



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE FUNDICIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D”

**MACAS MONTAÑO CESAR CRISTIAN
PILCO LLERENA KLEBER JOSÉ**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-01-26

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MACAS MONTAÑO CESAR CRISTIAN
PILCO LLERENA KLEBER JOSÉ**

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE FUNDICIÓN MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jhonny Orozco Ramos.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez Fiallos.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MACAS MONTAÑO CESAR CRISTIAN

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE FUNDICIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D”

Fecha de Examinación: 2015-12-17

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Pérez Fiallos ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PILCO LLERENA KLEBER JOSÉ

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE FUNDICIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN 3D”

Fecha de Examinación: 2015-12-17

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jhonny Orozco Ramos DIRECTOR DE TESIS			
Ing. José Pérez Fiallos ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Santillán Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas Montaña Cesar Cristian

Pilco Llerena Kleber José

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Cesar Cristian Macas Montaña y Kleber José Pilco Llerena, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que previenen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Macas Montaña Cesar Cristian
Cedula de identidad: 172156975-2

Pilco Llerena Kleber José
Cedula de identidad: 060426633-8

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la humildad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres Cesar Macas e Irma Montaña gracias por su apoyo, consejos, comprensión, amor, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Narcisa Macas, Mónica Macas, Sonia Macas, Jefferson Macas por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar. A mi sobrino Hugo Yerard quien ha sido y es una mi motivación, inspiración y felicidad.

Cesar Cristian Macas Montaña

El presente tema de grado lo dedico a Dios por darme vida y salud para culminar este anhelado propósito, a mi Padre Raúl y a mi Madre Fanny que con su sacrificio y esfuerzo me brindaron todo su apoyo y confianza, son las personas que más admiro en este mundo por ser personas dedicadas y cariñosas con toda su familia y con su ejemplo me guiaron en todo momento.

A mis abuelitos José y María que en estos momentos estamos pasando por una prueba muy difícil y sé que con la ayuda de Dios la vamos a superar

A todos mis hermanos Mauro, Patricia, Mariela, Cristina, Iván por ser mi mayor motivación, me mostraron que con dedicación y esfuerzo se consiguen todas las metas.

A mi familia y amigos con los cuales disfrute momentos de alegría y tristeza, siempre les estaré eternamente agradecido.

Kleber José Pilco Llerena

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y especialmente a la Escuela de Ingeniería Industrial por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi director de tesis, Ing. Jhonny Orozco y Asesor José Pérez por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

También quiero agradecer a mis padres y hermanos que con su gran esfuerzo siempre supieron darme su apoyo.

Cesar Cristian Macas Montaña

Debo agradecer infinitamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a la facultad de Mecánica y especialmente a la Escuela de Ingeniería Industrial por brindarme la oportunidad de acogerme en sus aulas y transmitirme todo su conocimiento en mis años de estudio, también quiero agradecer al Ing. Jhonny Orozco y al Ing. José Pérez que fueron un apoyo fundamental durante el transcurso de la elaboración de nuestra tesis.

Kleber José Pilco Llerena

CONTENIDO

Pag.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Impresión 3D	3
2.1.1	<i>Impresora 3D.</i>	3
2.1.2	<i>Principio de funcionamiento de la impresora 3D.</i>	3
2.1.3	<i>Clasificación de las impresoras 3D.</i>	4
2.1.4	<i>Materiales utilizados en el modelado por deposición fundida (FDM)</i>	6
2.1.5	<i>Selección de software utilizado en impresoras 3D.</i>	8
2.2	Proceso de Fundición	9
2.2.1	<i>Clasificación de las fundiciones.</i>	10
2.3	Modelo de fundición	12
2.3.1	<i>Propiedades de los modelos.</i>	12
2.3.2	<i>Materiales para la construcción de modelos.</i>	15
2.3.3	<i>Clasificación de modelos.</i>	16
3.	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE FUNDICIÓN	
3.1	Definición del proceso de fundición	17
3.1.1	<i>Definición del modelo de fundición.</i>	17
3.1.2	<i>Selección de la polea a fabricar.</i>	18
3.1.3	<i>Selección del método de impresión.</i>	21
3.1.4	<i>Selección de material.</i>	25
3.1.5	<i>Selección de tolerancia por acabado.</i>	30
3.1.6	<i>Selección de contracciones.</i>	30
3.2	Modelado	34
3.2.1	<i>Tipo de modelo.</i>	36
3.3	Estudio estático de la polea	37
3.3.1	<i>Análisis de resultados.</i>	39
3.4	Instalación del software	40
3.5	Carga de material	43
3.6	Selección de parámetros de impresión.....	43
3.6.1	<i>Calidad.</i>	44
3.6.2	<i>Soporte.</i>	45
3.6.3	<i>Reparación automática.</i>	45
3.6.4	<i>Densidad 3D.</i>	45
3.6.5	<i>Forma de relleno.</i>	46
3.6.6	<i>Altura de la capa</i>	47
3.6.7	<i>Velocidad.</i>	48
3.7	Impresión	49
3.7.1	<i>Impresión del modelo a escala.</i>	49

3.8	Impresión del modelo de fundición	54
3.8.1	<i>Densidad.</i>	56
4.	ANÁLISIS DEL MODELO CONSTRUIDO	
4.1	Forma	59
4.2	Utilización del modelo de fundición.....	63
4.3	Extracción del modelo	64
4.4	Obtención de la polea	65
4.4.1	<i>Comparación con un modelo de madera.</i>	67
4.5	Instrucciones de uso de la impresora 3D	68
4.5.1	<i>Instrucción de seguridad.</i>	69
4.6	Pasos para imprimir un objeto	71
4.7	Configuración de los parámetros de impresión.	71
4.8	Mantenimiento	75
4.8.1	<i>Limpieza de componentes electrónicos</i>	76
4.8.2	<i>Revisión de tuercas y tornillería.</i>	76
4.8.3	<i>Comprobación de las tensiones de la correa.</i>	77
4.8.4	<i>Limpieza de varillas lisas y roscadas.</i>	77
4.8.5	<i>Limpieza de la base de cristal.</i>	77
4.9	Elaboración de guías de prácticas	77
5.	PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE FUNDICIÓN	
5.1	Costos directos	79
5.2	Costos indirectos.....	79
5.3	Costo total	79
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	81
6.2	Recomendaciones	81

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Programas de diseño más utilizados..... 9
2	Fundiciones de hierro..... 11
3	Contracción de algunos metales. 14
4	Características de materiales de modelos 16
5	Matriz de selección. 19
6	Calificación 20
7	Ventajas y Desventajas (FDM)..... 21
8	Características impresora 3D XYZ Davinci 1.0 23
9	Características impresora 3D Geeetech Prusa I3 24
10	Matriz de selección. 24
11	Calificación 25
12	Tensiones máximas en ABS 26
13	Tensiones máximas en PLA 26
14	Pruebas ABS con absorción de agua 26
15	Pruebas PLA con absorción de agua..... 27
16	Propiedades ABS 28
17	Propiedades PLA 28
18	Valoración del material..... 29
19	Mejor alternativa material..... 29
20	Espesor de maquinado clase L..... 30
21	Contracciones volumétricas 31
22	Medidas con contracción 31
23	Contracción total..... 32
24	Ángulos de salida y pendientes..... 34
25	Medidas de los canales 35
26	Propiedades del material 37
27	Cargas 39
28	Resultados 40
29	Pruebas mecánicas con diferentes densidades 46
30	Velocidad según la forma de la pieza 48
31	Medidas tomadas en el modelo..... 61
32	Acabado superficial 62
33	Check list 76
34	Costos directos..... 79
35	Costos Indirectos..... 79
36	Costos totales 79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Diseño 3D 3
2	Principio de funcionamiento 4
3	Esquema estereolitografía 4
4	Impresión 3D por láser 5
5	Modelo impreso por el método de inyección. 5
6	Impresora (FDM)..... 6
7	Filamentos de plástico 6
8	Modelo impreso con PLA flexible 7
9	Filamentos de ABS 7
10	Software XYZ Ware. 9
11	Proceso de fundición. 10
12	Modelo de fundición, molde y pieza obtenida. 12
13	Angulo de salida (B)..... 13
14	Clasificación de modelos de fundición..... 16
15	. Huella del modelo en la arena 17
16	Polea TIPO P (SPB-B-5V) 18
17	Polea trapecial de disco 19
18	Impresora 3D XYZ Davinci 1.0 22
19	Impresora 3d Geeetech Prusa I3 23
20	Perfil de la polea 33
21	Polea (SPB-B-5V) diseñada (vista renderizada) 35
22	Modelo desarmable..... 36
23	Polea ensamblada 36
24	Caja de arena y modelo 36
25	Cavidad del modelo en la arena..... 37
26	Propiedades volumétricas 38
27	Mallado de polea 39
28	Carga en polea 40
29	Deformación 40
30	Espacio de trabajo..... 41
31	Datos del objeto 42
32	Interfaz 42
33	Datos de impresión. 42
34	Posición correcta..... 44
35	Tipo de calidad 45
36	Formas de relleno 46
37	Densidad seleccionada..... 47
38	Altura seleccionada..... 47
39	Velocidad seleccionada 48
40	Transferencia de datos 49
41	Modelo a escala 50
42	Datos de impresión 50
43	Exceso de material en la polea 51
44	Limpieza del extrusor 52
45	Pandeo al inicio de la construcción 53

46	Aplicación de laca en la base.....	54
47	Datos de impresión	55
48	Densidad al 50%	56
49	Información del tiempo estimado y porcentaje de impresión.....	57
50	Construcción completa	57
51	Modelo retirado	58
52	Polea construida.....	59
53	Verificación de dimensiones	60
54	Acabado superficial.	62
55	Caja de arena compactada	64
56	Extracción del modelo	65
57	Polea construida.....	66
58	Modelo importado.	71
59	Calidad de impresión.	72
60	Tipos de densidad.	73
61	Tipos de altura.	74
62	Tipo de velocidad	74
63	Soporte y plataforma	75
64	Perfiles	75

LISTA DE ABREVIACIONES

CAD	Computer Aided Desing (Diseño Asistido Por Computadora)
FDM	Modelado por Deposición Fundida
SLA	Stereo Estereolitografía
SLS	Selective Laser Sintering
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
PLA	Poliácido láctico
PVA	Alcohol Polivinilo
PC	Policarbonato
HDPE	High Density Polyethylene
STL	STereo Lithography
DIN	Instituto Alemán de Normalización

LISTA DE ANEXOS

- A** Especificaciones impresora
- B** Propiedades mecánicas
- C** Datos técnicos
- D** Manual de usuario y mantenimiento de la impresora
- E** Guías de prácticas

RESUMEN

Para realizar un proceso de fundición en arena se necesita un modelo que sea la réplica exacta de la pieza que se quiera obtener, los modelos son construidos de madera y en un proceso artesanal, debido a esto la falta de exactitud en sus dimensiones, el problema de la madera es la absorción de humedad.

Se construyó un modelo utilizando tecnología de modelado por deposición fundida (FDM) o impresión 3D, esta tecnología permite la impresión directa de modelos a partir de un archivo digital.

Con el empleo de esta tecnología se logró la precisión en sus dimensiones y forma, el material empleado fue plástico ABS de alta resistencia que eleva considerablemente las propiedades mecánicas y minimiza la absorción de humedad, este material se puede mecanizar y soporta recubrimientos superficiales.

La selección correcta de contracciones y ángulos de salida garantizaron las propiedades finales del modelo y un buen acabado superficial; se construyó el modelo con una velocidad lenta, altura de 0,2 mm y una densidad de 50% en forma de panal de abeja.

En la impresión se presentaron problemas de pandeo es decir que al enfriarse el material se levantó de la cama caliente debido a las contracciones propias del ABS, se recomienda elevar la adherencia colocando laca de cabello en la cama caliente de la impresora.

El modelo de fundición obtenido se utilizó de forma práctica en el taller de fundición de la Facultad de Mecánica, observando que se seleccionaron adecuadamente los parámetros de impresión en la etapa de modelado.

ABSTRACT

To make a process of sand casting a model that is an exact replica of the piece to be obtained is needed, in our environment models are constructed of Wood and through a traditional process, because this occurs the lack of accuracy in their dimensions, the main problem of wood is moisture absorption.

A model using technology fused deposition modeling (FDM) or 3D printing was constructed, this technology allows direct printing of models from a digital file.

With the use of this technology the accuracy in dimensions and shape is achieved, the material employed was highly resistant ABS plastic which considerably increases the mechanical properties and minimized moisture absorption, the ABS plastic can be machined and supports surface coatings.

The correct selection of contractions and departure angles ensured the final properties of the model and a good surface finish; the model with a slow speed, height of 0,2 mm and a density of 50% bee honeycomb shape was constructed.

In printing buckling problems arose, the material cools, rose from the hot bed due to own contractions of ABS, it is recommended to raise the adhesion putting hairspray in the hot bed of the printer.

The casting model obtained was used practically in the foundry workshop at Mechanics faculty, noting that printing parameters were properly selected in the modeling stage.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Existen varios métodos para construir u obtener piezas entre los más importantes están los procesos de fundición que durante varios años han sido un importante método para la obtención de piezas de características particulares, por el costo y por otros factores en el país se utiliza el proceso de fundición en moldes de arena.

Para realizar un proceso en moldes de arena se necesita un modelo de fundición que sea la réplica exacta de la pieza que se quiera obtener, los modelos de fundición de arena son contruidos en su mayoría de madera y con un proceso netamente artesanal, en la Facultad de Mecánica existen varios modelos contruidos de madera utilizados por los estudiantes para realizar prácticas de fundición.

La impresión 3D ofrece la construcción de varios prototipos previamente diseñados en un programa CAD y utiliza material como ABS, PLA que ofrecen buenas características.

1.2 Justificación

La constante evolución obliga al desarrollo de habilidades para ser adaptadas a nuevas tecnologías, estas tecnologías que en un futuro remplazaran a métodos de construcción como hoy en día los conocemos.

Una de las tecnologías con una gran evolución en los últimos años es la construcción de piezas mediante impresoras 3D, esta tecnología está presente en diferentes campos en el medio se puede aprovechar esta tecnología para construir modelos de fundición en arena.

En nuestro medio los modelos son contruidos en madera en un proceso totalmente artesanal por este motivo el modelo carece de precisión y exactitud en su diseño, con la evolución de tecnología existen nuevos métodos de construcción con materiales más resistentes como polímeros que resisten y brindan buenas características tecnológicas.

Estos nuevos métodos de construcción aplicando tecnologías nuevas garantizan la exactitud y precisión de modelos, además con el diseño previo en un programa CAD se puede modificar y tener todos los datos precisos para una previa rectificación y su posterior construcción en la impresora 3D.

La impresora 3D brinda diseños personalizados en la construcción de modelos además de formas complejas que en otros procesos sería bastante difícil la obtención, utiliza tecnología de construcción por capas para construir prototipos altamente precisos.

Con la construcción de modelos de fundición se aumenta la perspectiva sobre diseño ya que al momento de tener la pieza en las manos se pasa de tener un diseño simplemente en un ordenador a un modelo tridimensional donde se puede ver el comportamiento o comprobar si cumplen con el fin de nuestro diseño.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Construir un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Determinar las características de resistencia del modelo de fundición mediante un software de modelado.
- Seleccionar los parámetros adecuados de impresión para brindar buenas características de resistencia y acabado superficial al modelo.
- Utilizar el modelo de fundición en una forma práctica para determinar si se cumplen los parámetros seleccionados de diseño e impresión.
- Realizar un manual de operación y hojas de prácticas.

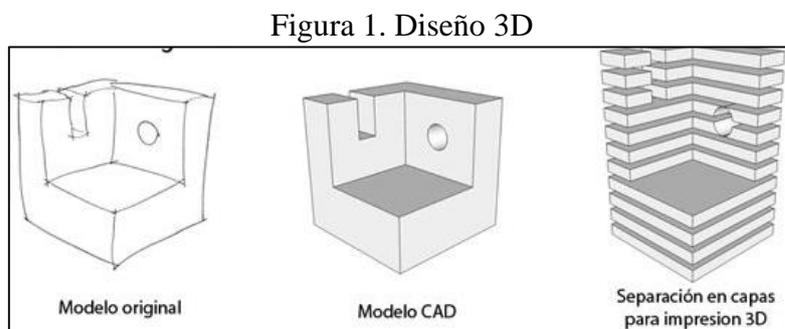
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Impresión 3D

Es la construcción de piezas tridimensionales a partir de un diseño en un programa de computadora. (3D Car Portal, 2014)

2.1.1 Impresora 3D. Una impresora 3D reproduce un diseño hecho en cualquier programa CAD (Diseño Asistido por Computador) en un modelo físico volumétrico.

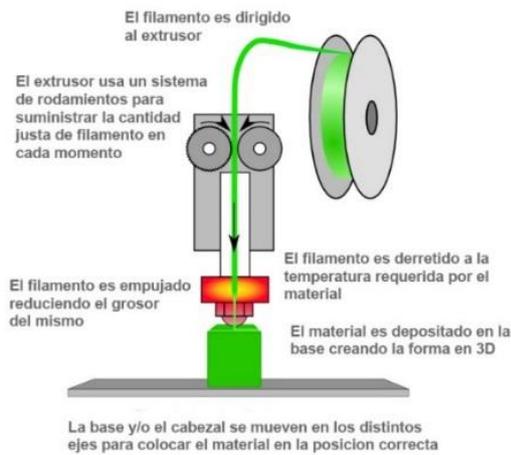


Fuente: <http://goo.gl/64qmN0>

2.1.2 Principio de funcionamiento de la impresora 3D. La impresora 3D utiliza un sistema de tecnología por deposición fundida (FDM), deposita material capa por capa de abajo hacia arriba hasta completar la pieza diseñada, por medio de un extrusor empuja el material sintético que se encuentra en forma de filamento enrollado a un inyector donde el filamento sintético se funde a una temperatura adecuada, este inyector se mueve en dos ejes (x, y), mientras la base o cama de impresión se mueve en el eje z hacia abajo para permitir la deposición de una nueva capa.

Una impresora 3D es una máquina capaz de realizar "impresiones" de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Surgen con la idea de convertir archivos de 2D en prototipos reales o 3D. Comúnmente se ha utilizado en la matricería o la prefabricación de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial. En la actualidad se está extendiendo su uso en la fabricación de prótesis médicas, ya que la impresión 3D permite adaptar cada pieza.

Figura 2. Principio de funcionamiento



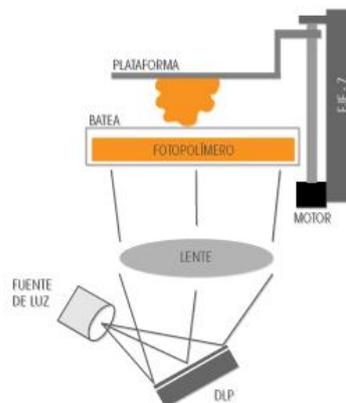
Fuente: <http://todo3d.cl/que-es-una-impresora-3d/>

2.1.3 Clasificación de las impresoras 3D. Las impresoras 3D se pueden clasificar de acuerdo al tipo de método de construcción.

2.1.3.1 Impresoras 3D por estereolitografía (SLA). Esta técnica fue la primera 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, aunque puede causar un inconveniente, se desperdicia cierta cantidad de material en función del soporte que sea necesario fabricar (Net freelance, 2015).

Figura 3. Esquema estereolitografía



Fuente: <http://goo.gl/Lemfn7>

2.1.3.2 *Impresión por láser.* Este método es similar a un proceso de fundición, el material se encuentra en forma de polvo, con la ayuda de un láser este material llega a una temperatura adecuada y se compacta formando la forma según su diseño, es conocido por sus siglas en inglés como SLS (selective laser sintering) (Net freelance, 2015).

Figura 4. Impresión 3D por láser



Fuente: <http://goo.gl/9F7wXs>

2.1.3.3 *Impresión 3D por inyección.* Muy parecida a la técnica de impresión SLS, el material se encuentra en forma de polvo, su diferencia está en el medio para compactar el modelo, en este caso no se usa un láser se compactara mediante inyección de un aglomerante (tinta). Esta técnica permite imprimir en múltiples colores (Net freelance, 2015).

Figura 5. Modelo impreso por el método de inyección.



Fuente: <http://goo.gl/cugMYF>

2.1.3.4 *Impresión por deposición de material fundido (FDM).* Es el más popular en impresoras 3D, consiste en una técnica aditiva que deposita capas de material para formar el modelo, el material estará en forma de filamento que inicialmente se almacena en rollos, el material es introducido en una boquilla que estará por encima de la temperatura de fusión del material, este saldrá de la boquilla en forma de finos hilos que se solidificarán inmediatamente (Net freelance, 2015).

Figura 6. Impresora (FDM)



Fuente: <http://goo.gl/lDMVBy>

2.1.4 *Materiales utilizados en el modelado por deposición fundida (FDM).* Existen dos materiales usados con mayor frecuencia en este proceso (PLA Y ABS), se encuentran con facilidad en el mercado, y unos pocos menos comunes. El material se encuentra en forma de filamento de plástico en dos diámetros estándar de; 1,75 mm y 3 mm.

Figura 7. Filamentos de plástico



Fuente: <https://goo.gl/Dy5F21>

2.1.4.1 *PLA.* Es el material más común en impresoras 3D, está hecho de ácido poliláctico (PLA), es un plástico biodegradable derivado del almidón, es decir que con el paso del tiempo pierde sus propiedades hasta su descomposición, aunque esto puede tardar más de cien años. Es amigable con el medioambiente al ser un plástico reciclable, no desprende vapores tóxicos.

Su temperatura de fusión está en un rango de 160° a 230°C, los modelos impresos en PLA son más frágiles que los impresos en ABS, no necesita cama caliente por lo que el proceso de impresión es más rápido. Tiene un rango amplio de colores en el mercado (Creative Commons, 2015).

Existe una variación de este material el “PLA flexible”, se extruye a menor temperatura y a una velocidad más baja.

Figura 8. Modelo impreso con PLA flexible



Fuente: <http://goo.gl/PYV1gK>

2.1.4.2 ABS. Es un plástico derivado del petróleo se considera un material de ingeniería por ser altamente resistente al impacto.

El ABS es un material compuesto por tres grandes componentes acrilonitrilo, butadieno y estireno. Cada uno de estos componentes aporta características diferentes a este material. El acrolonitrilo aporta rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a altas temperaturas.

El butadieno aporta tenacidad a bajas temperaturas y resistencia a impacto. Por último, el estireno aporta resistencia mecánica, rigidez, brillo y dureza.

Su punto de fusión está en el rango de 210°-260°C, en el proceso de impresión el filamento de ABS puede generar vapores tóxicos, se debe tener buena ventilación durante este proceso.

Su impresión es más lenta con referencia a los filamentos de PLA por tener un rango alto de fusión se necesita una cama caliente (Creative Commons, 2015).

Existe una gama amplia de colores de este material en el mercado.

Figura 9. Filamentos de ABS



Fuente: <http://www.imprimalia3d.com/services/abs>

2.1.4.3 Otros. El 95 % del mercado de impresión 3D utilizan ABS Y PLA pero existen también otros materiales menos conocidos con buenas propiedades y características en los que se destacan:

Nylon. Es un material complejo en impresiones 3D debido a la falta de adhesión de la pieza a la bandeja, pero presenta buenas propiedades como flexibilidad ligereza, resistencia a altas temperaturas.

PVA. Alcohol Polivinilo, se utiliza en impresoras de cabezales múltiples, es ideal para construir modelos de formas complejas, es soluble en agua y la absorbe en gran cantidad, por esto un problema es la humedad Existe una gama amplia de colores de este material en el mercado.

PC. Policarbonato, es un material no biodegradable su temperatura de fusión es de 280-305°C, es un material muy fuerte y durable.

HDPE. Polietileno de alta densidad (High density polyethylene), es un material resistente a casi todo los disolventes y pegamentos, tiende a encogerse presenta problemas en piezas con formas de curvatura (Creative Commons, 2015).

2.1.5 Selección de software utilizado en impresoras 3D. Para el software se debe diferenciar en software para el diseño y para el control impresoras.

2.1.5.1 Softwares de diseño. Hay un sin número de programas de diseño en el mercado y la mayoría de estos son compatibles con los formatos de impresión, se diferencian por su complejidad en el manejo, algunos programas necesitan conocimientos de ingeniería.

No es lo mismo imprimir un modelo decorativo que imprimir otro que sea parte de una máquina, en este último caso se necesitara de un programa potente y preciso.

Todos los diseños deben ser exportados en un formato STL (siglas provenientes del inglés "Stereo Lithography"), es el formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva.

Se realizó una encuesta a usuarios que utilizan programas de diseño basándose en 6 criterios distintos el resultado se aprecia en la tabla.

Tabla 1. Programas de diseño más utilizados.

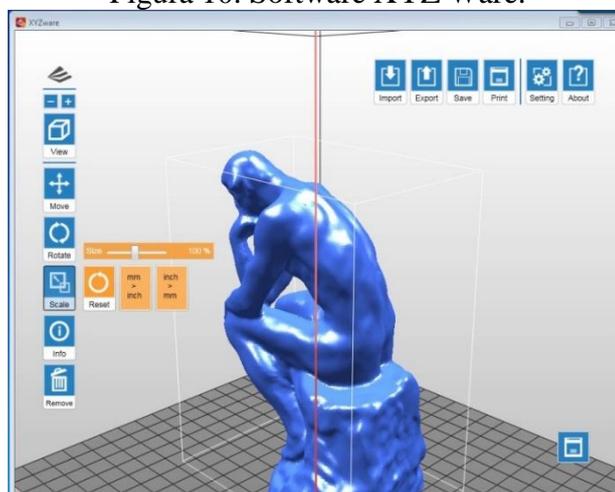
N	Programes	General		3D Printing community				Total Score
		Social	Website	Forums	Youtube	Database	Google	
1	Blender	61	91	10	100	27	100	80
2	Sketchup	87	92	79	49	80	74	75
3	SolidWorks	95	81	42	52	25	75	62
4	Autocad	100	78	46	43	4	85	59
5	Maya	91	80	35	50	3	93	59
6	3DS Max	90	83	24	53	2	78	55
7	Inventor	98	80	29	31	15	75	55
8	Tinkercad	78	57	38	5	100	31	51
9	ZBrush	83	69	45	42	4	50	49
10	Cinema 4D	84	76	6	28	1	62	43

Fuente: <https://goo.gl/tZay3M>

2.1.5.2 *Softwares para el control de impresoras 3D.* Este software es utilizado para realizar impresiones, en él se pueden cambiar los parámetros de calidad dependiendo de la necesidad y de la complejidad del modelo, algunos de estos parámetros son: Velocidad, relleno, altura, soportes etc., (FONDA, 2012).

Existen varios programas gratuitos con una interfaz gráfica de complejidad media, pero la mayoría de impresoras 3D vienen con sus propios programas.

Figura 10. Software XYZ Ware.



Fuente: <http://goo.gl/yU8CM3>

2.2 Proceso de Fundición

Se denomina fundición al conjunto de operaciones necesarias para dar forma a los materiales y sus aleaciones por fusión y solidificación en moldes que reproducen las formas que se desean lograr (AVNER, 1988).

Figura 11. Proceso de fundición.



Fuente: <http://goo.gl/crF5Zk>

2.2.1 *Clasificación de las fundiciones.* Existen varios parámetros para la clasificación de fundiciones. En base al metal fundido, por el método de moldeo.

2.2.1.1 *En base al metal fundido.* Según la necesidad y utilidad de la pieza a construir se tienen varios materiales para su fundición.

Entre los más importantes están:

- **Fundiciones de hierro.**

Las variables que diferencian a los tipos de hierro fundido son: el contenido de carbono, el contenido de aleación y de impurezas, la rapidez de enfriamiento durante o después del congelamiento, y el tratamiento térmico después de fundirse.

Estas variables controlan la condición del carbono y también su forma física.

El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro en la cementita, o existir como carbono libre en forma de grafito.

La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influirá grandemente en las propiedades físicas del hierro fundido.

En general las fundiciones pueden ser clasificadas como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Fundiciones de hierro

Clasificación de las fundiciones de hierro					
Ordinaria		Aleada	Especiales		
Blanca	x	x	Maleable	Alma blanca (Europea)	
Grisés	Perlitica			Alma negra (Americana)	
	Ferrítico-perlítico			Perlitica	
	Ferrítico		Perlitica laminar		
Atruchada	x		x	Grafito difuso	Pelítica nodular
					Acicular laminar
					Acicular nodular
					Meehanita

Fuente: Pastor Mario, "Apuntes de Fundición"

- **Fundición de acero.**

Los aceros dependiendo de las aleaciones presentan diferentes características, el acero se funde a una temperatura entre 1450°C y 1650°C, la fundición de acero se clasifica en:

- Acero al carbón.
- Aceros aleados

- **Fundición de metales no ferrosos.**

La composición de las fundiciones no ferrosas carecen de hierro, son usadas para piezas especiales, se clasifican en:

- Bronce y Latón
- Aluminio y aleaciones
- Magnesio y aleaciones.

2.2.1.2 *Por el método de moldeo.* Son variadas las técnicas que se usan, depende de las características técnicas de la pieza a obtener, por el método de moldeo las fundiciones se clasifican en:

- Fundición a la arena.
- Fundición en molde permanente.

- Fundición a presión.
- Fundición por revestimiento.
- Proceso de molde lleno.
- Fundición centrífuga.

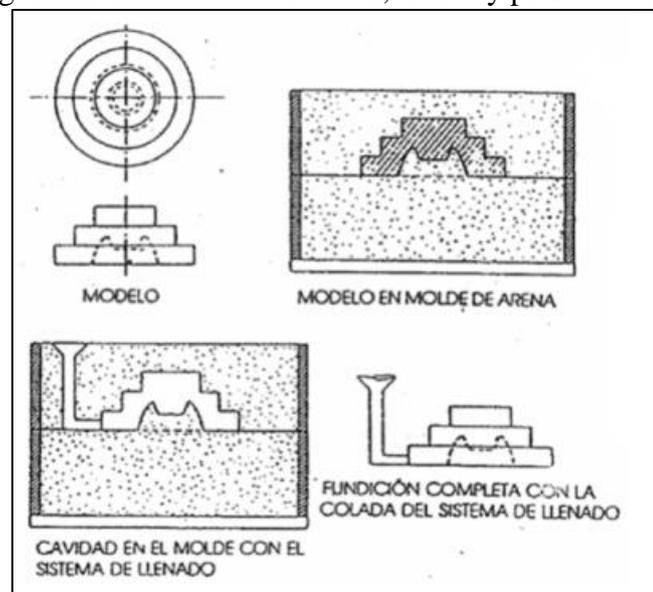
2.3 Modelo de fundición

Los modelos de fundición son réplicas exactas de las piezas a obtener, son los encargados de generar la cavidad en la arena para posteriormente fundir el metal en ella.

Un modelo puede definirse como la réplica de la pieza que se desea obtener, el modelo es de gran importancia en el proceso de fabricación y transmitirá sus características al producto final (CAPELLO, 1987).

El modelo se convierte en la primera etapa de la elaboración de piezas coladas, en el siguiente grafico se aprecia el modelo, molde y la pieza obtenida.

Figura 12. Modelo de fundición, molde y pieza obtenida.

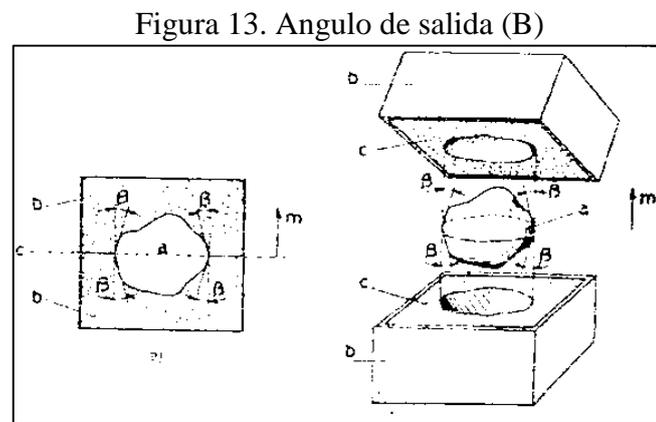


Fuente: <http://goo.gl/uDxxm0>

2.3.1 Propiedades de los modelos. Los modelos deben ser útiles para elaborar la mayor cantidad de piezas, al diseñar un modelo hay que tener en cuenta que sea lo más exacto posible a la pieza que se va a obtener, existen varias propiedades que influyen en la calidad de la pieza fundida (AVNER, 1988).

2.3.1.1 *Facilidad de desmolde.* El modelo debe ser de fácil extracción, primero se debe fijar la dirección de desmolde y basado en eso se diseñara las caras del modelo decreciente hacia el interior, es decir que sus lados sean ligeramente cónicos, esto para evitar que al ser extraídos no lleven consigo el material del modelo (CAPELLO, 1987).

Una sección rectangular, por ejemplo, deberá hacerse trapezoidal, una cilíndrica cónica, etc. Se puede expresar como un ángulo de salida B, este ángulo es formado por una recta paralela a la dirección de extracción del modelo con la pared adyacente.



Fuente: Capello Eduardo, “tecnologías de la fundición”.

Donde:

b = son las dos partes del molde.

m = la dirección de salida.

c = plano de separación.

El ángulo de salida puede reducir en algunos casos como:

- En los modelos de precisión
- Con el uso de lubricantes
- Por medio de un barnizado correcto
- Por redondeamiento de las aristas entrantes y salientes

2.3.1.2 *Contracción.* El material líquido al enfriarse se contrae y al calentarse se dilata, es por esto que el modelo debe ser de dimensiones mayores para contrarrestar la contracción.

El modelo debe construirse de acuerdo al grado de contracción del metal fundido, como ejemplo se puede mencionar el hierro fundido, en cada metro lineal se debe aumentar 10 mm, entonces el modelo debe ser de 2010 mm (también el molde), para que la pieza al enfriarse quede de 2000 mm.

Tabla 3. Contracción de algunos metales.

Metal o Aleación	Contracción [mm/m]
Aceros	
Aceros	20-21
Aceros	16-18
Aceros	25-26
Aceros	25
Fundiciones	
Fundiciones	10
Fundiciones	7
Fundiciones	16-21
Fundiciones	20
Fundiciones	9-13
Fundiciones	10
Fundiciones	20-23
Aleaciones de aluminio	
Aleaciones	17
Aleaciones	13-14
Aleaciones	11-13
Aleaciones	12-14

Fuente: <http://goo.gl/yfIYbY>

2.3.1.3 Funcionalidad o congruencia. Los modelos deben ser funcionales y congruentes: prácticos, precisos, duraderos

- **Prácticos.** Los modelos deben barnizarse con diferentes coloraciones, esto depende de la clase de metal que se emplee en el colado.
- **Precisos.** Si se quiere obtener una pieza precisa, se necesita de unos modelos exactos y que conserve sus cualidades mientras este en uso e incluso cuando se almacenan.
- **Duraderos.** Si un modelo es duradero se puede emplear para varios procesos de fundición, la buena construcción dará esta propiedad a un modelo.

2.3.2 *Materiales para la construcción de modelos.* El material del modelo dependerá del número de piezas a realizarse, los materiales más usados.

Madera, metal, poli estireno, plástico, resina epoxica, cera o mercurio congelado.

2.3.2.1 *Maderas.* Se tienen dos tipos de madera:

- Duras: Maple, Encino y Ébano.
- Blandas: Pino, cedro caoba.

Estos dos tipos de madera tienen diferentes propiedades, así las maderas duras tienen una excelente resistencia a la abrasión, sin embargo son muy frágiles y son difíciles de mecanizar.

Es de mucha importancia mantener la humedad en la madera en un valor bajo y constante, esto evitará que la madera sufra alabeo, fendas (rupturas de la madera a lo largo de las fibras), hinchamientos.

2.3.2.2 *Metales.* Los metales más usuales en la fabricación de modelos son: hierro colado, bronce, aluminio y magnesio, se recomienda la fabricación en hierro colado por su resistencia a la abrasión, el aluminio con una buena aleación es también muy utilizado por su alta resistencia pueden reproducirse de 40000 a 110000 moldes sin que sufran deformaciones.

2.3.2.3 *Plásticos.* Los más usados son las resinas epoxicas y las resinas poliéster. Otros tipos de plásticos son los acrílicos, el estireno, el acetato.

Los plásticos tienen buena resistencia a los agentes químicos, son muy adecuados para la fabricación de modelos, algunos modelos hechos en resinas resisten hasta 40000 moldeadas sin presentar modificaciones en sus dimensiones.

2.3.2.4 *Otros.* Materiales como la cera, yeso, concreto refractario, el barro y la espuma plástica son también utilizados en la fabricación de modelos en una baja escala.

El uso de este material dependerá del uso, tamaño y cantidad de piezas a realizarse.

Hay distintos tipos de materiales de construcción para modelos en esta tabla se puede verificar las características de cada uno de estos, nuestra propuesta es construir un modelo con nuevos materiales diferentes a la madera y con un nuevo método de construcción, se puede observar una buena calificación a los plásticos que será el material con el que se construirá nuestro modelo de fundición.

Tabla 4. Características de materiales de modelos

Calificación de Materiales					
Características	Madera	Aluminio	Acero	Plástico	Hierro fundido
Maquinabilidad	E	G	F	G	G
Resistencia al desgaste	P	G	E	F	E
Resistencia mecánica	F	G	E	G	G
Peso	E	G	P	G	P
Facilidad de reparación	E	P	G	F	G
Corrosión	E	E	P	E	P
Hinchamiento	P	E	E	E	E
Interpretación	E:excelente, G:bueno, F:regular, P:pobre				

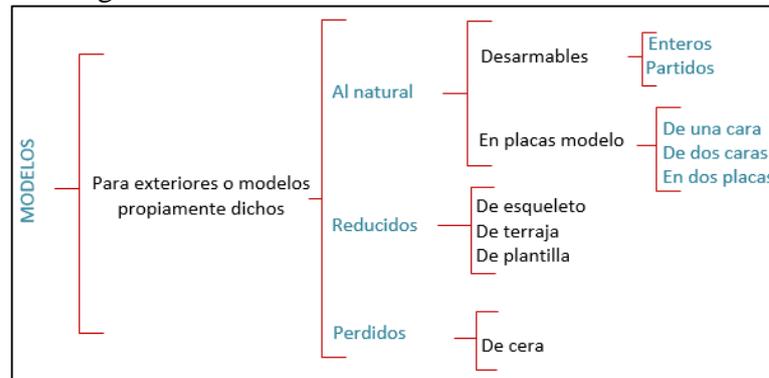
Fuente: D.C Ekey y W.R ,Winter,Introduction to foundry Technology

2.3.3 Clasificación de modelos. Existen varios tipos de modelos dependen de los requerimientos, tamaño peso, volumen de producción, tipo de fundición, son algunos factores que predominan para el diseño de modelos.

Los modelos constan de dos partes los modelos exteriores o propiamente dichos modelos para interiores, machos o mayor en este caso realiza las partes huecas de las piezas do vaciado, se tiene pues dos tipos genéricos de modelos (CAPELLO, 1987).

- Modelos exteriores o propiamente dichos.
- Modelos interiores o cajas de machos.

Figura 14. Clasificación de modelos de fundición.



Fuente: (CAPELLO, 1987)

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE FUNDICIÓN

3.1 Definición del proceso de fundición.

El proceso de fundición que se escogió es la fundición en arena por ser el más utilizado en la industria, además de contar con todos los elementos en el taller de fundición de la facultad de Mecánica para realizar este proceso.

La fundición en arena consiste en vaciar el material fundido en un molde de arena, este molde se construye con la forma de un modelo, es decir el modelo deja una huella en la arena.

Figura 15 . Huella del modelo en la arena



Fuente: Autores

3.1.1 *Definición del modelo de fundición.* Las poleas son muy utilizadas en la industria, en la mayoría de elementos de transmisión estos elementos están presentes.

La selección del modelo fue por varios factores importantes que se mencionan a continuación:

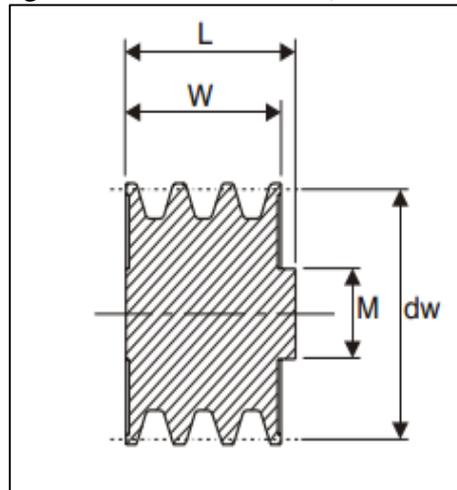
- Las poleas son elementos de transmisión muy utilizados en cualquier tipo de industria.
- La posición de las aristas

- Se pueden mecanizar luego de un proceso de fundición
- Si se requieren poleas especiales con dimensiones únicas se puede construir.
- Se pueden fabricar en un proceso de fundición en arena con material de fundición como el aluminio.

3.1.2 Selección de la polea a fabricar. Para la selección de la polea se tuvieron dos alternativas.

Alternativa A polea maciza TIPO P (SPB-B-5V),

Figura 16. Polea TIPO P (SPB-B-5V)



Fuente: catalogo poleas trapeciales standard

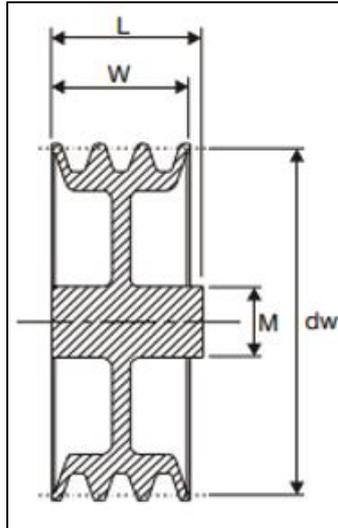
Características

- La forma de los perfiles del diente son los adecuados para un proceso de fundición.
- El área de la polea es menor al área de impresión de la polea
- Cuenta con tres canales
- Polea normalizada

Alternativa B. polea trapecial de disco

Las poleas son muy utilizadas en la industria, en la mayoría de elementos de transmisión estos elementos están presentes.

Figura 17. Polea trapecial de disco



Fuente: catalogo poleas trapeciales standard

Características

- Forma más compleja
- Se necesita mayor mecanización
- Mayor dimensión del área de impresión
- Por la forma de los canales interiores no se puede construir mediante fundición.

Para la elección de la mejor alternativa se realizó una matriz de selección

El método consiste en evaluar las alternativas en un rango de 1 a 5 con su respectiva interpretación como se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 5. Matriz de selección.

Peso	Interpretación
1	Malo
2	Regular
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Autores

3.1.2.1 Selección de la mejor alternativa. El modelo a fabricar será la alternativa A, una polea trapecial ciega TIPO P (SPB-B-5V)

Tabla 6. Calificación

Parámetros de selección		Alternativas			
		A		B	
Factor	Peso	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Características	4	4	16	3	12
Forma	5	5	25	3	25
Área de construcción	5	5	25	3	15
Mecanización	4	4	16	4	16
			82		68

Fuente: Autores

Es una polea normalizada, una de las más usadas en el mercado.

Se escogió esta polea mecánica porque cumple con el método de construcción que se planteó al inicio, es una pieza que se fabrica por fundición, no tiene una geometría compleja, esto es favorable porque resulta fácil dejar la huella en la arena, otra característica importante es su tamaño el área de impresión está acorde con las dimensiones y su gran demanda en el mercado.

Con la construcción del modelo mediante un método innovador la geometría va a ser más exacta, otro factor importante para la elección de una polea de esta característica es que actualmente el método de fabricación es por mecanizado, lo que genera un alto costo de producción, resultado de esto el desperdicio de material.

Cabe recalcar que para la investigación se diseñó específicamente esta polea pero se podrían diseñar cualquier tipo de poleas o de otras piezas mecánicas, siempre y cuando estén dentro del rango de las dimensiones de la impresora.

Con la construcción del modelo de fundición lo que se quiere es tener un modelo más preciso y mejorar la producción y calidad de poleas de aluminio, bajar tiempos de producción y si es el caso construir una pieza con dimensiones que no se encuentren en el mercado, este trabajo abre las puertas para diseñar y fabricar piezas únicas con dimensiones requeridas para trabajos específicos.

Para las dimensiones de la polea se consultó el catálogo de poleas trapeciales estándar según la norma DIN 2215.

3.1.3 Selección del método de impresión. Como se observó en el marco teórico existen muchas técnicas de impresión 3D, pero la más usada actualmente en el país por ser un método económico es el modelado por deposición fundida (FDM).

Hay varias ventajas y desventajas de este método que se aprecian en la tabla siguiente.

Tabla 7. Ventajas y Desventajas (FDM)

Ventajas	Desventajas
Bajo Costo	Velocidad de impresión lenta en objetos grandes.
Sencillez de uso	No es bueno para detalles pequeños.
Buena resistencia a altas temperaturas desde 85° C a 205°C	Limitación en la dimensiones del objeto.
Los objetos son aptos para cromar, pintar	Terminación superficial algo rugosa.
Variedad de materiales (PLA, ABS, OTROS).	En algunas piezas se necesitan soportes.
Escaso mantenimiento de máquina.	No se pueden imprimir paredes delgadas.

Fuente: Autores

La razón para seleccionar el método de impresión fue el económico, el método por deposición fundida es muy económico comparado con otros métodos que utilizan impresoras industriales que sobrepasan los 10000 USD.

3.1.3.1 Selección de la impresora. Para la selección de la impresora se tuvo en cuenta varios parámetros sobre el modelo de fundición, costo, material utilizado, software, facilidad de uso.

- El modelo tiene una dimensión de 190 mm por lo tanto el área mínima de impresión será de 200 mm.
- La impresora deberá ser compatible con el filamento ABS y PLA que son más utilizados en el mercado.
- La garantía de la impresora.
- Compatibilidad del software de manejo de la impresora.

Estos son los parámetros más relevantes que se toman en cuenta para la selección de la mejor alternativa para la adquisición de la impresora.

Se tomó contacto con varias empresas que comercializaban impresoras 3D en el país, se consideraron 2 modelos de impresoras

3.1.3.2 Alternativa A. Impresora 3D XYZ Davinci 1.0. Es una impresora 3D de la empresa Taiwanesa XYZ, es una de las marcas más asequibles del mercado, utiliza filamentos de diseño propio, cuenta con un sistema de auto-nivelación de la base.

El sistema cerrado garantiza seguridad al no quedar expuesta el área de trabajo como en otras impresoras, está fabricada con un sistema cerrado.

El interior de la impresora se destaca por algunas particularidades:

- En la parte derecha de la impresora hay un sistema de limpieza para limpiar la boquilla del exceso de material que puede obstruir el libre paso de filamento, para colocar este exceso de material existe un contenedor pequeño que después se lo puede sacar para arrojar el filamento.
- El cabezal tiene una pequeña barra de metal que hace contacto con la superficie de impresión para detectar automáticamente la altura a la que se encuentra la plataforma.

Figura 18. Impresora 3D XYZ Davinci 1.0



Fuente: <http://goo.gl/RFKMwi>

Las características se aprecian a continuación:

Tabla 8. Características impresora 3D XYZ Davinci 1.0

Tecnología de impresión	Fabricación con filamento fundido
Volumen de Impresión	20x20x20 cm
Diámetro de Filamento	1,75 mm
Tipo de Filamento que soporta	ABS, PLA.
Conectividad	USB 2,0x1
Entrada	100-240 V, 50-60Hz
Estructura	Compacta (cerrada)

Fuente: Autores

Las características completas se aprecian en el Anexo A

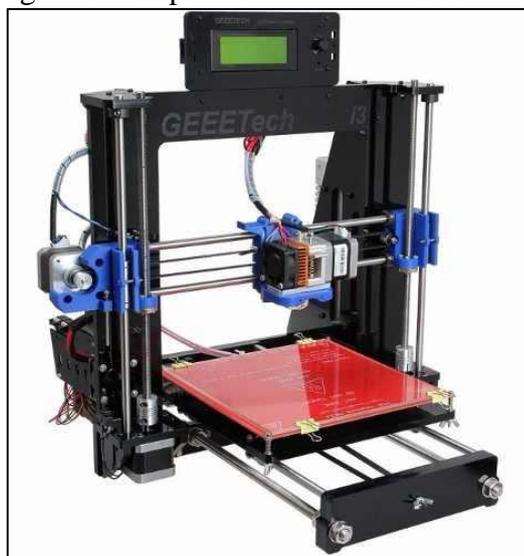
3.1.3.3 Alternativa B. Impresora 3D Geeetech Prusa I3. La impresora se la adquiere en un kit que debe ser ensamblado, requiere una cierta cantidad de manejo y conocimiento básico de una impresora 3D para su correcto montaje.

Está diseñada con una estructura abierta con placas de acrílico de 8mm de espesor, las barras para el desplazamiento XYZ están hechas en acero inoxidable.

En la parte superior está el panel de control que contiene información sobre: temperatura, tiempo de impresión etc.

Soporta 5 tipos de materiales: PLA PLA/ABS/ABS Flexible/ Madera

Figura 19. Impresora 3d Geeetech Prusa I3



Fuente: <http://goo.gl/htyJ8c>

Características:

Tabla 9. Características impresora 3D Geeetech Prusa I3

Tecnología de impresión	Fabricación con filamento fundido
Volumen de Impresión	20x20x18 cm
Diámetro de Filamento	1,75 mm
Tipo de Filamento que soporta	ABS,PLA,Nylon.
Conectividad	USB 2,0x1
Entrada	115V/1,5A 230V/0,75 ^a
Estructura	Abierta

Fuente: Autores

Las características completas se aprecian en el Anexo A

Para la selección de la mejor alternativa se realizó una matriz de selección.

El método consiste en evaluar las alternativas en un rango de 1 a 5 con su respectiva interpretación como se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 10. Matriz de selección.

Peso	Interpretación
1	Malo
2	Regular
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Autores

3.1.3.4 Selección de la mejor alternativa. La calificación se dio en base a las características, el precio, la garantía el software, la seguridad y los puntos de adquisición en el mercado.

Una vez estudiadas las características se asignó un número a cada uno de estos parámetros, para la selección se tomó en cuenta el valor más alto entre las dos alternativas siendo la alternativa A (Impresora 3D XYZ Davinci 1,0) la de más valor. En la parte superior está el panel de control que contiene información sobre: temperatura, tiempo de impresión etc.

Tabla 11. Calificación

Parámetros de selección		Alternativas			
		A		B	
Factor	Peso	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Características	5	4	20	3	15
Costo	5	5	25	5	25
Garantía	5	5	25	3	15
Software	4	4	16	4	16

Fuente: Autores

La alternativa A es la mejor opción (Impresora 3D XYZ Davinci 1.0), la garantía cumple con un tiempo significativo, las características se adaptan a la necesidad, el costo está dentro de nuestro presupuesto, además es compatible con el filamento ABS, tiene una estructura cerrada, esto es de mucha importancia debido al uso de ABS en la construcción, el ABS expide vapores que pueden ser peligrosos para la salud, al tener una estructura cerrada evitamos el contacto con estos vapores. El software es compatible en cualquier ordenador y soporta formatos STL.

3.1.4 Selección de material. El 95% de impresoras de modelado por deposición fundida utilizan ABS o PLA, en el mercado nacional existen diferentes empresas que ofertan estos dos materiales en dos diámetros (1,75 y 3) mm.

Se tiene dos alternativas:

- Alternativa A. Material ABS
- Alternativa B. Material PLA

Hay varias diferencias entre el ABS Y PLA Anexo B, se debe analizar el tipo de material que se necesita según nuestras necesidades.

Para la selección del material se utilizó la literatura encontrada en la investigación, en un estudio realizado en el departamento de Ingeniería de los materiales en España se hicieron pruebas térmicas y mecánicas en dos materiales principales en impresoras 3D (ABS y PLA), se construyeron 6 probetas para someterlas a análisis mecánico con configuraciones de porcentajes de densidad diferentes En la parte superior está el panel de control que contiene información sobre: temperatura, tiempo de impresión.

El ensayo de tracción se llevó a cabo bajo la norma ISO 527-2:2012 los resultados obtenidos en el material ABS son:

Tabla 12. Tensiones máximas en ABS

Tensión máxima (MPa)	45° 100%	45° 50%	45° 20%	45° 10%	Honey 80%	Honey 50%	Honey 20%	Honey 10%
ABS Natural	22,03	14,48	13,21	12,61	22,37	15,7	12,19	9,8
ABS Rojo	21,02	12,15	10,04	9,08	14,1	13,15	10,28	13,47

Fuente: <http://goo.gl/qY90zf>

Tabla 13. Tensiones máximas en PLA

Tensión máxima (Mpa)	45° 100%	45° 50%	45° 20%	45° 10%	Honey 80%	Honey 50%	Honey 20%	Honey 10%
PLA Natural	27,84	15,33	10,11	9,85	21,08	15,59	11,19	12,13
PLA Rojo	29,88	12,13	10,11	8,05	17,91	14,4	11,03	9,45

Fuente: <http://goo.gl/qY90zf>

Los datos que se consideran son con el tipo de relleno de panel de abeja (Honey), según los datos se puede apreciar que el ABS tiene una mayor resistencia a la rotura.

– Probetas con absorción de agua

Las probetas se introdujeron en un recipiente de agua alrededor de 48 H para verificar la absorción de agua, esta prueba se la realizo para verificar si las condiciones adversas afectaban las propiedades mecánicas del material.

En el ensayo térmico el ABS tiene una absorción de humedad de 3% pero este porcentaje no afecta a sus propiedades ya que la diferencia de tensiones llega apenas a 2 MPa, en el caso del PLA no existe absorción de humedad.

Tabla 14. Pruebas ABS con absorción de agua

ABS Natural	Módulo Young	Tensión	Defo. rotura
45100	E (MPa)	Sigma r (MPa)	Unitaria
Media	778,49	22,03	0,0544
Desviación	22,26	0,90	0,0111

Fuente: <http://goo.gl/tHW78Q>

Tabla 15. Pruebas PLA con absorción de agua

PLA Natural	Módulo Young	Tensión	Defo. rotura
45100	E (MPa)	Sigma r (MPa)	Unitaria
Media	1352,84	27,84	0,1241
Desviación	164,5157205	0,719652694	0,374210

Fuente: <http://goo.gl/4iqhiY>

Estudio económico de las propiedades mecánicas

Este estudio nos permite seleccionar el material más resistente y a la par más económico.

Para llevar a cabo este estudio se ha estimado el consumo de energía de la impresora que es alrededor de 300 W, el costo de 1kw/ h en el país es de \$ 0,04, el costo de material se estima por cada metro usado, el precio del ABS es de 0,417 ctvs. /m, el PLA tiene un costo de 0,66 ctvs. /m.

El costo de impresión por horas según la potencia y la mano de obra van a ser iguales, la diferencia significativa está en el costo de filamento, el ABS como se pudo verificar en los ensayos mecánicos cumple con una buena resistencia al igual que el PLA pero si se quiere seleccionar el material más económico y a la vez resistente se escogerá el ABS.

También se realizó una comparación según su mecanización posterior a la impresión, con las ventajas y desventajas de estos dos materiales.

- **ABS**

El ABS se puede mecanizar, pulir, lijar, limar, agujerear, pintar, pegar etc., con extrema facilidad, y el acabado sigue siendo bueno. Gracias a su extremada resistencia y su pequeña flexibilidad hace que sea el material perfecto para infinidad de aplicaciones industriales, en el Anexo B se pueden apreciar las propiedades mecánicas.

Características:

- Prototipos funcionales
- Herramientas de fabricación
- Moldes, incluyendo moldes por inyección

- Piezas de encaje a presión para su uso a altas o bajas temperaturas
- Piezas eléctricas, carcasas, carcasas para teléfonos móviles
- Piezas y tapas del motor.

Al llegar al punto de fusión el ABS desprende gases que en concentraciones altas pueden ser nocivas.

El material es propio de la marca de la impresora.

Tabla 16. Propiedades ABS

Material	Límite Elástico	Límite de tracción	Límite de flexión	Densidad
ABS	32 MPa	32 MPa	49 MPa	1020 kg/m ³

Fuente: Autores

- **PLA**

Es un termoplástico biodegradable de origen vegetal, con el paso del tiempo puede perder sus propiedades iniciales hasta su descomposición en elementos químicos finitos, en el Anexo B se pueden apreciar las propiedades del PLA.

Características:

- No necesita plataforma caliente.
- Los colores son en su mayoría transparentes y brillantes.
- Se utiliza comparativamente mucho menos en la industria.
- No resiste las altas temperaturas
- Se empieza a descomponer a partir de 50-60° C
- Tiene una resistencia menor que el ABS.

Tabla 17. Propiedades PLA

Material	Límite Elástico	Límite de tracción	Límite de flexión	Densidad
PLA	30 MPa	28 MPa	39 MPa	1250 kg/m ³

Fuente: Autores

Al llegar al punto de fusión el ABS desprende gases que en concentraciones altas pueden ser nocivas.

3.1.4.1 Selección de la mejor alternativa. Los factores para elegir la mejor opción son:

Valoración: del 1 al 5 según los parámetros de selección:

Tabla 18. Valoración del material

Peso	Interpretación
1	Malo
2	Regular
3	Satisfactorio
4	Bueno
5	Optimo

Fuente: Autores

Tabla 19. Mejor alternativa material

Parámetros de selección		Alternativas			
		A		B	
Factor	Peso	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Resistencia	5	4	20	4	20
Costo	5	5	25	5	25
Características	5	5	25	3	15
Propiedades	5	4	20	4	20

Fuente: Autores

Se seleccionó la alternativa A como material para ser empleado según la calificación de acuerdo a las características y al uso del modelo a construirse, es por esto que el material más adecuado es el ABS, analizando sus características, el ABS tiene una gran resistencia, es muy importante porque el modelo va a estar sometido a presión, otro aspecto es que la pieza una vez concluida la fabricación en la impresora se puede mecanizar, el PLA no cumplía con esta propiedad.

El diámetro del filamento es de 1,75 mm compatible con la impresora XYZ utilizada en el proyecto, al ser una impresora que tiene una estructura cerrada se evita inconvenientes con los vapores que se desprenden, la empresa en donde se adquirió la impresora será donde también se comprara el filamento de ABS.

El color del filamento es blanco se seleccionó este color porque es un tono neutro, el color blanco permite que la pieza construida se pueda pintar de cualquier color sin degradarse.

3.1.5 Selección de tolerancia por acabado. Cuando una pieza es fabricada se considera necesario realizar algún trabajo de acabado o terminado de las superficies generadas, esto se logra puliendo o quitando algún material de las piezas producidas por lo que se debe considerar en el modelo esta rebaja de material.

Para un mejor acabado la parte exterior de polea se mecanizara en el torno, para esto es necesario seleccionar un sobre espesor de maquinado de clase L tomando en consideración la dimensión máxima de la pieza que en el caso de la polea es de 165mm, la cota nominal de referencia es de 63 mm y la sobredimensión será de 5 mm en la parte externa de la polea.

Tabla 20. Espesor de maquinado clase L

Sobre espesor de maquinado clase L					
Cotas nominales de referencia [mm]		La mayor dimensión de la pieza [mm] de:			
		1 a 250	250 a 630	630 a 1600	1600 en adelante
De:	a inclusive	Sobre espesor de maquinado [mm]			
12	16	4	4,5	5	7
25	40	4	4,5	5	7
40	63	4,5	4,5	5,5	7
63	100	4,5	5	5,5	7,5
100	160	5	5	5	8
160	250	5,5	5,5	6,5	8
250	400	6	6	7	8,5
400	630		7	7,5	9,5
630	1000		7,5	8,5	10,5
1000	1600			9,5	11,5
1600	2500			11,5	13,5
2500	4000				15,5

Fuente: <http://goo.gl/JjCg6r>

3.1.6 Selección de contracciones. El material al enfriarse se contrae y al calentarse se dilata, la contracción por solidificación se da casi en todos los materiales porque la fase solida tiene una mayor densidad que la fase liquida.

Una vez solidificada la fundición experimenta una contracción posterior en altura y diámetro mientras se enfría.

Esta contracción se determina por el coeficiente de expansión térmica del metal sólido, que en este caso se aplica la inversa para determinar la contracción, la contracción por solidificación afecta a las dimensiones finales de la pieza por esto es necesario tomar en cuenta esta contracción para sobredimensionar las dimensiones de la pieza, estas sobredimensiones se llaman tolerancias de contracción del modelo aunque la contracción es volumétrica las contracciones del modelo se expresan linealmente.

Tabla 21. Contracciones volumétricas

Contracción volumétrica para diferentes metales de fundición debida a la contracción por solidificación y contracción del sólido		
Metal	Contracción volumétrica debida a :	
	Contracción por solidificación [%]	Contracción Térmica del sólido [%]
Aluminio	1,3	5,6
Aleación de aluminio típica	1,5	5
Fundición de hierro gris	1,8	3
Fundición de hierro gris al alto carbono	0	3
Fundición de acero al bajo carbono	3	7,2
Cobre	4,5	7,5
Bronce (Cu-Sn)	5,5	6

Fuente: PASTOR Mario, “Apuntes de Fundición”

Se selecciona un porcentaje de contracción por solidificación de 1,3 %, este valor será el porcentaje de sobre medida en las dimensiones nominales de la polea.

Tabla 22. Medidas con contracción

Dimensiones polea 3 SPB 118 TB 1610		
Representación	Medida norma [mm]	Medida con 1,3% [mm]
Do	125	126,62
Dw	118	119,53
W	63	63,81
M	75	75,97
L	50	50,65
F	12,5	12,66
C	3,5	3,54
T	17,5	17,72
bw	14	14,18

Fuente: Autores

3.1.6.1 Contracción Del material (ABS). El modelo de fundición estará construido en plástico ABS, el proceso de construcción consiste en fundir el material a una temperatura elevada al igual que la mayoría de materiales el ABS

Se contrae, para compensar esta contracción se considera el coeficiente térmico de expansión del material que suele ser de $75 \times 10^{-6} \text{ k}^{-1}$ cuando se solidifica en un rango de temperatura de 110° a 180° C y luego se enfría a 25° C lo que daría un factor de contracción de 0,5%

Con estos valores tanto la contracción del material de la polea (aluminio) como la contracción del material del modelo (ABS) se obtiene dos valores de contracción de 1,3% y de 0,5% dando un valor de 1,8 % de contracción, este valor será la contracción total para sobredimensionar las dimensiones de la polea.

Existen tablas de varios autores con el porcentaje de contracción de diferentes materiales utilizados en fundición, como nuestra polea estará construida en aluminio se tomara en cuenta el valor de contratación de este material, estas tablas consideran varios factores como el tiempo de enfriamiento la velocidad de la colada entre otros.

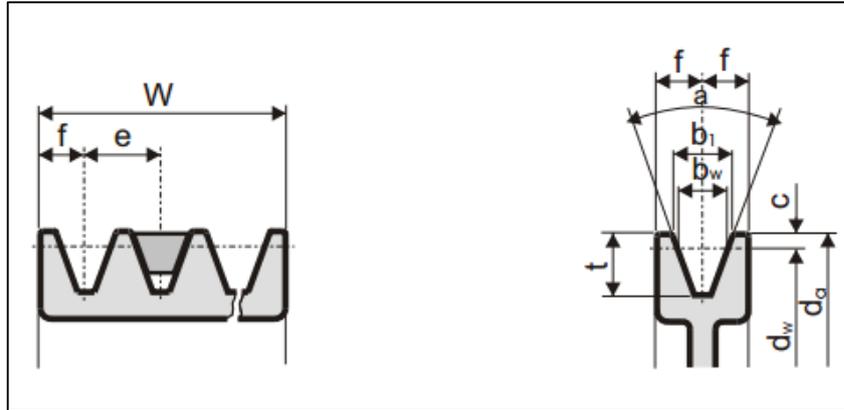
Las medidas totales se pueden apreciar en la siguiente tabla

Tabla 23. Contracción total

Dimensiones polea 3 SPB 118 TB 1610		
Representación	Medida normal [mm]	Medida con 1,8% de contracción [mm]
do	125	127,25
dw	118	120,12
w	63	64,13
M	75	76,35
L	50	50,91
f	12,5	12,73
c	3,5	3,56
t	17,5	17,81
bw	14	14,25
b1	16,3	16,61
e	19	19,34

Fuente: Autores

Figura 20. Perfil de la polea



Fuente: <http://goo.gl/2jmjQO>

Para calcular el valor de w se aplica la siguiente formula

W = ancho total según el número de canales

$$w = (z - 1)e + 2f \quad (1)$$

Los valores son tomados del catalogo

$$w = (3 - 1)19 + 2 * 12,5$$

$$w = 63 \text{ mm}$$

3.1.6.2 Selección de ángulos de salida. Al tener preparado el modelo es necesario abrirlo en dos o más partes para extraerlo, es necesario que sus caras tengan una ligera inclinación que permita su extracción sin que el modelo arrastre consigo arena.

Una de las principales características del modelo es la facilidad de desmolde, esto se consigue modificando la geometría de la pieza diseñando una ligera inclinación con un ángulo de salida.

El ángulo de salida está dado según la altura del modelo, la polea brinda una geometría no tan compleja para ser extraída de la cavidad por esta razón su ángulo no será tan pronunciado, se seleccionó el ángulo según la tabla y la altura del modelo. El proceso de construcción consiste en fundir el material a una temperatura elevada al igual que la mayoría de materiales el ABS

Tabla 24. Ángulos de salida y pendientes

Altura del modelo [mm]	Ángulos de salida y pendientes
De 1 a 10	3°
De 11 a 20	2°
De 21 a 35	1°
De 36 a 65	0° 45'
De 66 a 150	0° 30'
De 151 a 250	1,5 mm
De 251 a 400	2,5 mm
De 401 a 6000	3,5 mm
De 601 a 800	4,5 mm
De 801 a 1000	5,5 mm

Fuente: <http://goo.gl/wvOzXs>

El modelo tiene una altura de 63,25mm con este dato se selecciona en la tabla un valor de 0° 45' alrededor de 1°, como se dijo antes el ángulo no será tan pronunciado, con este dato se diseñara el modelo, esta es la última parte para dimensionar el modelo.

La polea estará construida en aluminio, ya que este material es el más utilizado en poleas, para el diseño se tuvo en consideración las siguientes características:

- Se realizaron los cálculos tanto para el material de la polea como para el material del modelo, la contracción final es de 1,8 %
- Se aplicaron ángulos de contracción B de 0° 45' o 1° según la tabla 23
- El modelo a construirse será un modelo desarmable, cortado por la mitad compuesto por dos partes iguales.

3.2 Modelado

El modelo a construirse es una polea Trapecial Maciza Tipo P (SPB-B-5V) de 3 canales, sus ángulos de perfil es de 34°, estos datos se seleccionaron según su diámetro exterior, el proceso de construcción consiste en fundir el material a una temperatura elevada al igual que la mayoría de materiales el ABS, la forma de construcción fue dibujar el perfil de la polea con todos los datos proporcionados en el catálogo, estos datos se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 25. Medidas de los canales

Perfiles		SPZ	SPA	SPB	SPC/C	
bw		8,5	11	14	19	
bl		9,7	12,7	16,3	22	
c		2	2,8	3,5	4,8	
e		12±0,3	15±0,3	19±0,4	25,5±0,5	
f		8±0,6	10±0,6	12,5±0,8	23,8±0,6	
t		11±0,6	13,8±0,6	17,5±0,6	23,8±0,6	
α	34°	bw	≤80	≤118	≤190	≤315
	38°	bw	>80	>118	>190	>315
	Tolerancia		±1°	±1°	±1°	±30°
W W= ancho total según el número de canales (Z). $W = (Z-1) e + 2f$		Z=1	16	20	25	34
		2	28	35	44	59,5
		3	40	50	63	85
		4	52	65	82	110,5
		5	64	80	101	136
		6	76	95	120	161,5
		7	88	110	139	187
		8	100	125	158	212,5
		9	112	140	177	238
		10	124	155	196	263,6
		11	136	170	215	289
		12	148	185	234	314,5

Fuente: <http://goo.gl/RCIWGG>

Para la construcción del perfil se utilizó un software CAD para modelado mecánico Solid Works 2014, se utilizó este programa por el conocimiento previo y las facilidades que ofrece. Se dibujó el perfil de la polea con su ángulo, en este caso 34° este valor es consultado en la tabla de fabricación de la polea Anexo D.

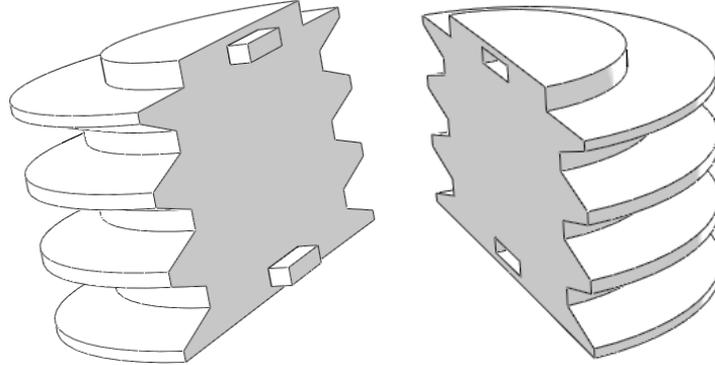
Figura 21. Polea (SPB-B-5V) diseñada (vista renderizada)



Fuente: Autores

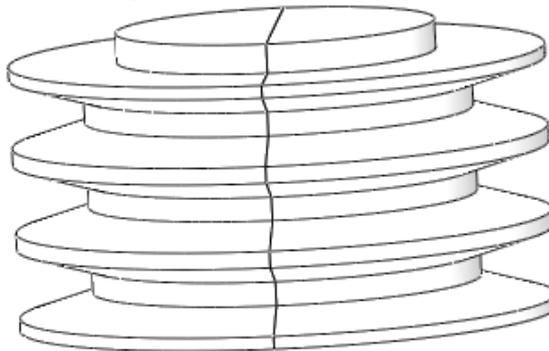
3.2.1 *Tipo de modelo.* El modelo está diseñado en dos partes iguales con dos entrantes y salientes a los dos lados para que se puedan ensamblar y formar la polea.

Figura 22. Modelo desarmable



Fuente: Autores

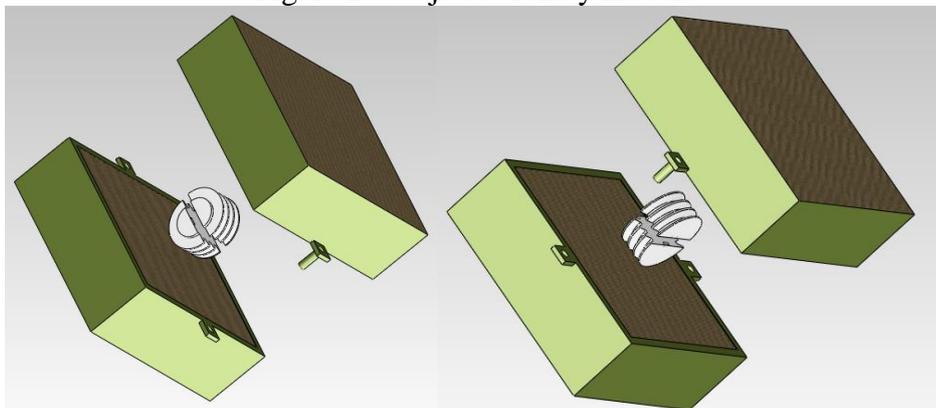
Figura 23. Polea ensamblada



Fuente: Autores

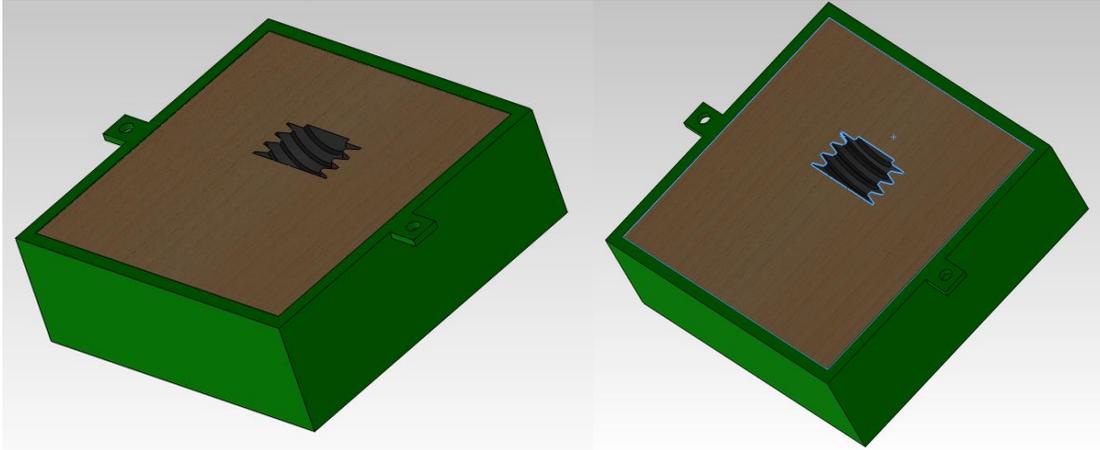
En la figura 24 se parecía las cajas de arena con los modelos, las dos partes se colocaran con cuidado para formar correctamente la forma de la polea.

Figura 24. Caja de arena y modelo



Fuente: Autores

Figura 25. Cavity del modelo en la arena.



Fuente: Autores

3.3 Estudio estático de la polea.

Este tipo de estudio se basa en las fuerzas que actúan sobre la parte superior de la polea cuando el modelo está listo dentro de la caja de arena.

- **Material**

La parte más sensible y de menor espesor son los canales del perfil de la polea tiene un espesor de 8,9 mm, el material es plástico ABS.

Tabla 26. Propiedades del material

Material	Límite Elástico	Límite de tracción	Densidad
ABS	32 MPa	32 MPa	1020kg/m ³

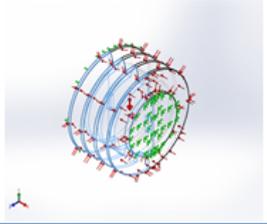
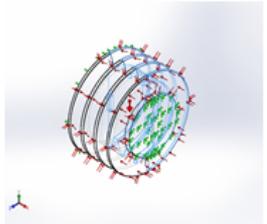
Fuente: Autores

- **Cargas**

La carga está determinada por el peso de la arena en una caja mediana del taller de fundición de la facultad de mecánica, las dimensiones de la caja son de 45*46 cm y 16 cm de profundidad, el peso de la arena es de 70 lbf.

Para calcular la presión en la arena se necesita el área de la polea, este dato se puede verificar con la ayuda del Software Solid Works 2014 y su variedad de herramientas existentes en dicho software

Figura 26. Propiedades volumétricas

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Cortar-Extruir1</p>	Sólido	Masa:0.317265 kg Volumen:0.000311045 m ³ Densidad:1020 kg/m ³ Peso:3.1092 N	C:\Users\Henry\Download s\salida-hembra.SLDPRT Nov 21 22:15:36 2015
 <p>Saliente-Extruir1</p>	Sólido	Masa:0.319305 kg Volumen:0.000313045 m ³ Densidad:1020 kg/m ³ Peso:3.12919 N	C:\Users\Henry\Download s\salida-macho.SLDPRT Nov 21 22:15:07 2015

Fuente: Autores

Cálculos

Datos:

Área de superficie = 90 908,71 mm²

Peso de la arena = 70 lbf

70 lbf = 311,387 N

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

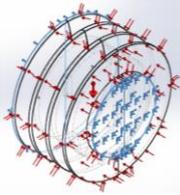
$$P = \frac{311,378 \text{ N}}{90908,71 \text{ mm}^2}$$

$$P = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

Cargas

Para aplicar la carga se selecciona las caras en donde se aplicara la carga, en la polea la cara seleccionada son los perfiles de la polea por ser los que estarán sometidos a la presión de la arena.

Tabla 27. Cargas

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: Tipo:		4 cara(s) Geometría fija
Fuerzas resultantes				
Componentes		X	Y	Z
Fuerza de reacción (N)		6071.16	6.25293	-0,0112402
Momento de reacción (N.m)		0	0	0

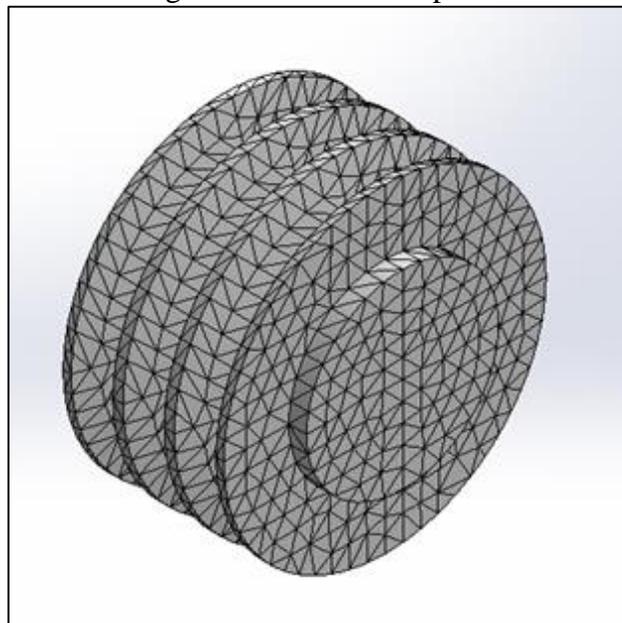
Resulta
6071.1
0

Fuente: Autores

- **Mallado**

De la calidad de mallado dependerá la precisión de los datos, se utilizó el mallado automático que proporciona el programa Solid Works

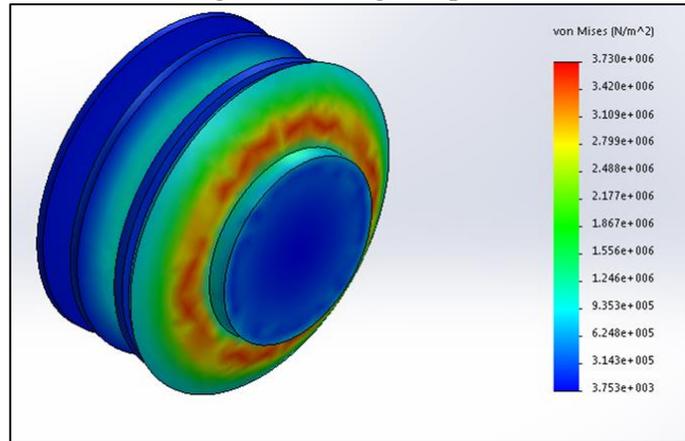
Figura 27. Mallado de pulea



Fuente: Autores

3.3.1 *Análisis de resultados.* En la figura se muestra los resultados de la pulea sometido a un esfuerzo de Von Mises, donde se indica la distribución de los esfuerzos y la tensión máxima se da en toda la cara del primer perfil del diente proporcionando un valor de 3,73 MPa, dato que es menor a los 32 MPa que soporta el ABS

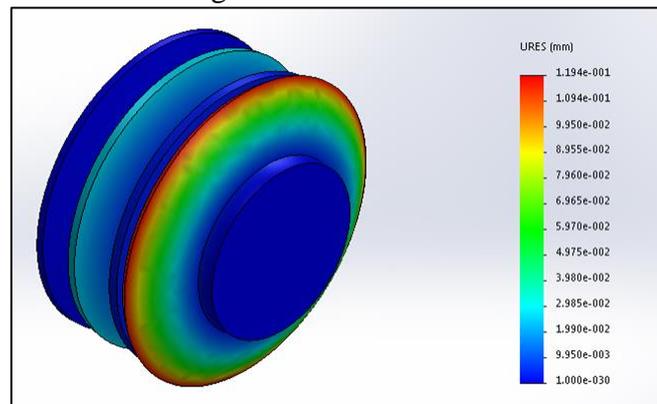
Figura 28. Carga en polea



Fuente: Autores

La deformación máxima en caso extremo que puede existir en el material será de 0,11 mm esta deformación se dará en el primer perfil de la polea, valor que es mínimo considerando el uso.

Figura 29. Deformación



Fuente: Autores

Tabla 28. Resultados

Nombre	Tipo	Min	Máx
Desplazamiento 1	URES: Desplazamiento resultantes	0 mm Nodo: 10	0,119396 mm Nodo: 9082

Fuente: Autores

3.4 Instalación del software

La impresora se conecta mediante un cable USB al ordenador y tiene su software propio denominado XYZ Ware, el programa se instala desde un Cd, al introducir el Cd aparecerá una aplicación denominada XYZ Ware-1.1.34.7 se dará doble clic a esta aplicación y

aparecerá un cuadro de dialogo para ejecutar el programa, se aceptara las condiciones de uso, luego aparecerá otro cuadro de dialogo para finalizar la instalación, el programa aparecerá predeterminado en el escritorio del ordenador.

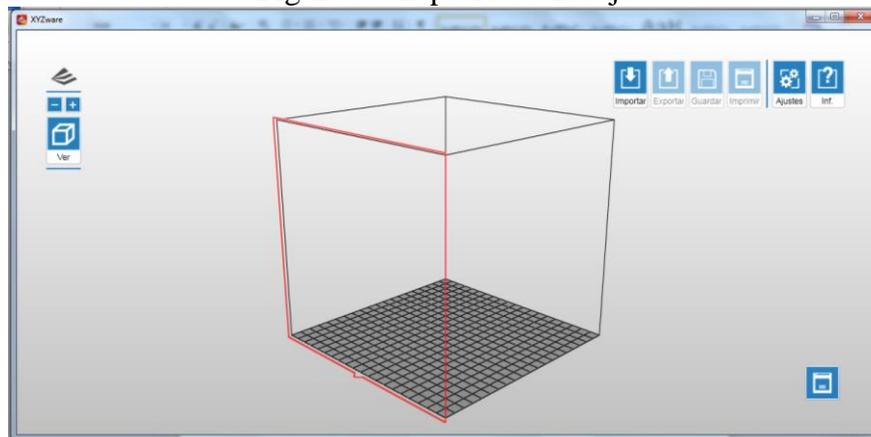
Los requisitos para la instalación en un ordenador son los siguientes:

- Windows XP (se requiere .net 4.0), Windows 7 o superior (para PC)
- Mac OSX 10.7 64-bit +
- PC compatibles con X86 32/64 bits con DRAM 2 GB+ (para PC)
- Mac compatibles con X86 64 bits con DRAM 2GB+ (para Mac)

Una vez instalado el programa se dará doble clic sobre su icono para abrirlo, se aprecia que es un software fácil de utilizar con una interfaz didáctica con una caja que simula la plataforma y el espacio dentro de la impresora.

En la parte superior derecha existen varias opciones de configuración, para importar, exportar o guardar el diseño, en la parte superior izquierda se aprecia alternativas para visualizar el diseño como se muestra en la siguiente figura.

Figura 30. Espacio de trabajo

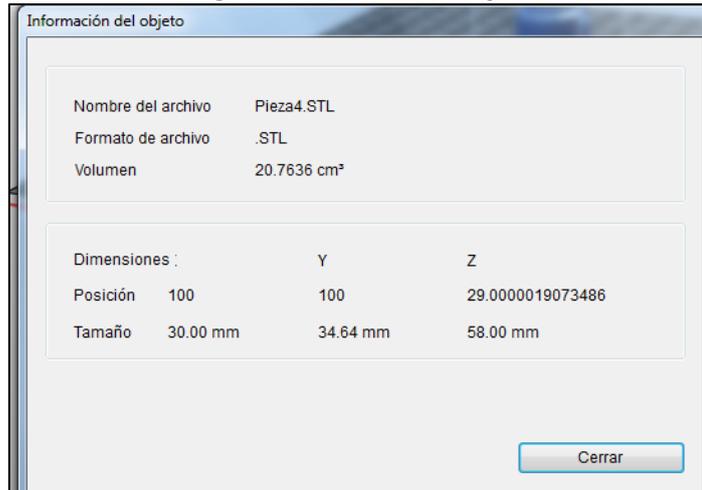


Fuente: Autores

Una vez exportado el diseño se puede visualizar desde cualquier lado manteniendo presionado el botón derecho del mouse, con el scroll se puede ampliar y reducir el objeto.

Para visualizar datos como: volumen, posición tamaño se dará clic sobre información y se desplegara la siguiente imagen como se aprecia en la figura 32.

Figura 31. Datos del objeto



Fuente: Autores

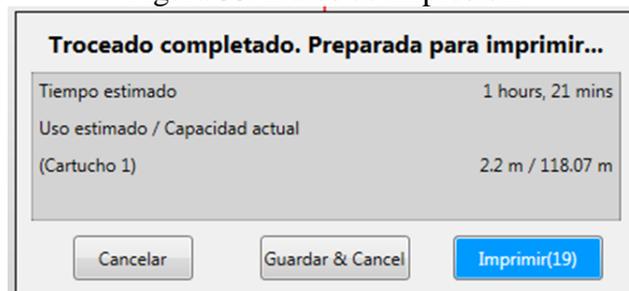
Para lograr la interfaz entre el ordenador y la impresora se deberá colocar el cable USB para transferir datos, se seleccionara la opción imprimir se comprobaran todos los parámetros de impresión y la interfaz comenzara de inmediato fig 32, completada la interfaz aparecerá otro cuadro de dialogo con la información troceado completo preparando para imprimir, en este cuadro de información se apreciara el tiempo estimado de impresión, la capacidad actual y uso en la impresión del cartucho fig. 33.

Figura 32. Interfaz



Fuente: Autores

Figura 33. Datos de impresión.



Fuente: Autores

Para mayor información y guía se deberá consultar el manual de usuario mostrado en el Anexo E.

3.5 Carga de material

El material para la construcción del modelo será ABS, la impresora utiliza filamentos de la propia marca, el filamento está dentro de una estructura robusta su peso es de 300 g, en la parte interior se encuentra ubicado un chip que se conecta con la ROM flash de la impresora, sirve para transmitir información al panel principal, como la cantidad de filamento restante pero el uso principal es detectar filamentos piratas.

Para cargar el filamento se seleccionará en el panel de control la opción utilities, después elegir change cart y presionar ok, se desplazara la palabra load filament (cargar filamento) presionar ok. Al llegar al punto de fusión el ABS desprende gases que en concentraciones altas pueden ser nocivas.

Para el siguiente paso se debe esperar que el extrusor alcance la temperatura adecuada de trabajo, se podrá apreciar una información con la temperatura en el panel de control.

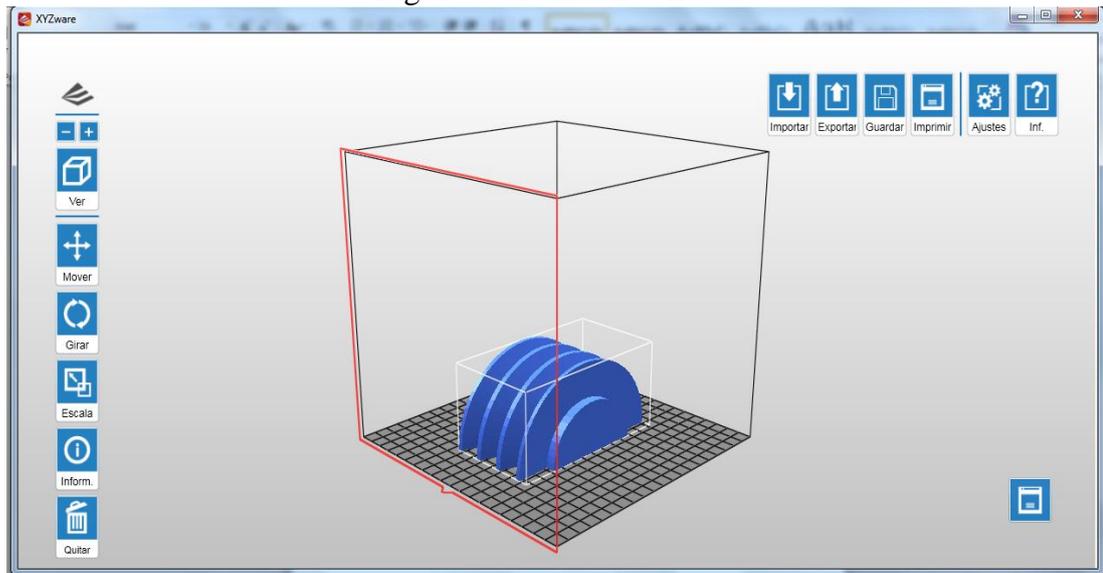
Se introducirá el material por la ranura de la parte superior y por un conducto transparente que servirá como guía para colocarlo en el extrusor, se presionara con fuerza moderada hasta escuchar un clic, para verificar que el material este colocado correctamente se observara que el material salga por el extrusor si es así se presionara ok para volver al menú principal.

3.6 Selección de parámetros de impresión

Para seleccionar los parámetros primero se exportara el diseño que previamente se guardó en un formato STL, se selecciona la opción importar y se examina el archivo guardado para exportarlo.

Se puede apreciar que la posición no es correcta la parte plana deberá estar en la parte inferior en la cama caliente, para colocar el modelo en esta posición se modifica el valor de giro y se coloca un valor de 180° en el eje y, la posición correcta de impresión se muestra en la figura 34.

Figura 34. Posición correcta



Fuente: Autores

El software XYZ Ware también nos da la posibilidad de verificar la escala y las dimensiones según el diseño establecido en el software Solid Works 2014.

Con la correcta posición y la verificación de las dimensiones se seleccionan los parámetros de impresión.

La calidad de impresión dependerá fundamentalmente de los parámetros de impresión, la impresora XYZ cuenta con varios parámetros para mejorar la calidad y la resistencia del prototipo.

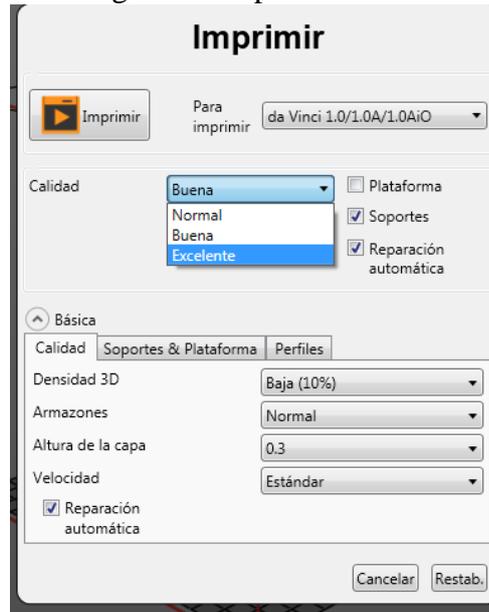
Estos parámetros se seleccionaran según el uso que se dará a las piezas en nuestro caso se deberá seleccionar las mejores alternativas para que la pieza final tenga la mejor calidad y resistencia que aseguren un modelo funcional, práctico, preciso duradero y útil.

Para el caso de nuestro modelo de fundición se escogieron los siguientes parámetros:

3.6.1 *Calidad.* El software tiene la opción de seleccionar tres tipos de calidad siendo la mejor la calidad excelente, de la calidad dependerá el tiempo de construcción.

En el software XYZ se tienen tres opciones, el modelo de fundición se construirá con la opción excelente el objeto se imprimirá con una resolución alta pero con un tiempo mayor.

Figura 35. Tipo de calidad



Fuente: Autores

3.6.2 Soporte. Los soportes sirven para construir geometrías con salientes, los soportes son estructuras delgadas que se construyen alrededor para estabilizar la estructura, según la geometría de la plega no presenta salientes pronunciadas, pero se construyeron soportes en la base de los perfiles de la plega para evitar el levantamiento de material por la temperatura.

3.6.3 Reparación automática. Sirve para corregir los posibles errores al momento que el diseño se transforma en un formato STL. Es muy aconsejable seleccionar esta opción para que el software de la impresora corrija estos errores si los hubiere.

3.6.4 Densidad 3D. Es un parámetro importante para garantizar la resistencia del prototipo, la densidad se refiere al relleno de material.

La densidad brinda al objeto una estructura de soporte interna, los porcentajes de relleno altos tendrán mayores hilos extruidos, a diferencia de los valores menores que tendrán pocos hilos extruidos, para objetos huecos se recomienda un relleno de 0% y para sólidos un 50%.

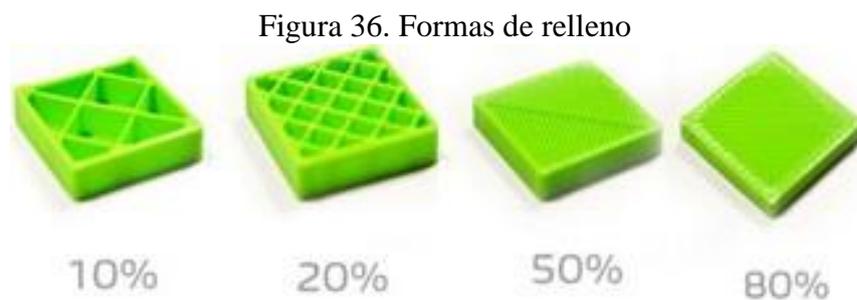
El porcentaje de densidad se refiere a la parte de material extruida por ejemplo si se selecciona un porcentaje de 10% el interior del modelo estará extruido con un 10% de material y con un 90% de aire (FONDA, 2012).

Más relleno incrementará el peso y la resistencia del objeto también se incrementará el tiempo de impresión, si los modelos estarán sometidos a fuerzas se recomienda un relleno de 50% en adelante.

3.6.5 Forma de relleno. En la impresión 3D existen varias formas de relleno entre las más comunes están relleno triangular, cuadrangular y panal de abeja, la seleccionada para imprimir el modelo es una densidad en forma de panal de abeja.

La forma de panal de abeja brinda una alta resistencia debido a sus puntos de contacto, esta forma de relleno tiene un mayor volumen y debido a esto utiliza menor cantidad de material.

Es decir esta forma de relleno es más eficaz y más rápida de imprimir, se ahorrará tiempo energía material y ofrecerá una gran resistencia.



Fuente: <http://goo.gl/8ndJWr>

Para el modelo de fundición se seleccionó un modelo de mallado tipo panal de abeja con una densidad alta de 50% basándose en un estudio realizado con 4 tipos de densidad (80, 50, 20 y 10) %

El estudio dio como resultados los siguientes datos:

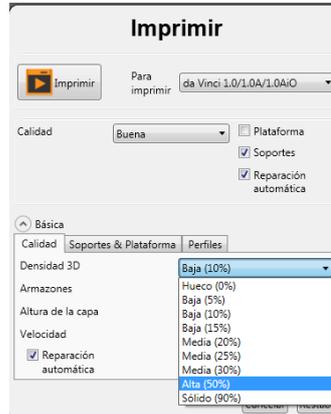
Tabla 29. Pruebas mecánicas con diferentes densidades

Material	Tensión máxima [MPa]	Densidad [%]
ABS	22,367	80
	15,7	50
	12,19	20
	9,8	10

Fuente: Autores

El estudio estático realizado en el programa Solid Works 2014 proporciono una carga máxima en los perfiles de los dientes de 3,73 MPa, por lo tanto el valor de relleno será de 50% ya que al construir el modelo con este relleno la tensión máxima de rotura será de 15,7 Mpa superior a la tensión máxima según el estudio realizado.

Figura 37. Densidad seleccionada



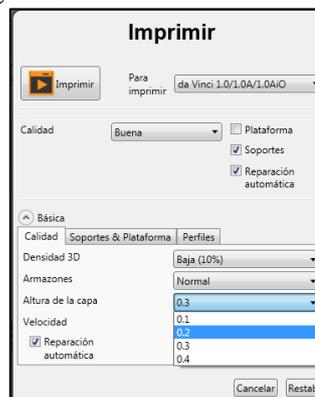
Fuente: Autores

3.6.6 *Altura de la capa.* Determina cuan delgada será la capa de impresión, a menor altura mayor calidad superficial, la altura está relacionada con el movimiento del eje z (de abajo hacia arriba)

Una capa más delgada incrementara el total de capas que deberá imprimirse, la altura preestablecida en la impresora es de 0,3 mm

Para la construcción del modelo se seleccionó una altura de capa de 0,2 mm, esta altura ofrecerá un mejor acabado superficial pero incrementara el tiempo de impresión.

Figura 38. Altura seleccionada



Fuente: Autores

3.6.7 Velocidad. Cabe recalcar que cuando se menciona velocidad no se refiere a la velocidad solamente del movimiento del extrusor en los distintos ejes, cuando se habla de velocidad es la velocidad de movimiento de los ejes y la salida por el extrusor del material en este caso el ABS

Una velocidad lenta aumenta la calidad de impresión. Para la sección de la velocidad del modelo se seleccionó según las especificaciones de la geometría como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30. Velocidad según la forma de la pieza

Zona	Velocidad
Perímetros externos	Siempre muy lenta (15-20 mm/s)
Perímetros internos	Siempre muy lenta (15-20 mm/s)
Relleno interno	Aquí no hay problema en subir la velocidad al máximo que admita nuestra impresora sin atascarse el extrusor ni tener problemas mecánicos (60-120 mm/s)
Capa solida superior (externa)	Siempre muy lenta (20-25 mm/s)
Capas solidas no externas	Podemos subir la velocidad sin exagerar (50-60 mm/s)
Puentes	La velocidad debe ser media. Una muy lenta causara que el puente se caiga por su propio peso, y una más rápida puede ocasionar que no salga plástico de lado a lado completamente. (aprox. 50 mm/s)

Fuente: <http://goo.gl/DyzOGL>

En esta tabla se muestran las distintas áreas y la velocidad de impresión, según un foro en la web por construcciones, las velocidades especificadas dieron una gran calidad en la pieza final, como la polea debe ser precisa práctica duradera y útil se selecciona una velocidad lenta de 15 a 20 mm/s.

Figura 39. Velocidad seleccionada



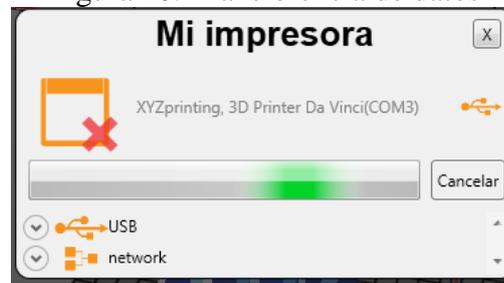
Fuente: Autores

3.7 Impresión

Una vez seleccionados todos los parámetros de impresión se coloca pegamento en el área de impresión (cama caliente) para garantizar que la pieza se adhiera y no afecte a la construcción ni cambien las medidas del diseño.

En el cuadro de dialogo se selecciona la opción imprimir, se tardara unos minutos porque en este paso el software de la impresora calcula el desplazamiento de los ejes en un g-code según la geometría de la pieza.

Figura 40. Transferencia de datos



Fuente: Autores

Se verificara el tiempo de impresión en el panel de control de la impresora, el tiempo de impresión dependerá de la geometría y de los parámetros seleccionados, la impresión comenzara cuando la impresora alcance la temperatura necesaria en el extrusor y en la cama caliente.

3.7.1 Impresión del modelo a escala. En la mayoría de trabajos importantes se construye primero un prototipo con las mismas características del modelo para garantizar el diseño y corregir las fallas que se presenten, en base a este criterio se imprimió una primera polea con los mismos parámetros seleccionados para el modelo final, en este prototipo se verificara las dimensiones la forma y especialmente la contracción del material, las fallas que se puedan presentar serán corregidas para posteriormente imprimir un modelo con las mejores características sin fallas en su forma.

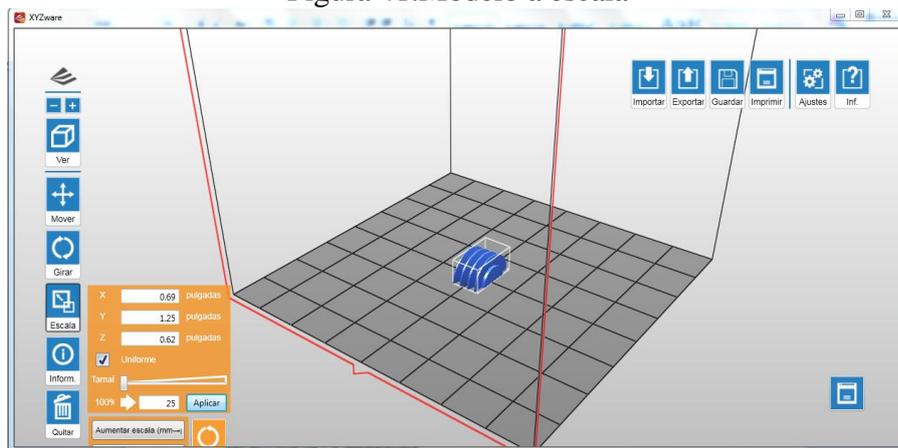
La escala seleccionada fue de 1 a 4 es decir un 75% menos de la escala original.

Para imprimir el prototipo se importara el modelo y se colocara de forma correcta como se muestra en la figura 40.

Para cambiar la escala se seleccionará la opción escala en el menú de la parte izquierda del espacio de trabajo del software XYZ ware, en el espacio en blanco se colocara la escala en porcentaje en este caso 25%.

Con la escala y la posición correcta se seleccionaran los parámetros de impresión del modelo principal.

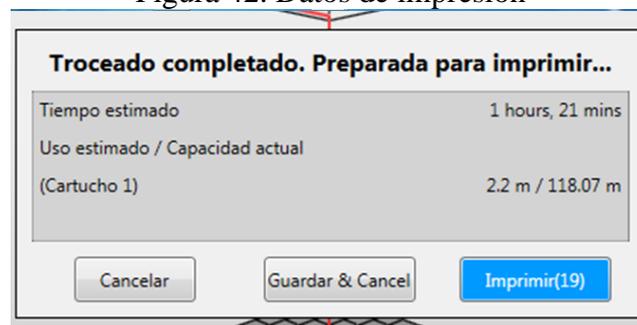
Figura 41. Modelo a escala



Fuente: Autores

3.7.1.1 Resultados obtenidos. El tiempo de impresión del prototipo fue de 1 hora y 21 minutos es un tiempo estimado calculado por el software para tener un tiempo exacto se cronometrara desde la impresión de la primera capa hasta la última, la longitud de filamento utilizado fue de 2,2 m estos datos e muestran en la figura 41.

Figura 42. Datos de impresión



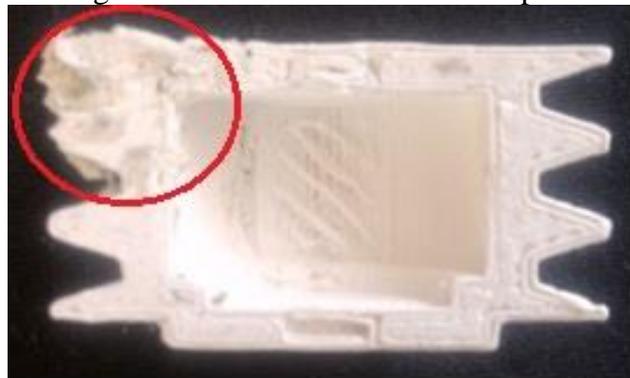
Fuente: Autores

Una vez transferidos los datos del ordenador a la impresora inicia la construcción, durante todo este transcurso la impresora no se detuvo hasta imprimir la última capa, después de retirar el prototipo se pudo apreciar dos tipos de fallas o errores en la impresión:

3.7.1.2 Problema de acabado superficial. Este problema se refleja en la forma y acabado superficial por exceso de material y falta de limpieza de impresiones anteriores, estos problemas se detallan a continuación:

- Al inicio de la construcción hay un exceso de material por acumulación de filamento en la boquilla, esto da como resultado que no se forme correctamente el perfil del diente.
- El filamento no se extruyó de forma adecuada al inicio, y al enfriarse se formaron capas que no correspondían a la forma del diseño, en la figura 42 se puede observar el problema de exceso de material
- Antes de comenzar la impresión se deberá retirar el exceso de material, la impresora tiene un sistema de auto limpieza al inicio deposita material sin ninguna forma para retirar del interior de la boquilla material solidificado, este material se solidifica en la cama caliente y se pega a la boquilla, cuando el extrusor se dirige a la posición de impresión la primera capa se ve afectada por este exceso de material.

Figura 43.Exceso de material en la polea



Fuente: Autores

Corrección:

- Antes de comenzar la impresión se deberá retirar el exceso de material con ayuda de un alambre del kit de mantenimiento de la impresora, esto se realizara cuando la impresora este en el modo de auto limpieza es decir cuando la impresora este depositando material sin ninguna forma, es importante que se retire este material antes que la impresora se desplace al punto cero de construcción, este material al

solidificarse puede tener contacto con la primera capa del prototipo y retirarla en su totalidad este es un grave problema porque la capa siguiente se depositara encima de la base sin ninguna forma.

- Para evitar este problema en la construcción del modelo se limpiara la boquilla con ayuda del cepillo de cerdas de cobre para eliminar el exceso de filamento, para un mejor resultado se introducirán en la boquilla hilos finos para retirar restos de material solidificado, este hilo de alambre está en el kit de mantenimiento de la impresora.
- La cama caliente se limpiara con un paño húmedo después de cada impresión, esto evitara que por acumulación de pegamento aumente el espesor en la cama caliente que puede afectar las dimensiones en la altura del prototipo.

En el kit de mantenimiento de la impresora existe un cepillo de cobre que sirve para limpiar el extrusor del material como se muestra en la figura 43, la limpieza será con movimientos suaves, para un mejor resultado se retirara el recipiente blanco para permitir un mejor movimiento.

Figura 44.Limpieza del extrusor



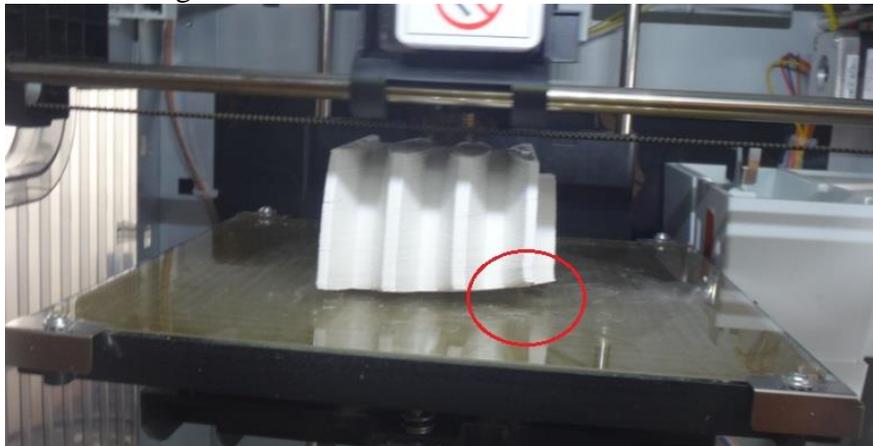
Fuente: Autores

3.7.1.3 *Presencia de Warping (pandeo) en la impresión.* Warping (pandeo) es el nombre que se le da a una falla en la impresión, cuando las esquinas de la pieza se doblan y se despegan de la base de impresión, este es un problema común específicamente cuando se utiliza filamento de ABS como material de construcción, esta falla se da por el aumento de temperatura y las tensiones internas que sufre el material, el detalle de este problema se menciona a continuación:

- Cuando la capa llegó alrededor de 3 mm se observó que la esquina de la pieza comenzó a despegarse y a doblarse, si la impresora se paraba las demás capas no podían solidificarse para formar un solo elemento.
- Al levantarse la esquina de la polea la boquilla del extrusor rozaba con el material solidificado produciéndose una ligera vibración en la impresora, las vibraciones y movimientos modifican las dimensiones y formas de los elementos impresos.
- La construcción se vio afectada en la esquina, el resto de la pieza se construyó correctamente, a una altura aproximada de 12 mm la impresión fue uniforme.
- Al colocar abundante pegamento en la cama caliente se forma una ligera capa que puede modificar las dimensiones en el eje z, se observa que al llegar a la máxima temperatura la cama caliente el pegamento casi en su totalidad se evapora.

En la figura 44 se aprecia en un círculo de color rojo como el material se levanta de la cama caliente

Figura 45. Pandeo al inicio de la construcción



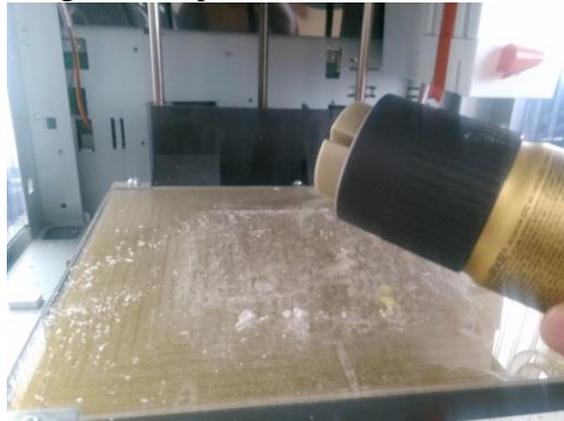
Fuente: Autores

Corrección

- Para la construcción del modelo se colocara mayor pegamento para evitar que la contracción levante el modelo de la cama caliente, el pegamento servirá para que el modelo se adhiera y no sufra ninguna variación en su forma.

- Para evitar este problema es necesario contar con un buen método de adherencia de la pieza a la base de impresión
- Para aumentar la adherencia se colocara una ligera capa de laca de cabello en la base de vidrio, existen pegamentos específicos para impresión como por ejemplo el pegamento DIMAFIX que permite una perfecta adherencia a temperaturas altas entre el plástico y vidrio pero en el país no se comercializa.
- La parte más crítica por su forma particular son los perfiles del diente de la polea, se deberá aumentar el área de impresión alrededor de los perfiles para evitar que el material se levante esto se consigue colocando soportes alrededor de todo el perfil, en los parámetros de impresión se seleccionaran soportes en la plataforma.

Figura 46. Aplicación de laca en la base



Fuente: Autores

3.8 Impresión del modelo de fundición

Al igual que el prototipo a escala el modelo se exporta y se coloca en posición correcta, se hicieron todas las correcciones necesarias para evitar los problemas que se presentaron en el prototipo a escala, la construcción comienza desde la parte inferior formando la estructura de los perfiles del diente hasta la última capa que es la forma superior de los dientes, a continuación se aprecia un resumen sobre las parámetros de impresión:

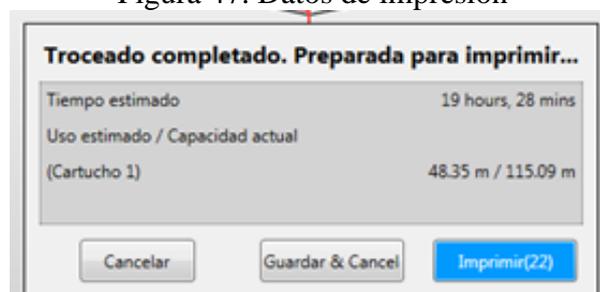
- El modelo se imprimió con una densidad de 50 %
- La altura de capa es de 0,2 mm
- La velocidad seleccionada para un mejor acabado es lenta.

- Se colocaron bases alrededor de los dientes para evitar pandeo.

El software calcula automáticamente la cantidad de filamento, la capacidad del cartucho es de 120 m y la cantidad de filamento restante es de 115 m, esta información se puede observar en la imagen 46 tomada en el software de la impresora.

Al igual que la cantidad de filamento el software también calcula el tiempo de construcción que variara según los parámetros y la forma de la pieza fig 46

Figura 47. Datos de impresión



Fuente: Autores

Los tiempos de construcción son estimados, el tiempo de construcción es de 19 horas con 28 minutos, se tomó el tiempo de construcción desde la impresión de la primera capa hasta la última capa y su tiempo de fabricación fue de 4 horas.

Se utilizaran alrededor de 48 m y quedaran 66 m para construir la otra mitad del modelo.

Antes de comenzar la impresión se colocara abundante pegamento en la cama caliente para evitar las fallas registradas en el modelo a escala.

Para una mejor fijación se colocara laca en la base de vidrio para evitar que la pieza se levante por las contracciones internas del material, existe pegamentos especiales que actúan a altas temperaturas elevando la adherencia pero en el mercado nacional no se comercializan.

Durante el tiempo de impresión se verificaba constantemente la pantalla de información de la impresora para garantizar la correcta construcción, en las 4 horas que duró la impresión no se presentó ningún tipo de información ni de advertencia en la pantalla.

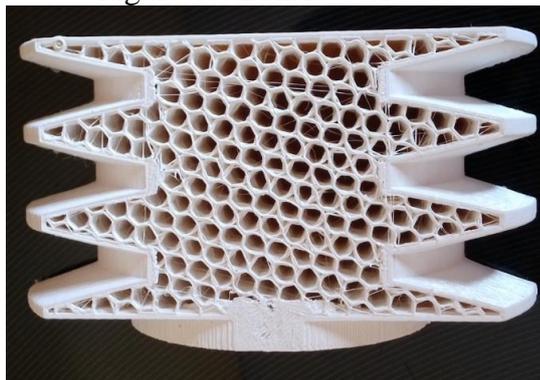
Al imprimir la otra mitad del modelo se observó una información de alerta, la impresora al llegar al 50% de uso de filamento automáticamente muestra un mensaje de advertencia, en este mensaje se aprecia que el filamento se está agotando y si deseamos continuar con la impresión, como se mencionó anteriormente se puede saber con exactitud cuánto material se utilizara en cada impresión

Para estar seguros se consultara esta información en el panel de visualización y si el filamento calculado por el software es menor al filamento restante no habrá ningún inconveniente en continuar con la impresión, se seleccionara ok para continuar normalmente con la impresión, esta fue la única información que se observó durante la construcción,

3.8.1 *Densidad.* Para apreciar la forma y el porcentaje de densidad se realizó un corte al modelo figura 47

La densidad del modelo es de 50%, es decir el interior de la pieza no es totalmente solida un 50% se construye con filamento en forma de paneles de abeja y el 50% restante es vacío. La construcción de panal de abeja tiene un mayor volumen y utiliza menor cantidad de filamento respecto a las otras formas de relleno.

Figura 48. Densidad al 50%



Fuente: Autores

Durante el transcurso de la impresión en el panel de visualización se aprecia el porcentaje de impresión y el tiempo fig 48, también se podrá verificar la temperatura de extrusión del material para esto se presiona en el botón de la parte superior derecha que tiene una forma de casa, en este menú se seleccionara información (monitor mode) se apreciara la temperatura del extrusor y de la cama caliente.

Figura 49. Información del tiempo estimado y porcentaje de impresión



Fuente: Autores

La impresora al terminar la impresión dará un aviso mediante el sonido de una alarma, después de esto el extrusor se limpiara de forma automática trasladándose hasta el punto de inicio.

Para retirar el modelo se verifica la información en el panel de control, (remueva el objeto, construcción completa), al seleccionar ok la plataforma bajara hasta la posición inicial, se tomaran las medidas de seguridad necesarias para retirar el modelo, se esperara alrededor de 5 minutos para que la temperatura de la plataforma baje y con la ayuda de la espátula se procederá a retirar lentamente desde las esquinas del modelo hasta levantarlo por completo figura 50.

Figura 50. Construcción completa



Fuente: Autores

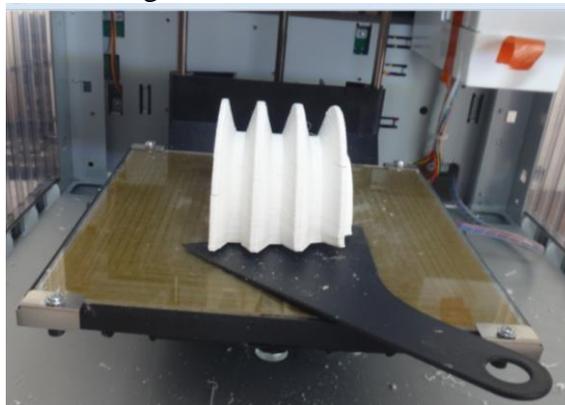
Si el modelo no se despegue con facilidad se colocaran gotas de agua alrededor de los bordes y desde la parte superior del modelo se moverá de forma uniforme hasta que se despegue.

Al retirar el modelo de fundición de la cama caliente se puede notar un buen acabado, se obtuvo un modelo de fundición construido en un material resistente y con un método de

construcción innovador diferente al método tradicional, su color es blanco marfil, el modelo puede someterse a tratamientos superficiales para elevar sus propiedades mecánicas.

Para terminar la impresión se realizara un mantenimiento en la impresora limpiando la base con un paño húmedo para retirar el exceso de pegamento y laca, con ayuda de un cepillo de acero se retirara el exceso de filamento del extrusor y finalmente se tomara nota del tiempo de construcción y del filamento restante para trabajos posteriores.

Figura 51. Modelo retirado



Fuente: Autores

Su peso es liviano las dos partes se acoplan perfectamente, el tiempo de fabricación fue de 8 horas para las dos partes y se utilizó 96 m de material.

En el siguiente capítulo se desarrollara un análisis de la forma y dimensiones del modelo construido.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DEL MODELO CONSTRUIDO

Al retirar el modelo de la cama caliente se puede analizar varios parámetros para comprobar si el uso de tecnología 3D se puede aplicar en la fabricación de modelos de fundición, para este análisis se tomaron en consideración los siguientes criterios:

- Forma
- Dimensiones
- Acabado superficial
- Peso

4.1 Forma

La forma más compleja de la polea es el perfil de los dientes, para verificar la forma diseñada se midió el ángulo desde los distintos flancos de los dientes dando un valor de 34 grados.

En la impresión del prototipo se presentó inconvenientes al inicio de la construcción, en el modelo de fundición impreso se observa que la base es totalmente plana sin ninguna irregularidad esta construcción uniforme se logró con ayuda de la laca de cabello que aumento la adherencia para que el material no se levante de la cama caliente.

Finalmente para comprobar la forma de la polea se ensamblan las dos partes figura 52.

Figura 52. Polea construida



Fuente: Autores

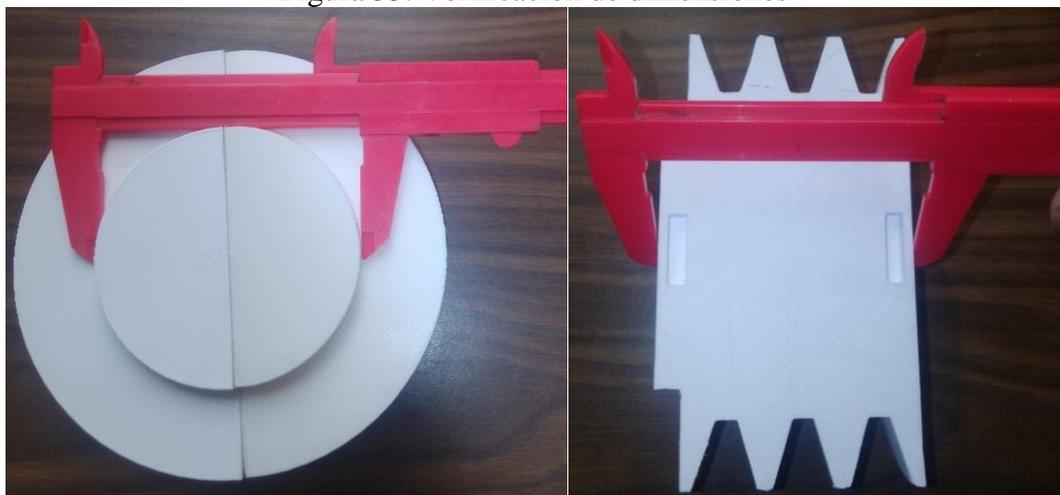
4.1.1 Verificación de dimensiones. Con ayuda de elementos de precisión como; calibrador, micrómetro, goniómetro se verifico todas las dimensiones antes calculadas, los valores más importantes son las sobredimensiones de las contracciones y las dimensiones de sobre maquinado de las parte exterior de la polea.

Para verificar las dimensiones se tomó como referencia el catalogo y la tabla final con contracción de 1,8%, en esta tabla esta especificada cada una de las medidas de la polea con su respectiva tolerancia.

Para un mejor resultado en las mediciones se colocó cinta adhesiva en las dos partes de la polea para ensamblarla y así tener mayor facilidad de medición con los distintos instrumentos de medida.

Se tomaron medidas de longitud profundidad y especialmente ángulos de los perfiles, en la figura 53 se aprecia una primera toma de medida de la parte exterior de la polea.

Figura 53. Verificación de dimensiones



Fuente: Autores

En la toma de medidas pueden presentarse errores de medición en el instrumento o errores de apreciación por problemas visuales descuido o cansancio, para tener una medida más exacta se tomaron 5 mediciones y se realizó un promedio

En la tabla 31 se muestran tres medidas; la medida normal de la polea, medidas con contracciones y se hace una comparación con el promedio de las dimensiones tomadas de la polea.

Tabla 31. Medidas tomadas en el modelo

Dimensiones polea 3 SPB 118 TB 1610			
Representación	Medida normal [mm]	Medidas de diseño [mm]	(Promedio) medidas tomadas [mm]
do	125	127,25	127,2
dw	118	120,12	120,1
w	63	64,13	64,14
M	75	76,35	76,3
L	50	50,9	51
f	12,5	12,73	12,74
c	3,5	3,56	3,58
t	17,5	17,81	17,9
bw	14	14,25	14,25
b1	16,3	16,6	16,7

Fuente: Autores

Según la tabla 31 se aprecia que las medidas concuerdan satisfactoriamente con el modelo construido, con esto se demuestra haber cumplido con el objetivo el cual es construir un modelo de fundición funcional y precisa mediante la utilización de nuevas tecnologías.

4.1.2 Acabado superficial. El acabado superficial y la rugosidad son de gran importancia para determinar la capacidad de desgaste, lubricación, resistencia a la fatiga y aspectos externos de un material o una pieza.

El acabado superficial del modelo influirá también en la rugosidad de la polea final.

Al observar el modelo se aprecian pequeñas líneas alrededor de la polea debido al proceso de extrusión del material, no es necesario realizar ningún tipo de mecanizado posterior, alrededor de los perfiles de los dientes se colocaron soportes es necesario retirarlos con ayuda de herramientas específicas para no influir en las dimensiones o la forma de diseño.

Existen tablas para determinar el acabado superficial de los diferentes procesos de construcción, para obtener el modelo se empleó un método de extrusión.

La rugosidad se mide en micrómetros el modelo de fundición tendrá un acabado superficial de 1 a 4 micrómetros considerado como una clase de rugosidad N6 de buena calidad.

En la siguiente tabla se aprecia el tipo de acabado superficial.

Tabla 32. Acabado superficial

Gama aproximada de valores Ra			
Proceso de obtención	Calidad	Ra [μm]	Grado de rugosidad
Fundición en arena	Bueno	12-25	N10-N12
Laminado en frio	Bueno	1-3	N6-N8
Extrusión	Bueno	1-4	N6-N9
Taladrado	Mediano	1,5-6	N7-N9
Fresado	Bueno	1-6	N7-N9
Torneado	Bueno	0,56-	N6-N9
Pulido	Excelente	0,1-0,5	N3-N5
Mandrinado	Bueno	1-2	N6-N7
Limado	Bueno	1-3	N6-N8
Rectificado	Excelente	1,5-3	N6-N8

Fuente: <http://goo.gl/Dd0sj2>

En la figura 54 se aprecia las líneas de construcción paralelas a la base, este acabado es obtenido según la selección de la altura de capa.

Figura 54. Acabado superficial.



Fuente: Autores

Peso. El modelo al estar construido internamente con una densidad de 50% tiene un peso muy liviano.

El peso se comprobó de acuerdo al dato proporcionado en el software Solid Works 2014 y el software XYZ ware de la impresora, según estos datos el modelo tiene un peso de 653,65 g.

Con la ayuda de una pesa digital se comprueba el peso real de la polea. El peso de la polea es de 655 g existe una variación de 1,35 g con respecto a los datos proporcionados por los programas de modelado se sometió a una prueba para comprobar si el material absorbía agua, este procedimiento consistió en:

Introducir la polea a un recipiente lleno de agua y dejarlo por 48 horas trascurrido este tiempo nuevamente se pesó la polea dando como resultado un incremento de 1,965 g

Para calcular el porcentaje de humedad se aplicó la siguiente formula:

$$\begin{aligned}\% &= \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})}{\text{peso seco}} \times 100 & (2) \\ \% &= \frac{(656,965 - 655)}{655} \times 100 \\ \% &= 0,3\end{aligned}$$

La absorción de humedad del modelo construido en ABS es de 0,3%.

Después de determinar el porcentaje de humedad se procedió a verificar las medidas según la tabla 22, se observó que las medidas no presentaron ninguna modificación. El modelo por estar construido con un material con características particulares que soporta tratamientos superficiales este bajo porcentaje de humedad se puede bajar a 0%.

4.2 Utilización del modelo de fundición

Como parte complementaria de nuestro proyecto de grado se utilizó el modelo de una forma funcional para obtener la polea, el material de construcción es aluminio, este proceso se desarrolló en su totalidad en el taller de fundición de la facultad de Mecánica con toda la seguridad que un proceso de esta índole requiere.

Con el modelo de la polea se procede a colocar la mitad de este en una caja para posteriormente llenarla de arena, se compacta la arena de forma uniforme rodeando el modelo en la caja, el modelo se coloca en una base de tabla que es construida para este mismo fin con las dimensiones de la caja de arena, en este proceso se tendrá precaución para que la arena no se desmorone.

Compactada la arena se procede a girar la caja para colocar en la parte superior el modelo que forma el cuerpo completo de la polea, en este proceso se debe tener cuidado para que la pieza final sea exactamente igual, se deberán ensamblar las dos partes del modelo.

Para evitar que se pegue la arena se coloca una fina capa de sílice después de esto se llena la caja superior al igual que la caja inferior se compacta uniformemente y se colocan los bebederos para poder colar el aluminio.

Compactada la arena la caja superior se separa, se pudo observar que la capa de sílice cumplió a la perfección su fin.

Figura 55. Caja de arena compactada



Fuente: Autores

4.3 Extracción del modelo

Para garantizar una buena extracción del modelo la arena debe presentar buenas características especialmente de humedad, una arena húmeda tiene buena plasticidad y se adapta de mejor manera a la forma del modelo. Las paredes de la polea tienen ángulos de salida de 1°.

Con ayuda de herramientas del taller de fundición se procede a retirar de la arena el modelo para dejar la huella donde el aluminio tomara la forma de la polea.

Introducir la polea a un recipiente lleno de agua y dejarlo por 48 horas trascurrido este tiempo nuevamente se pesó la polea dando como resultado un incremento de 1.965 g, con toda la seguridad que un proceso de esta índole requiere.

Se necesita de una técnica especial para poder sacar el modelo, se coloca agua al costado del modelo con ayuda de una franela y con ligeros golpes a los costados del modelo se lo va desprendiendo de la arena, el modelo se diseñó con ángulos de salida para facilitar la extracción, se extrajo el modelo sin que haya arrastre de arena, el mismo proceso se desarrolla en la otra caja

Figura 56. Extracción del modelo



Fuente: Autores

Una vez extraído el modelo, la cavidad con la forma de la polea se deberá secar por alrededor de 20 a 30 minutos para que la arena pierda humedad y se compacte uniformemente esto dará como resultado que el material se cole adecuadamente dentro del molde y no se desprenda la arena.

4.4 Obtención de la polea

Se colocaron dos cilindros a los costados de las paredes de la polea para formar los bebederos que son los canales que suministrarán la masa fundida, la sección de los bebederos garantizará que el material colado llegue suavemente a la cavidad del modelo.

Con un alambre de 5 mm de diámetro se harán respiraderos en la arena para la evacuación de los gases.

– **Calculo de la masa a fundir:**

Con las respectivas dimensiones de la polea y bebederos se calcula el volumen obteniendo un valor de 340,0450 cm³, este valor se obtuvo del software Solid Works 2014.

El valor de la masa a fundir se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$m=\rho V \quad (3)$$

Dónde:

m = cantidad de masa a fundir (g)

p = densidad de la aleación de aluminio (g/cm³)

v = volumen de la polea (cm³)

$$m = 2.7 \frac{g}{cm^3} \times 340,0450 \text{ cm}^3 = 918,12 \text{ g}$$

La polea finalmente se someterá a un proceso de mecanizado para recortar los canales de alimentación, remover las rebabas y mecanizar la parte externa para retirar cualquier exceso de material fundido, se perforara un agujero de 3 cm en el centro de la polea,

La figura 56 muestra la polea fundida y mecanizada.

Figura 57. Polea construida



Fuente: Autores

4.4.1 *Comparación con un modelo de madera.* El principal problema de la madera es la absorción alta de humedad, esto es un problema debido al uso constante en medios húmedos como es la arena, al hacer una comparación con un modelo tradicional y un modelo construido por impresión 3D.

Las características mecánicas aumentan significativamente, el ABS es un material con muy poca absorción de humedad y si se requiere se puede dar un recubrimiento superficial con capas protectoras para bajar la absorción de humedad.

- **Las desventajas en los modelos de madera son:**

- Absorción de humedad
- El material no suele ser de una sola pieza, en algunos casos el modelo de madera se construirá de varias maderas, se necesita una preparación para poder tener una sola pieza para mecanizarla y conseguir el modelo, esto hace que en las uniones sean frágiles y se presenten deformaciones.
- La precisión es otro de los problemas, estos modelos se fabrican de forma artesanal, es decir es un proceso netamente manual, si se fabricaran modelos por máquinas de control numérico el modelo sería altamente preciso pero el costo se elevaría.
- Menor resistencia
- Tiempo: como se mencionó anteriormente las maderas deben ser previamente tratadas para mejorar su resistencia y para tener una pieza donde se pueda mecanizar, estos tiempos muertos retrasan la mecanización del modelo, se necesita de un operario desde el inicio hasta el final de la fabricación del modelo.

- **Ventajas del modelo construido en ABS**

- El modelo construido presenta una alta precisión, comparado con un método de fabricación por máquinas CNC, el modelado por impresión 3D es menos costoso.

- En cuanto a la comparación con el tiempo , la construcción del modelo fue de 4 horas por cada lado de la polea en total fue un tiempo de construcción de 8 horas , al comparar con el tiempo de construcción de un modelo de madera los tiempos son relativamente iguales, en la construcción de un modelo por impresión 3D no se necesita la presencia del operador para controlar
- La impresora solo se deberá colocar los parámetros realizar la interfaz y la impresora construirá de forma autónoma el modelo, este tiempo si se compara con el de la madera donde el operario deberá estar mecanizando el modelo baja considerablemente.
- El modelo presenta una alta resistencia y supera las propiedades mecánicas de la madera al estar construido con un plástico altamente resistente y duradero capaz de soportar procesos industriales posteriores, que alargarían significativamente la vida útil de la madera.
- Gracias a un diseño por computadora se podrá evidenciar las cargas y las partes más frágiles del modelo, estos datos serán de mucha ayuda para aumentar la densidad de impresión que será el parámetro que dará la resistencia al modelo.

4.5 Instrucciones de uso de la impresora 3D

Para un correcto manejo de la impresora se dan instrucciones básicas donde constan las especificaciones técnicas, principales partes de la impresora, normas de seguridad, etc.

Se debe leer atentamente las instrucciones, consultando las ilustraciones para utilizar el equipo. Los parámetros de impresión se seleccionaran de acuerdo al uso que se le dé a la pieza construida

Todas las personas que utilicen el equipo serán los encargados de su mantenimiento y limpieza antes y durante su uso, si la persona no está capacitada o no ha leído el manual de operación deberá solicitar ayuda inmediatamente a la persona encargada.

Se verificara constantemente la cantidad de filamento en la pantalla de información de la impresora.

Se contó con un manual físico de la impresora en idioma inglés donde se especifican solo las partes básicas, por eso se elaboró un manual más completo con normas de seguridad y mantenimiento. La limpieza y el mantenimiento de la impresora garantizaran un rendimiento óptimo y alargara su vida útil

4.5.1 *Instrucción de seguridad.*

- **Área de trabajo**

- Limpiar el área de trabajo después de cada impresión.
- Colocar la impresora en una estructura firme y robusta.
- No colocar la impresora en posiciones inclinadas.
- No desmonte ni modifique los componentes.
- No intentar reparar la impresora realizando tareas que no se encuentran especificadas en este manual, si la impresora sufre un problema grave se debe poner en contacto con el centro de servicio XYZ.
- No colocar ningún tipo de recipiente con líquido en la parte superior de la impresora, si algún líquido se derrama dentro de la impresora.
- Utilizar únicamente filamentos de la marca XYZ.
- No colocar la impresora en la caja de cartón mientras el extrusor o la plataforma estén calientes.

- **Seguridad Eléctrica.**

- No colocar la impresora en entornos húmedos
- Mantener los cables de conexión fuera de alcance de las personas,

- No manipular ningún componente eléctrico interno.
- Verificar la aislación de los cables de conexión.
- Fije el cable de alimentación eléctrica durante su uso, si el cable no está fijado correctamente se puede producir fugas de corriente y producir un incendio.
- **Seguridad Personal.**
 - No introducir ninguna parte del cuerpo mientras esté en funcionamiento la impresora, las partes móviles pueden causar lesiones.
 - Esperar un tiempo prolongado para manipular la pieza impresa.
 - No tocar el extrusor ni la cama caliente, la impresora alcanza altas temperaturas.
 - Colocar las cubiertas laterales para evitar riesgos de atrapamiento y de quemaduras.

Colocar la impresora en un lugar ventilado especialmente cuando se va a imprimir con filamento de ABS, ya que puede desprender vapores tóxicos.

- **Seguridad al trabajar con ABS**

Según un estudio realizado en el instituto de Materiales de España muestra que las impresoras 3D pueden emitir alrededor de 20000000 de partículas por minuto cuando se utiliza ABS como material, esta emisión se asemeja a otros estudios realizados en diferentes objetos como: un cigarrillo, la quema de velas perfumadas o la emisión de impresoras que trabajan a laser.

Por la composición química del ABS se ha evidenciado en este mismo estudio que tiene un efecto toxico en ratones y ratas en estudios previos.

- Normas de seguridad

Se recomienda trabajar en ambientes ventilados, cerrar la puerta principal y colocar las protecciones laterales de la impresora.

Si se va a imprimir en ambientes cerrados sin ventilación se deberá usar protección respiratoria.

4.6 Pasos para imprimir un objeto

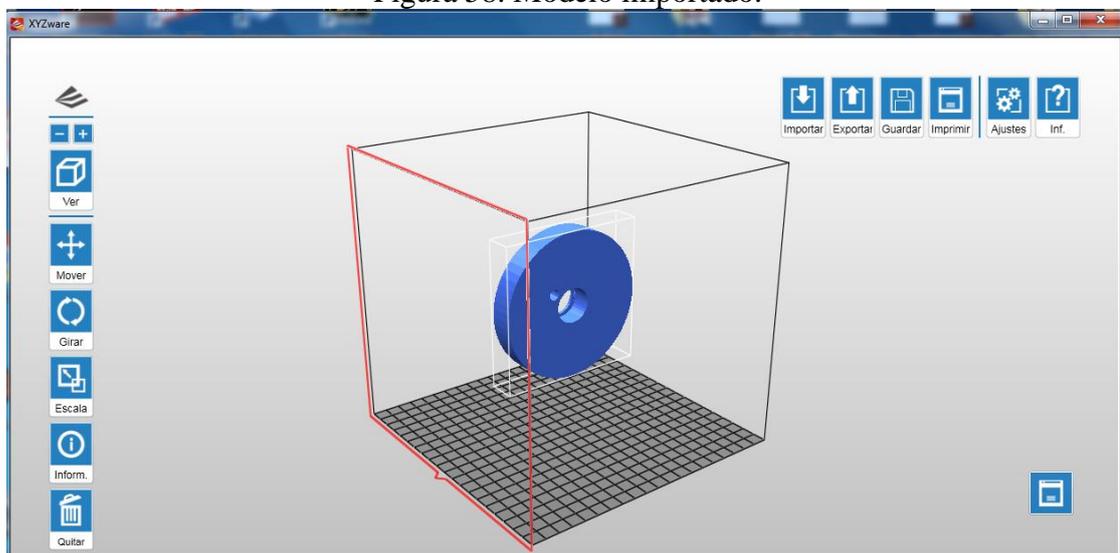
La impresora incluye un cd que contiene un software, muy básico, con una interfaz sencilla donde se especifican las diferentes configuraciones de impresión

La instalación de software es sencilla solo se debe seguir las instrucciones y registrar la impresora en la página Web principal de la impresora XYZ para beneficiarse de las actualizaciones del software.

Los archivos deben ser exportados en un formato STL, el primer paso es importar un diseño desde nuestro ordenador. En la figura 75 se aprecia una pieza importada.

Se podrá mover, girar, cambiar la escala de impresión, verificar la información como: volumen, tamaño, formato de origen.

Figura 58. Modelo importado.



Fuente: Autores

4.7 Configuración de los parámetros de impresión.

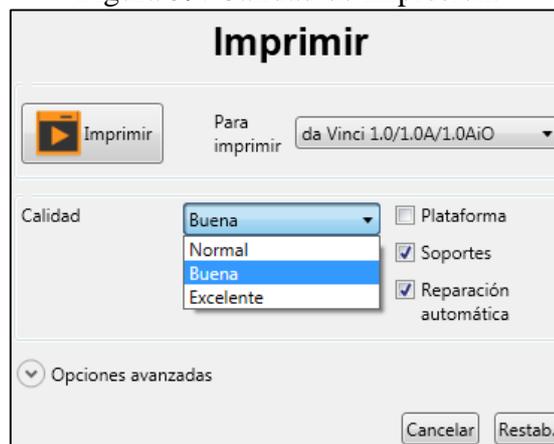
De los parámetros de impresión dependerá la calidad final del objeto, estos parámetros se configuraran según el uso y características del objeto.

El primer paso es seleccionar imprimir, hay 3 tipos de calidad de impresión:

- Normal: el objeto se imprime con una menor resolución pero a una mayor velocidad.
- Buena: la resolución de impresión es de buena calidad
- Excelente: el objeto se imprime con una resolución de alta calidad, pero con un tiempo de impresión mayor.

En la siguiente figura se aprecian los 3 tipos de calidad:

Figura 59. Calidad de impresión.



Fuente: Autores

Además de la calidad de impresión se puede escoger las opciones de plataforma, soportes, reparación automática.

- Plataforma: esta opción es solo para imprimir en la cama caliente.
- Soporte: Sirve para dar una mejor adherencia a la pieza, se usa en caso de diseños que tiene partes en el aire.
- Reparación automática: Corrige automáticamente las imperfecciones de la pieza, se recomienda siempre seleccionar esta opción para evitar fallas en la impresión especialmente cuando se imprime con filamentos de ABS.

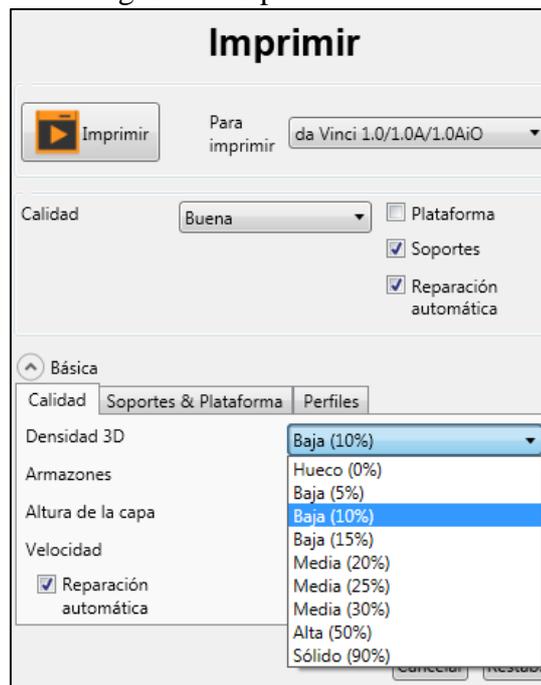
Opciones avanzadas.

En las opciones avanzadas se podrá escoger la velocidad, la altura, la densidad etc. A continuación se detalla cada una de estas opciones:

Calidad:

- Densidad 3D: Es la cantidad de material que se utilizara en el volumen del objeto, que va normalmente desde 0% (objetos huecos) hasta 90% objetos sólidos, más del 50% es raramente utilizada, los valores más usados son entre el 10 y 20%.
- Además del filamento en sí, también es importante la bobina en la que esté enrollado y como lo esté, así como el empaquetado y sellado de los mismos. Comprobaremos también si hay defectos de almacenamiento, como golpes.

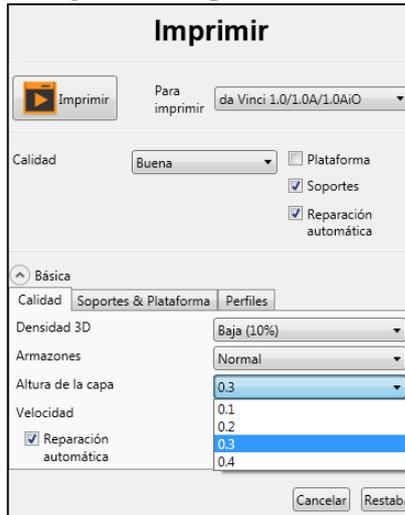
Figura 60. Tipos de densidad.



Fuente: Autores

- Altura de la capa: determina cuan delgada será la capa impresa del objeto, el eje z es el que controla este parámetro. Las capas más delgadas serán más lisas pero también incrementaran el tiempo de impresión, la altura preestablecida en la impresora es de 0,3 mm.

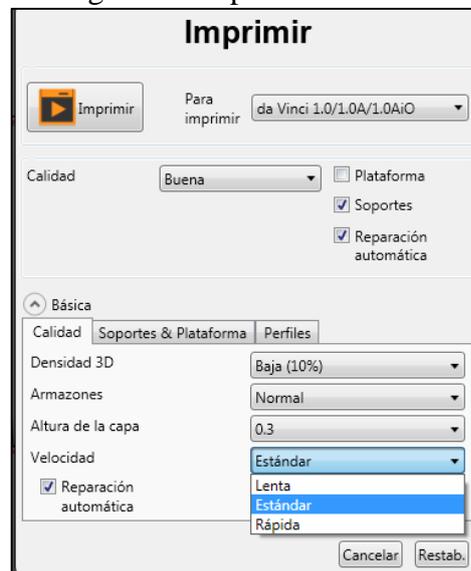
Figura 61. Tipos de altura.



Fuente: Autores

- Velocidad: está relacionada con la temperatura de la boquilla el tipo de filamento y la calidad de la impresora, las velocidades de extrusión más altas requieren temperaturas superiores, generalmente una velocidad menor ayuda a obtener mejor calidad en los objetos. Se puede escoger entre velocidad: lenta, estándar y rápida.

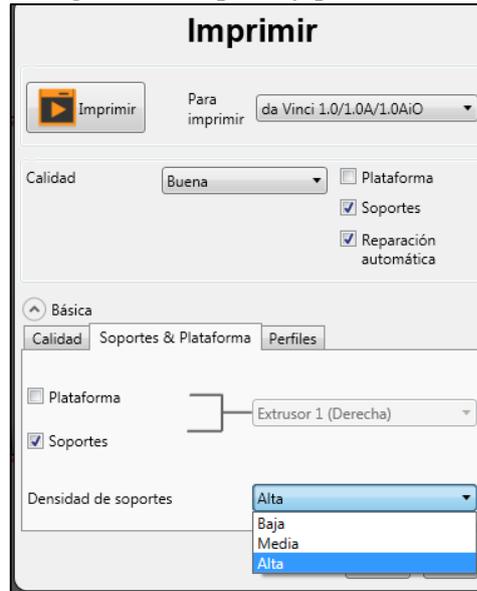
Figura 62. Tipo de velocidad



Fuente: Autores

- Soporte y plataforma: Sirve para seleccionar la densidad de los soportes, la densidad es el relleno de la pieza construida, la forma de relleno variara según la utilidad de la pieza, para formas complejas se colocaran soportes alrededor de la pieza, a mayor densidad mayor resistencia.

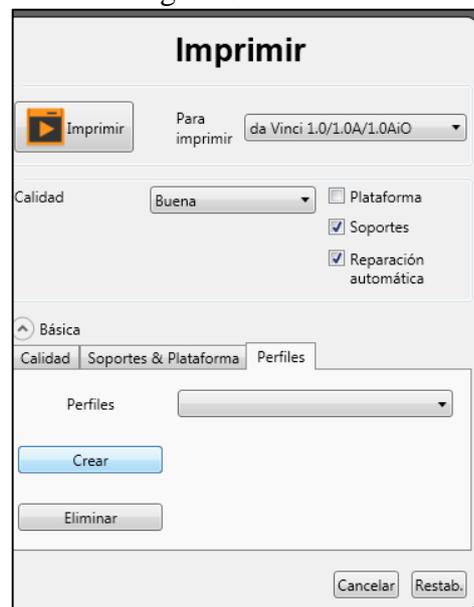
Figura 63. Soporte y plataforma



Fuente: Autores

- Perfiles: el perfil es el tipo de relleno seleccionado en nuestro caso un relleno tipo panal de abeja.

Figura 64. Perfiles



Fuente: Autores

4.8 Mantenimiento

Para un mantenimiento rápido se creó una hoja chek list para ser utilizada antes y después del uso de la impresora, el encargado del laboratorio donde se realicen prácticas verificara que se llenen correctamente estas hojas.

Tabla 33. Check list

 CHECK LIST DE MANTENIMIENTO IMPRESORA DAVINCI 1,0 			
Descripción del Equipo:		Fecha:	
Responsable:			
Impresora Davinci 1,0			
	SI	NO	Comentarios
¿Equipo se encuentra operativo?			
¿La estructura se encuentra en buen estado?			
¿Los cables eléctricos están en buen estado?			
¿Las protecciones laterales se encuentran colocadas?			
¿La puerta principal está en funcionamiento?			
¿La luz interior está en funcionamiento?			
¿La impresora esta con filamento (cantidad)?			
¿La boquilla del extrusor está limpia?			
¿Las correas están con suficiente tensión?			
¿Las tuercas y tornillos están ajustados?			
¿Las varillas lisas y roscadas están limpias y lubricadas?			
¿La base de cristal está limpia?			
¿Los componentes electrónicos están limpios?			
¿El interior y exterior de la impresora está limpia?			
OBSERVACIONES:			

Fuente: Autores

4.8.1 *Limpieza de componentes electrónicos.* El polvo o los excesos de material pueden deteriorar los componentes electrónicos de la impresora, después de cada impresión se limpiara con ayuda de una brocha la estructura de la impresora.

4.8.2 *Revisión de tuercas y tornillería.* Antes de manipular la impresora se deberá desconectar para evitar riesgos eléctricos. La constante vibración de la impresora por el movimiento de impresión puede aflojar las tuercas o tornillos de la impresora.

Se comprobaran que todas las tuercas estén ajustadas, se comenzara desde la base de la cama caliente hasta los ejes de movimiento.

4.8.3 *Comprobación de las tensiones de la correa.* Las correas pueden perder su tensión por el uso continuo por lo que continuamente se deben comprobar, si las correas no están con la suficiente tensión puede causar fallas en la impresión.

4.8.4 *Limpieza de varillas lisas y roscadas.* La impresora consta con tres varillas lisas y una roscada, el mantenimiento prioritario en estos componentes es la lubricación, se verificara que estos componentes tengan la suficiente lubricación para que las tuercas se deslicen correctamente.

4.8.5 *Limpieza de la base de cristal.* La continua utilización de pegamento y laca puede aumentar el grosor de la capa de la base. Este incremento puede acusar fallas en la impresión especialmente en las primeras capas, después de cada impresión se limpiara con un paño húmedo el exceso de pegamento y de material.

Para un mantenimiento rápido se realizó un check list de mantenimiento que se llenara antes y después de utilizar la impresora, este formato será revisado por la persona encargada del laboratorio.

Nota: marque con una x si el estado de la impresora cumple con lo mencionado

La impresora incluye un Cd que contiene un software, muy básico, con una interfaz sencilla donde se especifican las diferentes configuraciones de impresión, la instalación de software es sencilla solo se debe seguir las instrucciones y registrar la impresora en la página Web principal de la impresora XYZ para beneficiarse de las actualizaciones del software.

4.9 Elaboración de guías de prácticas

La impresora tiene un fin didáctico los estudiantes podrán reforzar sus conocimientos de diseño y modelado para esto se realizaron varias guías de prácticas, éstas constan con ejercicios planteados datos con su respectiva metodología, en el Anexo E se puede observar todas las practicas.

CAPÍTULO V

5. PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE FUNDICIÓN

El objetivo de nuestro proyecto es utilizar nuevos métodos de construcción y proporcionar a la escuela de Ingeniería Industrial un equipo donde los alumnos puedan familiarizarse con nuevas tecnologías por consiguiente se detallan los costos directos e indirectos de nuestro proyecto.

Para estimar el costo hora de impresión se toma en cuenta el uso de energía y la hora de remuneración del operario, la impresora tiene una potencia de 300 vatios en nuestro país el costo del kw/h es de \$ 0,04, el consumo de energía de la impresora es de 0,3 kw/h dando como resultado un precio relativamente bajo de \$ 0,96.

Se necesita de una persona con conocimientos básicos de Diseño y modelado para seleccionar los parámetros y preparar el equipo antes de la construcción del modelo de fundición, para deducir el valor total de impresión se calculara la hora de trabajo.

Para calcular la hora de trabajo se estima una jornada laboral de lunes a viernes de 40 horas, el sueldo básico en el país es de \$ 354, el valor de una hora de trabajo es \$ 2,28, con el valor de consumo de energía e imprevistos se toma un precio de hora de impresión de \$ 3, el tiempo de impresión de todo el modelo fue de 8 horas multiplicados por el valor de impresión se tiene un costo de \$ 24 por la construcción.

Al igual que la hora el filamento es otro factor para determinar el costo de impresión, el cartucho de filamento por ser propios de la marca de la impresora y por las seguridades que brindan son más costosos que los filamentos tradicionales, el cartucho tiene un valor de \$ 50 con 120 metros de longitud, para la construcción del modelo se utilizó 90 metros dando como resultado un costo final de \$ 37,5.

Con la suma de todos los valores calculados el valor total de impresión es de \$ 62,46, no se tomaron en consideración costos de mantenimiento por ser un equipo nuevo, en futuras impresiones se añadirán costos de mantenimiento y reparación.

5.1 Costos directos

Tabla 34. Costos directos.

Cantidad	Detalle	Descripción	Valor unitario [USD]	Valor Total [USD]
1	Impresora 3D	Impresora XYZ Davinci 1,0	1200	1200
1	Filamento	Filamento de ABS color blanco	50	50
8	Hora de impresión	Filamento utilizado mas hora de impresión	3+(37,5)	62,46
1	Pegamento	Pegamento glue stick	2	2
1	Laca	Laca de pegamento	3,5	3,5
8 lb	Aluminio	Aluminio para colar	0,6	4,8
8 gal	Diésel	Combustible para encender el horno	0,75	6
Total				1328,76

Fuente: Autores

5.2 Costos indirectos

Tabla 35. Costos Indirectos.

Detalle	Valor [USD]
Asesoría técnica	120
Transporte	80
Documentación e investigación	120
Otros	100
Total	420

Fuente: Autores

5.3 Costo total

Tabla 36. Costos totales

Detalle	Valor [USD]
Costos Directos	1328,76
Costos Indirectos	420
Total	1748,76

Fuente: Autores

El costo de construcción del modelo de fundición aplicando tecnología de impresión de Impresión 3D es de \$ 62,46 este valor si se compara con la fabricación de un modelo de madera es similar pero las características y propiedades mecánicas son mejores.

El total del costo del proyecto es de \$ 1748,76, se hizo esta inversión para que los estudiantes puedan realizar prácticas y estén constantemente en preparación en el uso de nuevas tecnologías.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se construyó un modelo de fundición para una polea trapecial maciza tipo P (SPB-B-5V) con tecnología FDM, el modelo presento buenas características, al construir bases en los perfiles de los dientes se disminuye el pandeo al inicio de la construcción.

Se comprobó la funcionalidad del modelo, se pudo extraer el modelo de la caja de arena verificando que los ángulos de salida fueron los adecuados.

Se seleccionaron parámetros de impresión tomando en consideración la presión que ejerce la arena para obtener un modelo resistente, el relleno seleccionado para el modelo es de 50% tipo panal de abeja con una resistencia de 15,7 MPa.

El ABS tiene una absorción de humedad de 0,3 % que no afecta en las características mecánicas del modelo.

Se realizó un manual para que los estudiantes puedan familiarizarse con la impresora ya que esta será un medio de aprendizaje para todos los alumnos de la escuela de Ingeniería Industrial.

6.2 Recomendaciones

Se deberá imprimir piezas de considerable dimensión con una buena adherencia para evitar problemas de pandeo en las partes donde inicia la construcción, para esto se colocara abundante pegamento o si esto no es suficiente se colocara laca para que no se desprenda por las contracciones internas propias del material

Los ángulos de salida en modelos de fundición son fundamentales, se recomienda diseñar modelos con sus respectivos ángulos para evitar que al extraer el modelo la arena se desprenda dañando la cavidad en la arena.

Leer el manual de usuario para utilizar correctamente la impresora

Se deberá dar un mantenimiento continuo de la impresora especialmente en componentes electrónicos y mecánicos.

Antes de la construcción de piezas se verificara si la cantidad de filamento es la adecuada, esta información se puede verificar en la pantalla de la impresora, solo se colocaran filamentos de la propia marca.

Los parámetros de impresión se seleccionaran de acuerdo a la funcionalidad y al trabajo que realizara la pieza.

Se imprimirá en ambientes con buena ventilación, el ABS puede desprender gases tóxicos que afectan a las personas si estas están por un periodo largo y en ambientes cerrados, es fundamental el uso adecuado de equipo de seguridad industrial en la operación de fundición.

La impresora trabaja de forma autónoma se deberá tener cuidado cuando el filamento este por terminarse.

BIBLIOGRAFÍA

- 3D Car Portal. 2014.** Poertal Cad Cam en Español. [En línea] 12 de febrero de 2014. [Citado el: 25 de Junio de 2015.] <http://www.3dcadportal.com/>.
- 6983, ISO.** Programacion de control numerico ISO Standar (Codigo G). *Programacion de control numerico ISO Standar (Codigo G)*. [En línea] <http://www.gulmi.com.ar/iso.pdf>.
- 800-22, Bridgeport VMC. 1995.** *Manual de operacion de la máquina Bridgeport VMC 800-22*. Alemania : s.n., 1995.
- AVNER, H Y SYDNEY. 1988.** *Introducción a la metelurgica fisica*. Barcelona : McGRAW- HILL, 1988.
- BobCAD-CAM. 2014.** *Manual de operacion del software V25*. Estados Unidos : s.n., 2014.
- CAPELLO, Eduardo. 1987.** *Tecnologia de la fundición*. Barcelona : Gustavo Gili,S.A, 1987.
- Creative Commons. 2015.** Tecnonauta. [En línea] 10 de Febrero de 2015. [Citado el: 20 de Junio de 2015.] <http://www.tecnonauta.com/notas/1881-impresoras-3d-materiales>.
- FONDA, Carlo. 2012.** Guia de mi primera Impresion 3D. [En línea] 25 de Julio de 2012. [Citado el: 27 de Junio de 2015.] https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-prc3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3d_carlo-fonda1.pdf.
- Net freelance. 2015.** Impresoras 3D. [En línea] 18 de Enero de 2015. [Citado el: 18 de Junio de 2015.] <http://impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>.