las palabras latinas *manus* (mano) y *factus* (hacer); la fusión de ambas palabras da como resultado hecho a mano. La palabra manufactura es muy antigua, ya que tiene muchos siglos de existir, y “hecho a mano” describe en forma adecuada los métodos manuales que se utilizaban cuando se acuñó la expresión. La manufactura actual se realiza por medio de maquinaria automatizada y controlada por computadora y supervisada manualmente.

El término manufactura puede tener dos definiciones: una tecnológica y la otra económica. Desde el punto tecnológico, la manufactura es la transformación de la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos por medio de la aplicación de procesos físicos y químicos e inclusive el ensamble de piezas múltiples para fabricar productos. Estos procesos de manufactura se desarrollan por medio de una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual.

En su mayoría, la manufactura se lleva a cabo a través de una secuencia de operaciones. Operaciones que permiten llevar un material más cerca del estado final que se desea. Económicamente, la manufactura es la modificación o transformación de materiales en objetos de valor por medio de una o más operaciones de procesamiento o ensamblado. El objetivo principal de la manufactura es agregar valor a un material modificando su forma o propiedades o mediante combinación de diferentes materiales alterados. El valor del material se eleva mediante las distintas operaciones de manufactura ejecutadas.

Figura 2. **Formas de definir manufactura: a) proceso técnico, y b) proceso económico**



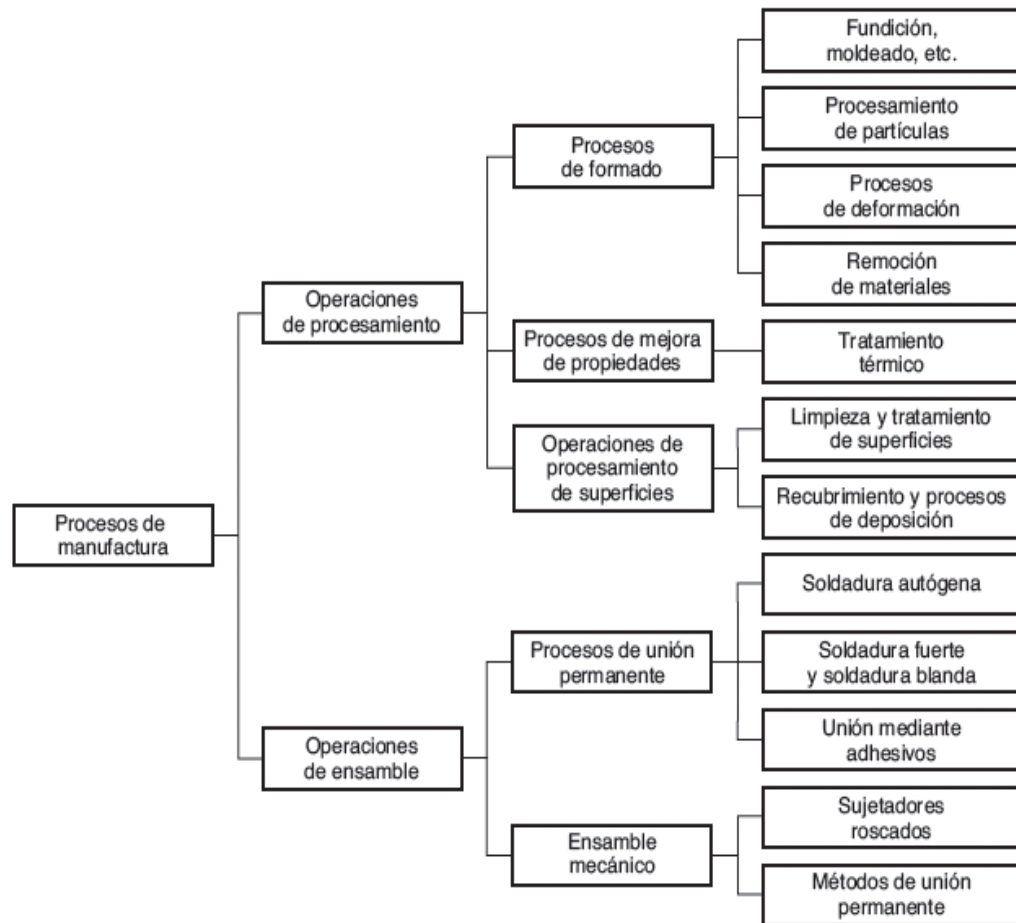
Fuente: GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. p. 4.

1.5.2.2. Tipos de procesos de manufactura

Los procesos de manufactura se pueden dividir en dos tipos básicos: las operaciones del proceso y las del ensamblado. Una operación del proceso permite el desarrollo de un material de trabajo, desde el estado de acabado a otro más avanzado, dando como resultado un producto final deseado. El valor de un material u objeto se eleva por medio de la modificación de la geometría, las propiedades o la apariencia del material de inicio.

Generalmente, la ejecución de operaciones del proceso se realiza sobre partes discretas del trabajo, pero también hay algunas operaciones que pueden aplicarse a artículos ensamblados. Una operación de ensamblado es la unión de dos o más componentes con el objetivo de formar o crear una nueva entidad, llamada ensamble, subensamble o algún otro término que se refiera al proceso de unión (por ejemplo, un ensamble soldado se denomina soldadura).

Figura 3. **Clasificación de los procesos de manufactura tradicionales**



Fuente: GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. p. 11.

1.6. Innovación tecnológica

Es el proceso multietapa con variaciones significativas en las actividades iniciales por medio de la introducción de nuevos procesos, nuevos productos y servicios, nuevas fuentes de manejo de materiales y cambios en la organización industrial, de forma continua y con orientación al cliente o consumidor.

La innovación tecnológica permite a una empresa u organización obtener estrategias competitivas en el mercado nacional o extranjero; esto por medio de la combinación de recursos financieros, técnicos y comerciales; combinado de tres elementos fundamentales a la innovación tecnológica: calidad, eficiencia y competitividad, esperando resultados de producción comercial de nuevos productos y la aplicación comercial de nuevos procesos o sistemas.

Una característica de la innovación tecnológica es llegar hasta el final todo proceso por medio de la creación científica; luego por el desarrollo tecnológico y su producción a escala comercial, con parámetros de éxito; rentabilidad económica, inversión y crecimiento de las ventas. La innovación tecnológica se logra con esfuerzos técnicos llevados a cabo prácticamente en una organización. Pero esto necesita intensas interacciones con el medio o campo tecnológico y el mercado. Para su desarrollo, se inicia con la búsqueda proactiva de nuevos materiales y propiedades y de nuevas contribuciones tecnológicas, y que sea inevitable la retroalimentación.

No solo se trata de crear nuevos productos o servicios innovadores sino de poder penetrar nuevos mercados, pero para esto debe ser bien difundido en la sociedad de manera que esta obtenga un gran beneficio de este producto o servicio. Es decir, con el hecho de encontrar una necesidad que aún no haya sido satisfecha por ningún otro producto o servicio da como resultado una idea, una invención o un descubrimiento que se transforma en una innovación.

1.7. Impresora 3D

Impresora 3D (innovación tecnológica y un nuevo tipo de proceso de manufactura). La manufactura aditiva ha pasado por muchas etapas o evoluciones que han permitido desarrollar productos nunca antes pensados que

brindan mayor comodidad de uso o consumo, llenando las expectativas de calidad de los consumidores.

La impresora 3D ha ido evolucionando desde la idea del primer método de impresión 3D (estereolitografía) por Chuck Hull, un inventor destacado en el campo de la óptica iónica, que entre 1988-1990, fundó la empresa 3D systems y comercializó las primeras máquinas de impresión estereolitográficas que dieron paso a nuevos métodos de impresión: la impresión por deposición de material fundido (*fused deposition modelling* o *FDM*) y la impresión por láser (*selective laser sintering* o *SLS*).

En 1990 Scott Crum, que había concebido el método de impresión FDM, establece la empresa Stratasys para luego comercializar su invento; más adelante salió a la luz una nueva impresora con proceso por inyección, que luego la empresa 3D systems, comercializó; en el 2009 la empresa Organovo ingenia la impresora 3D MMX Bioprinter, la primera capaz de fabricar tejidos orgánicos.

Actualmente fue creada la impresora 3D casi tan rápida como una impresora de tinta y papel, la impresora CLIP (*continuous liquid Interface production*), que aún está en fase de estudio.

Esta evolución ha permitido realizar impresiones de diseños en 3D de piezas, modelos y prototipos. Comúnmente utilizados en la arquitectura y el diseño industrial. Actualmente, con nuevas modificaciones de su proceso de manufactura aditiva, se está extendiendo en la fabricación de prótesis médicas, piezas para automóviles, productos innovadores, construcción de casas, comida, entre muchos más, permitiendo obtener productos y artefactos de manera rápida, segura y a un bajo costo. Por lo que se resalta la importancia

de la impresora 3D en la industria ya que con el uso de aditivos se espera obtener productos más duraderos, más livianos, de fácil fabricación y que puedan dar evolución a un nuevo mundo de oportunidades en la manufactura industrial.

1.7.1. Proceso de manufactura aditiva

La impresora 3D es la que contribuye a la formación de objetos tridimensionales a partir de diseños y modelos digitales realizados por un ordenador. Este concepto ha estado revolucionando por la últimas tres décadas debido a sus nuevas creaciones, innovaciones y los nuevos aditivos que se están utilizando para crear objetos; empezó con el uso de polímeros y en los últimos años se está viendo un gran avance conjuntamente con materiales metalúrgicos. Su funcionamiento es muy fácil, muy parecido a la impresión de un texto: se envía un archivo desde el ordenador a la impresora a diferencia que la impresora 3D en vez de usar tinta para imprimir utiliza aditivos formados por materiales, formando el modelo enviado por el ordenador por medio de capas, dando como resultado un objeto con tres dimensiones: planta, elevación y perfil.

Entre sus procesos de manufactura aditiva se pueden resaltar: proceso por fotopolimerización: la peculiaridad de esta impresora es que su material de aportación para formar objetos es un material sensible a la luz, comúnmente se puede encontrar en forma líquida; esta impresora su proceso se realiza por medio del enfoque de un láser sobre el material líquido con el objetivo de solidificarlo dando como resultado la formación de capa por capa. Proceso de extracción: esta es la impresora que comúnmente se ve en el mercado y que su funcionamiento depende de la aportación de filamentos de material, que se calienta hasta fundirse y así depositarlo para formar capa por capa del diseño

enviado por el ordenador. Por último, el proceso o que comúnmente se encuentran en la manufactura industrial: el material de aportación se encuentra en forma de polvo, en un recipiente de contención donde es fundido por un láser, haciendo más fácil la formación de la pieza.

Las piezas fabricadas dependen del proceso para determinar sus acabados; los materiales de aportación son muchos en esta época: plásticos, metales y hasta arcillas, cerámicos, hormigón, etc. Pero se siguen desarrollando nuevos aditivos y con mejor calidad de fabricación. La impresión 3D se utilizaba en sus orígenes para creación de prototipos rápidos, pero con la nueva evolución de la era digital ahora es común oír hablar esta tecnología, el uso de la impresora 3D es muy diverso ya que todo queda a la imaginación de que se desea imprimir, muchas organizaciones ya las empiezan a utilizar e invertir en su desarrollo debido a gran potencial esperado. Muchos de los expertos hablan que el desarrollo de las impresoras 3D se verá sostenido con el avance de las redes sociales ya que muchas compañías están empezando a diseñar programas virtuales de fácil uso donde los usuarios pueden diseñar y compartir sus diseños en la web para que luego estos puedan ser utilizados por otras personas en su hogar por medio de una impresora 3D.

1.7.2. Tipos de impresoras 3D

1.7.2.1. Impresoras 3D por estereolitografía (SLA)

Una de las primeras técnicas en utilizarse. Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz UV va solidificando la resina capa por capa. La base que soporta la estructura se desplaza hacia abajo para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que el objeto alcance la forma deseada.

Con este método se consiguen piezas de altísima calidad, se desperdicia cierta cantidad de material en función del soporte que sea necesario fabricar.

1.7.2.2. Impresoras 3D de sinterización selectiva por láser (SLS)

También conocido en inglés como *selective laser sintering* (SLS), esta tecnología se nutre del láser para imprimir los objetos en 3D. aparece en los años 80, y pese a tener ciertas similitudes con la tecnología SLA, permite utilizar un gran número de materiales en polvo (cerámica, cristal, nylon, poliestireno, etc.). El láser impacta en el polvo, funde el material y se solidifica. Todo el material que no se utiliza se almacena en el mismo lugar donde inició la impresión por lo que no se desperdicia nada.

1.7.2.3. Impresoras 3D por inyección

Este es el sistema de impresión 3D más parecido a una impresora habitual (de tinta en folio), pero en lugar de inyectar gotas de tinta en el papel, inyectan capas de fotopolímero líquido que se pueden curar en la bandeja de construcción.

1.7.2.4. Impresión por deposición de material fundido (FDM)

También conocida por FFF (*fused filament fabrication*, término registrado por Stratasys) La técnica aditiva del modelado por deposición fundida es una tecnología que consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido

almacenado en rollos, se funde y es expulsado por la boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa.

Se trata de la técnica más común en cuanto a impresoras 3D de escritorio y usuarios domésticos se refiere. Aunque los resultados pueden ser muy buenos, no suelen ser comparables con los que ofrecen las impresoras 3D por SLA, por ejemplo. La ventaja principal es que esta tecnología ha permitido poner la impresión 3D al alcance de cualquier persona con impresoras como la *CubeX*, Prusa o cualquier impresora de RepRap. Actualmente, se utilizan una gran variedad de materiales, entre los que predominan ABS y PLA.

1.7.3. Materiales

Existe una gran variedad de materiales para impresión 3D, los hay transparentes, de colores, opacos, flexibles, rígidos, de alta temperatura y resistencia. En la gran mayoría de estos materiales, se pueden hacer pos procesos de pintura, taladrado, cromado y/o pegado. Están diseñados para satisfacer las necesidades tanto visuales como de tacto, resistencia y fuerza que requieren los prototipos, para ceñirse a la realidad.

Los sistemas de impresión 3D, trabajan con materiales y productos que tienen propiedades muy similares a las de algunos polímeros. Dichas resinas han sido diseñadas para emular materiales que van desde el caucho, hasta vidrios transparentes y plásticos de ingeniería ABS. En el mercado existen más de 60 tipos de materiales para impresión 3D que, gracias a sus características y propiedades físico químicas, posibilitan la creación de prototipos perfectos, de gran precisión, excelente nivel de detalle y aplicables casi a todos los sectores industriales.

Los materiales digitales son compuestos que se crean mediante la inyección simultánea de dos materiales diferentes, que se combinan en concentraciones y estructuras específicas para simular propiedades mecánicas únicas, lo que permite una simulación más real del aspecto y de la funcionalidad del prototipo respecto al producto final deseado. Este tipo de material solo se usa en las máquinas que imprimen dos fotopolímeros de modelado, y pueden conseguirse hasta 51 materiales digitales previamente preestablecidos y catalogados.

La elección de los materiales debe ceñirse al diseño del producto y al tipo de máquina impresora 3D con la que se cuenta, ya que no todos los materiales son aptos para ser utilizados en todos los tipos de máquina existentes. Dentro de los materiales más usados se encuentran aquellos que simulan plásticos de ingeniería ABS, con los que se fabrican prototipos que requieren de alta resistencia al impacto y absorción de golpes. Por su parte, las resinas que simulan los plásticos estándar –polipropileno- son ideales para hacer modelos que necesitan de la dureza, flexibilidad y resistencia que ofrece el polipropileno, como contenedores y embalajes reutilizables, juguetes, cajas de batería, piezas de automóvil y aplicaciones flexibles de encaje a presión, entre otros.

Los materiales rígidos y opacos se usan para la realización de modelos que deban tener un aspecto muy similar al producto final. Son ideales para hacer pruebas de ajuste y deformación, prototipos de piezas móviles y ensambladas, componentes electrónicos, modelos de exposición y moldes de silicona.

También existe el grupo de materiales con características muy similares a la de los elastómeros, utilizados usualmente para hacer prototipos como bordes de caucho, tiradores, empuñaduras, juntas de picaporte, selladores,

mangueras, calzado, entre otros. Aquellos materiales que emulan los plásticos estándar transparentes, también se usan para hacer prototipos que requieran de gran detalle y simulación visual de termoplásticos transparentes, como cubiertas luminosas, estuches, aparatos ópticos y algunas aplicaciones médicas.

Existen resinas cuyas características posibilitan el prototipado de piezas médicas y dentales que incluso pueden ser utilizadas directamente. En cuanto a los materiales de soporte es preciso aclarar que estos simulan un gel que permite la elaboración del proceso de impresión ya que sus características no interfieren en el proceso de prototipado, pues dicho material solo funciona, como su nombre lo indica, para soportar la resina. La mayoría de resinas que se usan en impresión 3D salen totalmente solidificadas de la máquina lo que permite la realización de procesos subsiguientes de forma inmediata.

1.7.4. Impresión 3D vs manufactura tradicional

En la manufactura industrial existen variados métodos para la fabricación de objetos, métodos que han sido pilares para la evolución industrial, pero en esta nueva etapa la manufactura exige nuevos parámetros como reducción de material de desecho, ahorro de herramienta, reducción de paradas por mantenimiento, cuidados de los recursos no renovables y del medio ambiente, y, sobre todo, nuevos productos innovadores que permitan competir en el mercado con nuevas tecnologías.

Ya que en la actualidad los clientes o consumidores tienen nuevas expectativas debido al alcance que ha tenido la era de los digital, y exigen productos con nuevos alcances de satisfacción, por lo que la manufactura recurre a nuevos métodos para manufacturar, métodos como la impresora 3D,

que si es cierto es una tecnología que está empezando a crecer pero a la vez está dando buenos resultados como: crear productos ensamblados, reducción de materias primas, costo de energía, combinación y variedad de materiales, entre otros.

La aplicación de las nuevas tecnologías de alta calidad y precisión como la impresión 3D para la elaboración de prototipos ha logrado que se puedan crear modelos que antes eran imposibles de hacer, de hecho, los distribuidores de este tipo de máquinas concuerdan en que con estas impresoras se puede lograr cualquier geometría, hasta el punto que afirman que el límite lo pone la imaginación.

La impresión 3D de hecho aventaja la fabricación tradicional de modelos, en cuanto a que puede lograr geometrías imposibles de crear de forma manual o maquinada lo que no supone límites al diseño. Es por ello que esta tecnología ha tomado tanta importancia dentro de los procesos creativos de las compañías.

La impresión 3D multimaterial ha posibilitado también el desarrollo de prototipos complejos (compuestos por dos o más materiales) en un solo paso, mediante la inyección o el uso de varios materiales a la vez (hasta 14) por pieza impresa. Este concepto está revolucionando la industria ya que los departamentos de diseño pueden jugar a mezclar varios materiales digitales hasta conseguir la pieza que más se adapte a su idea de producto final. De hecho, la versatilidad de la máquina permite que en un mismo proceso y, si la pieza no tiene dimensiones muy grandes, se pueda imprimir un mismo prototipo con varios materiales o varios diseños de un mismo producto.

Se ha demostrado que las compañías cuyos departamentos de diseño cuentan con esta herramienta de trabajo incrementan notablemente sus capacidades creativas ya que estas máquinas posibilitan la impresión de ideas directamente desde el software CAD, sin necesidad de largos procesos subsecuentes, ni largos tiempos de espera para tener el modelo entre sus manos, ya que la tecnología 3D, es más rápida que los procesos tradicionales de mecanizado, la de fundición de plásticos, aglutinado de polvo y la de estereolitografía.

Los industriales, por su parte, han visto en la impresión 3D multimaterial la posibilidad de crear prototipos de alta calidad, precisión y fidelidad, con ahorros de tiempo, dinero y mano de obra, entre otras ventajas; además, de las relacionadas con la reducción de errores de manufactura y la confidencialidad.

En la actualidad se crean prototipos para realizar *marketing* de productos, así como para experimentar y evaluar las propiedades y parámetros de productos que serán lanzados al mercado. Sus principales aplicaciones se remontan a la creación de componentes funcionales para ensamblar electrodomésticos, automóviles y una amplia variedad de máquinas, herramientas y dispositivos. También, se crean prototipos de carcasas o cubiertas para aparatos electrónicos y electrodomésticos, en general, así como juguetes y/o partes de los mismos. La tecnología actual posibilita también, el desarrollo de prototipos para aplicaciones médicas, odontológicas, instrumentos de investigación para el área de la salud, elementos de seguridad ocupacional, entre otros. En la industria metalmecánica, por ejemplo, estas máquinas se están utilizando sobre todo para realizar prototipos con los que se harán moldes. Dichos modelos se usan en la fabricación o procesos de moldeo por vaciado, termoformado, vulcanizado e inyección.

1.7.5. Futuro de la impresión 3D

La impresora 3D ha estado tratando de salir de sus nichos de prototipado rápido para alcanzar un nuevo puesto en la industria, pero no lo había logrado debido a sus tiempos muy lentos para la fabricación, pero en la actualidad muchas organizaciones invierten en su estudio y desarrollo.

Por lo que sean obtenido nuevos resultados, como crear impresoras que funcionan con materiales nanocompuestos como el grafeno, impresoras que realizan procesos metalúrgicos e incluso impresoras que han logrado alcanzar la velocidad de impresión casi tan rápidas que las impresoras que imprimen tinta sobre el papel; por lo que muchos expertos y universidades garantizan que la impresora 3D no dejará de evolucionar debido a que lo único que necesitan son nuevos enfoques e ir más allá de las fases de diseño y realización de prototipos de un producto, lo que hará que sean parte clave para una nueva etapa de la manufactura industrial.

1.7.6. Disponibilidad para el mercado guatemalteco

Guatemala no ha sido la excepción de la introducción de tecnologías innovadoras en el proceso de manufactura, ya que empresas nacionales ya empiezan a utilizar la tecnología de la impresora 3D como respaldo de sus procesos tradicionales de fabricación o como nuevos elementos de logística para el mantenimiento de su equipo o maquinaria. Existen grandes proveedores de estos equipos de impresión en 3D que ofrecen una gran variedad de impresoras, materiales y accesorios para el mercado guatemalteco.

Todo dependiendo de las especificaciones y requerimientos de los clientes y procesos, debido a que muchos clientes solo requieren impresoras 3D que

pueda realizar procesos básicos, pero existen empresas o fabricas que requieren equipos que realicen procesos de fabricación muy complejos. Porque se ofrecen en el mercado guatemalteco equipos de impresión en 3D con materiales aditivos a base de polímeros, cerámicos, metales e incluso materiales comestibles; así mismo, también se pueden adquirir equipos complementarios como escáneres, para facilitar el trabajo de la fabricación aditiva ya sea de forma básica o profesional.

1.8. Ingeniería inversa

La ingeniería inversa es el proceso de obtener información o diseño a partir de un dispositivo, objeto o sistema, con el fin de determinar de qué está hecho, cómo funciona y cómo fue manufacturado o fabricado.

Actualmente, los productos más comúnmente sometidos a ingeniería inversa son dispositivos mecánicos o electrónicos, software de computadora, pero en realidad cualquier producto puede analizado por medio de Ingeniería Inversa.

Este proceso se denomina así porque para fabricar un nuevo objeto se va en dirección opuesta a métodos tradicionales de ingeniería, esto mediante el uso de datos técnicos para la fabricación de un objeto determinado.

Estableciendo que si un dispositivo, objeto o sistema fue sometido a la ingeniería inversa fueron obtenidos en forma apropiada, como es el caso que se da en la fabricación de software, televisores, computadoras, teléfonos celulares, entre otros. También, suele ser empleada por empresas para analizar si el producto de su competencia infringe patentes de sus propios productos.

1.9. Mantenimiento

1.9.1. Definición

Se considera así al procedimiento formado por una serie de trabajos que hay que ejecutar en algún bien, con el objetivo de conservarlo y que proporcione el servicio para el cual fue diseñado. Administrativamente el objetivo de este es la conservación ante todo del servicio que están suministrando los equipos, instalaciones, entre otros. Y no como erróneamente se cree que el mantenimiento está obligado a la conservación de tales bienes. El servicio es lo más importante y no la maquinaria o equipo que lo proporciona.

1.9.2. Tipos de mantenimiento

1.9.2.1. Correctivo

Este es el mantenimiento que tiene como objetivo restaurar el funcionamiento de un bien que esté suministrando un servicio, por lo cual se requiere hacer una evaluación de los errores o daños de manera integral para corregir los defectos observados en los equipos o instalaciones, en otras palabras, este es un procedimiento básico de mantenimiento que consiste en localizar averías o defectos para que luego sean corregidos o reparados.

1.9.2.2. Preventivo

Se define como la planeación de la conservación de un bien teniendo como función conocer sistemáticamente el estado de los equipos o instalaciones, para así poder realizar un programa de prevención que no permitan que en momentos inoportunos estos dejen de suministrar o presta sus

servicios. Su finalidad es reducir al mínimo los costos por paradas de producción, esto mediante el cuidado y registro del estado de los equipamientos o instalaciones, realizando visitas y revisiones de los mismos.

2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Manufactura industrial

Actualmente la manufactura industrial es una actividad importante, debido a que sus procesos de fabricación de objetos que han ido evolucionando hasta llegar hacer grandes pilares para el desarrollo de la humanidad. Pero la manufactura industrial no se realiza por sí misma, para esto se realizan actividades o factores que permiten su desarrollo actual, esto dependiendo de la clase del producto que se fabrica. Para esto se deben conocer los distintos tipos de industrias manufactureras que existen en la actualidad.

La industria manufacturera se divide en industrias primarias, secundarias y terciarias. Las industrias primarias son las que cultivan y explotan recursos naturales, como la agricultura y minería. Las industrias secundarias son las que toman las salidas de las industrias primarias y las transforman en bienes de consumo y capital. En esta industria, la manufactura es la actividad principal, incluyendo las construcciones y la generación de energía. Las industrias terciarias son las que constituyen el sector de servicios de la economía.

Cada industria tiene sus productos manufacturados los cuales se dividen en dos clases principales: bienes de consumo y bienes de capital. Los bienes de consumo son productos que los consumidores compran en forma directa: autos, computadoras, televisiones, teléfonos, entre otros. Los bienes de capital son aquellos que adquieren otras compañías para producir bienes y prestar servicios. Algunos ejemplos de bienes de capital incluyen aviones, máquinas herramienta y equipo para la construcción.

Una vez establecidas las actividades y factores importantes actuales de la manufactura industrial, se establece que todo proceso de manufactura también depende de la cantidad de producción y variedad de productos que una industria puede ofrecer a un mercado, ya que la cantidad de productos elaborados por una fábrica es un factor fundamental ya que de esto depende como está organizado el personal, procesos e instalaciones. Algunas industrias fabrican una variedad de productos de los que se pueden hacer cantidades medias, bajas o altas. Esto mediante la capacidad tecnológica de proceso de manufactura, tamaño físico y peso del producto y la capacidad de producción.

La manufactura no ha logrado optimizar por completo el uso de materiales para la fabricación debido que todos sus procesos actuales aún producen desechos de materiales, así mismo, no se ha logrado reducir el tiempo de preparación para el proceso de manufactura, ya que para crear un producto primero tiene que pasar por la etapa de diseño y moldeo, luego por las pruebas de mercado, implementación técnica y comercialización.

Entre los métodos tradicionales se puede mencionar mecanizado, soldadura, corte y fundición. Métodos que han sido muy importantes para el desarrollo de la manufactura; pero qué pasa cuando tienen que realizar diseños demasiado complejos, sube el costo de producción, el tiempo de preparación es mucho más grande, se necesita usar más de un método para la fabricación de un producto. Por ejemplo no es lo mismo fabricar un engrane con dientes externos, que un engrane de dientes internos, ya que su diseño es mucho más complejo para que una máquina herramienta lo realice, pero si se logra fabricar un engrane con dientes internos su costo es mucho más elevado, en comparación con uno del mismo tamaño pero con diente externos, esto hace que se prefiera fabricar engranes dientes externos, no importando que un engrane con dientes internos tenga mayor longitud de acción de la que habrá

en uno externo, también que la resistencia del diente de un interno es mucho mayor que la de un engrane externo equivalente, permitiendo crear diseños más compactos, que su uso permite que se elimine uso de engranes locos para dar movimiento en otro eje con la misma dirección de giro.

Es importante resaltar que la manufactura actual también busca nuevos métodos que puedan permitir fabricar sin dañar el medio ambiente, esto mediante el cuidado de los recursos naturales y no renovables, creando nuevos materiales y equipos, esto mediante la innovación tecnológica de los métodos tradicionales de manufactura.

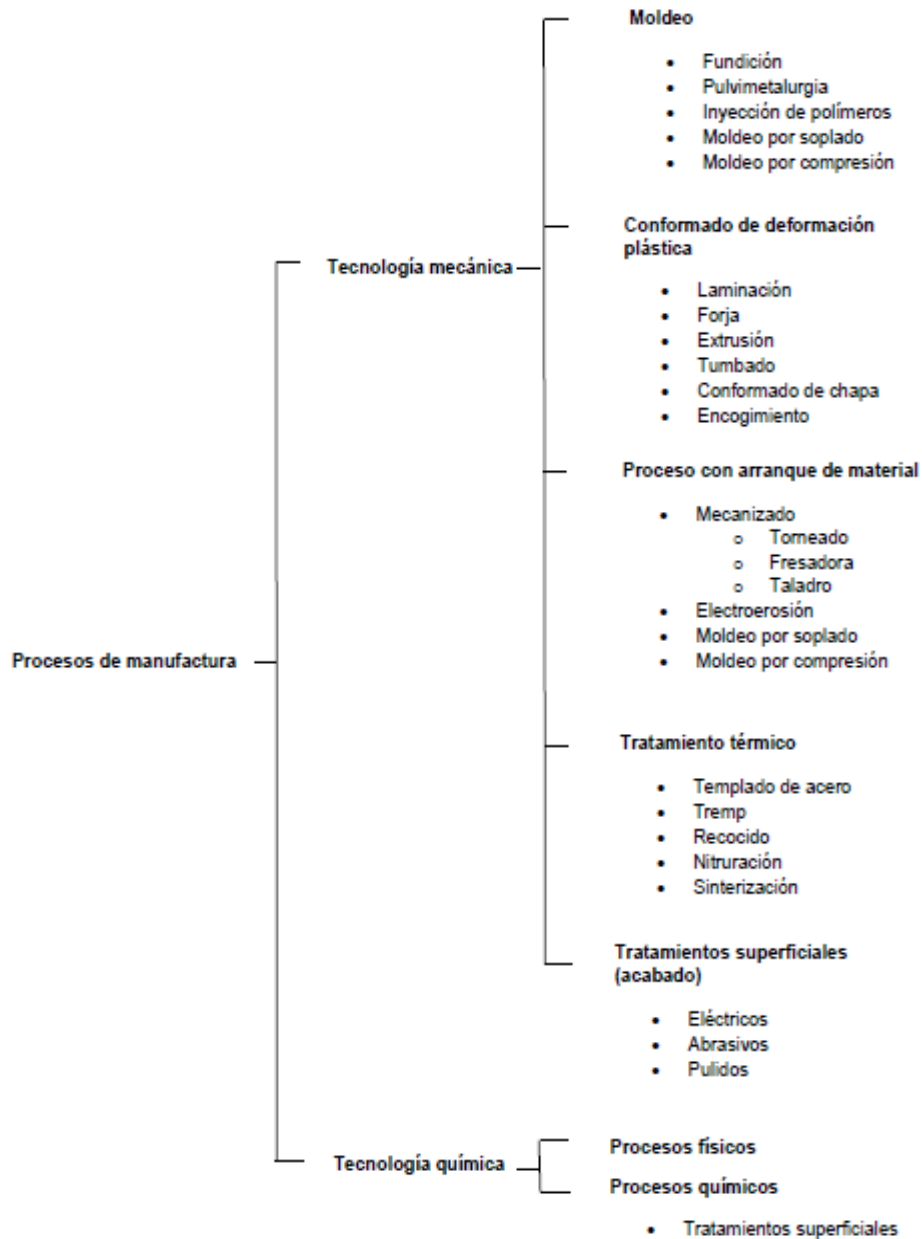
2.2. Procesos

En la actualidad existe un sinnúmero de procesos de manufactura en Guatemala, los cuales están compuestos de un conjunto de operaciones unitarias necesarias para la transformación de las propiedades de un material de trabajo. Estas propiedades pueden ser físicas, mecánicas, eléctricas, químicas y térmicas.

Para fabricar un producto u objeto se necesita de varias operaciones individuales de tal manera que juntas desarrollan un proceso, ya sea desde la obtención de las materias primas hasta la comercialización de dicho producto como las que se realizan en una determinada zona de trabajo con una máquina herramienta.

En la manufactura guatemalteca, los procesos elementales se agrupan en dos grandes categorías: tecnología mecánica y tecnología química y que cada tecnología por su índole se desarrolla según su tipo de operación y desarrollo de fabricación.

Figura 4. Agrupación de los procesos de manufactura



Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se representan todos los tipos de procesos de manufactura que hay en la industria guatemalteca, a continuación, se describen algunos de ellos. Debería de agregarse en el año 2 016, la tecnología de las impresoras 3D, que inician su entrada en el mercado industrial de Guatemala.

2.2.1. Maquinado

El maquinado es un proceso de manufactura que se realiza por medio de una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, teniendo como resultado una forma deseada. En otras palabras, es el removimiento de material también llamado viruta el cual después de haber sido retirado queda expuesta la nueva superficie.

La característica más importante de este proceso es que se utiliza herramienta de corte que forma una viruta la cual se remueve de una pieza de material ya sea metal, cerámico o plástico. Esta operación se realiza por medio del movimiento relativo, el cual está compuesto de un movimiento primario y uno secundario, el movimiento primario también llamado velocidad y un movimiento secundario, denominado avance. El maquinado está compuesto de muchas operaciones y que cada una da como resultado una geometría y textura superficial.

2.2.2. Rectificado

El rectificado es el proceso que consiste en el removimiento del material superficial de una pieza por un método de abrasión. Método que se lleva a cabo por medio de una muela, adhiriéndose a su superficie una arenilla abrasiva, a la que se hace girar a una alta velocidad sobre la pieza de trabajo. La superficie abrasiva actúa como elemento de corte individual por medio de sus granos

abrasivos, de la misma forma como una lima. Esta superficie abrasiva está constituida de granos de diamante, óxido de aluminio o carburo de silicio, que están adheridos a la muela con algún adhesivo resinoso o vítreo.

El proceso de rectificado se utiliza fundamentalmente cuando se necesita dejar buenos acabados superficiales en una pieza o pulido superficial de la misma; este proceso es ampliamente usado en la manufactura industrial, ya que por medio de este proceso se mejoran procesos, los cuales dan como resultado una disminución de costos bastantes significativos. En este proceso la mayor parte de la energía se convierte en calor la cual se acumula en la zona de mayor contacto entre la pieza de trabajo y la superficie abrasiva para evitar estas altas temperaturas que pueden ser perjudiciales, para el acabado superficial se utiliza un líquido refrigerante de aporte sobre la zona de contacto entre la pieza y la muela. Además, este líquido también ayuda a quitar el material desecho y de la pieza.

2.2.3. Fundición

Es el proceso de manufactura industrial que se utiliza para fabricar piezas, ya se metal o plástico, mediante el calentamiento del material y luego introducirlo en un molde, donde se da proceso de solidificación.

Este proceso consta de la preparación de un molde el cual debe tener la forma de la pieza que se quiere obtener mediante la función, estos moldes pueden ser moldes desechables, permanentes y semipermanentes, los desechable están hechos de materiales como arena, yeso u otro material similar los más utilizados para la fundición de metal debido a que es un material refractario y permite la salida de los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido; el molde permanente es un molde de material metálico

construido en dos secciones que están diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad. Estos moldes comúnmente están hechos de acero o hierro fundido. Los semipermanentes, como su nombre lo indica, tienen una parte permanente y una desechable; en su mayoría es porque se realizan piezas con corazón o alma y en su fabricación se utiliza un material desechable como arena. Una vez diseñado el molde, se deposita el material para la pieza para una vez introducido pueda solidificarse y al retirar el molde tenga la forma requerida o deseada.

2.2.4. Soldadura

Es el proceso industrial por medio del cual se realiza la unión de dos o más piezas mediante la aplicación de presión, calor o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro material, también llamado material de aportación; este material debe fundirse para realizarse la unión de los elementos, la temperatura de fusión de este material debe ser inferior a la de las piezas que se unen para que el metal de aportación pueda realizar correctamente la soldadura, dando como resultado buena fuerza de adherencia entre el material de aportación y las piezas que se van a soldar, y que tienen que ser mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido. Las normas actuales diferencian los conceptos de soldadura y soldeo, de manera que no se pueden usar indistintamente. Soldadura es la forma física que une las piezas y soldeo el proceso que se utiliza para realizar dicha una soldadura.

2.2.5. Corte

El proceso de corte se refiere a todos los procedimientos que permiten retirar material en exceso de una pieza de trabajo la cual puede estar hecha de

materiales como: acero, hierro laminado, hierro dúctil, hierro maleable, bronce, aluminio, plásticos, entre muchos más. Se elimina por medio de una herramienta más dura a través de un proceso de deformación plástica extensa o por fractura controlada. La variedad de los procesos de corte de material es muy extensa, pero es posible idealizar el proceso de la remoción de viruta.

2.3. Materiales

Los materiales para ingeniería se clasifican en una de tres categorías básicas: cerámicos, polímeros y metales. La diferencia de sus propiedades ya sea físicas, térmicas, mecánicas y eléctricas no se parecen y afectan los procesos de manufactura susceptibles de emplearse para obtener productos de ellos.

2.3.1. Cerámicos

Un cerámico contiene elementos metálicos o semimetálicos y no metálicos. Los elementos no metálicos más tradicionales son oxígeno, nitrógeno y carbono. Pero en realidad los cerámicos están distribuidos en variedad de materiales tradicionales y modernos. De los productos cerámicos tradicionales se pueden mencionar: arcilla, compuesta de partículas finas de silicatos de aluminio hidratados y otros minerales que se utilizan en la fabricación de ladrillos, baldosas y vajillas; sílice, es el compuesto que se utiliza para casi todos los productos de vidrio; y los cerámicos alúmina y carburo de silicón, dos materiales abrasivos que se utilizan para el proceso de rectificado.

Entre los cerámicos actuales se pueden seguir mencionando alguno de los materiales anteriores como la alúmina, cuyas propiedades se pueden mejorar a través de varios métodos actuales de procesamiento.

Los más nuevos incluyen carburos, los carburos: metálicos como los carburos compuestos de tungsteno y el de titanio cuyas propiedades permiten ser empleados para la fabricación de herramientas de corte; y los nitruros: los nitruros metálicos y semimetálicos como nitruros compuestos de titanio y el de boro, utilizados en la manufactura de herramientas de corte y abrasivos para rectificar.

Los cerámicos se dividen en cerámicos cristalinos y vidrios con fines de procesamiento. Para cada uno son requeridos diferentes métodos de fabricación. Los cerámicos cristalinos son formados por distintos procedimientos de pulvimetalurgia a una temperatura inferior del punto de fusión a fin de lograr la unión entre los polvos. Los cerámicos vidriados se fusionan y funden para dar como resultado productos como el vidrio soplado tradicional.

2.3.2. Polímeros

Químicamente se define como un material constituido por grandes moléculas las cuales se forman con la secuencia repetitiva de moléculas pequeñas o agrupaciones de átomos simples, enlazadas unas a otras por enlaces primarios (usualmente de tipo covalentes simples). Estas unidades estructurales sencillas (moléculas pequeñas) que dan origen a los polímeros reciben el nombre de monómero. Por lo general, los polímeros consisten en carbono más uno o más elementos: hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Estos materiales se dividen en tres categorías: polímeros termoplásticos o termovariables, polímeros termoestables o termofijos y elastómeros. Los polímeros termoplásticos se ablandan al calentarse (a veces funden) y se endurecen al enfriarse (estos procesos son totalmente irreversibles y pueden repetirse). Los termoplásticos comunes incluyen polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y nailon. Los polímeros termoestables sufren una transformación

química (curado) hacia una estructura rígida después de haberse enfriado a partir de una condición plástica calentada; de ahí el nombre de termoestables, en otras palabras, son los materiales que se endurecen al calentarse y no se ablandan al continuar calentando. Los miembros de este tipo incluyen los fenoles, resinas amino y epóxicas. Aunque se emplea el nombre termoestable, algunos polímeros se curan por medio de mecanismos distintos del calentamiento. Los elastómeros son polímeros que tienen una capacidad de sufrir grandes deformaciones elásticas sin ruptura. Son blandos y tienen un bajo módulo elástico, de ahí el nombre de elastómeros. Incluyen el caucho natural, neopreno, silicón y poliuretano.

2.3.3. Metales

Los metales son los materiales que se utilizan en la manufactura industrial debido a su grandes propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y físicas generalmente son aleaciones compuestas de dos o más elementos con por lo menos uno de forma metálica. Los metales se dividen en dos grupos básicos: ferrosos y no ferrosos. Los ferrosos se basan en el hierro (F): el grupo incluye acero y hierro fundido, con 0.15 a 1.5 de carbono (C) son aceros y con 2 % a 4 % de carbono son hierro fundido. Estos metales son de gran importancia para el desarrollo comercial y la fabricación, corresponden en más de las tres cuartas partes del peso total de los metales de todo el mundo. El uso del hierro puro es limitado, pero cuando se combina con porcentajes de carbono tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbono forman acero y hierro colado.

El acero es uno de los materiales más importantes dentro del grupo de metales ferrosos. También se pueden encontrar combinados con otros elementos de la aleación: manganeso (Mn), cromo (Cr), níquel (Ni) y molibdeno

(Mo) para mejorar las propiedades del metal. Las aplicaciones del acero incluyen la construcción, transporte y productos de consumo. El hierro fundido es una aleación de hierro y carbono que es utilizado en el moldeo. El silicio también está presente en la aleación en cantidades que van de 0.5 % a 3 % y generalmente es común encontrar la combinación con otros elementos para obtener el mejoramiento de las propiedades del material fundido. El hierro fundido se encuentra disponible en distintas formas, de las que la más común es el hierro fundido gris con muchas aplicaciones en la industria: la fabricación de bloques y cabezas para motores de combustión interna.

De metales no ferrosos se pueden mencionar los elementos metálicos y sus aleaciones. Generalmente, las aleaciones tienen más importancia comercial que los metales puros. Los metales no ferrosos incluyen los metales puros y aleaciones de aluminio (Al), cobre (Cu), oro (Au), magnesio (Mg), níquel (Ni), plata (Ag), estaño (Sn), titanio (Ti), zinc (Zn) y otros metales.

2.4. Equipo de manufactura

2.4.1. Maquinaria

Actualmente la manufactura industrial cuenta con maquinaria que permite el formado y modelado de los materiales sólidos. Estos procesos se consiguen con la eliminación de parte del material de la pieza de trabajo. Todas las operaciones de manufactura se realizan con el uso de maquinaria y herramienta. La maquinaria industrial es un factor muy versátil aplicable para la producción. Se desarrollan no solo para fabricar productos comercializables sino también para la fabricación de partes para otras máquinas de la producción. Maquinaria que actualmente sigue siendo uno de los grandes pilares

de la industria moderna y se utilizan directa o indirectamente para fabricar piezas de máquinas y herramientas.

La clasificación actual de estas máquinas se divide en tres categorías: máquinas herramientas especiales, prensas y máquinas desbastadoras tradicionales. Las máquinas herramientas especiales su funcionamiento depende de energía eléctrica, química, térmica e incluso haces de partículas de alta energía para la fabricación de productos con materiales especiales y aleaciones utilizadas en la tecnología actual. Las máquinas desbastadoras tradicionales son las que comúnmente todo el mundo conoce debido a que no importando que sus mecanismos sigan siendo tradicionales pueden dar forma a una pieza de trabajo por medio del proceso de corte, para retirar todo el material no deseado o también llamado viruta. Las prensas realizan diversos procesos de manufactura entre los que pueden mencionarse; cizallamiento, modelado y estirado. La maquinaria industrial actual por lo general está diseñada para producir una pieza o un producto específico en cantidades muy grandes. La economía de la producción en masa justifica las grandes inversiones en maquinaria de propósito especial a fin de alcanzar eficiencias elevadas en ciclos cortos de tiempo.

Entre las máquinas más comunes y actuales en la manufactura industrial se pueden mencionar: torno, cepilladora, perfiladora, fresadora, pulidora, rectificadora, CNC (control numérico computarizado), entre otras.

2.4.2. Herramientas

Generalmente, la maquinaria para manufactura industrial requiere de herramientas que se integren en el equipo, para el trabajo de una pieza o

producto en particular. La mayoría de veces, el herramental debe tener un diseño específico para la configuración de la pieza trabajo o producto.

Pero también pueden diseñarse herramientas de uso intercambiable para máquinas o equipos de propósito general. Las herramientas son utilizadas en las máquinas industriales como apoyo o respaldo para fabricar una pieza o producto en específico cuando se desea cambiar el diseño del producto, se cambia el tipo de herramienta o se ajusta a los nuevos requerimientos de fabricación, todo dependiendo del tipo de maquinaria. Ya que en maquinaria especial las herramientas no se cambian, solo si es por motivos de remplazo de componentes usados o por mantenimiento preventivo o correctivo.

Todo proceso de manufactura industrial necesita de herramientas que faciliten la fabricación de un objeto en particular, herramientas que permitan realizar la medición de propiedades y requerimientos, entre las herramientas más comunes y actuales están: herramientas de medición, herramientas para ensayos, herramientas de diseño, herramientas de corte y trazo, entre otra.

2.5. Análisis de desempeño

2.5.1. Estándares

Una empresa y organización manufacturera está constituida de un conjunto de procesos y sistemas establecido para transformar un determinado rango de materiales en productos de valor incrementado. Pero para esto es importante contar con estándares que permitan realizar productos que cumplan con los requerimientos del mercado, los estándares más comunes en el proceso de manufactura son calidad, eficiencia y tiempo, de los cuales se

destacan de los factores principales: materiales, procesos y sistemas que integran la manufactura actual.

La interdependencia de estos factores para cumplir los estándares antes mencionados es muy fuerte debido a que uno puede limitar a otro, a esto se le conoce como capacidad de manufactura: esta se refiere a las limitaciones que tiene una empresa u organización manufacturera, ya sean técnicas y físicas, es posible identificar varias dimensiones de dicha capacidad: capacidad tecnológica de proceso, tamaño físico y peso del producto y capacidad de producción.

- Capacidad tecnológica de proceso: es el conjunto de procesos de manufactura con que dispone. Ciertas plantas realizan operaciones de maquinado, otras convierten lingotes de acero en lámina, y unas más construyen automóviles. Una planta de maquinado no puede laminar acero, y una planta de laminación no puede fabricar autos. La característica subyacente que distingue a esas plantas son los procesos que pueden ejecutar. La capacidad de procesamiento tecnológico se relaciona de cerca con el tipo de material. Ciertos procesos de manufactura se ajustan a ciertos materiales, mientras que otros se adaptan a unos distintos. Al especializarse en determinado proceso o grupo de procesos, la planta se especializa en forma simultánea en ciertos tipos de materiales. Las capacidades tecnológicas de proceso incluyen no sólo los procesos físicos, sino también la experiencia que tiene el personal de la planta en dichas tecnologías. Las compañías deben concentrarse en el diseño y la manufactura de productos que son compatibles con su capacidad tecnológica de proceso.
- Limitaciones físicas del producto: Un segundo aspecto de la capacidad de manufactura lo impone el producto físico. Una planta con un conjunto dado

de procesos está limitada en los términos del tamaño y el peso de los productos que pueden alojarse. Los productos grandes y pesados son difíciles de mover. Para hacerlo, la planta debe equiparse con grúas con la capacidad de carga requerida. Piezas y productos pequeños que se fabrican en cantidades grandes se trasladan por medio de bandas u otros medios. La limitante del tamaño y peso de un producto también se extiende a la capacidad física del equipo de manufactura. Las máquinas de producción tienen tamaños distintos. Las más grandes deben utilizarse para procesar piezas grandes. El conjunto del equipo de producción, manejo de materiales, capacidad de almacenamiento y tamaño de planta, debe planearse para los productos que están dentro de cierto rango de tamaño y peso.

- Capacidad de producción: una tercera limitante de la capacidad de una planta de manufactura, es la cantidad de producción que puede obtenerse en un periodo de tiempo dado (por ejemplo, mes o año). Es común llamar a dicha limitante de cantidad capacidad de planta, o capacidad de producción, y se define como la tasa máxima de producción que una planta puede alcanzar en condiciones dadas de operación. Estas condiciones se refieren al número de turnos por semana, horas por turno, niveles de la mano de obra directa, entre otros. Esos factores representan entradas de la planta. Dadas estas entradas, ¿cuál es la salida que puede generar la empresa? Por lo general, la capacidad de planta se mide en términos de las unidades producidas, tales como las toneladas de acero que produce al año una fundición, o el número de automóviles producido por una planta de ensamblado final. En estos casos, las producciones son homogéneas. En los casos en que las unidades de producción no son homogéneas, otros factores más apropiados de medición, son las horas hombre de capacidad productiva en un taller de maquinado que produce piezas varias.

2.5.2. Factores que afectan la manufactura

Para que una empresa u organización manufacturera pueda realizar sus funciones con eficacia debe contar con sistemas que realicen y permitan llevar a cabo con eficiencia y calidad su tipo de producción. Estos sistemas de producción están constituidos de personas, equipos y procedimientos diseñados para realizar la combinación de material y proceso que permita realizar los objetivos de las operaciones de manufactura de una empresa.

Estos sistemas de producción están divididos: instalaciones de producción y sistemas de apoyo a la manufactura. Las instalaciones de producción son todo equipo físico y su arreglo dentro de la fábrica. Los sistemas de apoyo a la manufactura son todos los factores y procedimientos utilizados por una empresa y organización para la administración de la producción y resolución de problemas técnicos y logísticos del manejo y distribución de los materiales. Estos factores permiten el movimiento del trabajo de la empresa manufacturera, permitiendo cumplir con los requerimientos y especificaciones de los que clientes o consumidores, satisfaciendo los estándares de calidad. Así mismo permitirá el cuidado del medio ambiente con la reducción de desechos y cuidado de materiales no renovables.

3. PROPUESTA PARA LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICOS

A continuación, se describen los distintos factores de importancia que presta la impresora 3D en la industria para el desarrollo e innovación de distintos procesos actuales en la manufactura.

3.1. Diseño y personalización

3.1.1. Identificación de requerimientos

La identificación de requerimientos es una base fundamental en todo proceso, debido a que muchos de los resultados dependen de la gestión de estos, ya que permiten establecer que hacer o en otros casos que no; para brindar salidas con buenos resultados, se necesita definir cuáles son los requerimientos y especificaciones solicitados por los usuarios o clientes que desean un producto para satisfacer una necesidad, estos deben de dar por qué se debe realizar el proceso o sistema y cómo poder realizarlo de manera óptima y eficaz.

Al determinar cuáles son los requerimientos por los que se debe implementar el uso de la impresora 3D en un proceso actual o tradicional, el producto puede ser un sustituto o auxiliar para la manufactura de un objeto o artefacto para dar como resultado productos con mejores características o aplicaciones, pero no solo se trata de sustituir un proceso o maquinaria sino también se trata de reducir el tiempo y costo de producción e incluso innovar un proceso. Por lo que primero se debe determinar para qué tipo de proceso de manufactura o sector industrial es necesario implementar el uso de la impresora 3D, ya sea desde un sector comercial, industrial o personal, para establecer qué

tipo de equipo o impresora tridimensional se ajusta al proceso determinado por la organización o individuo.

Se necesita establecer cuál será el proceso que realizará la impresora 3D ya sea para prototipo o fabricación; por ejemplo, una industria de zapatos puede utilizar la impresora 3D para crear el prototipo de un nuevo diseño, sin llevarlo a producción y gastar materias primas que pueden ser utilizadas en la fabricación del diseño final o bien puede ser usado para la fabricación de un producto o una de sus partes que para la empresa sea mucho más rápido y barato por su costo de fabricación, logística, costo de materia prima, entre otros. Estos requerimientos pueden ser establecidos por distintas herramientas desde un muestreo, un estudio de datos y formas usadas por una empresa y organización, encuestas, cuestionarios, observaciones, análisis del medioambiente, desarrollo de prototipos o productos.

Figura 5. **Zapatos atléticos con suela intermedia fabricada con impresora 3D**



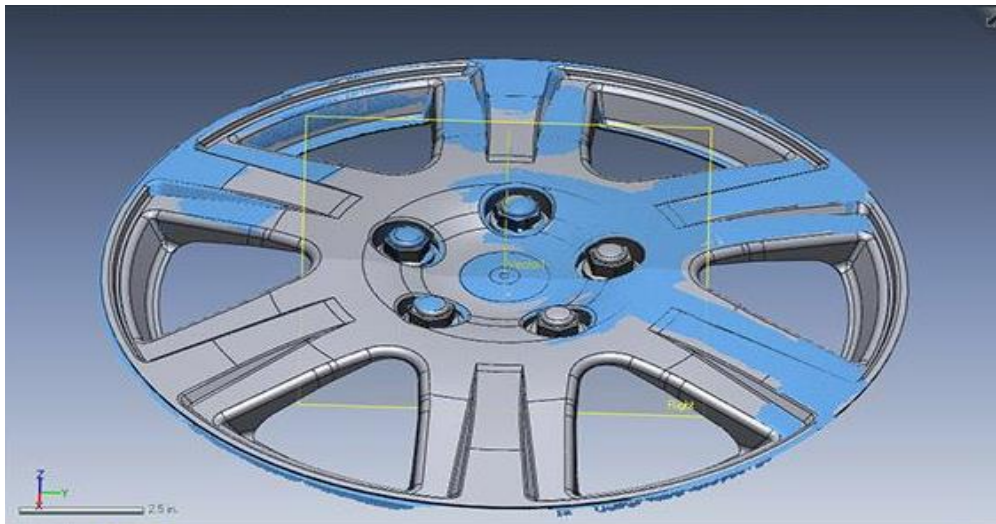
Fuente: <http://www.3dsystems.com/blog/2015/11/new-balance-hits-its-stride-tech-3d-printed-midsoles>. Consulta: 12 de marzo de 2016.

3.1.2. Diseño en 3D

Los ingenieros mecánicos industriales, diseñadores, artistas, arquitectos y *marketing* necesitan de un diseño antes de pasar a la etapa de fabricación o creación de un objeto, pero que mejor que un diseño tridimensional que muestre todas las características de un objeto desde su planta, elevación y perfil para así poder corregir o mejorar dicho diseño.

El diseño en 3D es vital para la creación o fabricación de un objeto con impresora 3D ya que permite obtener un modelo detallado de manera digital de todas las especificaciones que requiere un producto u objeto. Este diseño puede ser realizado por un sinfín de software de CAD 3D; este diseño puede tener varias características: dimensiones, colores, texturas y simulaciones para crear, gestionar y entregar productos con excelentes funciones requeridas.

Figura 6. **Diseño 3D de aro para neumático**



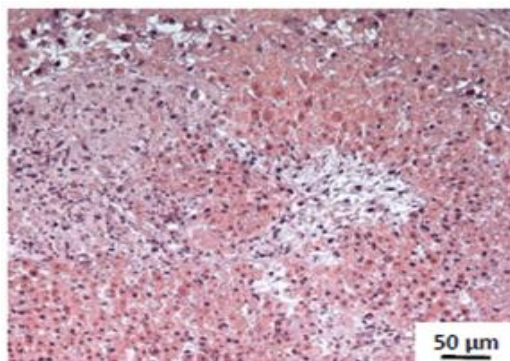
Fuente: <http://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/3d-systems>. Consulta: 12 de marzo de 2016.

3.2. Innovación

La impresora 3D presenta un mundo de oportunidades y ventajas competitivas de forma innovadora y creativa, permite realizar procesos jamás imaginados de forma rápida y a un bajo costo. Ya sea por su cuidado con el medio ambiente, su fácil uso y adquisición, su utilidad es muy amplia en muchos campos: medicina, industria automotriz, industria manufacturera y comercios.

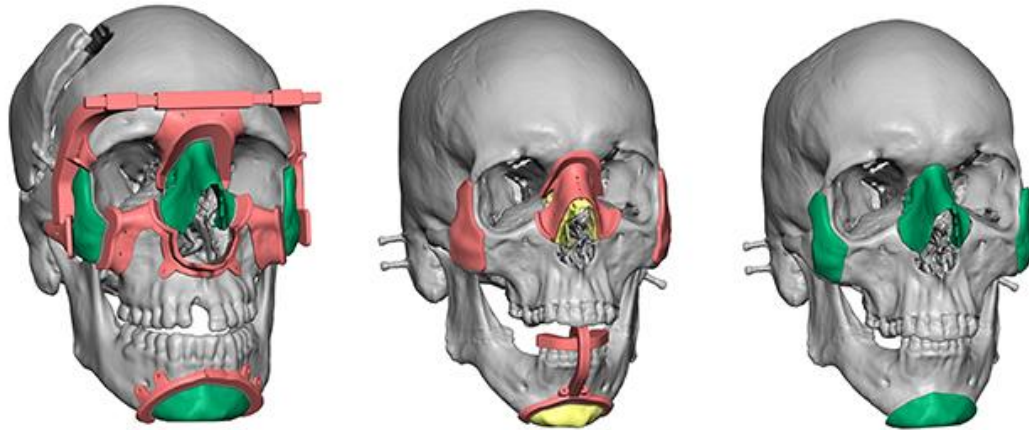
Un claro ejemplo es el uso de impresora 3D para crear piel humana, no solo para requerimientos médicos: implantes de piel para personas con quemaduras, fabricación de órganos humanos e inclusive implantes internos y externos, debido a que también estas creaciones biotecnológicas son utilizadas para estudios y observaciones industriales y comerciales, como lo hacen algunas empresas de productos cosméticos, ya que en la actualidad fabrican piel humana por medio de impresoras 3D para testear sus diversas líneas de productos, esto con el fin de reducir o eliminar las pruebas con animales.

Figura 7. **Tejido de hígado fabricado con impresora 3D**



Fuente: <http://www.organovo.com/tissues-services/exvive3d-human-tissue-models-services-research/exvive3d-liver-tissue-performance/>. Consulta: 16 de marzo del 2016.

Figura 8. **Diseño para la fabricación aditiva de implantes internos**



Fuente: <http://es.3dsystems.com/>. Consulta: 16 de marzo de 2016.

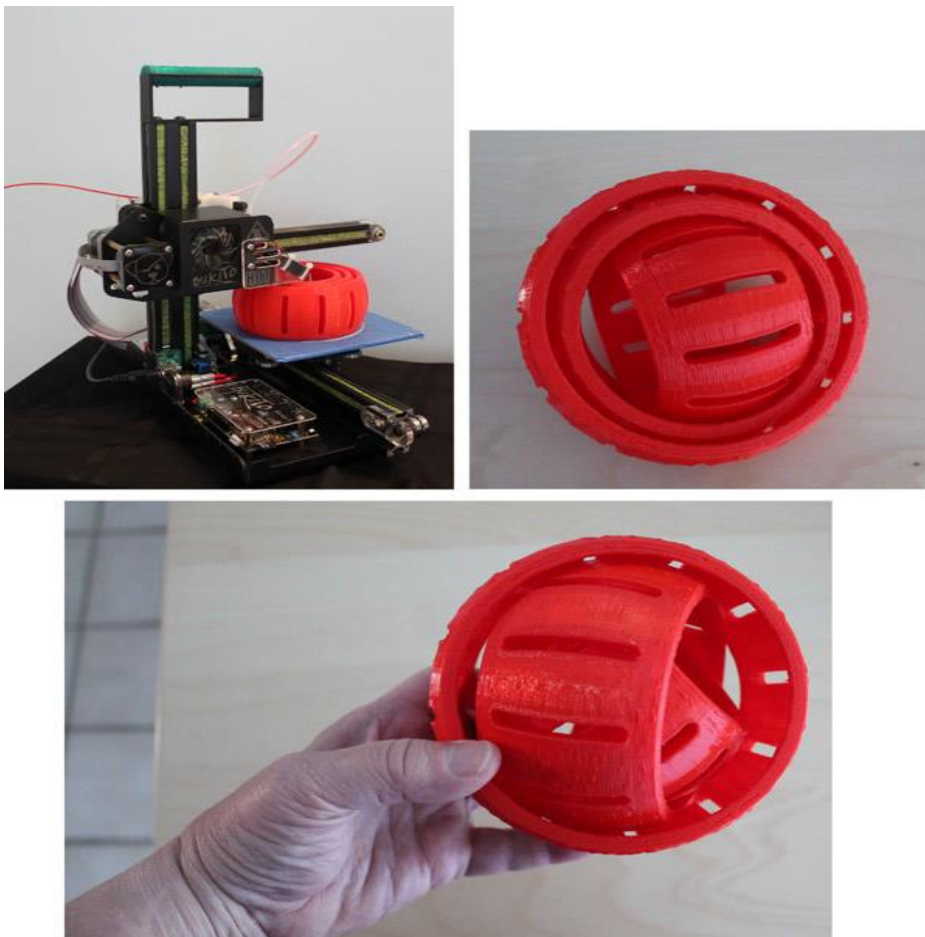
Muchos son los ejemplos que se ven por el mundo de la versatilidad y uso de la impresora 3D; los campos antes mencionados ya están siendo cubiertos o abarcados por esta tecnología por su innovación y contribución a la manufactura permitiendo lograr alcanzar nuevos niveles para satisfacer las necesidades actuales requeridas por los consumidores y clientes especiales, la investigación científica y aplicada.

3.2.1. Manufactura limpia

Actualmente existe un sinnúmero de procesos de manufactura que en su mayoría generan desechos de material que podría utilizarse para la elaboración o fabricación de un nuevo producto, con la finalidad de alcanzar nuevos niveles de competitividad, productividad y calidad. Este proceso se puede realizar por medio de la impresión tridimensional, debido a que su proceso de fabricación aditiva permite crear objetos tangibles desarrollados desde un ordenador en forma 3D; una vez son enviados de forma digital a la impresora empieza la

fabricación capa por capa del objeto requerido, utilizando únicamente el material que se necesita para el desarrollo y fabricación del objeto, debido a esto se llama manufactura limpia, este proceso aditivo sin material de desecho también se puede realizar en la fabricación de objetos a base de metal, biomateriales, comestibles y otros, por lo que sin importar el material, este tipo de fabricación aditiva solo utilizará el requerido para su proceso.

Figura 9. Pieza mecánica durante y después del proceso de fabricación aditiva



Fuente: HORVATH, Joan. *Mastering 3D printing*. p. 103.

3.2.2. Software

El uso y manejo de un software es vital para realizar el proceso de fabricación aditiva, por lo que actualmente existe un gran número de programas dedicados a esta función con aplicaciones según los requerimientos del usuario o capacidad de uso, debido a que no es lo mismo diseñar o modelar una figura sencilla a una figura compleja: en otras palabras no es lo mismo diseñar una caja a diseñar un motor de combustión; por lo que en el mercado existen distintos programas con diferentes características para diseñar cualquier tipo de objeto o artefacto. Entre los más importantes softwares para imprimir de forma tridimensional están:

- Blender
- SketchUP
- SolidWorks
- AutoCAD
- Maya
- 3DS Max
- Inventor
- Tinkercad
- ZBrush
- Cinema 4D
- 123D Desingn
- OpenSCAD
- Rhinoceros
- Modo
- Fusion 360
- Meshmixer
- LightWave

- Sculptris
- Grasshopper
- FreeCAD
- Mol3D
- 3Dtin
- Wings3D
- K-3D
- BRL-CAD

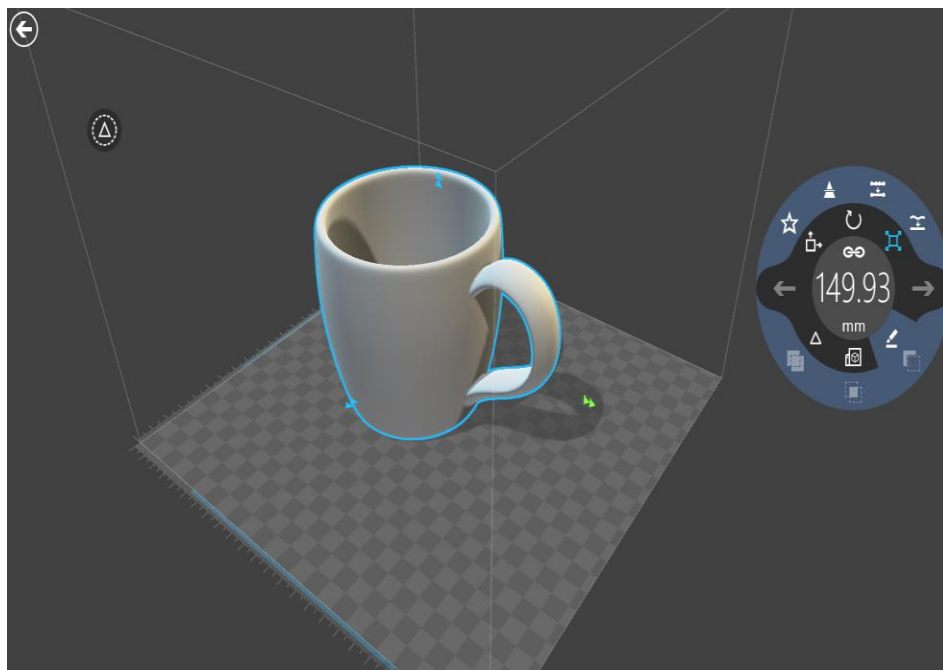
3.2.2.1. Versatilidad

Los softwares para diseño e impresión 3D se adaptan con rapidez y facilidad según los requerimientos del proceso de manufactura que se desee realizar debido a que sus distintas características y funciones profesionales para diseño mecánico, simulación y modelado de productos en 3D lo que permite al usuario crear productos de manera óptima y eficaz.

Grandes compañías como Microsoft y Google han desarrollado programas y aplicaciones para computadora y teléfonos inteligentes con el fin de brindar nuevas oportunidades de adaptación a la manufactura 3D. La adaptación del usuario a los programas para diseñar en 3D actualmente se ve fortalecida por su distinta gama de características y funciones que permiten gestionar requerimientos de forma simple, varios son los usos que permite desarrollar los distintos softwares para diseño y simulación. La mayoría de las empresas manufacturas utilizan estos programas para el desarrollo y producción de un producto, *marketing*, gestión de prototipos, entre otros. Por lo que es más fácil adaptarse a las actualizaciones de software para desarrollar el proceso de impresión aditiva o mejor conocida como impresión 3D, software a nivel profesional que permitan desarrollar diseños complejos de forma

innovadora, eso desde el ámbito industrial o profesional, pero desde el mercado convencional también existen software de fácil uso y adaptación, sin tener que ser un profesional o diseñador, debido a la gran expansión que ha tenido la impresora 3D actualmente, se realizan nuevos programas que puedan utilizar cualquier tipo de persona sin importar su curva de aprendizaje.

Figura 10. **Desarrollo de diseño de una taza por medio del programa 3D Builder de Microsoft**



Fuente: elaboración propia

3.2.2.2. **Aplicaciones**

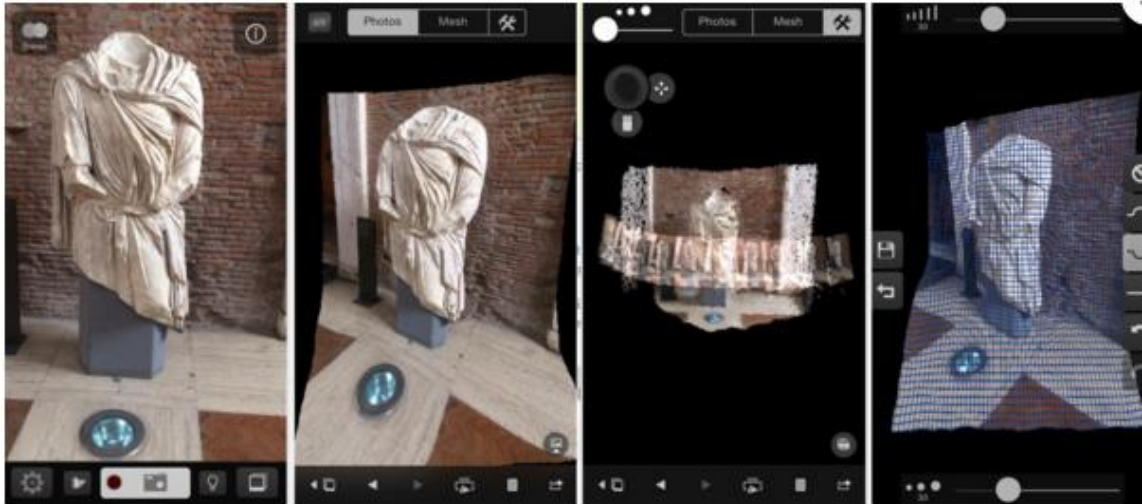
Son muchas las aplicaciones que se pueden encontrar de los distintos programas para diseño e impresión 3D, desde un simple diseño hasta un

diseño profesional y complejo, ya sea desde la ingeniería, arquitectura o diseño gráfico; las aplicaciones que tienen estos programas son muchas: se pueden ejecutar desde la PC de un hogar o desde un teléfono inteligente.

Ejemplo de esto es la aplicación que desarrolló la compañía *Apple* con el nombre *Shapematic*, ya que ven un mundo de oportunidades y aplicaciones en los *smartphone* por su increíble desarrollo de potencia en cada nueva generación, debido a sus varios núcleos y velocidades semejantes a las de una computadora de sobremesa; esta aplicación aprovecha la tecnología de los celulares desde sus cámaras, procesadores y otros componentes avanzados, permitiendo escanear cualquier objeto y obtener un diseño en 3D, listo para enviar a una impresora tridimensional y obtener una réplica a escala del original, por lo que estos programas o software tienen un sinfín de aplicaciones, ya sea desde ingeniería inversa, prototipado rápido, diseño y modelado fácil entre otros.

Otro ejemplo de estas distintas aplicaciones que se pueden obtener de estos programas ya sea desde un hogar o una industria es el programa desarrollado por Microsoft llamado *3D Builder*. Permitiendo a los usuarios realizar diseños rápidos desde una galería por medio de herramientas de diseño o bien obtener un modelo por medio del escaneo usando una cámara web. El desarrollo y uso de software para modelado tridimensional permite aprovechar nichos de mercado que otorgan oportunidades de competitividad, ya que permiten el fácil acceso y movimiento de datos de forma digital (formato *slt*) de manera logística, permitiendo enviar el diseño de un nuevo producto a otra computadora o un teléfono inteligente, listo para imprimir en 3D y mostrar de forma física y original las distintas características del objeto o producto, ya sea para análisis, presentación y experimentación.

Figura 11. **Escaneo de una pieza de arte con el uso de la aplicación Shapematic para IOS**



Fuente:<http://enthings.com/escaners-3d/shapematic-la-app-escaner-3d-para-iphone/>. Consulta 18 de marzo de 2016.

La empresa 3D systems ha desarrollado también su propio programa CAD y App que se adaptan a cada uno de sus modelos de máquinas de proceso aditivo, permitiendo realizar de forma innovadora y fácil la exportación de archivos STL de un dispositivo a otro, proporcionando incontables aplicaciones para el usuario o cliente; esta aplicación permite monitorear de forma digital el proceso de impresión de un objeto mostrando el porcentaje de material utilizado, tiempo de fabricación y sobre todo el modelado de una pieza.

3.2.3. Materiales

Cada impresora profesional 3D es compatible con una variedad de materiales especialmente diseñados para satisfacer los requerimientos de las distintas aplicaciones de la manufactura aditiva con el objetivo de proporcionar

la más alta calidad y eficiencia para cada objeto adquirido por este proceso: soporte, textura, color y demás propiedades. Existen distintos tipos de soluciones de material: polímeros, metales, cerámicos, biocompatibles, entre otros, materiales según las características del proceso con aplicaciones de producción más exigentes.

3.2.3.1. Biocompatibles

Las impresoras 3D que fabrican con este tipo de material pueden desarrollar rápidamente productos o prototipos de uso médico o dental: órganos, piel humana, prótesis externas e internas; los objetos desarrollados con materiales biocompatibles por proceso de manufactura 3D proporcionan aspectos con excelente visualización y gran solidez dimensional.

Varios de estos materiales han sido calificados con certificación USP e incluyen la biocompatibilidad para aplicaciones médicas sanitarias con el objetivo de producir dispositivos médicos, guías quirúrgicas y otros instrumentos de utilidad dentro o alrededor del cuerpo humano. Estos materiales están aprobados para el desarrollo de una variedad de aplicaciones que pueden mejorar los tratamientos, medios y alcances médicos con mayor biomimetismo, de forma personalizada y de entrega acelerada; obtiene un grado mayor de calidad en el tratamiento médico y dental aumentan la productividad y disminuyen los costos de proveedor. Algunas de las características que pueden desarrollar estos materiales son:

- Impresión 3D de guías quirúrgicas dentales y ortopédicas
- Menos tiempo en guías y preparación de encargo de coronas
- Piezas impresas para uso y aplicaciones médicas

Tabla I. **Materiales biocompatibles para impresora 3D certificados por la USP (*United States Pharmacopeial*)**

Material	Sistemas compatibles
VisiJet [®] material plástico cristal	ProJet [™] SD 3500, HD 3500 y HD3500 <i>plus</i>
VisiJet [®] material plástico Stoneplast	ProJet [™] MP 3500
VisiJet [®] material de plástico transparente	ProJet [™] 6000/7000
VisiJet [®] material plástico EX200	ProJet [™] SD 3000, HD 3000 y HD3000 <i>plus</i>
VisiJet [®] material plástico MP200	ProJet [™] MP 3000

Fuente: <http://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-expands-class-vi-certified-materials-projetm-series>. Consulta: 19 de marzo de 2016.

Figura 12. **Guía quirúrgica de implante fabricada a partir de material dental transparente en impresora 3D**



Fuente: <http://www.stratasys.com/es/materiales/polyjet/bio-compatibles#content-slider-1>. Consulta: 19 de marzo de 2016.

3.2.3.2. Comestibles

Son muchos los mercados en los que la impresora 3D se está desarrollando por sus distintos aportes innovadores y tecnológicos, el caso de las artes culinarias no es la excepción debido a que se han creado impresoras de proceso tridimensional con material de aporte comestible. Estas creaciones permiten a un chef, mixologista o para toda persona con creatividad innata en las artes culinarias de crear platillos de forma innovadora y única que de forma común no se podría lograr; estos materiales permiten introducir al arte culinario a una nueva era de la artesanía digital; la combinación de tecnología, comida y arte da como resultado una increíble gama de platillos y pasteles; por sus posibilidades de personalización, estos materiales permiten crear pasteles de formas majestuosas y complejas para bodas o eventos especiales.

La empresa 3D Systems ha creado nuevos modelos de impresoras que apuntan a mercados de los restaurantes y alta repostería, actualmente sigue desarrollando materiales de fácil manejo y exportación y de tipo comestible. Entre sus diseños con material de aporte comestible se pueden mencionar la ChefJet y ChefJet Pro, cada una con un enfoque hacia creación de platos culinarios y pastelería. ChefJet es una impresora con la modalidad de imprimir en un solo color y sabor que permite fabricar objetos con materiales de chocolate, vainilla, menta, manzana acida y cereza. Pero para requerimientos exigentes, la impresora ChefJet Pro fabrica objetos de dimensiones mayores con la capacidad de imprimir en varios colores y sabores simultáneamente.

Esta tecnología patentada por 3D Systems tiene un sinfín de oportunidades debido a sus nuevos materiales comestibles que permiten imprimir azúcar con diferentes aglutinantes y sabores, esto bajo las normas de seguridad alimentaria.

Figura 13. **Pastel fabricado por la impresora ChefJet Pro con materiales comestibles**



Fuente: <http://www.theverge.com/2014/1/7/5285784/gallery-3d-systems-chefjef-chefjet-photos>. Consulta: 20 de marzo de 2016.

3.2.3.3. Polímeros

La fabricación o manufactura industrial actual se ha desarrollado por el uso de materiales poliméricos, por sus distintas características y propiedades, debido a su estructura molecular que permite tener mejores funciones en comparación a otros materiales industriales. (Flexibilidad y aislabilidad térmica y eléctrica). La tecnología de las impresoras 3D aprovecha esta robusta gama propiedades que ofrecen estos materiales para la fabricación aditiva. A continuación, se describe los distintos tipos de polímeros utilizados para fabricar un objeto por impresión tridimensional.

- ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) es un material utilizado para la fabricación de juguetes, electrodomésticos, teléfonos celulares y partes de la

carrocería de los vehículos. La impresora 3D aprovecha su propiedad para crear todos estos objetos por su propiedad de soportar temperaturas bajas (-20 °C) y muy elevadas (80 °C) además de su alta resistencia y acabados superficiales. Este material puede ser de uso reciclable. Este material es usado por las impresoras con técnica de moldeo por deposición fundida (FDM) y sus derivados en los procesos de fabricación aditiva de estereolitografía y Polyjet.

- PLA (ácido poliláctico) es un material biodegradable fabricado por medio de materias renovables (almidón de maíz). Este material sufre una leve reducción dimensional después de ser impresa en 3D, por lo que no se necesita calentar la plataforma durante el proceso de modelado por disposición fundida (FDM) con que da como resultado piezas con mejor precisión. Este material es utilizado para la fabricación de artefactos que entran en contactos con productos alimenticios, dado que es un material de carácter no tóxico.
- Poliamidas: fabricadas por medio de polvo fino, granulado y de color blanco, este material es utilizado por impresoras 3D de tecnología de sinterizado selectivo por láser (SLS); familias de este material, como el nylon, se usan como filamentos y se utilizan en el proceso aditivo de tecnología de modelado por deposición fundida (FDM). Este material es de carácter biocompatible como el plástico PLA, las poliamidas son usadas para la fabricación de piezas de contacto con alimentos. Sus acabados superficiales son mucho mejores que los materiales anteriores. Sus aplicaciones son muchas desde piezas mecánicas, partes de automóviles, robótica y tratamientos médicos.

- Alumide: es la combinación de poliamidas y aluminio en polvo, material utilizado en el proceso de sinterización selectiva por láser, dando como resultado una superficie pocamente porosa, con aspecto arenoso y granulado, material con gran rigidez y buena resistencia a altas temperaturas y con buen módulo de elasticidad. Este material es sometido a tratamientos para mejoras sus propiedades físicas finales, tratamientos tales como rectificado, lijado, revestimiento y fresado. Este material es utilizado para la impresión de piezas de carácter complejo, piezas de dimensiones pequeñas que necesitan una alta rigidez y un aspecto parecido al aluminio.
- Resinas: este tipo de polímero muy conocido se divide en polímeros termoplásticos y termosolidificantes (polimerización). Este material es de gran importancia en el proceso de fabricación aditiva estereolitografía (SLA) y el Polyjet, desarrollando objetos con terminaciones con brillo o mate, transparentes y de color blanco o negro. Existen resinas de alta precisión, resinas utilizadas para requerimientos de impresión de modelos a escalas muy reducidas, que exigen un alto nivel de detalle geométrico y con excelente acabado superficial, de aspecto pulido y fino, o en otras palabras sin defectos microscópicos de escalera de capas.
- Polipropileno: material termoplástico que también es conocido por su gran resistencia a la abrasión y su capacidad de absorber impactos, material con muy buena rigidez y módulo de elasticidad. Existen derivados de este material por su inconveniente ante baja resistencia a la temperatura y sensibilidad a los rayos UV. Materiales reforzados en las propiedades físicas, mecánicas y químicas.

Estos materiales han permitido a la tecnología 3D se desarrolle en muchos mercados industriales por sus distintas propiedades ya mencionadas y por su fácil adquisición.

Figura 14. **Piezas fabricadas tridimensionalmente a partir de polipropileno (PP) o ABS**



Fuente: <http://www.3dsystems.com/materials/accurar-xtreme>. Consulta: 20 de marzo de 2016.

3.2.3.4. Metales

Estos materiales han trascendido por sus grandes características y propiedades, contribuyendo a la revolución industrial del siglo XIX, en la actualidad también contribuyen a la revolución digital y tecnológica. Debido a sus usos en la manufactura aditiva en los procesos de sinterizado selectivo por láser (SLS), el sinterizado de metal directo por láser (DMLS). Entre los metales usados para estos procesos se encuentran:

- Aluminio: material con excelentes propiedades para el proceso de fabricación 3D por su solidez y proporción de ligereza, material resistente a la corrosión; este material en comparación a otros metales tiene menos resistencia a la fatiga y a elevadas temperaturas, pero por su ligereza es muy utilizado para la fabricación de piezas livianas, donde la noción del peso es vital; piezas mecánicas, aerodinámicas, aeronáutica y aeroespacial. El punto de fusión de este material es de 660,3 °C, esta temperatura es importante debido a que se debe llevar de estado sólido a líquido el material antes de pasar a los inyectores de la impresora 3D.
- Galio: material utilizado con aleación de indio para la manufactura tridimensional de artefactos por medio de cables de metal autoportadores para ligar componentes electrónicos o por medio de burbujas de metal. Este material debe ser fundido a una baja temperatura (punto de fusión 29,76 °C), permitiendo que la estructura se solidifique en su exterior mientras que su interior permanece en estado líquido, dando como resultado impresiones más flexibles.
- Acero: este material es uno de los más requeridos en la industria manufacturera, debido a sus propiedades y características tanto físicas y mecánicas con una temperatura de fusión de 1 535 °C y punto de ebullición 2 740 °C. Permitiendo obtener piezas con increíbles aplicaciones, este material es también utilizado en la fabricación con el uso de impresora 3D para modelar piezas de manera óptima y eficaz en comparación a otros procesos de manufactura industrial. El material más usado en la impresión 3D es el acero inoxidable dado que permite tener piezas con una vida mucho extensa. Este material presenta una gama de propiedades que permiten obtener una superficie pulida y brillante. Este material también se puede utilizar como base para la impresión de piezas de oro y bronce.

- Titanio: es un material muy utilizado en la medicina y en la industria aeroespacial debido a su perfecta relación de rigidez y peso y su alta resistencia a la corrosión y su aplicación de carácter biocompatible. El proceso de manufactura aditiva permite obtener piezas de forma mucho más fácil, evitando las impurezas que por otros procesos de manufactura tradicionales se pueden obtener, su punto de fusión es 1 668 °C.
- Cobalto cromo: piezas fabricadas con este material y por medio de proceso 3D presentan una mejor calidad en comparación a métodos tradicionales de manufactura. Piezas de esta índole son utilizadas en la fabricación de prótesis de carácter ortopédico y odontológico debido a su rigidez y acabado superficial. Existen otras aplicaciones en la industria por sus distintas características industriales como su resistencia al desgaste y corrosión y resistencia al calor; este material debe ser sometido a altas temperaturas para su proceso aditivo (punto de fusión 1 495 °C).

Figura 15. **Pieza mecánica de cobalto fabricada por impresora 3D**



Fuente: <http://www.3ders.org/articles/20131024-3d-printing-can-cut-material-consumption-co2-emissions.html>. Consulta: 22 de marzo de 2016.

3.2.3.5. Cerámicos

Estos materiales son utilizados en la manufactura industrial debido a sus distintas aplicaciones industriales, médicas y sanitarias. Este material es uno de los más usados para la fabricación aditiva. Los procesos de impresión 3D que usan este material son; sinterizado selectivo por láser (SLS) en forma de polvo seco y comprimido o la técnica modelado por deposición fundida (FDM). A continuación, se describe los más utilizados por la tecnología 3D.

- Arena: es un material utilizado para la fabricación de moldes de fundición se le da adhesión con agua para ser compactada en el inyector.
- Cemento: este material es utilizado para construcciones en forma masa húmeda. Este material es vertido formando capa por capa la estructura arquitectónica que se desea; este material es mezclado con arena, grava y agua para luego formar una pasta que entra en los inyectores de la impresora 3D.
- Mármol: material utilizado en la impresión 3D debido a dureza extrema y resistente; es muy difícil de trabajar en su fabricación, procesamiento y pulido hay una alta pérdida en materiales por procedimientos tradicionales, este material se recolecta y se crea un polímero fotorreactivo que se puede utilizar para el proceso de fabricación 3D.
- Madera y piedra: materiales diseñados para el uso con impresora 3D que utilizan el proceso de modelado por deposición fundida (FDM), estos materiales se venden en el mercado en forma de filamento. El filamento de madera es un compuesto de madera reciclada y aglutinante inorgánico a base de polímeros; el filamento de piedra es un filamento compuesto de

minerales semejante al polvo de tiza. La innovación de estos materiales no es solamente su apariencia natural sino también el olor en caso de la madera, mientras que en piedra se obtienen piezas con buenos acabados superficiales.

Figura 16. **Pieza fabricada en 3D con filamentos de madera**



Fuente: <http://www.print3dworld.es/2013/11/impresoras-3d-mas-destacadas-en-la-feria-sobre-impresion-3d-celebrada-en-londres-video.html>. Consulta: 22 de marzo de 2016.

3.2.4. Escáneres

Dispositivos que permiten mostrar modelos 3D precisos y conjuntos de CAD de objetos físicos para diseño, ingeniería y fabricación. La tecnología actual de escaneado de piezas proporciona una rápida obtención de datos con gran precisión a escala muy pequeña de hasta 0.034 mm. Esto en procesos de

medición en piezas muy finas. Por ejemplo, joyas e incluso piezas mecánicas de tamaño medio.

El mundo de la fabricación con el uso de impresora 3D combina una serie de escáneres 3D para facilitar la obtención de datos para un diseño o inspección, mediante el uso de ingeniería inversa; son muchas las aplicaciones que ofrecen estos dispositivos innovadores mediante la recolección de datos por medio de escaneo y digitalización en software con gran número de herramientas avanzadas, flujos de trabajo prácticos y opciones de personalización que facilitan el proceso de impresión de piezas y el entorno de diseño y producción.

La potencia de esta tecnología permite obtener datos de digitalización de máxima calidad sin el uso de herramientas de tipo CAD, permitiendo la verificación, precisión y automatización del proceso de manufactura aditiva. Los escáneres poseen una plataforma multifuncional que simplifica la programación de tareas de inspección e ingeniería inversa, minimizando el tiempo, donde esta tarea es repetitiva o constante.

La empresa *3D systems* ha desarrollado una gama de dispositivos de escaneo que permiten realizar estas tareas, según su tipo y características, para inspección de objetos en entornos de fabricación se encuentra el método de escaneo portátil *Geomagic® Verify*; este tipo de escáner permite la verificación con facilidad y aumento de precisión en los artículos digitalizados por medio de sus herramientas de automatización avanzada.

Para la inspección de líneas producción tradicionales y personalizadas, el método de escaneo *Geomagic® Control* optimiza el proceso en los que es necesario varios escáneres, permitiendo el ahorro de tiempo de proceso en que

se debe examinar las piezas de manera repetitiva; este método de escaneo permite delinear el proceso de inspección según el tipo de requerimientos solicitados.

Para las tareas de ingeniería inversa, *Geomagic® Design X* es la herramienta de escaneo que permite la obtención de datos de forma rápida y segura, transformando estos datos a un modelo CAD editable; la edición se realiza en la digitalización para verificación, diseño y corrección por medio de la creación de modelos por nube de puntos, de malla, de superficie y sólidos sin tener que adjuntar otro tipo de aplicación. Este tipo de escaneo es fundamental y apropiado en la rama de la ingeniería mecánica y mecánica industrial debido a su paquete de soluciones CAD y su uso en flujo de trabajo.

Tabla II. **Especificaciones de sistemas 3D de captura del escáner**

Propiedad	Captura	Mini Captura
Peso	1,35 kg	1,04 kg
Dimensiones (Largo x ancho x alto)	276 x 74 x 49 mm	155 x 109 x 49 mm
Tasa de datos de Captura	985.000 puntos / escaneo (0,3 segundos por ciclo)	985.000 puntos / escaneo (0,3 segundos por ciclo)
Resolución	0,110 mm a 300 mm 0,180 mm a 480 mm	0.080 mm a 157 mm 0.100 mm a 227 mm
Exactitud	0.060 mm	0.034 mm
Distancia	300 mm	157 mm
Profundidad de campo	180 mm	70 mm
Campo de visión	190 x 175 mm (lejos) 190 x 175 mm (lejos)	87 x 68 mm (cerca) 88 x 87 mm (lejos)
Requisitos de los equipos	7/8 ventanas del sistema operativo (64 bits), Intel y AMD Quad-core CPU de 2 GHz o superior, interfaz Gigabit Ethernet, 4 GB de memoria o superior, 512 MB Tarjeta de vídeo o mejor	

Fuente: <http://www.geomagic.com/en/products/capture/overview>. Consulta: 23 de marzo de 2016.

Figura 17. Digitalización de persona por medio del proceso de escaneo



Fuente: elaboración propia.

3.3. Combinación de materiales

Anteriormente se describieron las distintas propiedades y características de los materiales para el proceso de fabricación aditiva (impresión 3D) permitiendo obtener distintos modelos físicos con distintas aplicaciones debido

a la clase del material, pero en la manufactura actual se necesitan crear productos con más de un material para cubrir nuevos requerimientos de diseño y producción.

Las impresoras de fabricación aditiva de múltiples materiales son las encargadas de realizar este proceso desde la inyección de más de un material diferente. Esta tecnología diseñada para permitir la manufactura de productos con hasta tres materiales diferentes en un solo proceso, combinar materiales con distintas propiedades físicas o mecánicas e incluso conseguir nuevos materiales para producción.

Esta combinación simultánea permite realizar la fabricación sin ensamblaje de piezas por sus distintos materiales de aporte, proceso que ningún otro proceso tradicional puede realizar.

Los resultados del proceso con la combinación de varios materiales de manera simultánea conceden el desarrollo de productos o prototipos de alto desempeño que elevan las propiedades de los materiales tradicionales como resistencia a la temperatura, biocompatibilidad, dureza, flexibilidad entre otras; en el caso de los modelos de carácter delicado o geoméricamente complejos.

En otras palabras, la combinación de materiales permite mayor versatilidad e innovación a todo tipo de producción o diseño, permitiendo la creación de conjuntos de componentes formados por materiales diferentes. Esta tecnología es usada para crear herramientas de producción personalizadas con ensambles y fijaciones de piezas geoméricamente complejas. La combinación de materiales por medio del proceso de impresión 3D sustituye otros procesos de manufactura como mecanizado y modelado debido a sus nuevos estándares en precio y calidad.

Figura 18. **Componentes mecánicos creados por impresora 3D de múltiples materiales**



Fuente: <http://www.electrosector.com/presentan-una-impresora-3d-que-imprime-en-multiples-materiales/>. Consulta: 23 de marzo de 2016.

3.4. Análisis de muestras

A continuación, se analizan distintas piezas impresas por tecnología de fabricación aditiva, proporcionadas por la empresa 3D Systems, con el objetivo de determinar las posibilidades de diseño y personalización que ofrece la impresión 3D y los materiales de aporte en la industria.

3.4.1. Ensamble

En el carácter de ensamble, el análisis se desarrolló en una estructura con componentes entrecruzados formando un tipo de malla fabricada en una impresora 3D, la cual no se ensambla; pieza por pieza, por una herramienta ajena al proceso; la estructura se diseñó en un software CAD copiando elementos básicos y entrelazándolos para formar una estructura mucho más

grande. El proceso se desarrolló con el aporte de materiales poliméricos formando capa por capa de la estructura deseada.

Esta característica innovadora de las impresoras 3D reduce los ciclos de diseño y fabricación, permitiendo obtener productos acabados y que sean plenamente funcionales. Las aplicaciones de esta característica pueden ser muchas, desde el ahorro de materiales y herramientas hasta el ahorro de tiempo de fabricación; esta función ha sido diseñada para la industria permitiendo controlar los procesos de fabricación mediante un sistema de diseño, calibración e impresión de forma sencilla y rápida, realizando simultáneamente el proceso de incorporación de componentes para que una vez realizado el proceso de fabricación la pieza esté lista para su uso requerido.

La versatilidad de productos manufacturados con un ensamble simultáneo permite solventar las deficiencias de producción y diseño debido a su proceso de fabricación complejo e incrementando las características de competitividad, calidad y eficiencia.

También es importante establecer que la construcción del diseño 3D por un software CAD, debe llenar distintas especificaciones de tipo profesional, debido a que si no se realiza bien la construcción de las piezas que conforman el objeto deseado, durante la impresión pueden ocurrir varios problemas: un producto defectuoso, mallas y polígonos rotos, no hay movimiento en las piezas, necesidad de maquinado, entre otros.

Por lo que si se desea obtener productos ensamblados con grandes características de calidad y eficiencia se deben tomar varias características de diseño 3D y de conocimiento de las distintas propiedades de los materiales con los que se desea trabajar.

Figura 19. **Malla fabricada y ensamblada simultáneamente por impresora 3D**



Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Tiempo de fabricación

El tiempo de fabricación es un dilema en este tipo de proceso de manufactura, debido a que, según su aplicación, su tiempo en comparación a otros procesos será mucho más rápido y en otros casos mucho más lento. El análisis de esta característica es un análisis minucioso debido a que se debe tomar en cuenta que tipo de requerimientos se necesitan para realizar el proceso de fabricación por medio de impresión tridimensional, en otras palabras, el tiempo de impresión es proporcional al tamaño y la complejidad del objeto que se desea fabricar.

Figura 20. **Piezas mecánicas impresas en 3D**



Fuente: Unidad de Investigación de la Escuela de Mecánica, T-7, Facultad de Ingeniería.

3.4.3. Materiales

Para el análisis de los materiales, la figura 21 muestra la combinación de materiales para crear una herramienta de medición de uso industrial en la fabricación de un producto; esta herramienta posee partes de material con propiedades elásticas que se flexionan durante uso, mientras que la base es un material más rígido, debido a su composición química de los filamentos de aporte que formarán la pieza.

Figura 21. **Herramienta industrial fabricada por distintos materiales de aporte con el uso de impresora 3D**



Fuente: elaboración propia.

3.4.4. Acabados superficiales

El análisis del producto fabricado por 3D systems permite desarrollar que el empleo de impresora 3D en la manufactura permite obtener una superficie con características y propiedades óptimas para la fabricación y diseño, promoviendo artefactos con buenas especificaciones dimensionales y de carácter complejo.

Este aspecto es de gran importancia debido a que en la actualidad es de vital importancia el acabado superficial, ya que las superficies de todo material deben tener una superficie con la menor cantidad de imperfecciones e irregularidades aun a pequeñas escalas (nanoscópicas y microcópicas).

El producto para estudio demostró incorporarse con facilidad para prototipado y diseño previo, dado que permitió demostrar todas las características y propiedades de un producto; rugosidad, color, aspecto, combinación de materiales, modificaciones de la materia, entre otros.

Figura 22. **Acabado superficial de zapato deportivo impreso tridimensionalmente**



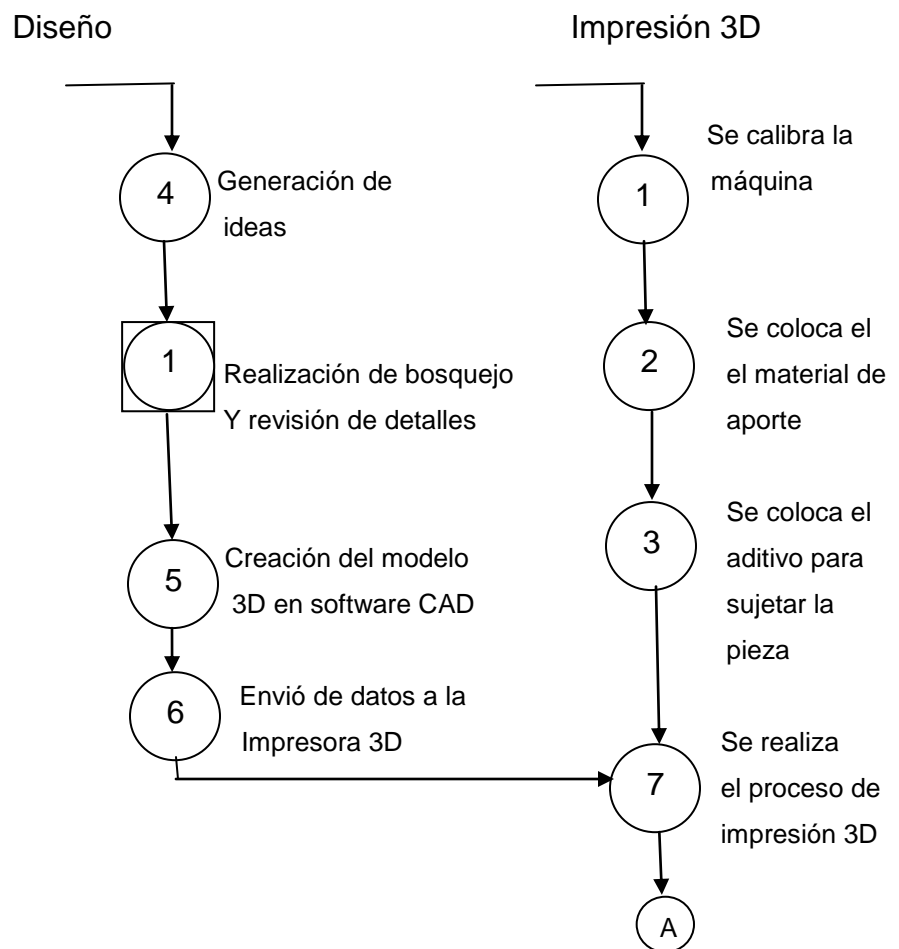
Fuente: Unidad de Investigación de la Escuela de Mecánica, T-7, Facultad de Ingeniería.

3.5. Planificación del proceso

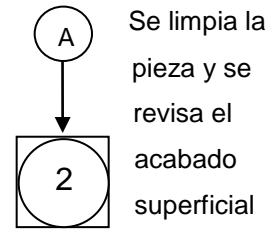
Todo proceso debe llevar un tipo de planificación para poder realizar una tarea de forma rápida y fácil; el caso de la impresión 3D no es la excepción, si bien es cierto su proceso es muy sencillo y fácil de aprender, pero lleva un procedimiento que a continuación se describe.

3.5.1. Diagrama de operaciones

Figura 23. Proceso de impresión 3D para un objeto en general



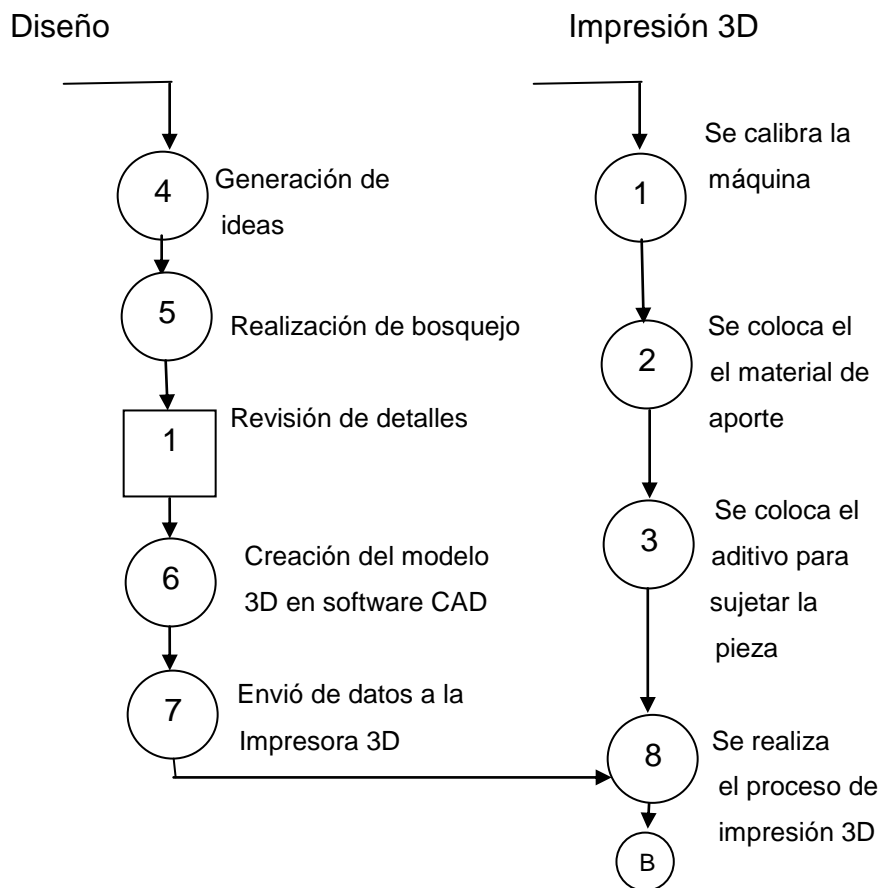
Continuación de la figura 23.



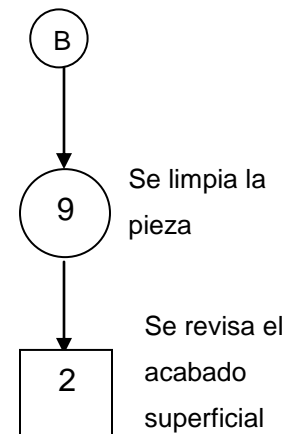
Fuente: elaboración propia

3.5.2. Diagrama de flujo

Figura 24. **Proceso para fabricación 3D de un objeto en general**



Continuación de la figura 24.



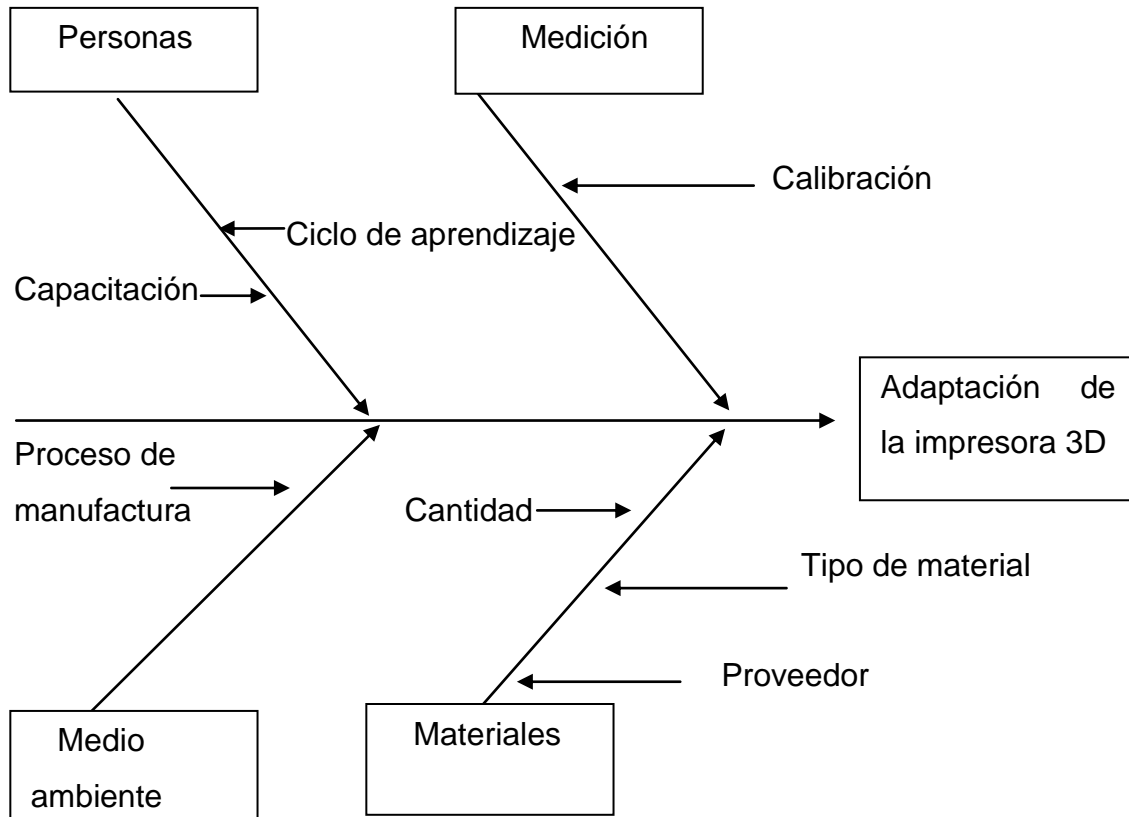
Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Diagrama causa y efecto

El siguiente diagrama describe las posibles causas que puede tener la adaptación de la impresora 3D en la industria manufacturera, debido que muchos son los factores que delimitan la adaptación de esta innovadora tecnología para auxiliar o sustituir otros procesos de manufactura tradicionales que han aportado grandes adelantos en la fabricación de objetos

Para poder introducir la impresora 3D en un proceso se debe de realizar un análisis del proceso correspondiente y de sus factores de gran importancia, como; el tiempo, el ciclo de producción, capacitación, tipo de material, entre otros. Debido a que estos factores permiten determinar si la impresora es un elemento para auxiliar a otro proceso o un sustituto para realizarlo. El problema no es que la impresora tenga un tiempo de fabricación lento, si no el análisis del proceso que se desea realizar por lo que se debe de estudiar como problema la adaptación de esta tecnología para la fabricación de piezas de cualquier índole.

Figura 25. **Diagrama de Ishikawa de la adaptación de la impresora 3D en un proceso de manufactura**



Fuente: elaboración propia.

3.6. Costos

3.6.1. Equipo

Existe una diversidad de equipos para realizar el proceso de impresión 3D, según el proceso de manufactura que se desea realizar, a continuación, se describen los equipos de fabricación aditiva con sus respectivos costos de

adquisición que se encuentran en Guatemala, costos proporcionados por la empresa 3D systems.

3.6.1.1. Impresora 3D

Tabla III. Impresoras 3D con sus respectivos costos de adquisición

Nombre	Descripción	Precio sin IVA	Precio con IVA
Cube 3G 3D Printer	Impresión en polímeros ABS y PLA	Q. 11 702,21	Q. 13 106,48
ProX 100 Direct Metal 3D Printer	Impresión en metal	Q. 2 382 800,58	Q. 2 668 736,65
ProJet 3510 HD 3D printer	Impresión con variedad de polímeros y colores	Q. 702 508,73	Q. 786 732,43
ProJet 260C	Impresión a todo color y para altas precisiones	Q. 271 557,74	Q. 304 144,67
CubePro DUO	Con materiales ABS y PLA en muchos colores	Q. 29 721,23	Q. 33 287,77
ProJet 3600 3D Printer	Volúmenes más grandes y velocidades de impresión	Q. 748 731,62	Q. 838 579,41

Fuente: elaboración propia

3.6.1.2. Escáneres

Tabla IV. Costos de equipo de escaneo para modelado en 3D

Tipo de escáner	Descripción	Costo sin IVA	Costo con IVA
Escáner SENSE	Uso para hogar, escuela y empresa, para modelado 3D y juegos 3D en color.	Q. 4 142,73	Q. 4 639,86

Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Suministros

Todo proceso de manufactura necesita de un material o de varios materiales para la fabricación de un producto, por lo que la empresa 3D systems ha producido diversos materiales para que sean acordes a cada requerimiento. A continuación, se mencionan los materiales con sus respectivos costos de adquisición y que se encuentran en Guatemala.

3.6.2.1. Cartuchos de impresora 3D

Existe una amplia gama de materiales para realizar el proceso de impresión aditiva y se siguen creando nuevos materiales; a continuación, se describen los materiales que se encuentran en Guatemala con sus respectivos costos de compra.

Tabla V. **Costo por cartucho de material de aporte para el proceso de impresión 3D**

Tipo	Descripción	Costo sin IVA	Costo con IVA
Cartucho Cube ABS	Todos los colores compatible con modelos de impresora Cube 3G 3D	Q. 455,13	Q. 509,75
Cartucho Cube PLA	Todos los colores compatible con modelos de impresora Cube 3G 3D	Q. 455,13	Q. 509,75
Cartucho Cube ABS PRO	Todos colores compatible con los modelos de impresora CubePro DUO	Q. 993,08	Q. 1 112,25
Cartucho Cube ABS PRO	Todos colores compatible con los modelos de impresora CubePro DUO	Q. 993,08	Q. 1 112,25
Kit de material de aporte de acero inoxidable 17 – 4 PH	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 25 765,82	Q. 28 857,72

Continuación de la tabla v.

Kit de material de aporte de acero martensítico	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 13 571,25	Q. 15 199,80
Kit de material de aporte de aleación de cobalto y cromo	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 14 936,65	Q. 16 729,05
Kit de material de aporte de aluminio	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 2 027,41	Q. 2 270,70
Kit de material de aporte de aleación de Titanio	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 30 535,31	Q. 34 199,56
Kit de material de aporte de aleación de Titanio de tipo medico	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 42 410,16	Q. 47 499,38
Kit de material de aporte de aleación de cobalto y cromo de tipo medico	Para impresiones en metal compatible con impresoras ProX 100 Direct Metal 3D	Q. 29 873,31	Q. 33 458,10
Material cristalino VisiJet M3	De tipo cristalino, rígido y con buenos acabados superficiales compatible con modelos ProJet 3510 HD 3D	Q. 59 430,65	Q. 66 562,33
Material plástico cristalino VisiJet M3	De tipo cristalino y rígido compatible con modelos ProJet 3510 HD 3D	Q. 6 827,00	Q. 7 646,25
Material VisiJet S300	Material de soporte compatible con modelos Projet 3510	Q. 4 303,08	Q. 4 819,45

Fuente: elaboración propia.

3.6.3. Costo de producción

El costo de producción de una pieza es muy complejo ya que se determina según el tipo de maquinaria y material. A continuación, se determina el costo de producción de la máquina CUBE PRO 3D, con material de aporte nylon.

Según el artículo 19 de *Ley del impuesto sobre la renta* el equipo deprecia en 5 años. Por lo que se determina el costo del equipo por hora.

$$5 \text{ años} * 365 \text{ días / año} * 24 \text{ horas/día} = 43.800 \text{ horas}$$

El costo de la impresora CUBE PRO 3D es de Q. 33 287,77

$$\text{Costo por tener el equipo} = \text{Q. } 33\,287,77 / 43\,800 \text{ horas} = \text{Q. } 0,76/\text{hora}$$

Capacidad del rollo = 130 metros

Velocidad máxima de impresión = 15 mm /segundo * 1 m / 1 000 m * 60 s/h

Velocidad de impresión = 0.9 m /hora

Costo de material = Q. 993,08

Dado que son 130 metros para consumo, se determina el costo por hora.

$$\text{Costo de fabricación} = \text{Q. } 993,08 / 130 \text{ m} = \text{Q. } 7.63/\text{m} * 0,9 \text{ m /hora} = \text{Q. } 6.90/\text{h}$$

$$\text{Costo de producción} = \text{Q. } 6,90/\text{h} + \text{Q. } 0,76/\text{h} = \text{Q. } 7.66/\text{h}$$

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Diseño para la producción

Este segmento se enfoca en la utilización de elementos y técnicas para la planificación del diseño de piezas para su manufactura, mediante el proceso de fabricación aditiva, se consideran diseños de productos fabricados por otros procesos tradicionales de manufactura y se implementa el proceso innovador y tecnológico de la impresora 3D, determinando su potencial y ejecución en la fabricación comercial según su capacidad de trabajo y sus oportunidades de diseño y fabricación en ingeniería industrial y mecánica. En tareas costosas y lentas de procesos de mecanizado, lo que permite obtener como resultado productos nuevos e innovadores.

La impresora 3D permite fabricar modelos complejos y de difícil manufactura desde archivos de diseño CAD. Las piezas fabricadas con esta tecnología son elaboradas con materiales de alta calidad industrial.

4.1.1. Requerimientos

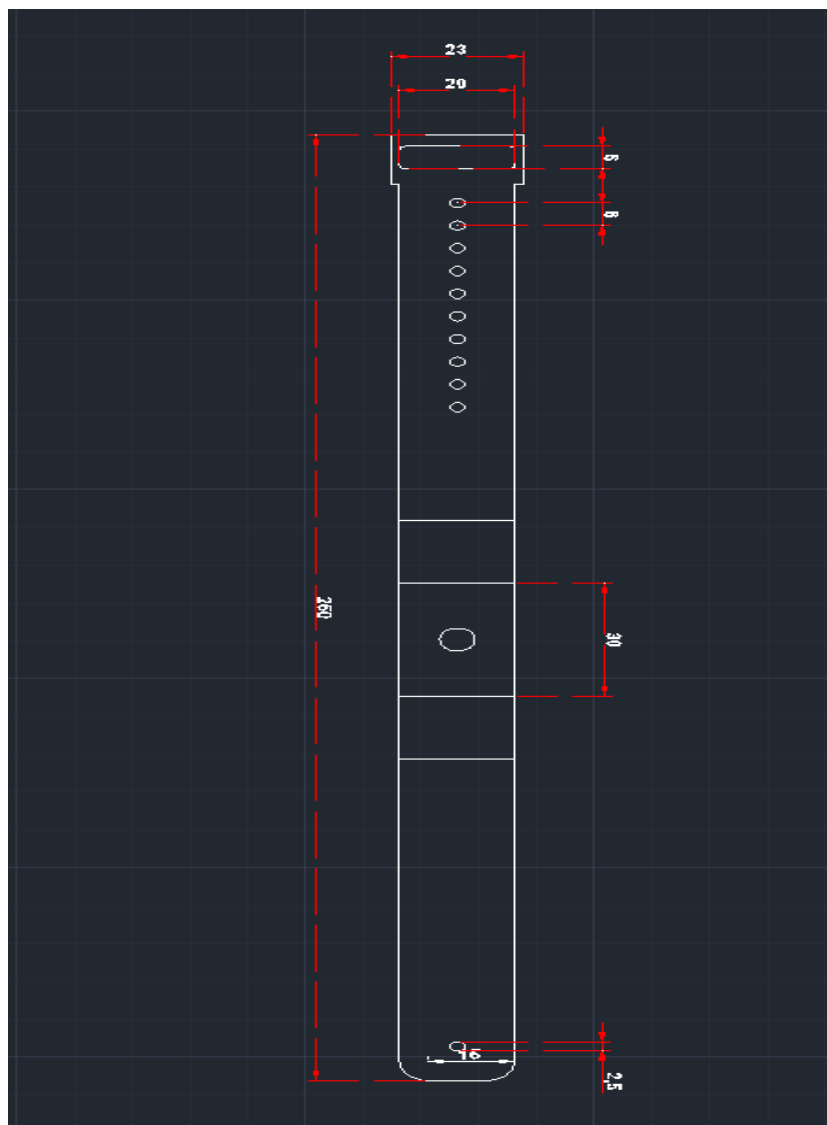
Antes de la fabricación de un producto por manufactura 3D se deben establecer los distintos requerimientos para su elaboración:

- Identificación del proceso de manufactura: la fabricación se realizará mediante el proceso de manufactura aditiva o como comúnmente se le conoce impresión 3D. El sistema de impresión es de tipo inyección, el más común y económico, de fácil adquisición y uso, por su comodidad y versatilidad; este proceso puede ser para producción de piezas de uso industrial y/o para su comercialización.

- Análisis del proceso de fabricación: el proceso puede sustituir a otros procesos tradicionales: moldeo por compresión, mecanizado, moldeo por soplado, fundición e inyección de polímeros, debido a su proceso de fabricación por capas.
- Determinar el tipo de producto a realizar: el producto a manufacturar es una correa para reloj de tipo personalizada con detalle y acabados de tipo minimalista por medio de la técnica de impresión 3D y su material de aporte nylon. Con el fin de aprovechar todas las propiedades de este polímero y aplicarlas en un innovador producto ornamental, dando como resultado la minimización de tiempo y mejor acabado superficial.
- Definir la función principal de la pieza: la pulsera para reloj impresa en 3D tiene como objetivo determinar la personalización de los clientes, ya que pueden ser intercambiables y de fácil ensamble, no solo para relojes de tipo convencional, sino para relojes inteligentes aprovechando los detalles de manufactura 3D.
- Analizar si se realiza toda la pieza por impresión 3D o partes: se puede realizar un proceso completo de la pieza ornamental por manufactura aditiva, pero se puede realizar una parte por impresión 3D y otras piezas básicas pueden ser de otro material y otro proceso, esto con el objetivo de reducir tiempo de fabricación, eso según el tipo de pieza. En este caso la elaboración de la pulsera para reloj en su mayoría será por impresión 3D, desarrollando la pieza en un solo proceso.
- Elaborar el diseño en software CAD: este diseño se puede realizar por distintos programas, y en especial por programas destinados solo para diseñar e imprimir piezas en 3D, con herramientas de fácil selección y uso;

el diseño se desarrolla por software AUTOCAD 2013, programa para modelaje e impresión 3D que más adelante de describe y se visualiza. A continuación, se visualizan las dimensiones (en mm) de la pieza a imprimir con sus respectivas dimensiones.

Figura 26. Vista de planta de la pieza



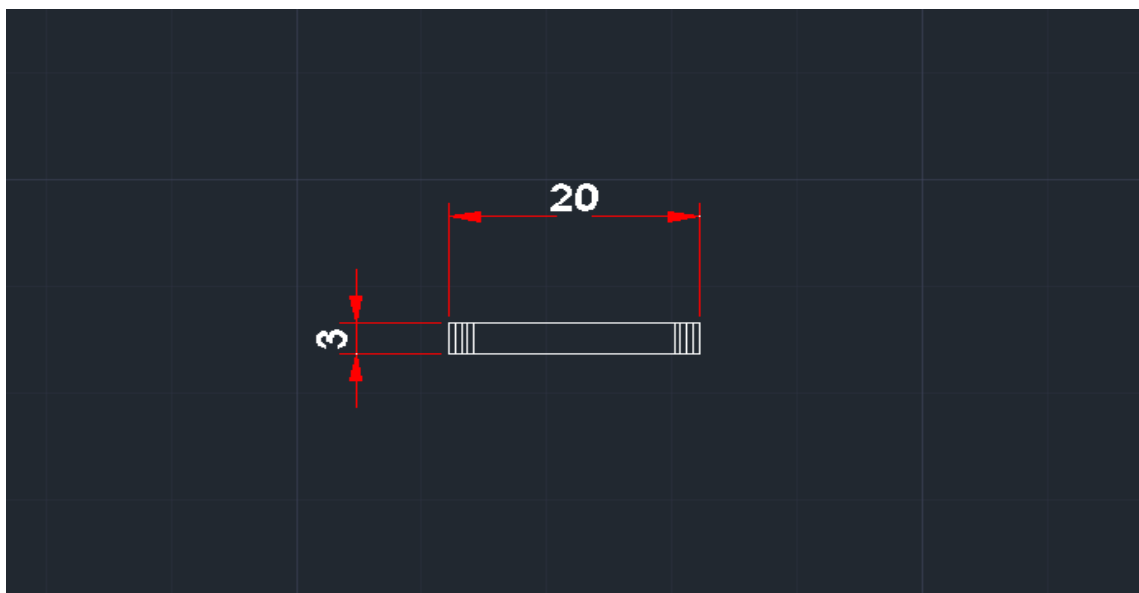
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Vista de elevación de la pieza



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Vista de perfil de la pieza



Fuente: elaboración propia.

- Determinar el tipo de impresora 3D y material a utilizar para la manufactura: el equipo para fabricación 3D es *Cube 3D Pro*, impresora con sistema de fabricación por inyección de polímeros, ABS, PLA y nylon. En la fabricación de las piezas ornamentales de pequeñas dimensiones, el ABS y el nylon son los materiales de manufactura.

Tabla VI. **Especificaciones técnicas de la impresora 3D CUBEPRO**

PESO Y DIMENSIONES	
Dimensiones (sin embalaje)	22.75 (ancho) x 23.25 (alto) x 22,75 pulgadas (diámetro) 57.8 (ancho) x 59,1 (alto) x 57,8 (diámetro) cm
Peso (impresora un de inyector)	90,7 lb / 41 kg
Peso (impresora de doble inyector)	94,3 lb / 43 kg
Peso (Trio - impresora Triple inyector)	98 lb / 44 kg
Máximo tamaño de construcción (impresora un inyector)	11.2 (ancho) x 9,06 (alto) x 10,6 pulgadas (diámetro) 28.54 (ancho) x 23 (alto) x 27.04 (diámetro) cm
El tamaño máximo de acumulación (impresora de doble inyector)	9,56 (ancho) x 9.06 (alto) x 10,6 pulgadas (diámetro) 24.29 (ancho) x 23 (alto) x 27.04 (diámetro) cm
El tamaño máximo de acumulación (impresora de triple inyector)	7.89 (ancho) x 9,06 (alto) x 10,6 pulgadas (diámetro) 20.04 (ancho) x 23 (alto) x 27.04 (diámetro) cm

Continuación de la tabla VI.

RESOLUCIÓN DEL EJE Z	
Todos los modelos	0.100mm (0.004 "/ 100 micras)
GROSOR DE LA CAPA	
Todos los modelos	70 micras, 200 micras y 300 micras para el modo rápido. Disponible para los tres modelos.
LA VELOCIDAD DE IMPRESIÓN DE VOLUMEN EXTRUIDO	
Todos los modelos	15 mm máximo (9/16 ") por segundo y el polímero dependiente.
REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA	
Todos los modelos	100 - 240V AC
TEMPERATURA MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO EN LA PUNTA DEL EXTRUSOR	
Todos los modelos	536 ° F / 280 ° C
MATERIAL DE APOYO	
Todos los modelos	PLA / ABS / PLA naturales solubles
LA ELIMINACIÓN DE APOYO	
Todos los modelos	Romper soportes con unos alicates o cuchillas o simplemente con los dedos en su caso. PLA plástico es soluble en hidróxido de sodio y se utiliza con un limpiador ultrasónico climatizada (hay que tener cuidado con esta opción).

Fuente: <http://www.3dsystems.com/shop/cubepro/techspecs>. Consulta: 11 de junio del 2016.

4.1.2. Diseño en 3D del producto

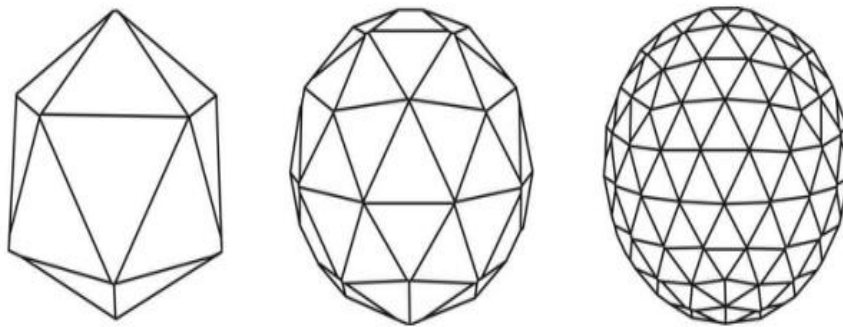
El diseño de la pulsera para reloj a fabricar en 3D fue creada por un software de diseño asistido por computadora en el que se desarrolló por distintas herramientas de modelado 3D; durante el proceso se tomó en cuenta que varios de los modelos que se desean fabricar deben proporcionar un diseño bien elaborado y con la aplicación de herramientas avanzadas, debido a que el programa de impresión muestra una vista previa de la pieza antes de imprimir, en otras palabras muestra el tamaño y número de polígonos que conforman la pieza. Dichos polígonos son los que permiten dar textura y forma al objeto en 3D, por lo que, si la pieza tiene polígonos rotos o polígonos grandes, en la impresión se detectarán y visualizarán. Por lo que para obtener una impresión con buenos acabados superficiales si depende de un buen modelado y diseño.

Un ejemplo claro es el modelado en tres dimensiones de una pieza con forma de esfera que se pretende imprimir en 3D; se muestra de forma normal en el programa de diseño, pero al ser proyectado en la vista previa de la impresora 3D, muestra una pieza con deficiencia de aspecto y estructura, es decir, no se tiene una esfera completamente redonda, por lo que en este caso se debe aplicar un alisado a la pieza para reducir el número de polígonos sobre la malla que la conforma o en otros casos otro tipo de herramientas de diseño que permitan realizar un objeto 3D con excelentes acabados superficiales. La calidad de la pieza en el proceso de fabricación aditiva depende mucho del diseñador y de su capacidad de realizar modelados en 3D.

La impresora 3D puede imprimir cualquier objeto sin importar su complejidad para esto se debe de tener una buena curva de aprendizaje en diseño o modelaje 3D. Pero también existen programas y gestores en internet para facilitar y mejorar los diseños e impresiones, por su eficaz conjunto de

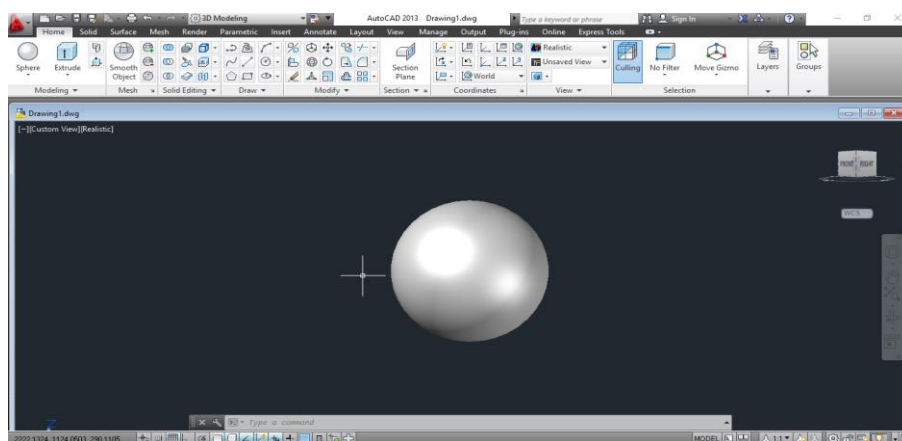
herramientas para crear contenido tridimensional en menor tiempo, reduciendo el tiempo de aprendizaje en modelado e impresión.

Figura 29. **Variación de forma de superficie por su tamaño y número de polígonos**



Fuente: <http://entresd.es/blog/consejos-de-diseño-para-la-impresión-en-3d/>. Consulta: 13 de julio del 2016.

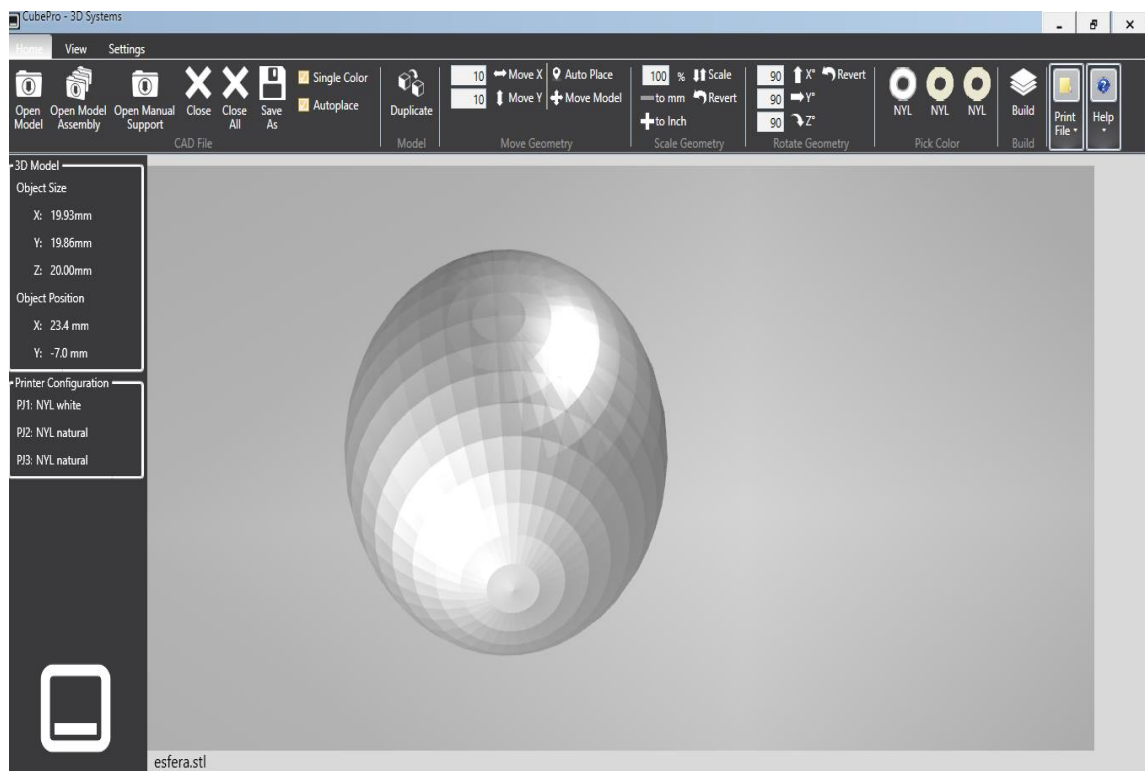
Figura 30. **Modelado de esfera sin modificación de polígonos en AutoCAD 3D 2013**



Fuente: elaboración propia.

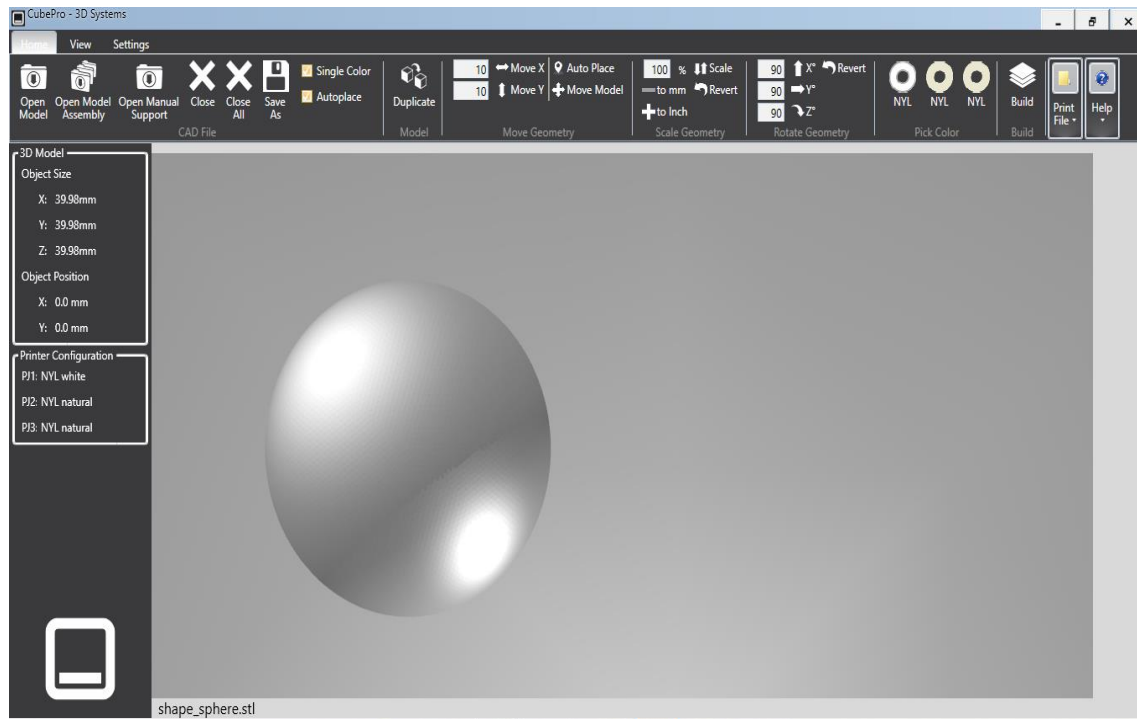
Como anteriormente se mencionó, esta pieza se diseñó en AutoCAD 2013, un programa que permite el desarrollo de objetos en 2D y 3D. En la figura 30 se visualiza que la esfera quedó con la forma deseada y que al exportar el archivo en formato estereolitográfico (stl) a la impresora 3D se fabricará con esa forma. Pero realizar la vista preliminar se puede observar la formación de la esfera por una malla de polígonos, que al fabricarse por proceso aditivo se obtendrá una pieza con poco aspecto superficial del que se requiere como se proyecta en la figura 31. Para mejorar u obtener una pieza con la forma que se necesita se aplican herramientas de diseño para mejorar su forma y poder obtener una mejor impresión en 3D.

Figura 31. **Vista previa de impresión 3D de esfera**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Vista previa de esfera con alisado en su malla



Fuente: elaboración propia.

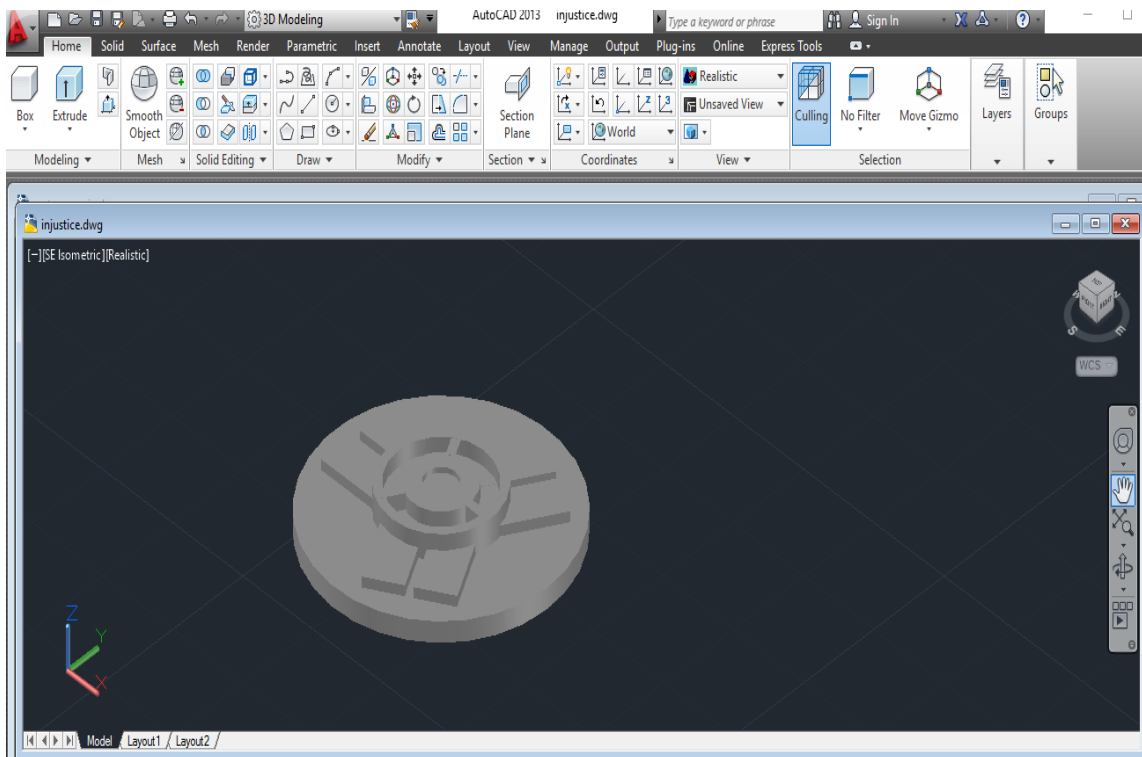
En la imagen anterior se visualiza que la esfera que se desea imprimir tiene mejor forma y que su fabricación tendrá mejor calidad superficial y cumplirá con los requerimientos necesarios para los que se necesita, esto debido al mejoramiento de su diseño.

Otra acción que perjudica la impresión 3D de un objeto es la mala elaboración de un diseño ya que, si no se constituye de la forma adecuada, habrá graves repercusiones en su fabricación.

Se desarrolló una pieza en 3D para el proceso de manufactura aditiva pero su construcción fue realizada a grandes rasgos porque al momento de

imprimir la pieza, su estructura no se elaboró de la forma requerida; al modelar un objeto se debe tomar en cuenta que al realizar una pieza base e ir cortando parte de esta puede que se corten polígonos, que en el programa de diseño no se detectan, pero en su manufactura de la pieza se presenten espacios huecos dentro de su estructura.

Figura 33. **Diseño de pieza con polígonos rotos**



Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso de diseño se observa que la pieza tiene un excelente aspecto visual, pero al ser impresa la pieza se rompe por dentro; es decir no quedó completamente sólida, sino que partes de esta, están huecas, y al ser sometida a un esfuerzo la pieza fallo.

Figura 34. **Fallo en impresión 3D por mal diseño**

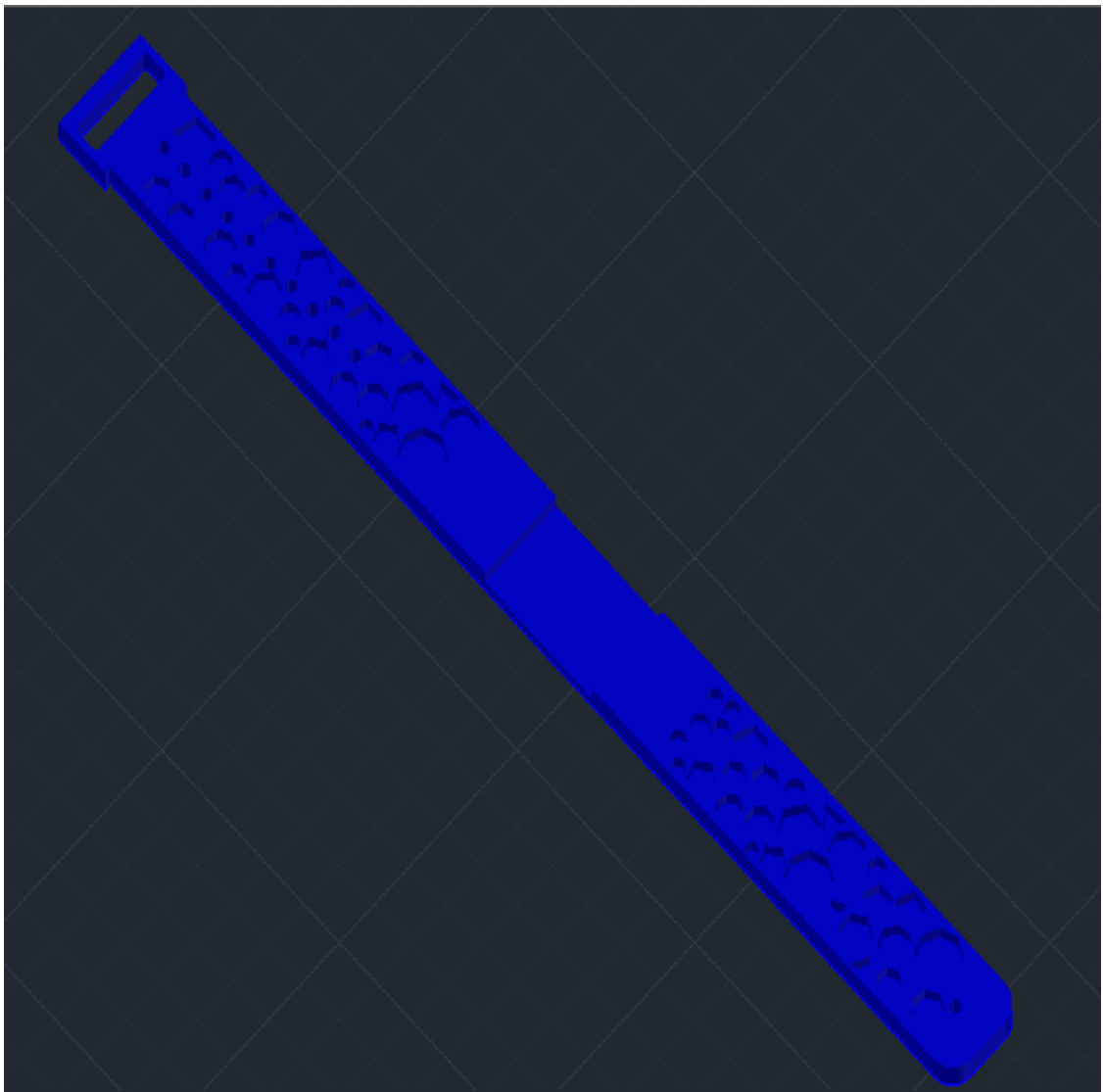


Fuente: elaboración propia.

Al observar la pieza, su aspecto es pobre y deficiente en calidad, debido a que su diseño fue mal elaborado, ya que, al ser desarrollada no se tomó en cuenta que al romper un polígono en la malla que la conforma, la impresora la detecta y su manufactura no será la deseada. Por lo que como anteriormente se mencionó algunos de los programas de diseño necesitan un alto conocimiento de las herramientas CAD, por lo que cabe mencionar que un buen modelado también depende del programa que se utiliza, pero en la actualidad se desarrollan nuevos programas para facilitar al usuario el diseño de modelados 3D que luego puedan fabricarse por la tecnología aditiva, como también gestores CAD por internet sin necesidad de instalar un programa en la computadora e incluso también existen galerías de diseños listos para imprimir o modificar, según las exigencias de los usuarios.

Una vez planteados los posibles errores que se cometen en el proceso de manufactura aditiva, se desarrolla el producto que se planteó en los requerimientos, en su desarrollo se utilizaron herramientas comunes: extrusión, contorno, sustraer, unir, entre otras.

Figura 35. **Diseño de pulsera para reloj en tres dimensiones**

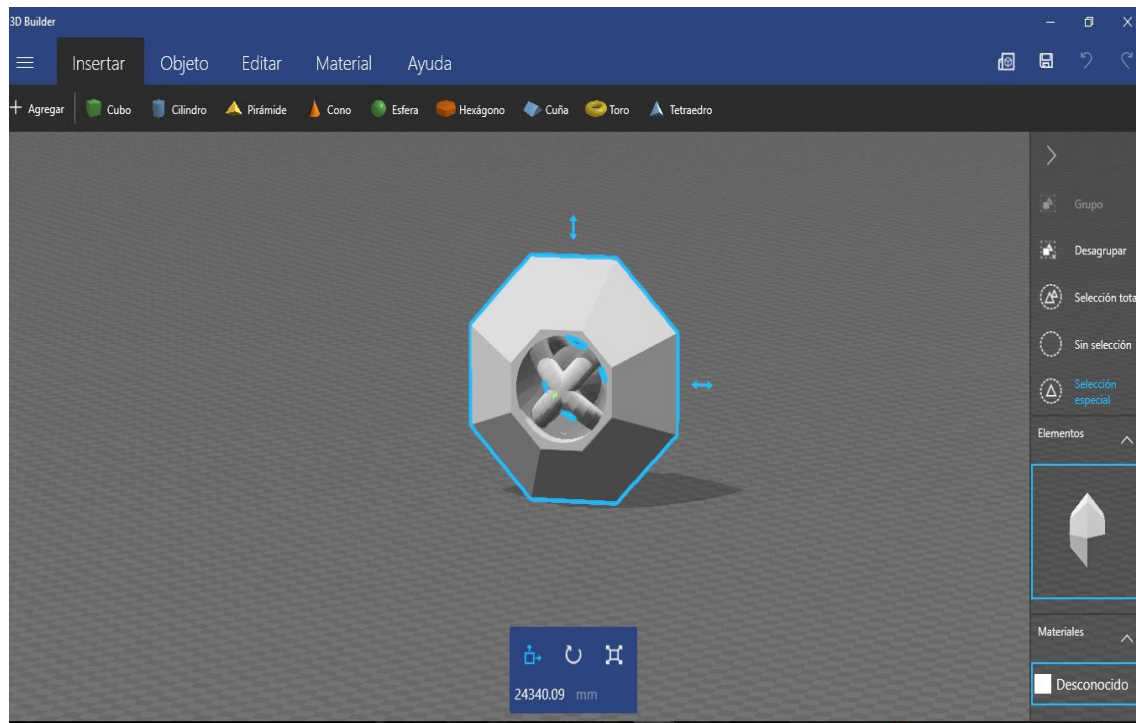


Fuente: elaboración propia.

La pulsera se diseñó extendida sobre uno de los planos debido a que así es como se pretende imprimir, esta pieza se puede imprimir de varias formas siempre que una de las superficies haga contacto con la plataforma de la impresora 3D; el diseño también presenta formas y textura con el objetivo de desarrollar los acabados superficiales de la impresora 3D.

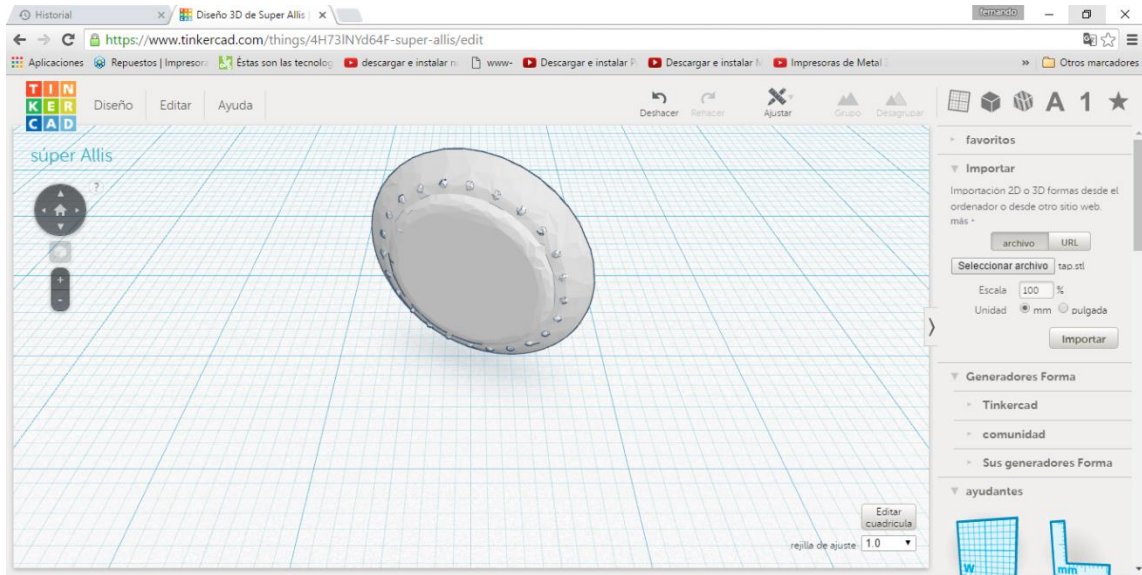
Como se mencionó anteriormente, existen también otros programas para desarrollar objetos en tres dimensiones para luego ser elaborados por manufactura aditiva, con herramientas de fácil control y uso especiales para impresión 3D, inclusive con uso por internet desde cualquier ordenador.

Figura 36. **Diseño de pieza ensamblada en programa para impresión aditiva 3D Builder**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Diseño de pieza ornamentaría en editor para piezas 3D en internet**



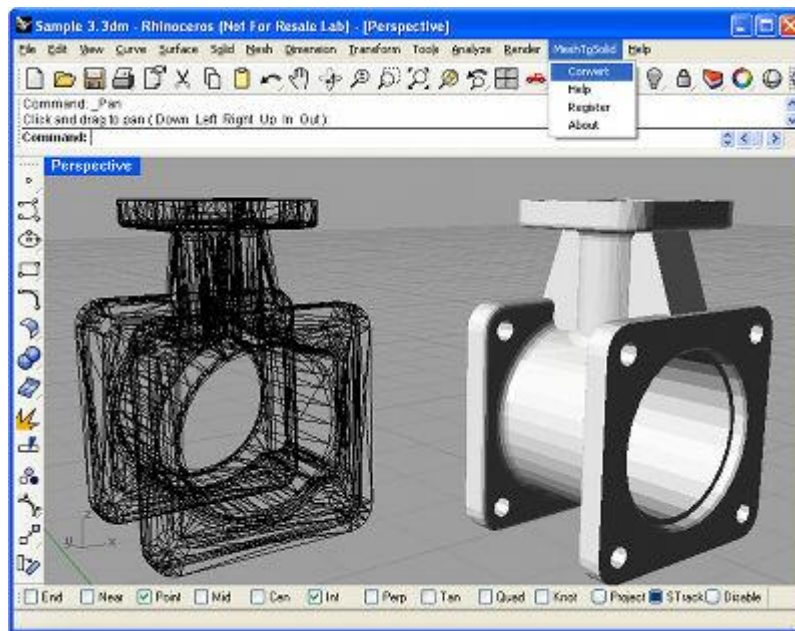
Fuente: elaboración propia.

Cuando se trata de diseño existe un sinnúmero de programas para el desarrollo de modelos profesionales y de tipo industrial, pero cuando se dan los primeros pasos en el modelado 3D también existen recursos de tipo básico y versátil, debido a que existe un sinnúmero de galerías de archivos de modelados 3D listos para imprimir en 3D o modificar e incluso software por web que facilitan el alcance de diseñar e imprimir objetos de todo tipo como se muestra en la Figura 37.

Un ejemplo de un trabajo bien diseñado y de un buen programa para modelado 3D es que se realizó con la fabricación de una pieza mecánica; este programa con el nombre de Rhinoceros es ideal para diseñar, editar, analizar, renderizar, animar, entre otras aplicaciones; la precisión en la elaboración de mallas es ideal para el diseño y la manufactura industrial, debido que es una

herramienta de modelado 3D con compatibilidad con la mayoría de programas de diseño, ingeniería, prototipado, animación e ilustración.

Figura 38. **Diseño bien elaborado para proceso de manufactura industrial**



Fuente: <http://proyectorhino.blogspot.com/p/que-es-rhino.html>. Consulta: 25 de julio de 2016.

4.2. Desarrollo tecnológico

La implementación de la fabricación aditiva en la manufactura de accesorios tecnológicos y joyería ha desarrollado y sustituido a la tecnología del control numérico computarizado (CNC), debido a su proceso de formación capa por capa, sinterización selectiva por láser (SLS), deposición de material fundido y estereolitográfico, en los procesos tradicionales de la CNC; para corte, fresado y tallado de polímeros y metales. Brindan una nueva revolución industrial en la manufactura industrial debido a que se puede realizar cualquier

tipo de accesorios ornamentales que se tenga en mente sin importar su diseño, debido a que en procesos tradicionales se limita la fabricación de un elemento según su diseño.

Esta tecnología permite realizar piezas de forma más rápida y sencilla en el proceso de fabricación de accesorios de moda y de tipo innovador debido a su tiempo y reducción de material de desecho; muchos son los beneficios de este tipo de tecnología para desarrollar moldes y piezas de joyería, debido a que las piezas diseñadas desde un ordenador pueden ser para la fabricación de una pieza para ensamble o pieza única en la fabricación de bisutería, o en casos más complejos en los que se necesita de moldes se pueden imprimir para pasar un material plástico a un metal para joyería: como oro, plata, latón y bronce.

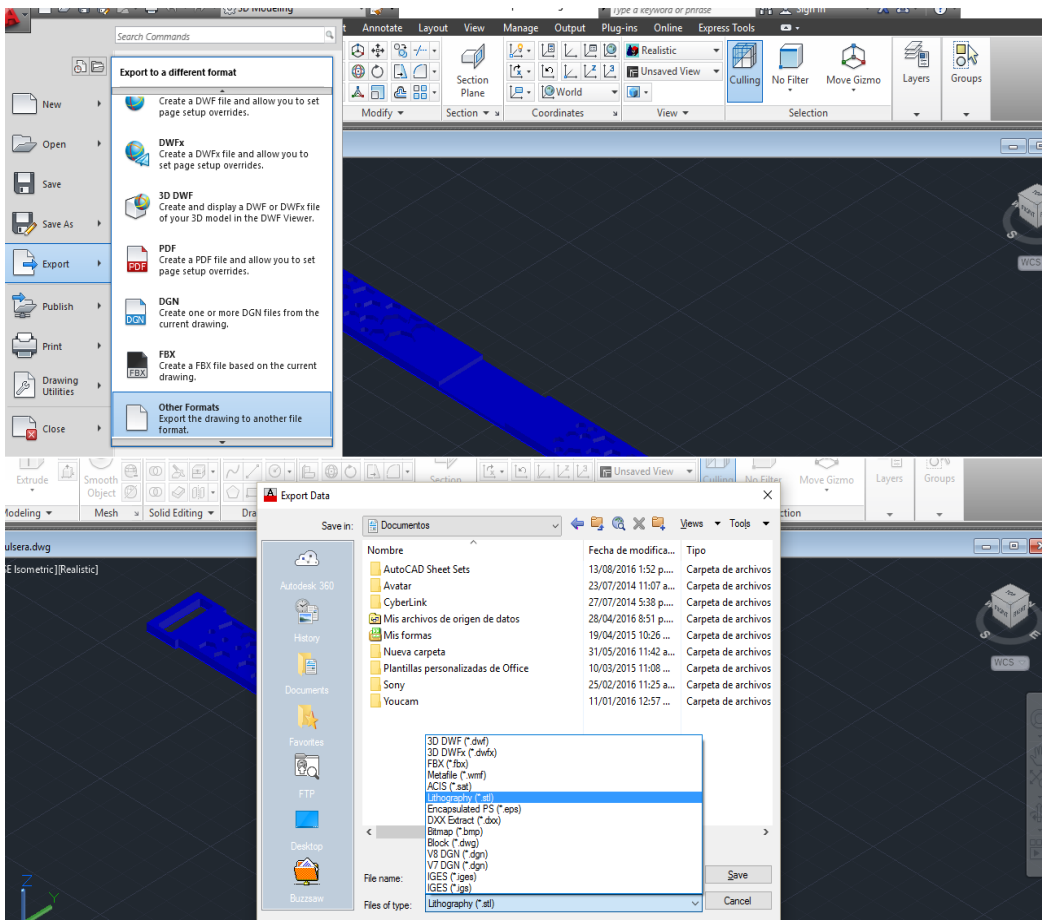
Proceso denominado cera perdida, este proceso se realiza por el vaciado del metal fundido sobre una pieza de material refractario o plástico refractario impreso, al fundir o carbonizar el plástico y solidificar en la forma del molde y eliminando el sobrante que envuelve el metal se obtiene una pieza metálica. Pero si se desea realizar pieza por medio de otro proceso mediante la impresión 3D mediante el material de aporte de tipo metal y eliminando los moldes, es cierto las piezas se fabrican en un solo proceso, pero su costo de maquinaria es muy alto por lo que limita su adquisición para cualquier joyero.

4.2.1. Manufactura con impresora 3D

Para la realización del proceso de manufactura de la pulsera 3D se necesita tener el diseño de la pieza de forma digital y con un formato de tipo estereolitográfico (stl) para luego ser importados por el programa de comando de la impresora 3D o bien desde otros programas de diseño e impresión 3D;

una vez realizada la importación del diseño requerido se debe establecer la posición en que la pieza se fabricará ya que como se mencionó anteriormente se debe de imprimir de forma estratégica para reducir el tiempo de fabricación para tener mejor contacto superficial y reducir o eliminar el material de soporte según lo requiera el tipo de pieza. Como el diseño se realizó en un programa que no es especial para impresión 3D se debe exportar la superficie o malla a un objeto de tipo solido que la impresora lo pueda reconocer.

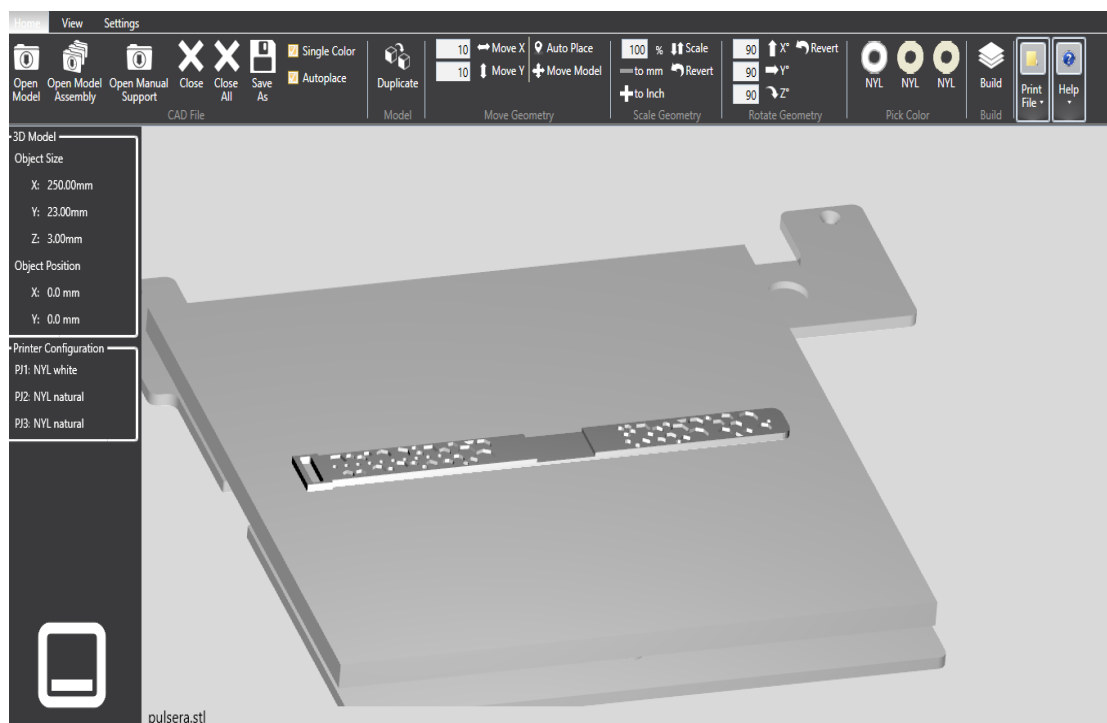
Figura 39. **Exportación de diseño de AutoCAD a formato estereolitográfico**



Fuente: elaboración propia utilizando software CUBEPRO.

Se visualiza el diseño en la plataforma virtual del programa de impresión de máquina y se determina la posición en la que realizará la impresión 3D; el tiempo estimado de la impresión y la cantidad de material que se utilizará para su fabricación y el material de soporte a utilizar.

Figura 40. Vista previa de la pieza en plataforma virtual

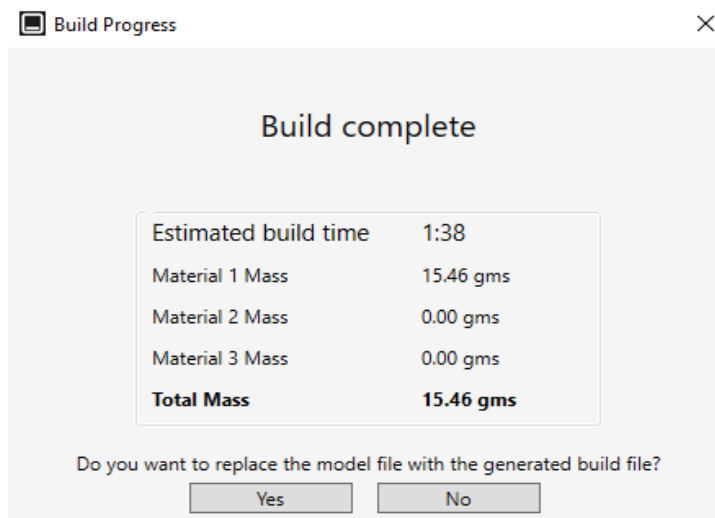


Fuente: elaboración propia utilizando software CUBEPRO.

En la siguiente imagen se presenta la información de la fabricación 3D de la pieza requerida, en estos datos se visualiza: el tiempo estimado de impresión, la cantidad de materia prima que se utiliza, en este caso nylon; y el material de aporte, que en este caso por las características de la pieza; posición de impresión y contacto superficial entre la pieza y la plataforma, no es necesario, pero cabe resaltar que la impresora por el tipo de material crea una

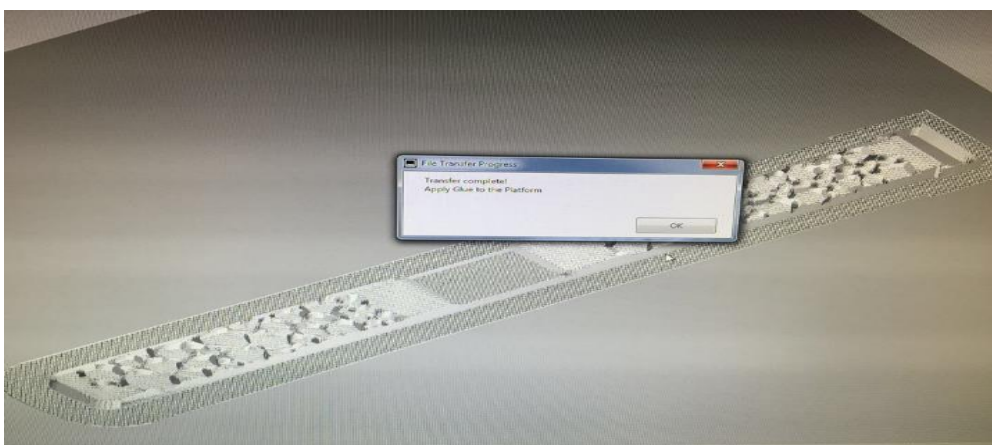
base donde se mantiene estable la pieza y el proceso se realiza sin ningún imprevisto.

Figura 41. **Datos de impresión de la pieza**



Fuente: elaboración propia.

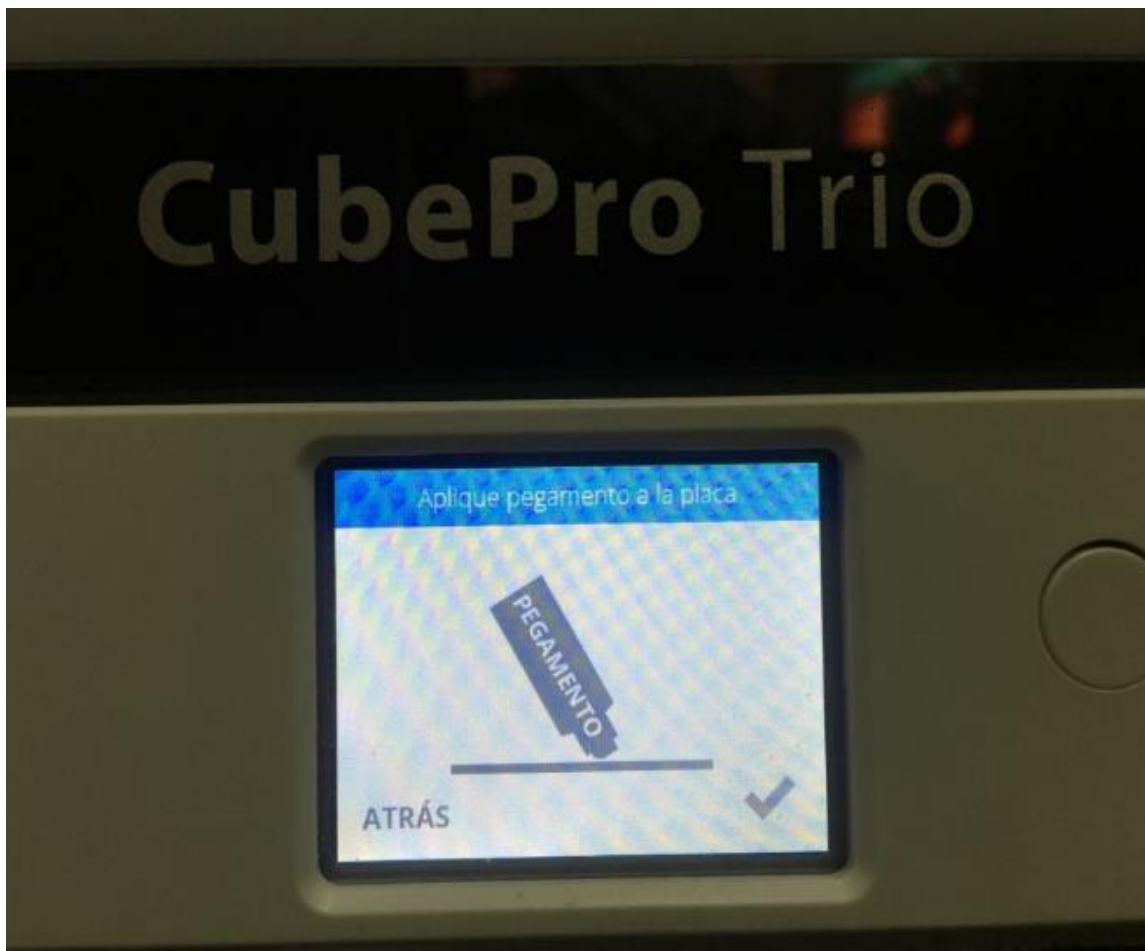
Figura 42. **Vista de material base para sujetar la pieza**



Fuente: elaboración propia utilizando programa CUBEPRO 3D systems.

Una vez determinados y establecidos los datos de fabricación, se prepara la plataforma de impresión de la máquina para sujetar la pieza y así evitar que la pieza se mueva durante su elaboración por lo que en el panel de información se solicita el pegamento que sostendrá la pieza y evite que esta se mueva durante el proceso de impresión 3D.

Figura 43. **Indicador de aplicación de pegamento para la plataforma de impresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Aplicación de pegamento en plataforma**



Fuente: elaboración propia.

Antes de iniciar el proceso de impresión 3D de la pieza, se solicita un calentamiento previo de la cámara de impresión.

Figura 45. **Calentamiento de la plataforma de impresión**



Fuente: elaboración propia.

Realizados todos los requerimientos previos al proceso de impresión 3D, se puede realizar la manufacturación de la pieza establecida, se envía el archivo STL a la impresora y se reconoce y se da inicio a la impresión 3D.

Figura 46. **Panel de impresión 3D**



Fuente: elaboración propia.

En la cámara de impresión 3D se presenta la elaboración de la base para sujetar la pulsera para reloj, esto por hilos muy delgados que así luego pueden ser retirados con facilidad y evitar el uso de herramientas de corte y rectificado.

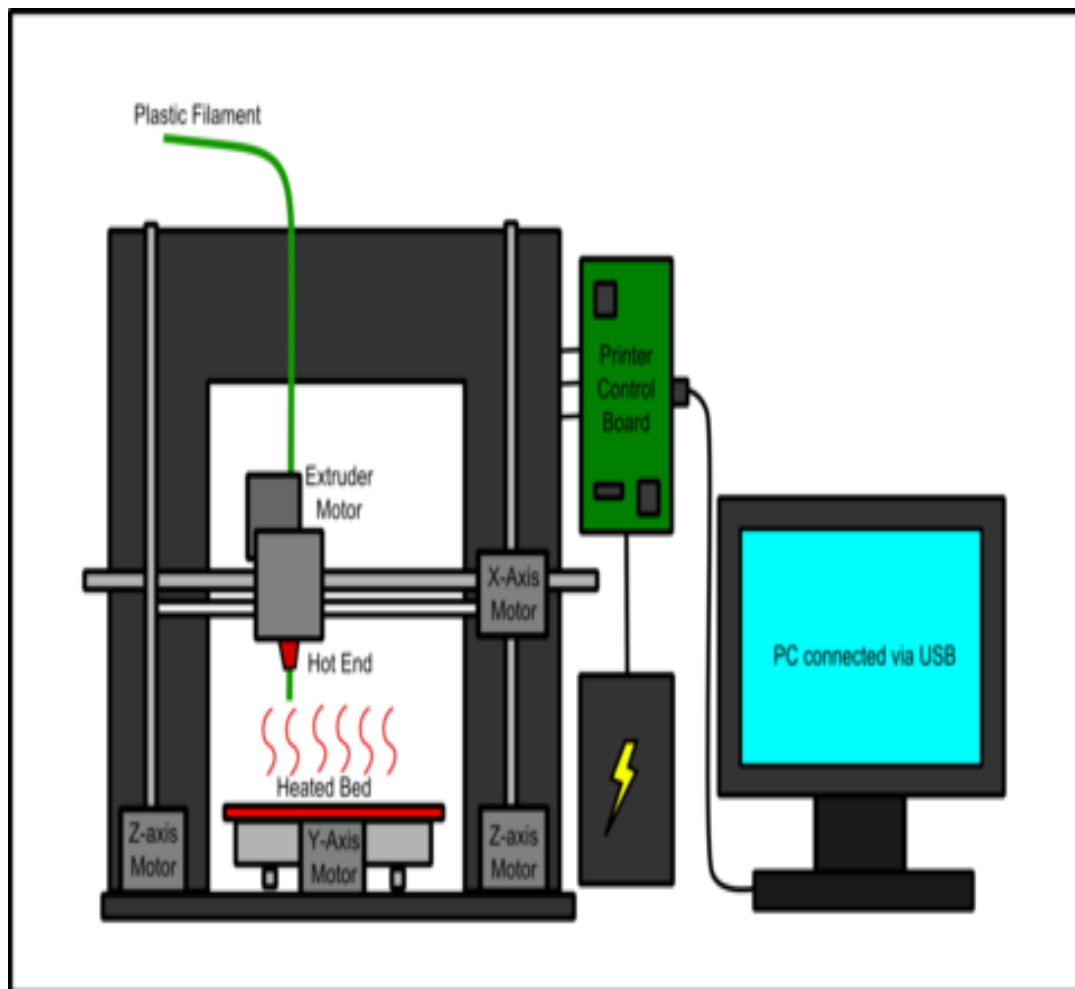
Figura 47. Impresión de base para sujetar pulsera en 3D



Fuente: elaboración propia.

La pieza se realiza a una velocidad promedio de 15 mm máximo (9/16 ") por segundo y el proceso se realiza por inyección y deposición de material sobre la base plana, capa por capa; el polímero que se encuentra en un rollo es calentado e inyectado por las boquillas de la máquina 3D por lo que el proceso es algo lento en comparación a los otros procesos de impresión 3D.

Figura 48. **Proceso de manufactura 3D por inyección de material**

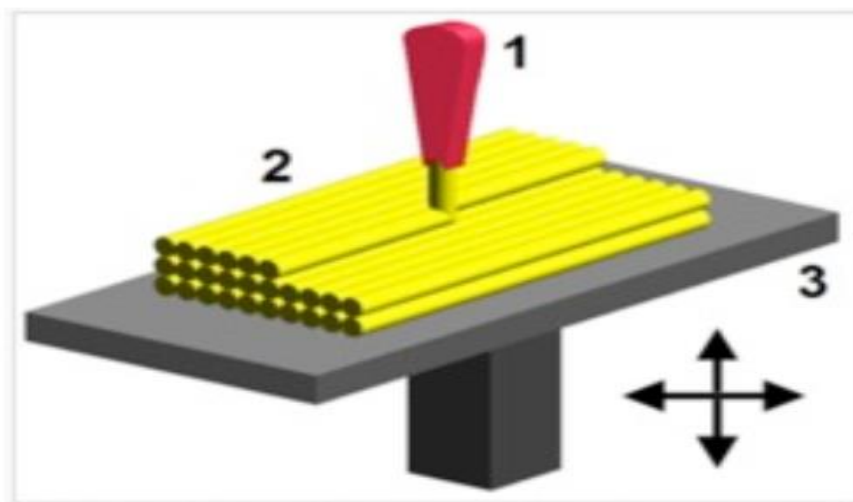


Fuente: <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102883975-tipos-de-impresoras-3d>. Consulta: 26 de julio de 2016.

El proceso de modelado por deposición fundida para la pulsera para reloj es el más común y sencillo debido a que como se ve en la figura 49 se realiza formación del objeto con nylon fundido que se expelle o se extruye a través de los inyectores; el filamento esta originalmente en un rollo que con por medio del sistema de impresión 3D se va consumiendo y que al ser depositado los inyectores se mueven a lo largo de tres ejes por medio de un mecanismo de controlado por un computador.

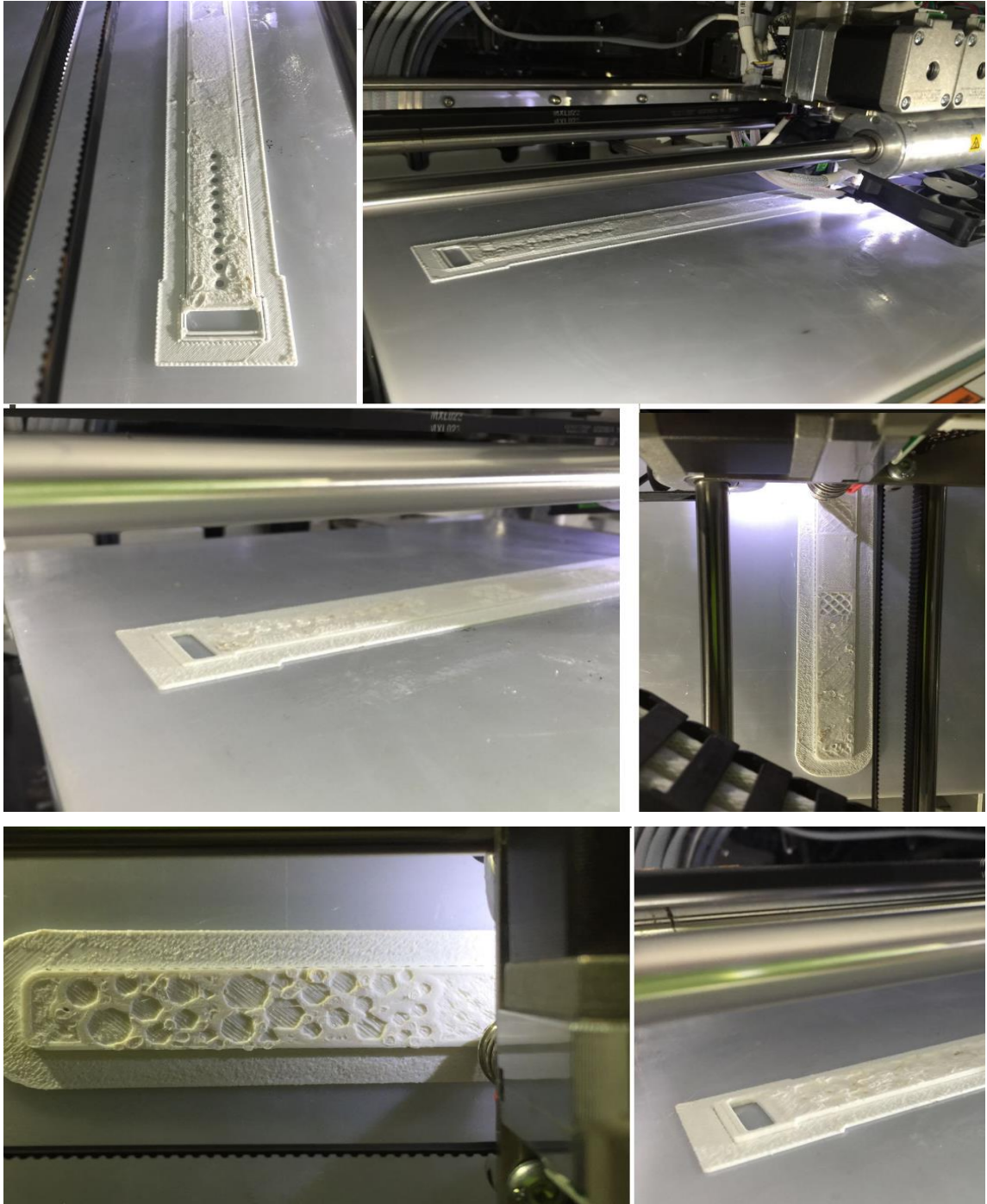
El material se va endureciendo inmediatamente después de su extrusión; los motores son de tipo paso a paso, motor electromecánico cuya conversión da como resultado una serie de impulsos eléctricos en desplazamiento angular, en otras palabras, su giro angular puede ser controlado a un paso o medio paso según su entrada de control. Cuando las piezas son muy pequeñas los inyectores realizan un desplazamiento mucho más largo para dar tiempo a que el material depositado se endurezca.

Figura 49. **Movimiento controlado**



Fuente: FONDA, Carlo. *Guía práctica para tu primera impresión 3D*. p. 4.

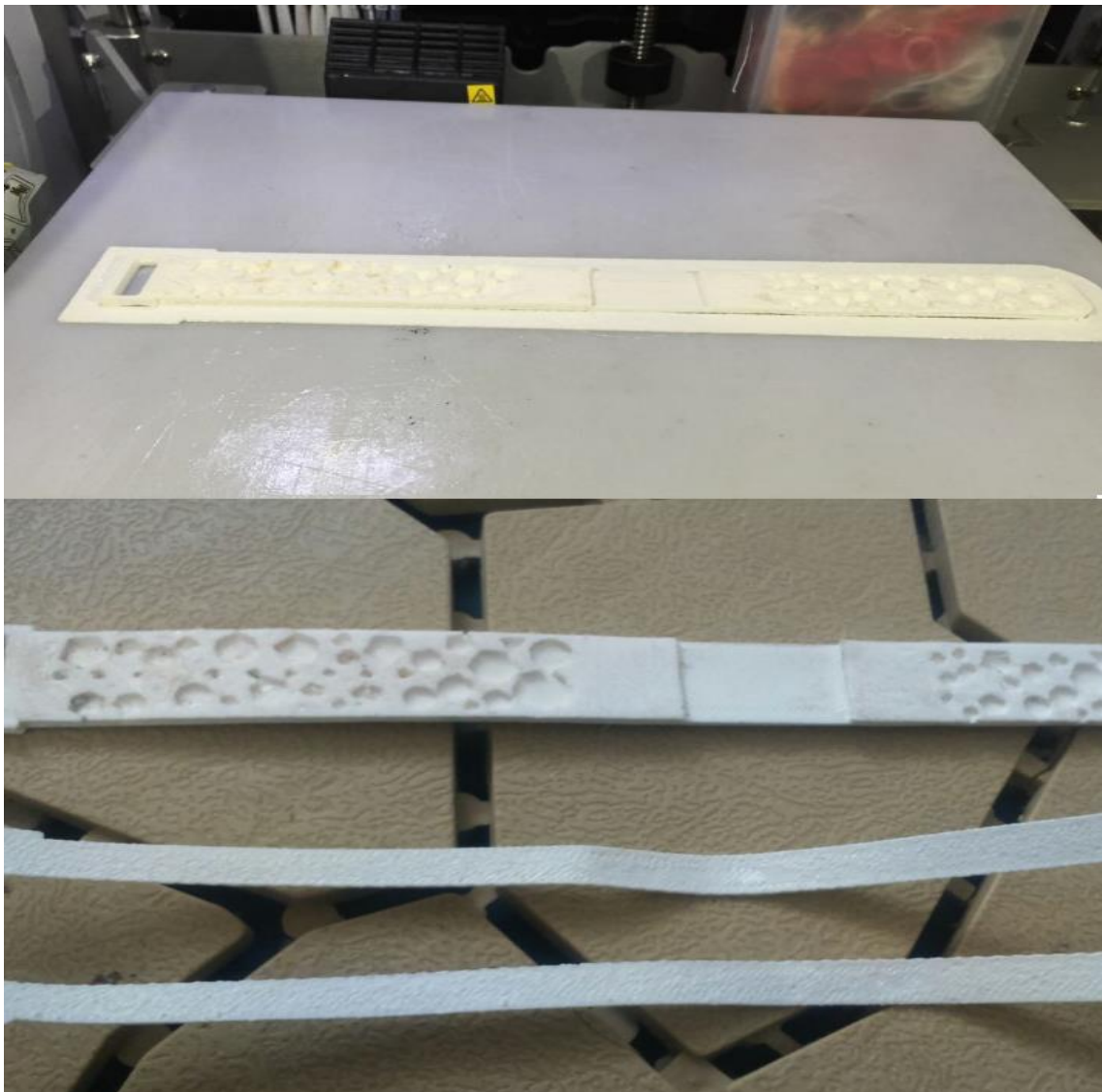
Figura 50. Manufactura con impresora 3D de pulsera para reloj



Fuente: elaboración propia.

El proceso de manufactura 3D de la pulsera para reloj se desarrolló en una hora con treinta y cinco minutos, su elaboración se realizó sin ninguna novedad, se retira el plástico que se utilizó para la pulsera a base de nylon para mantenerla sujeta a la plataforma de impresión.

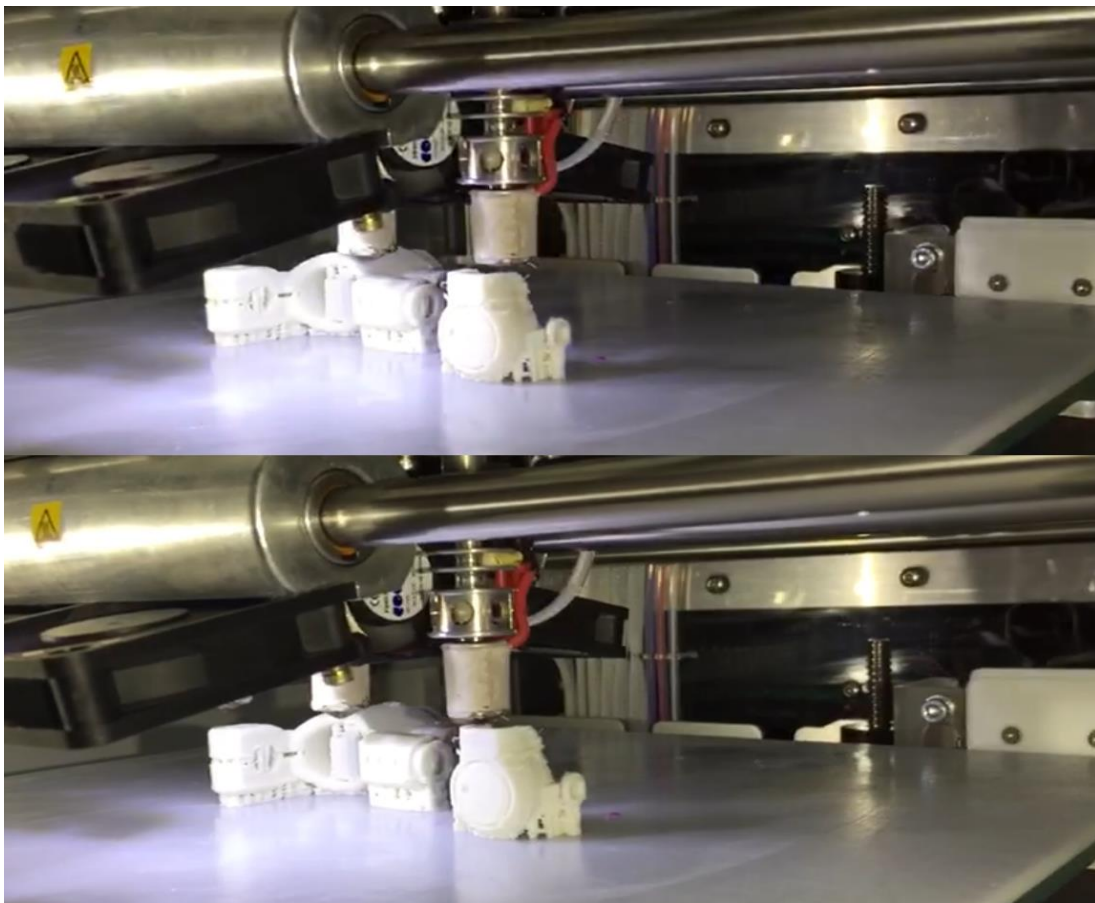
Figura 51. **Pulsera para reloj fabricada por impresión 3D**



Fuente: elaboración propia.

Otro ejemplo de la implementación de la impresora 3D en el campo de la manufactura industrial de Guatemala es la fabricación de las piezas de una máquina para tatuajes elaborada por Alejandro Holms quien implementó la impresora 3D para la fabricación de piezas personalizadas, que tienen función en la vida real y que su desarrollo demuestra la innovación tecnológica en la fabricación de piezas únicas. A continuación, se muestra el proceso de la elaboración de las piezas por proceso de deposición de material (FDM) y las piezas manufacturadas en su totalidad.

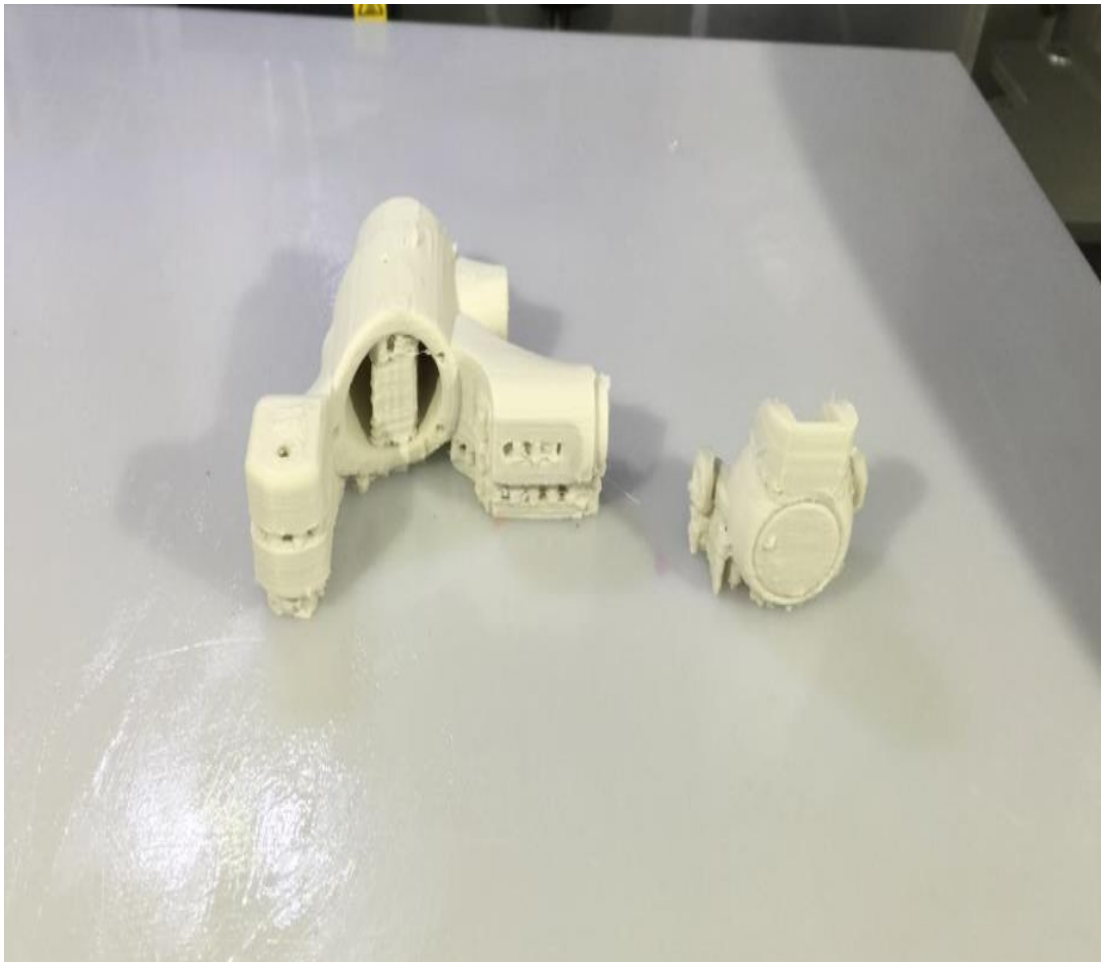
Figura 52. **Impresión 3D de piezas para máquina para tatuajes**



Fuente: elaboración propia.

El producto final queda con material de desecho soluble al agua, el cual es retirado y la pieza necesita un rectificado para que su superficie sea perfecta y su ensamble sea de la forma adecuada; la pieza fue elaborada con grandes detalles personalización por el diseñador lo cual demuestra que la impresora 3D es una herramienta innovadora en el campo de la manufactura industrial. El material utilizado para la fabricación de las piezas es nylon con el objetivo de la implementación de sus propiedades como polímero, de rigidez y durabilidad.

Figura 53. **Piezas para máquina de tatuajes impresas en 3D**



Fuente: elaboración propia.

4.3. Innovación de fabricación

La fabricación que realiza la impresora 3D creó una estructura física, con la capacidad de emplearse en la vida real, el resultado es un objeto con personalización hecho de un solo cuerpo y que se pretende ensamblar a otras partes ya fabricadas y que se ajusten perfectamente a la medida. En su desarrollo no solo su proceso aditivo es innovador, también el hecho del trabajo optimizado en un tiempo establecido y el ambiente auditivo de la máquina, permitiendo realizar otras tareas y que su fabricación no entorpezca su desarrollo.

4.3.1. Tiempo

El tiempo es algo estratégico en un proceso de manufactura, el cual depende de muchas variables: tipo de pieza, material a utilizar, proceso de fabricación de la impresora 3D, posición de la impresión, entre otros factores. El tiempo depende del tipo de pieza debido a que una pieza en procesos tradicionales es mucho más rápida, realizarlas en comparación a la impresora 3D, pero en otros casos es lo contrario, como en la elaboración de joyas, piezas mecánicas, piezas odontológicas y más.

Se debe realizar un análisis previo si se quiere adquirir una impresora 3D en función del tiempo. Por lo que se debe realizar el diseño de la pieza y calcular el tiempo preliminar en el programa de impresión, para esto no es necesario tener la impresora, se determina si los tiempos de fabricación son mejores que los tiempos de fabricación tradicional y se determina su adquisición y localización. Un ejemplo muy claro es el de la joyería: un joyero tarda semanas en realizar los diseños y modelos de las piezas ornamentales

restringiendo el proceso por el tipo de diseño. Mientras que en la impresora 3D esto es posible realizarlo en un tiempo mucho menor.

Figura 54. **Tiempo establecido para la fabricación de joyas por impresión 3D (min)**

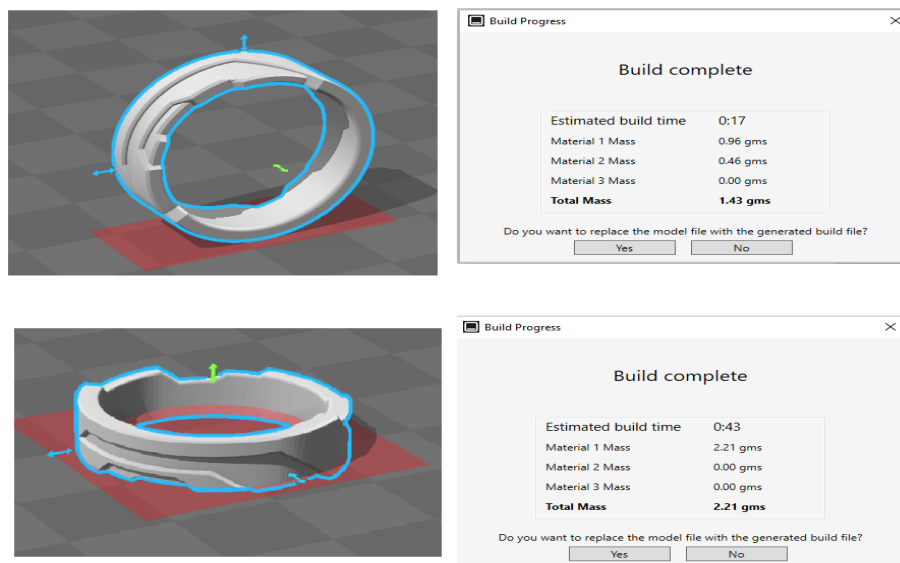


Fuente: elaboración propia.

En la fabricación de los modelos por impresión 3D el tiempo de fabricación de joyas es algo innovador ya que su fabricación es mucho menor que por otro proceso tradicional; como se observa en la figura 54, el tiempo de la primera pieza es de 24 minutos para su fabricación, la segunda tiene un tiempo de 10 minutos, 16 minutos para la siguiente y, por último, 21 minutos para la pieza final.

Por lo que el tiempo es una estrategia innovadora para la fabricación de joyas; debe tomar en cuenta que la impresora 3D puede ser un gran aporte para un proceso de manufactura, pero todo depende de la perspectiva en que se vea. Pero también es importante resaltar que todo depende de la estrategia de fabricación, debido a que el tiempo también se puede reducir por la posición de impresión de la pieza, ya que no es lo mismo imprimir una pieza de forma vertical que de forma horizontal.

Figura 55. **Tiempo de fabricación (min) según la posición de impresión**



Fuente: elaboración propia.

El tiempo de fabricación de una pieza por impresión 3D es algo innovador que depende del operador y de su análisis del método de fabricación aditiva; como se pudo observar anteriormente, una pieza se puede imprimir de varias formas y de esto dependerá el tiempo, esto se debe a que cuando se elabora de alguna forma, a veces la pieza necesita material de soporte para piezas internas o para detener el material, para que no caiga y dañe la pieza y por eso se incrementa el tiempo de fabricación, ya que es tiempo de elaboración de la pieza más tiempo de elaboración del material de soporte.

4.3.2. Ruido

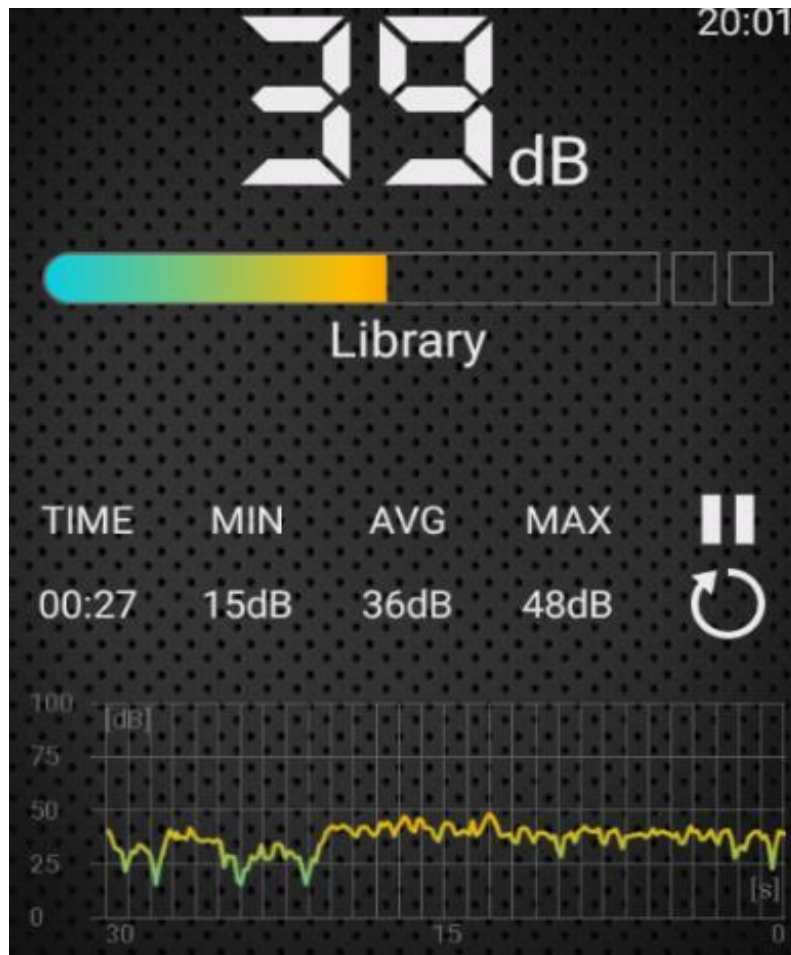
Un nivel de ruido dentro de los parámetros de la manufactura industrial es una exigencia que no siempre se puede brindar debido a que muchas de las máquinas de manufactura industrial poseen mecanismos que emiten un nivel de ruido que sobrepasa los niveles seguros. Para cumplir con un nivel de ruido seguro es necesario tomar en cuenta dos factores: nivel del ruido y tiempo de exposición al ruido.

El proceso de manufactura aditiva 3D cumple con ambos factores, debido a que su proceso no emite un volumen de ruido alto y no sobrepasa el número de decibeles recomendables; esto es de gran importancia ya que la máquina puede trabajar casi las 24 horas seguidas, y aprovechar al máximo su proceso de manufactura sin que interceda en otras labores de fabricación, como ensamble y rectificado.

La impresora 3D utilizada en el ensayo (CUBE PRO TRIO) emite un nivel máximo de sonido de 48 decibeles, mucho más bajo de lo recomendado (70 decibeles); un operario puede estar expuesto más de ocho horas seguidas, esto se debe a que la impresora 3D está compuesta de motores eléctricos y

mecanismos electrónicos, reduciendo el ruido en su proceso de fabricación por adición.

Figura 56. Nivel de ruido de impresora 3D Cube Pro



Fuente: elaboración propia.

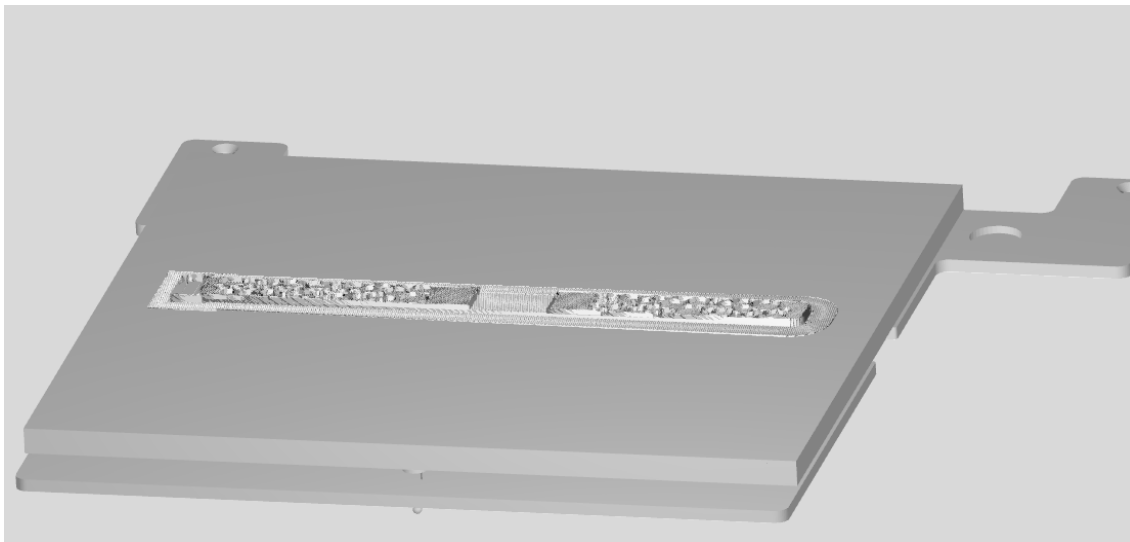
En la medición del número decibeles que la impresora 3D emitió durante 30 segundos constantes, se registró un máximo de 48 decibeles y un promedio de 36 decibeles que no sobrepasa lo recomendado y que se mantiene en el rango de decibeles que una conversación puede emitir, lo que otros procesos

de manufactura tradicionales no pueden lograr; se necesita tomar medidas de seguridad e higiene industrial: protección auditiva, áreas solo para máquinas, reducción de tiempo que se somete al operador para laborar con el ruido de la máquina, entre otros.

4.3.3. Desechos de material

El material de soporte para la fabricación de la pulsera para reloj es nylon igual que la pieza, material que utiliza el proceso de fabricación aditivo para crear una base que mantenga sujeta la pieza y su proceso tengo mejores acabados superficiales; pero al trabajar con ABS o PLA, depende de la pieza a fabricar, se utilizará material de soporte o, en otras palabras, se puede evitar el material de desecho y reducir los costos de fabricación de una pieza en particular.

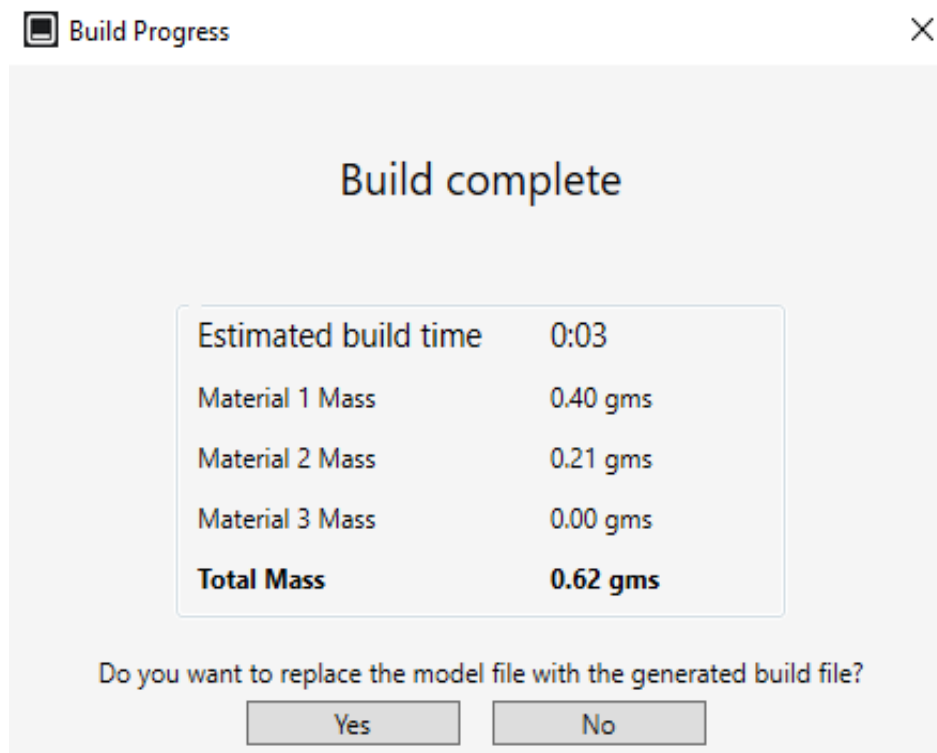
Figura 57. **Material de soporte y de la pieza a base nylon**



Fuente: elaboración propia.

Lo innovador del material nylon para fabricación 3D es que para el material de soporte para piezas internas que necesitan ser movibles y que se impriman de una sola pieza y de forma ensamblada, se utiliza material a base de maíz biodegradable, material que permite crear piezas más complejas y profesionales de diseño a base de polímeros; se desea imprimir un segmento de una cadena para transmisión, se necesita 0.40 gramos de nylon y 0.21 de material de soporte soluble al agua para facilidad de removerlo y que la fabricación de la pieza sea con todos sus compuestos ensamblados.

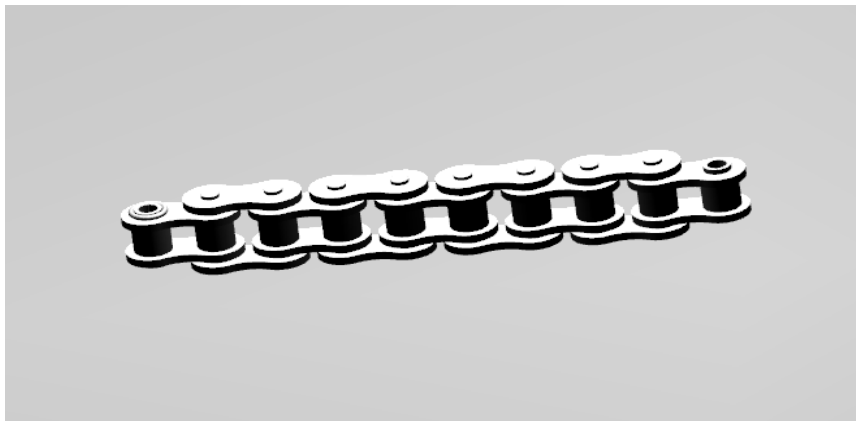
Figura 58. **Cantidad de material para la fabricación de una cadena de transmisión**



Fuente: elaboración propia.

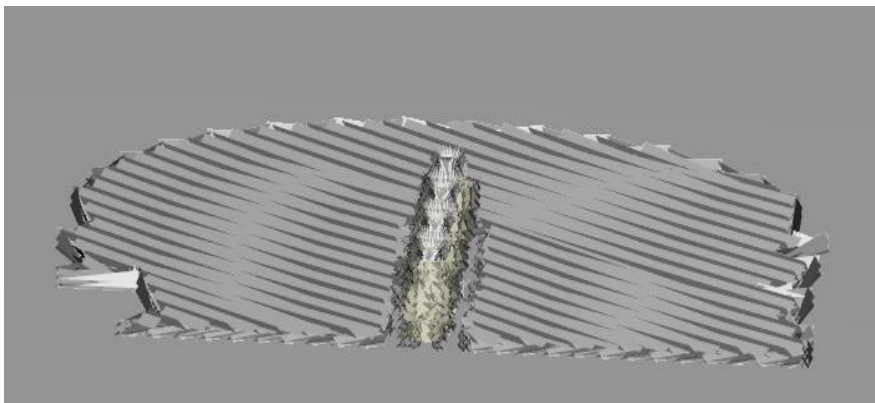
En la vista previa se muestra la impresión de la cadena compuesta de todas sus partes móviles ya ensamblada y al finalizar el proceso de fabricación y remover el material de soporte permita utilizar la pieza en la vida real.

Figura 59. **Vista previa de impresión 3D para cadena de transmisión**



Fuente: elaboración propia.

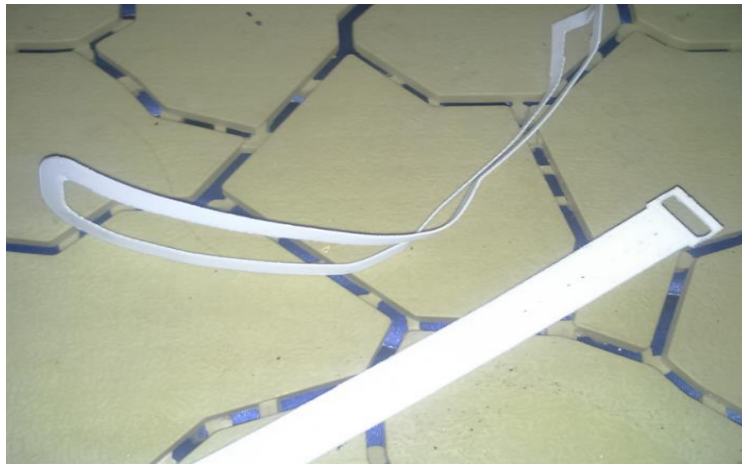
Figura 60. **Vista previa de impresión 3D para cadena de transmisión con material de soporte, soluble al agua.**



Fuente: elaboración propia.

El material de soporte se removió con facilidad de la pulsera de reloj; cabe mencionar que con otros materiales no es necesario material de desecho material como ABS y PLA ya que estos materiales tienen mejor adherencia a la plataforma de impresión, pero por factores de versatilidad y personalización de la pulsera aprovechando las propiedades del nylon es mejor para su fabricación.

Figura 61. **Material de desecho de pulsera para reloj impresa en 3D.**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Propiedades del producto

El producto fabricado por impresora 3D y con material nylon contiene características relevantes: buena resistencia a los esfuerzos de fatiga gracias a la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM), gran resistencia al desgaste, alto nivel de tenacidad, gran deslizamiento, menor al de los materiales ABS y PLA, acabado superficial liso (para aplicaciones de piezas que deben soportar esfuerzos de fricción), este tipo de material da lugar a la creación de productos flexibles y a la misma vez resistentes, este material

también puede ser teñido con cualquier colorante, dando como resultado productos con buenos acabados y superficies perfectas.

Muchas son las propiedades que el proceso aditivo por nylon puede desarrollar en las piezas impresas, la pulsera para reloj mostró propiedades de suavidad, buen movimiento, brillo, entre otros; pero estos solo son propiedades asociadas a lo estético, pero el material por si solo contiene propiedades de tenacidad, resistencia a la abrasión, alto grado a deformación por esfuerzos de fatiga e impacto y sobre todo buena resistencia a los cambios al ambiente.

Los filamentos de nylon de tipo natural tienen una alta resistencia y alto grado de flexibilidad y dureza, en cuanto a esfuerzos de impacto, se encuentran en diámetros de 1.70 y 3 mm.

Los filamentos de tipo transparente permiten el desarrollo de piezas transparentes y con buenos acabados para piezas con espesor delgado y reúne las mismas características que los filamentos de color natural y se encuentran filamentos con diámetros de 1.70 mm, se utilizan para el desarrollo de piezas de tipo odontológico y prototipado rápido.

4.4.1. Físicas

Tabla VII. **Propiedades físicas de los filamentos para impresión 3D de nylon**

Densidad (gr/cm^3)	1,13
Absorción del agua	1,2

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Mecánicas

Tabla VIII. **Propiedades mecánicas de los filamentos para impresión 3D de nylon**

Resistencia a la tensión (lbs/pulg ²)	11,5
Resistencia a la flexión (lbs/pulg ²)	16,5
Módulo de flexión (lbs/pulg ²)	400
Alargamiento en la rotura (%)	48
Coefficiente de fricción	0.3
Coefficiente de poisson	0.39
Resistencia al impacto (KJ m ⁻²)	3.8

Fuente: elaboración propia.

4.5. Manejo de materiales

El manejo de material para la fabricación de productos 3D lo controla la impresora 3D como se vio anteriormente; en el desarrollo se determinó la cantidad de gramos de material utilizado y cuánto material queda en el cartucho de material de alimentación. Por lo que el manejo de material es más preciso y se mantiene controlado en la realización de cualquier tipo de producto. Y que se puede controlar el material de desecho que se origina en la fabricación y así utilizar el material ahorrado en otras piezas y elevar la productividad del proceso.

4.5.1. Materia prima

La materia prima para el desarrollo del producto de implementación es el polímero nylon, material que está enrollado en forma de filamento de diámetro de 3mm y 1.70 mm, material con características de impresión de alta calidad para fabricaciones más duraderas, más fuertes y flexibles.

Pero también se puede utilizar materiales de tipo ABS y PLA, tomando en cuenta que las propiedades del producto cambiarán, ya que estos materiales son de tipo estándar, pero con más colores para la fabricación (20 colores), materiales que hasta brillan en la oscuridad; el PLA con características de estabilidad dimensional y el ABS un material con propiedades de alto índices contra esfuerzos de impacto.

Los materiales responden bien a la fabricación de piezas por proceso de aditivo 3D y que su almacenaje de los cartuchos consta con un sello de bloqueo de la humedad que prologa significativamente la vida útil de cada cartucho de 6 a 8 meses, por lo que calidad de cada impresión está garantizada.

Figura 62. **Materia prima para la fabricación de pulsera para reloj por proceso aditivo**



Fuente: <http://www.3dsystems.com/shop/cubepro/supplies>. Consulta: 27 de julio de 2016.

Pero la innovación de la materia prima para los productos fabricados por impresora 3D (FDA) no se limita a la utilización de solo materiales de tipo polimérico sino se han desarrollado actualmente otros materiales que se pueden fundir a altas temperaturas y que prestan nuevas propiedades en la fabricación de nuevos productos. La impresión 3D por deposición de material

cuenta con materias primas de filamentos de material compuesto de madera, material de alta tecnología y de la elaboración de productos de alta complejidad en diseño y detalle en la artesanía digital.

Figura 63. **Materia prima a base compuestos de madera para impresa 3D FDM**



Fuente: <http://www.3dsystems.com/shop/cartridges/wood>. Consulta: 27 de julio de 2016.

4.5.2. Producto terminado

Se retiró el material de soporte de la pieza fabricada por impresión 3D para colocar las piezas sobre la pulsera, para formar el reloj, las piezas

encajaron perfectamente, piezas de anclaje y seguro. La pulsera cuenta un seguro de metal anticorrosivo que permite el cierre de la pulsera, evitando que la pulsera caiga al suelo en un giro brusco de la muñeca. Tiene un anclaje y una argolla sobre la pulsera para colocar el reloj que puede ser retirado para colocarse en una cadena, el diseño es tipo minimalista y personalizado.

La pulsera cuenta con varias características innovadoras en la manufactura industrial, no solo por su material sino por su combinación con el proceso de impresión 3D ya que el proceso forma capa por capa de nylon que incrementa su rigidez y flexibilidad, aumentando su resistencia a la penetración y al corte. Su bajo peso en comparación a otros materiales poliméricos aprovechando la propiedad del nylon de impregnación de color.

El producto cuenta con un reloj de tipo tradicional el cual puede ser retirado de la pulsera por sus piezas de anclaje para ser utilizado como un colgante de cuello y para su mantenimiento.

En el mercado ya se desarrollan las pulseras impresas en 3D para relojes digitales y microreproductores, con materiales a base de nylon y PLA. Dando un giro a la innovación de la personalización de piezas ornamentales, aprovechando las características de los procesos de fabricación 3D: impresión por estereolitografía, sinterización, inyección y, como este caso por deposición de material fundido; además de realizar la pulsera para reloj, también se fabricaron otras piezas de tipo ornamental con el objetivo de demostrar la capacidad de la máquina para manufactura piezas de pequeñas dimensiones y colgantes para desarrollar la capacidad de realizar pequeños detalles en la piezas. A continuación, se muestran distintas piezas se fabricadas con distintos materiales, tipo nylon y ABS.

Figura 64. **productos manufacturados por proceso aditivo 3D**



Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Acabados finales de la pulsera impresa en 3D**



Fuente: elaboración propia.

También se muestra el producto terminado de la máquina para tatuajes ensamblado y pintado en su totalidad, proceso elaborado por Alejandro Holms; la máquina cumple con su función y objetivo del diseñador. Se contempla que la máquina una vez rectificada y pintada tiene un excelente acabado superficial y demuestra la capacidad del proceso de manufactura de la impresión 3D.

Figura 66. **Máquina para tatuajes con partes impresas en 3D**



Fuente: elaboración propia.

4.6. Implementación del producto

A continuación, se muestra la implementación de los productos desarrollados por manufactura aditiva 3D.

Figura 67. Implementación de pulsera para reloj



Fuente: elaboración propia.

El material del que está hecha la pulsera es nylon que es muy liviano y su comportamiento es muy adaptable al cuerpo humano por sus propiedades químicas y mecánicas; también tiene muy buen acabado superficial y también

se determinó que se pueden hacer piezas con dimensiones más pequeñas y mantiene su buena flexibilidad y tenacidad.

Figura 68. **Implementación de aretes impresos en 3D**



Fuete: elaboración propia.

4.7. Logística en el proceso

Para desarrollar productos por procesos de manufactura industrial se necesita contar con herramientas de logística para realizar productos innovadores y de forma óptima. El proceso de impresión 3D desarrolla varias

alternativas para realizar un proceso complicado permitiendo desarrollar nuevas oportunidades de fabricación. Como la manufactura de productos ya ensamblados en todas sus partes y con un mismo material, desarrollar piezas que, por otros procesos tradicionales, elevan sus costos de fabricación y transporte. Por lo que contar con una impresora 3D permite crear un campo con herramientas que prestan solución a varios problemas de manufactura. En el estudio del desarrollo de la impresora 3D se analizan dos elementos muy importantes en la logística de un proceso de manufactura: el ensamble y el mantenimiento, ya que los dos permiten realizar un proceso eficiente.

4.7.1. Ensamble

Los procesos tradicionales de manufactura, desarrollan piezas por separado para luego realizar un montaje de todas ellas, para crear un objeto funcional y con alto grado de precisión dimensional, por ejemplo al desarrollar una cadena de transmisión no importando su material es necesario crear parte por parte como; los pasadores, rodillos y placas laterales, para luego ensamblar las piezas hasta formar la cadena, esto mediante un proceso de unión ya sea automatizado o manual, lo que eleva los costos de producción de objetos funcionales, y por los materiales que se desechan en la fabricación de la piezas por separado.

En el proceso de impresión 3D se puede fabricar en más de un material, objetos funcionales y ensamblados por completo, disminuyendo los costos y tiempos de fabricación debido a que su proceso en 3D, permite sujetar piezas con material de soporte que es fácil de remover, las piezas pueden ser movibles y con un alto grado de precisión que permiten satisfacer los deseos y requerimientos de las personas que necesitan el producto. La fabricación de objetos ensamblados es una estrategia de logística, ya que perfecciona el

proceso de manufactura, dando la ventaja de crear productos innovadores y que una vez terminada su manufactura sean funcionales.

Figura 69. **Cadena impresa con todas sus partes ensambladas en su proceso**



Fuente: elaboración propia.

4.7.2. Mantenimiento

En la profesión de ingeniería industrial e ingeniería mecánica industrial uno de los objetivos de gran importancia en el contexto global es la contribución al avance o mejoramiento continuo del entorno productivo de un bien o servicio, mediante herramientas que permitan desarrollar un proceso óptimo y eficaz.

Una de esas herramientas es el mantenimiento que permite asegurar la estabilidad de un proceso mediante el cuidado y conservación del equipo y maquinaria que se encarga de manufacturar piezas que conforman un producto, esto con el objetivo de mantener en buen funcionamiento una determinada operación que conforma un proceso, manteniendo en perfecto estado el buen funcionamiento de todos los elementos productivos de la empresa, para lograr su máximo rendimiento con la calidad adecuada y con un mínimo costo. Es importante mencionar que no se está indicando que, con la máxima calidad, ya que la calidad que se requiere o exige de una máquina o instalación debe ser en función de la índole del producto a obtener en la fabricación.

La impresora 3D es un elemento auxiliar para realizar el objetivo principal del mantenimiento por su proceso de fabricación de piezas por diseño y escaneo. En Guatemala ya hay empresas que utilizan como respaldo de mantenimiento el proceso de escaneo e impresión tridimensional para solucionar problemas de corrección o prevención; por ejemplo, la utilización de la impresora a base de metal para fabricar piezas para máquinas en las que no se puede evitar el desgaste o falla, y que cambiarlas lleva altos costos por adquisición y transporte. Se pueden disminuir fabricando dichas piezas en la misma planta o empresa con el uso de la impresora 3D.

4.7.2.1. Correctivo

El mantenimiento correctivo es el que se encarga en reparar una falla o avería establecida por diversas causas, es decir, un proceso se ha detenido y se requiere que vuelva a normalidad y detener o minimizar los costos por paradas forzadas de mantenimiento. La impresora 3D es un auxiliar en dicho mantenimiento, reparar las averías con la fabricación de repuestos de máquinas e instalaciones, reduce el tiempo de respuesta, elimina las fallas sistemáticas

que producen un aumento en los costos de mantenimiento correctivo, y trata de mantener las máquinas e instalaciones en las condiciones y estado próximo que tenían cuando eran nuevos.

Algunos de los factores por lo que la impresora 3D puede ser un auxiliar en el mantenimiento correctivo son:

- Un aumento de mecanización.
- Plazos de reparación más cortos.
- Exigencia de calidad en un proceso.
- Evitar las horas extraordinarias de trabajo por reposición de tiempo de producción.
- Evitar un número mayor de paros de máquinas.

4.7.2.2. Preventivo

Este mantenimiento es el que evita las fallas en un proceso de producción o en sus instalaciones, basándose en un plan, por medio de registros e historiales de verificación, con el objetivo de anticipar alguna anomalía que afecte el proceso productivo; la impresora 3D es también un auxiliar de este mantenimiento, ya que mediante verificaciones periódicas o programadas se puede determinar medidas de anticipación ante alguna falla futura.

Es decir, si se determina que una pieza puede fallar en un tiempo determinado, se crea un plan de contingencia mediante el proceso de fabricación 3D. Es decir, se fabrica la pieza en el tiempo correcto para que se pueda cambiar o tener sin que se tenga algún tipo de paro forzado, evitando altos costos por falla o avería, ya que pocas veces falla un elemento de una

máquina o instalación, sin provocar deterioro o falla, en otra pieza o componente relacionado, con lo que se reduce su tiempo admisible de avería.

Además de evitar un efecto adverso en otros componentes del sistema, las fallas por no tener un plan de contingencia o preventivo crean riesgo para el personal de producción desajuste de programas y aumentan los costos de operación y producción.

5. RESULTADOS O MEJORA CONTINÚA

5.1. Actualizaciones tecnológicas

La utilización de impresora por proceso de manufactura tridimensional para la fabricación de nuevos productos, que puedan satisfacer los nuevos requerimientos que hoy en día las personas demandan, sigue evolucionando con nuevas tecnologías innovadoras, desde sus materiales, tipo de proceso y tiempo de formado.

La impresora 3D ha logrado pasar barreras desde la manufactura de prototipos a base de polímeros, a la fabricación de órganos humanos e incluso fabricar partes electrónicas funcionales, como circuitos integrados. Para muchos escépticos, la tecnología aún es muy lenta, por lo que se siguen desarrollando nuevos proyectos para cubrir nuevos campos de la ingeniería.

Muchos son los proyectos que pretenden evolucionar la tecnología de impresión 3D e incrementar la velocidad de fabricación hasta 50 veces más, modificando sus características y propiedades. Uno de los proyectos actualmente a modificado el proceso de tipo estereolitográfico, por medio de un depósito lleno de resina fotosensible que se endurece y que toma la forma deseada, usando capas de concentración de luz, reduciendo su costo de producción y cantidad material de desecho a cero.

Otros proyectos se basan la formación por medio de luz y oxígeno que toman rigidez y forma, por medio de resinas y fibras de plástico, reduciendo tiempos de fabricación a nivel industrial, brindando nuevas oportunidades a la tecnología y nuevos procesos de manufactura y la ingeniería de los materiales. Entre estas nuevas tecnologías se pueden mencionar: las impresoras

industriales Slash 3D y Carbon3D. La evolución del proceso de impresión 3D también se desarrolla en el campo de la ciencia de los materiales para brindar nuevas oportunidades y aplicaciones para la transformación de las materias primas en productos terminados y competitivos.

También se desarrollan nuevos materiales para impresión tridimensional con base en nanocompuestos y materiales reciclados. Las materias compuestas de dos o más materiales diferentes incrementan el potencial de fabricación no solo por el método tradicional, sino por nuevos métodos de manufactura (impresión 3D) mejorando las propiedades del compuesto en comparación con las propiedades por separado de cada material, para que se pueda desarrollar una combinación a nanoescala, se necesita que por lo menos uno de los componentes tenga al menos una estructura o dimensión de tamaño nanoscópico, que está alrededor de 10^{-9} m.

Los filamentos a base de fibras de carbono se pueden utilizar para la manufactura de bicicletas y partes para automóviles, debido a sus destacadas y fundamentales propiedades mecánicas y su relevante rasgo de ligereza. El campo de los nuevos materiales para impresora 3D está creciendo, abarcando nuevas áreas: industria automotriz, deportiva, muebles, electrodomésticos, entre otros. Las actualizaciones de esta tecnología y su implementación incluyen otras aplicaciones de ingeniería, por su comportamiento, llevando la investigación a nanoescala que lleva la manufactura industrial a un nuevo nivel.

Los resultados de estas nuevas tecnologías son beneficiosos, cambiando y fortaleciendo las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de un material común en comparación. Por ejemplo, la conductividad térmica de un nanotubo de carbono es cuatro veces mayor que la del mejor conductor a base de polímeros, la resistencia mecánica es mayor que la de un acero; además, los

nanotubos pueden desarrollar nuevos componentes en los polímeros, permitiendo que conduzcan corriente eléctrica. Esto mediante el reforzamiento de los filamentos de polímeros con nanotubos, desarrollando materiales potenciales como elementos disipadores de calor para aplicaciones en ambientes agresivos y altos esfuerzos mecánicos.

Estos avances no solo se han aplicado a la temática de nanocompuestos con matriz polimérica, sino que también se han realizado nuevos avances en el desarrollo de materiales nanocompuestos con matriz metálica desarrollando nuevas oportunidades para la evolución industrial manufacturera, brindando nuevos productos con una gama de propiedades, siempre con el enfoque de llenar todas expectativas y características de los clientes.

El centro de investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica pretende desarrollar aditivos con el reciclaje de los plásticos debido a que muchos de estos tienen muy buenas propiedades para la manufactura. Por lo que se espera realizar la recuperación, y el reprocesamiento de polímeros para la fabricación de nuevos materiales combinados con materiales nano, como los nanotubos de carbono y así usarlos en nuevas aplicaciones. Estos polímeros son utilizados para embalaje y envasado, y terminan como desperdicios plásticos, en su mayoría de origen doméstico, y debido a que algunos de estos tardan en biodegradarse pueden dañar el medio ambiente.

Utilizando materiales biodegradables o reciclados se podrá formar nuevos materiales con aditivos para ser usados como material de aporte para la fabricación de piezas o artefactos por proceso de manufactura de deposición de material fundido 3D, y a la vez ayudar a evitar la desaparición de materias primas no renovables y fortalecer la oportunidad de aprendizaje con piezas reales y mejorar la aplicación de las distintas ramas de la ingeniería.

5.2. Evaluaciones

Durante el proceso experimental e innovación de los distintos procesos de manufactura, el Centro de Investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica debe mantener un control de los distintos resultados obtenidos, buscando la uniformidad, compactación, solidez y resultados demostrables y comprobables, determinando varios aspectos durante su proceso de investigación y actualización. Esto con el objetivo de presentar un parámetro de esta nueva tecnología de forma estándar, a continuación, se presentan los factores más importantes para la evaluación y capacitación del proceso de manufactura 3D.

5.2.1. Ciclo diseño

En el diseño y elaboración de un objeto por proceso de manufactura aditiva consta de algunos factores para su realización y evaluación, para desarrollar un producto con altos índices de calidad y que pueda competir en el mercado de forma innovadora se debe seguir una serie de pasos que determinan el diseño y proceso de impresión 3D. Cada uno con un alto grado de importancia para el proceso del diseño o modelado de productos, se debe tomar en cuenta que cada factor es de importancia para delimitar barreras y seleccionar estrategias de producción y mercadotecnia, el primero y último factor se unen por medio de la retroalimentación, ya sea para mejoramiento, relanzamiento o actualización. Es decir, que siempre se debe cumplir el ciclo para poder brindar una evaluación eficaz y eficiente del proceso. El ciclo del diseño para impresión 3D está dividido por los siguientes factores que permiten su elaboración.

- Generación de la idea: para desarrollar un producto por impresión 3D se debe crear una idea del tipo de producto nuevo, determinando el porqué de

su realización, mercado potencial, si es técnicamente viable fabricarlo, por dicho proceso y si tendrá beneficios el producto; es importante resaltar que se crearán más de una idea porque lo se debe elaborar una filtración de ideas, lo que permite evaluar cuál es la más potencial para su desarrollo y que ella se deduce el siguiente factor. Para la evaluación de las ideas se debe tomar en cuenta los siguientes factores, los clientes, colaboradores y los vendedores. Ya que los tres permiten el proceso de retroalimentación durante el desarrollo de todos los factores durante el ciclo del diseño.

- Selección del objeto a fabricar: en este factor se deben eliminar todos los conceptos que no encajan y que no permitan el desarrollo del producto, en la selección del producto se desarrolla el concepto, delimitando el mercado objetivo por medio de la determinación de los beneficios que proporcionará su fabricación, el método de fabricación por impresión 3D, la materia prima, viabilidad por proceso por manufactura tridimensional, costos de producción y cuál será la reacción de los consumidores ante el producto.
- Diseño preliminar: una vez seleccionado el producto que se desea manufacturar, se realiza un diseño preliminar por medio de un software de diseño 3D, el cual presentará todas las características de forma preliminar, esto con los factores que se plantearon anteriormente, y desarrollando la idea principal para el proceso de manufactura; en el diseño preliminar se puede presentar un modelo animado del producto con sus características requeridas para dar aprobación al siguiente paso o modificar algo, en el diseño preliminar también se debe presenta el costo que tendrá producir el producto, estimación del precio de venta, volúmenes de venta y los beneficios.

- Construcción del prototipo: este factor desarrolla la presentación del producto el cual se debe parecer lo mayormente posible al producto final; este prototipo puede variar las dimensiones, según la escala elegida los materiales también pueden variar según la representación que se desea, debido que se puede fabricar con las materias primas con las que se tiene planteado realizar el diseño definitivo del producto, pero también se puede fabricar un prototipo, con dimensiones o materiales diferentes al producto final, esto por el costo de fabricación, y que prototipo presenta un idea del producto.
- Pruebas: las pruebas se dividen en dos formas para su evaluación: pruebas de mercado; se miden en la aceptación por los clientes, determinando un mercado potencial; y pruebas de funcionamiento, sirven para comprobar cada una de las especificaciones técnicas del producto fabricado por impresión 3D.
- Diseño definitivo: este factor evalúa todos los cambios y actualizaciones consideradas en los factores anteriores, se desarrolla la tecnología del proceso de fabricación tridimensional, se implantan controles de calidad para poder satisfacer los requerimientos de los clientes y se desarrollan procedimientos para medir el rendimiento del diseño final.
- Retroalimentación: en este factor se recopila información obtenida durante el transcurso de las otras fases y del desarrollo del producto fuera del proceso de producción, con el objetivo de verificar la calidad del producto, para mejorar o actualizar alguna de sus propiedades o características, las cuales puedan permitir un alto grado satisfacción de los clientes.

5.2.2. Propiedades

Anteriormente en el ciclo de diseño uno de los factores determina las especificaciones técnicas del producto estableciendo las propiedades del producto fabricado por impresión 3D; en la ciencia de los materiales se estudia y descubre nuevos materiales o nuevas propiedades de los materiales existentes, y como el proceso de manufactura 3D, se desarrolla de forma diferente a los procesos de manufactura tradicionales, se debe mantener bajo estudio y evaluación las propiedades actuales y nuevas, tanto de los nuevos materiales para impresión como las nuevas propiedades del proceso; una de las especialidades derivadas de la ciencia de los materiales es la ingeniería de los materiales, la ciencia aplicada que desarrolla nuevas aplicaciones para convertir la materia prima en un producto y que pueda satisfacer todos los requerimientos del mercado, por lo que la evaluación también se debe hacer después de la fabricación.

Por lo tanto, se debe mantener bajo evaluación todas las propiedades del producto: propiedades físicas y mecánicas que anteriormente se presentaron, debido a que estas pueden ser modificadas con la aportación de otros materiales puros o compuestos, o que se reutilizan para la elaboración de rollos de filamento para el proceso de deposición de material fundido. Actualmente, la industria manufacturera establece muchas de las características que se incorporan en los productos finales, por medio de la obtención de propiedades y datos, con el uso de ensayos normalizados.

Para definir las características y propiedades de cada material y proceso de manufactura 3D, se deben identificar la forma de la pieza para ensayo, dimensiones, el tipo de material polimérico.

Esto a través de la normalización de organizaciones internacionales, las cuales han establecido parámetros que determinan un listado de propiedades relativas al ensayo que se desarrolle.

Las piezas fabricadas por el proceso de fabricación aditiva, utiliza en su mayoría materiales de tipo polimérico, se deben de evaluar las propiedades de sus estructura interna y externa, estableciendo si el proceso 3D, tiene ventajas sobre otros procesos tradicionales de la manufactura, ya que su proceso se desarrolla de forma diferente y con nuevos materiales. A continuación, se presenta un listado de ensayos normalizados para la evaluación de sus respectivas propiedades de los polímeros.

Tabla IX. Listado de ensayos normalizados para polímeros según las respectivas normas

Propiedad	ISO	ASTM	Unidad SI
Absorción de agua		D-759	cambios registrados
Coefficiente lineal de expansión térmica		D-696	mm/mm/°C
Conductividad térmica		C-177	W/Km
Constante dieléctrica	1325	D-150	adimensional
Contracción de moldeo	3146	D-955	mm/mm
Deformación de carga		D-621	%
Deformación por compresión	1856	D-395	Pa
Densidad	1183	D-1505	g/cm ³
Densidad aparente		D-1895	g/cm ³
Densidad relativa	1183	D-792	adimensional
Dureza			
Durómetro	868	D-2240	dial real
Rockwell	2037/2	D-785	dial real
Barcol		D-2583	dial real
Elongación	R527	D-638	%
Envejecimiento a la intemperie	4582, 4607	D-1435	cambios
Factor de compresión	171	D-1895	adimensional

Continuación de la tabla IX.

Fluencia	899	D-2990	Pa
Hinchamiento por disolvente		D-471	J
índice de moldeo		D-731	Pa
índice de oxígeno		D-2863	%
índice de refracción	489	D-542	adimensional
Inflamabilidad	181,871,1210	D-635	cm/min y cm/s
Inmersión 24 horas	62, 585, 960	D-570	%
Módulo de elasticidad			
En compresión	4137	D-695	Pa
En tangente, flexión		D-790	Pa
En tracción		D-638	Pa
Procedimiento acondicionamiento	291	D-618	unidades métricas
Propiedades mecánicas dinámicas		D-2236	adimensional
Decremento logarítmico			
Módulo de elasticidad en cizalla			
Punto de fusión	1218,3146	D-2117	°C
Punto de reblandecimiento Vicat	306	D-1525	ohm.cm
Resistencia a la abrasión superficial		D-1044	cambios registrados
Resistencia a la cizalla		D-732	Pa
Resistencia a la compresión	604	D-695	Pa
Resistencia a la fatiga	3385	D-671	número de ciclos
Resistencia a la flexión	178	D-790	Pa
Resistencia a la tracción	R527	D-638	Pa
Resistencia al arco	1325	D-746	s
Resistencia al impacto - Dardo		D-1709	Pa @ 50% fallo
-Charpy	179		J/m
-Izod	180	D-256	J/m
Resistencia al rasgado		D-624	Pa
Resistencia dieléctrica	3915	D-149	V/mm
Resistencia química	175	D-543	cambios registrados
Rigidez de flexión		D-747	Pa
Rotura de fluencia		D-2990	Pa
Tamaño de partícula		D-1921	micrómetros
Temperatura de deflexión	75	D-648	°Ca18,85MPa
Temperatura de flujo		D-569	°C
Temperatura de fragilidad	974	D-746	°C a 50%

Continuación de la tabla IX.

Transmitancia luminosa, Turbiedad		D-1003	%
Vapor de agua		E-96	g/24h
Velocidad de flujo del fundido, termoplásticos.	1133	D-1238	g/10min.

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/listado-de-ensayos-normalizados.html>. Consulta: 3 de agosto de 2016.

5.2.3. Rendimiento

El rendimiento de la impresora 3D se determina en base en los resultados obtenidos, basándose en qué tan buenos son y qué otros atributos tienen en la fabricación, en un intervalo de tiempo determinado. Hay que tomar en cuenta que como el proceso tiene una entrada de energía eléctrica y en su salida se obtiene energía mecánica y térmica, el rendimiento nunca va ser del 100 % debido a que tiene pérdidas en su entorno; el sistema tridimensional puede que tenga pérdidas pero son muy pequeñas en comparación a otros procesos de manufactura tradicionales; la temperatura máxima de funcionamiento en la punta del extrusor es de 536 ° F (280 ° C) reduce el tiempo de producción total, fabricando y ensamblando al mismo tiempo, con una resolución de acabado superficial de 0.100 mm (100 micras). Pero el rendimiento puede ser mucho mejor según el tipo de proceso de manufactura tridimensional ya que el tiempo y acabados superficiales mejoran en máquinas de tipo profesional con proceso de tipo estereolitográfico y por sinterización selectiva por láser.

5.2.4. Eficiencia

La eficiencia de la impresora 3D depende del tipo de proceso de manufactura tridimensional ya que, se determina en el trabajo útil realizado en

un determinado intervalo de tiempo, y según el tipo de proceso y material así varía la eficiencia. Aunque la opción más económica sea la impresión de deposición de material fundido pero a la vez es la que menor rendimiento tiene para fabricación de objetos, tiene un tiempo de fabricación estándar de 15 mm máximo en un segundo; mientras que otras máquinas profesionales realizan en promedio 55 mm por segundo; por lo que la eficiencia de la máquina depende del tipo de pieza que se desea imprimir y de la forma y posición de impresión, como anteriormente se mencionó, el tiempo de fabricación y acabado superficial depende de la posición y forma de la pieza a fabricar. Esto varía también según el material y tipo de proceso de manufactura 3D.

5.2.5. Calidad

La calidad es un aspecto de gran importancia en el desarrollo de un producto tanto para el fabricante como para la persona que adquiere el producto, la tecnología de impresión 3D sigue traspasando campos e innovando en el transcurso del tiempo, con nuevos métodos y materiales, con el objetivo de ir aumentando la capacidad, precisión, acabados superficiales, y sobre todo, mejorar el tiempo de fabricación que puedan ser de gran aporte a la ingeniería y prototipado. La calidad del proceso depende de varios factores que permiten obtener un cierto grado de calidad en el producto.

- **Materiales:** existe un sinfín de materiales en el campo de la impresión 3D y muchos permiten obtener piezas con increíbles acabados superficiales, por lo que se debe escoger muy bien el tipo de material para el tipo de pieza a fabricar, determinando sus propiedades y características las cuales tendrá repercusión en la pieza resultante. Ya que, al escoger un material de baja calidad, da como resultado un producto de deficiencias en uso e incluso

averías en la máquina. Existe una diversidad de formas de elegir un material bueno para fabricación.

- Diámetro: varía según las especificaciones de la impresora, hay filamentos con diferentes diámetros, pero lo más recomendable a utilizar es la de menor área diametral, ya que permite una mejor extrusión y retracción, esto en función que el número de revoluciones generadas por el motor paso a paso es directamente proporcional al diámetro del filamento, influyendo en una mejor precisión y calidad de la pieza fabricada.
- La tolerancia del material: una vez elegido el diámetro del filamento de material de aporte para la fabricación 3D, se debe considerar un factor de gran importancia para la calidad de los productos fabricados, el filamento es bueno por sus distintas propiedades del material que está compuesto, pero también se debe tomar en cuenta el proceso de fabricación, el cual determina la tolerancia o margen de error que tiene cada material para cada proceso, el programa de control para impresión, determina el volumen de extrusión en base al diámetro del filamento, el diámetro de la boquilla de extrusión y la velocidad de flujo, en otras palabras el margen de error en el área de aplicación depende del tipo de material y diámetro, ya que si el diámetro de la bobina es irregular el cálculo teórico por el programa de control, tendrá una gran variación en comparación al que determina en la fabricación real. Y como consecuencia afecta la calidad del proceso de manufactura, ya que habrá una gran variación en el volumen de polímero extruido, el programa no podrá ajustar ese parámetro para compensar la gran variación, generando grandes defectos de

fabricación. Los parámetros de tolerancia de que la impresora 3D controlan la calidad del proceso y de la pieza, ya que, si el diámetro del filamento está fuera de los parámetros, afecta la velocidad y rendimiento de la impresora.

- Humedad e impurezas: cada uno de los materiales tiene una temperatura de fundición, al tener áreas húmedas se crean pequeñas evaporaciones en la punta del extrusor, produciendo imperfecciones y mala adherencia en la formación de capa por capa. Los materiales de buena calidad están bien envasados al vacío, y con protectores de sílice que absorben la humedad, y que cada vez que se utiliza no es necesario ser retirado o guardado ya que con esta protección es mucho menos sensible al medio ambiente. Cuando se encuentran impurezas en las distintas bobinas de filamento, provocan grandes defectos en la calidad de los productos impresos, desde la mala viscosidad en la fundición, bloqueos en los inyectores, interrupciones en el proceso de impresión, grandes intervalos de tiempo para mantenimiento correctivo en la impresora.
- Tipo de proceso de impresión: anteriormente se determinaron los distintos procesos de impresión 3D, los cuales se diferencian por su tipo de fabricación y materiales, por lo que su calidad tampoco es la misma, existen técnicas por medio de la aplicación de luz ultravioleta a un polímero en fase líquida, conforme se desarrolla el proceso de solidificación capa por capa, con una base que se desplaza a hacia abajo con el objetivo de haya ejecución de la luz UV, con este método se consiguen piezas de alta calidad, aunque para remover es difícil en comparación a otros procesos y se desperdicia material que sirvió de soporte. Pero existen otras tecnologías

por medio de láser y materiales en polvo, esto mediante el proceso de impacto al material con un láser, dando como resultado la fundición y solidificación de los distintos materiales, transformando en la forma deseada, y dando como resultado grandes características de calidad en el proceso, ya que no se desperdicia nada de material. Y que el material que no se utilizó se deposita en el mismo lugar de impresión. En fin, estos solo son algunos procesos de impresión y cada uno varía según el tipo de calidad que se desea en un proceso de impresión 3D.

- Diseño en 3D: este es un gran factor que determina la calidad de los objetos impresos por tecnología 3D, ya que determina la forma y características del producto final, ya que, si se crean diseños a grandes rasgos, la impresión no detectara fallas de diseño y fabricara también las imperfecciones que a simple vista no se visualizan. Por lo que, para crear piezas con altos índices de calidad, se debe tomar en cuenta que entre mayor conocimiento en diseño y mejor sea el programa para modelar, así se determina los acabados y perfección de las piezas.

5.3. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la fabricación de un producto con tecnología de impresión 3D son:

- Experimentación con materiales para manufactura de productos por medio de fabricación aditiva 3D.
- Obtención de conocimientos y tecnología del proceso para formación de un equipo de experimentación continúa.
- Nuevas competencias para la Unidad de Investigación de la Escuela de ingeniería Mecánica.

- Productos con buenos resultados en cuanto a uniformidad, compactación y solidez.
- No tener limitación de barreras para la construcción de ideas e incluso en la fase de prototipo.
- Tecnología que no se limita por diseño o tipo de material.
- Un proceso de manufactura industrial para desarrollo e innovación profesional de ingeniería mecánica y mecánica industrial.
- Fabricación de productos en cualquier escala dimensional.
- Elaboración de prototipos para garantizar la calidad de los productos.
- Productos ensamblados durante la fabricación.
- Manufactura de piezas con mejor planteamiento ergonómico.

5.3.1. Interpretación

Al desarrollar e innovar la fabricación de un proceso tradicional de diversos artefactos con el uso de impresora 3D se determinaron varios resultados durante fase experimental que son de gran importancia en la ingeniería y diseño industrial; se determinaron grandes aportes por la manufactura aditiva con creaciones de alta calidad física de productos o prototipos que antes requerían de maquinaria de alto costo y también apoyo de herramientas de diseño CAD de alta sofisticación.

El no tener limitación de ideas en el proceso, es un factor estratégico e innovador para la creación de productos con nuevas propiedades, altas características ergonómicas y combinación de materiales. La elaboración de productos con buenos resultados de forma uniforme y compactación, se determinó que se pueden fabricar productos ensamblados durante el mismo proceso, que reduce el tiempo y costo económico y que también el desarrollo de productos a cualquier escala, puede establecer oportunidades de marketing

y diseño de productos, así como para la experimentar y evaluar las propiedades y parámetros de artefactos antes de llegar a la etapa final.

La producción de varios productos o piezas, de igual forma o no, establece una variedad de aplicaciones en los distintos campos industriales. Se establecieron nuevas oportunidades para el estudio de nuevos materiales y propiedades que permiten la evolución y desarrollo de la ingeniería y sus ramas, para el estudio y evaluación dentro del campo profesional, con herramientas auxiliares a la tecnología.

5.3.2. Aplicación

En Guatemala ya existen empresas que utilizan la tecnología de la impresión 3D para la fabricación de distintos productos, prototipos, herramientas, repuestos, prótesis, entre otros; aprovechando las propiedades y características del proceso, materiales y productos terminados, para el desarrollo e innovación de distintos campos de la industria, brindando mayor comodidad de uso o consumo, llenando expectativas y requerimientos de calidad. Y lo más importante la tecnología es de gran aporte para la sociedad debido a su bajo costo de fabricación y alto grado de precisión y diseño.

La aplicación de la tecnología de impresión 3D es utilizada en distintas organizaciones con o sin fin de lucro. Debido a que facilita el desarrollo de los procesos de producción y ayuda social, debido a sus grandes aportes de mejora continua, estableciendo estrategias para la satisfacción de todas las características o requerimientos de los clientes o usuarios, extendiendo el campo de cobertura de la fabricación de productos nuevos e innovadores, con altos niveles de calidad y eficiencia.

Por lo que enriquece la aportación de nuevas formas de fabricación y aplicación de nuevas tecnologías en el país de Guatemala.

Figura 70. **Prótesis impresas para niños de escasos recursos de Guatemala.**



Fuente: elaboración propia.

5.4. Ventajas y beneficios

- Innovación de la fabricación tradicional: al no tener limitaciones de diseño y fabricación, permite la elaboración de modelos en varios campos de la industria, desde la elaboración de tejidos humanos, comida, productos ensamblados y productos con nuevas propiedades y características.

- Personalización: los diseños pueden realizarse en función a características que se adaptan mejor a cada uno de los usuarios, por medio de tecnología de escaneo, diseño y ergonómica. No solo para artefactos ornamentales, sino para campos como la medicina (diseño de prótesis), mecánica (piezas o mecanismos con dimensiones de alta complejidad), *marketing* (prototipado de piezas personalizadas), entre otros más.
- Nueva industria o sector: la impresión 3D es una nueva oportunidad para establecer un negocio por medio de realización de maquetas, artefactos de ensayo, prototipos productos. Y no importando si no se tiene un gran conocimiento en diseño, ya que aprovechando sitios de internet que ofrecen diseños de productos, que se pueden descargar gratis o a un costo razonable.
- Menos costos: los costos de ensamble y de material de desecho se reducen hasta llegar a cero por su tipo de proceso y fabricación. También que el proceso de impresión de piezas sea mucho más barato que por modelos tradicionales. Ejemplo de esto es la fabricación de joyas y prótesis externas e internas.
- Versatilidad: la resolución y precisión de los distintos tipos de impresoras permiten la manufactura de nuevos productos, ya que cada una pueda realizar una infinidad de modelos distintos. Ya que muchas máquinas tradicionales, se limitan a especificaciones y características de un solo producto, por lo que si quiere fabricar uno distinto debe adaptarse por medio de moldes, piezas o nuevos mecanismos.

- Mejor tiempo de respuesta: el tiempo de producción y venta se acelera ya que el producto se puede fabricar y vender en un menor tiempo ya que, después de ser fabricado ya es un producto útil y con mayor calidad.
- Evolución de la tecnología: la tecnología sigue evolucionando para poder establecerse con un mejor tiempo de producción y con una gama de materiales únicos, que replacen o puedan ser un auxiliar de procesos tradicionales y de recursos no renovables.

5.5. Acciones correctivas

Se debe tener una mejor curva de aprendizaje en diseño 3D, ya que es indispensable para obtener productos con buenos niveles de calidad y eficiencia con el uso de impresora 3D.

Evitar el rectificado de las piezas con una mejor planificación del ciclo de diseño y fabricación.

Establecer cuál es el mejor proceso de impresión 3D para el producto que se quiera realizar y determinar si es factible su fabricación.

Evitar el aumento de productos inútiles, planteando por medio del ciclo de diseño, si el producto va ser bien aceptado por su uso.

5.6. Monitoreo y seguimiento

Para enfatizar esta tecnología en el ámbito de la manufactura industrial, se deberán crear un equipo de trabajo y ensayo, con el objetivo de seguir desarrollando la tecnología de la impresión 3D en las diferentes ramas de la

ingeniería y otras ramas afines, para ser de gran impacto en la comunidad de la ingeniería, ciencia y tecnología a nivel mundial. Mantener las evaluaciones correspondientes de los distintos resultados de la tecnología 3D e ir profundizando más de las áreas industriales de Guatemala, en su comercialización interna y externa.

Monitoreando la mejora de las propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y químicas. Que permitan la innovación y desarrollo de nuevos grados de calidad en la manufactura industrial, mayores cuidados del ambiente y la ausencia de los requisitos de la herramienta. Y elevar las características del proceso de manufactura tridimensional, con el aporte de nanomateriales y metalurgia de polvos.

CONCLUSIONES

1. Las posibilidades de diseño y personalización que se pueden desarrollar con el proceso de fabricación 3D son muchas ya que no se limita por el tipo de idea o diseño personalizado como otros procesos de manufactura tradicionales gracias a sus distintos procesos de impresión tridimensional y sus materiales.
2. El proceso de fabricación de la impresora 3D se caracteriza por generar un objeto mediante la adición de material, mientras que otros procesos tradicionales sustraen material para la formación del objeto correspondiente.
3. La fabricación de suministros y repuestos por impresión 3D es una estrategia de mantenimiento y logística ya que reducen el tiempo de mantenimiento por obtención de la pieza requerida, disminuyen los costos por paradas forzadas durante la adquisición del repuesto. Diseñando o escaneando los repuestos que comúnmente fallan en un determinado tiempo y que son de gran importancia para el proceso, creando una base de archivos, que cuando se tenga contemplado el cambio se genera la orden de impresión, para tener las piezas en el momento preciso, y eliminar los costos de oportunidad por tener piezas en bodega y los costos por avería.
4. El proceso de impresión 3D actualmente abarca muchos campos de la industria por su increíble combinación de eficiencia y calidad, pero todo depende de la buena aplicación que se establece por su variedad de

materiales y procesos, debido a que un proceso en comparación a otro proceso de fabricación aditiva tiene varias características de calidad y rendimiento.

5. El moldeado y diseño tridimensional sigue evolucionando, generando nuevas características y propiedades en el proceso de manufactura y sus materiales, disminuyendo los costos de fabricación, material de desecho, tiempo de manufactura, entre otros. Determinando múltiples opciones para la fabricación industria.
6. La impresora 3D puede fabricar productos ensamblados durante su proceso, elimina el material de desecho por su proceso de adición, no tiene limitación de diseño y fabricación y actualmente existe y se crean una nueva gama de materiales con distintas propiedades y características para la manufactura industrial.
7. Actualmente, varias industrias utilizan la tecnología de la impresión 3D para innovar sus distintos procesos de fabricación, aprovechando sus distintas ventajas sobre otros métodos tradicionales y estableciendo nuevos métodos de manufactura.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario mantener una evaluación y control de las distintas propiedades y características de las continuas actualizaciones de la tecnología de impresión 3D para determinar las distintas posibilidades de diseño y personalización.
2. Se debe mantener actualizado con base en diseño y modelado 3D ya que esto permitirá buenos resultados en el proceso de fabricación aditiva.
3. Realizar tareas de divulgación en centros escolares y centros de tecnología, para motivar a la innovación tecnológica por medio de proyectos y actividades de demostración de la impresora 3D en la industria.
4. Tomar en cuenta los distintos factores de diseño y calidad para la selección del tipo de proceso y materiales de aportación para obtener como resultado productos o prototipos con propiedades inherentes y características de eficiencia y calidad.
5. Es recomendable analizar el proceso tradicional a sustituir por impresión 3D por medio de proyecciones digitales por medio de los respectivos programas de vista preliminar de la impresora 3D y establecer si es factible o no la fabricación.

6. Se recomienda que, si no es un experto en diseño y modelado de objetos en 3D, visitar gestores por internet para guiarse paso a paso en la construcción del diseño requerido o descargar de las distintas galerías de diseños, el que más se ajuste a los que se desea fabricar.

7. Se deben aprovechar las distintas ventajas del proceso 3D para estudio, comercio e innovación industrial, creando oportunidades de ciencia y desarrollo humano en el país.


BIBLIOGRAFÍA

1. BERCHON, Mathilde; LUYT, Bertier; GILI, Gustavo. *La impresión 3D*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2016. 200 p.
2. CANESSA, E; FONDA, C; ZENNARO, M. *Low-cost 3D printing*. Estados Unidos: ICTP, 2013. 199 p.
3. CALDERÓN, Ariel. *Democratización de la impresión 3D con fotopolímeros*. Chile: Universidad de Chile, 2012. 83 p.
4. CORREIA, Antonio. *Nanociencia y nanotecnología en España*. España: Fundación Phantoms, 2007. 231 p.
5. ELIAS, Xavier. *Reciclaje de residuos industriales: aplicación a la fabricación de materiales para la construcción*. España: Ediciones Díaz de Santos, 2000. 609 p.
6. GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. España: McGraw-Hill Interamericana, 2007. 1062 p.
7. HORVATH, Joan. *Mastering 3D printing*. New York: Apress, 2014. 200 p.

8. JARAUTA, Francisco; MEDINA, Pedro; ARJEN, Oosterman; SANTIAGO, Cirugeda; LÓPEZ, Rogelio; WAGENSBERG, Jorge; GARDNER ,Isabel; MARÍN, Valdés; VEGA, Beatriz; MANZINI, zio; ZABALBEASCOA, Anatxu; GARCÍA, Daniel; GAMONAL, Roberto; DÍAZ, Ana. *Cuadernos de diseño 4: diseño de procesos*. España: IED MADRID, 2014. 184 p.
9. LIPSON, Hod; KURMAN, Melba. *Fabricated, the new world of 3D printing*. Estados Unidos: John Wiley and sons, Inc., 2013. 320 p.
10. VAZHNOV, Andrei. *Impresión 3D, cómo va a cambiar el mundo*. Argentina: Baikal, 2013. 73 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Factura de impresora Cube 3G 3D



Servicios de Artes Gráficas, SA
23 Calle 14-58, Condado El Naranjo
Zona 4 de Mixco Distribodegas 3, interior B-1
Tel: +502 2310-7408 / 2310-7409

FACTURA PROFORMA: 10112015-00
FECHA: 10 de Noviembre del 2015


CLIENTE:
Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos
Ciudad de Guatemala, Guatemala

Moneda: US Dólares

Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio + IVA
	Cube 3G 3D Printer	1	\$ 1,525.00	\$ 1,708.00
	Escáner SENSE	1	\$ 545.00	\$ 610.40
	Consumibles			
	Cartucho Cube ABS (Todos los colores)	10	\$ 60.50	\$ 605.00
	Cartucho Cube PLA (Todos los colores)	10	\$ 60.50	\$ 605.00
	Cube Stick	1	\$ 16.50	\$ 18.48
				\$ 3,546.88

Fuente: Grupo SG.

ANEXO 2. Factura de complementos para impresora Cube 3G 3D

 3D SYSTEMS				
Servicios de Artes Gráficas, SA 23 Calle 14-58, Condado El Naranjo Zona 4 de Mixco Distribodegas 3, Interior B-1 Tel: +502 2310-7408 / 2310-7409		FACTURA PROFORMA: 10112015-00 FECHA: 10 de Noviembre del 2015		
Moneda: US Dólares				
Código	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio + IVA
	CubePro DUO	1	\$ 3,910.00	\$ 4,379.20
	Escáner SENSE	1	\$ 545.00	\$ 610.40
	Consumibles			
	Cartucho Cube ABS (Todos los colores)	10	\$ 132.00	\$ 1,320.00
	Cartucho Cube PLA (Todos los colores)	10	\$ 132.00	\$ 1,320.00
	Magic Glue x2	1	\$ 33.00	\$ 36.96
				\$ 7,666.56

Fuente: Grupo SG.