



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN IMPELLER SEMIABIERTO PARA UNA  
BOMBA CENTRIFUGA P812/16 MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA MECÁNICO**

**AUTORA:**

**CRISTINA VANESSA TOAQUIZA TIPÁN**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN IMPELLER SEMIABIERTO PARA UNA  
BOMBA CENTRIFUGA P812/16 MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA MECÁNICO**

**AUTORA: CRISTINA VANESSA TOAQUIZA TIPÁN**

**DIRECTOR: ING. MIGUEL ÁNGEL ESCOBAR GUACHAMBALA**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Cristina Vanessa Toaquiza Tipán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **Cristina Vanessa Toaquiiza Tipán** declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de agosto de 2022



**Cristina Vanessa Toaquiiza Tipán**

**CI: 0503873952**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **CONSTRUCCIÓN DE UN IMPELLER SEMIABIERTO PARA UNA BOMBA CENTRIFUGA P812/16 MEDIANTE INGENIERÍA INVERSA**, realizado por la señorita: **CRISTINA VANESSA TOAQUIZA TIPÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Edwin Fernando Viteri Nuñez Ph.D <b>PRESIDENTA DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-15
Ing. Miguel Ángel Escobar Guachambala <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-08-15
Ing. Luis Santiago Choto Chariguaman <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-15

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios por la fuerza, salud que me brindo en este largo camino, a mis padres Marco y Patricia quienes confiaron en mí en todo momento, sobre todo por el apoyo incondicional en los momentos difíciles, a mi hermana Jhoselin por compartir sus sonrisas en momentos tensos y, por último, pero no menos importante a mi esposo Diego y mi hija Noha, quienes a pesar de las adversidades me brindaron fuerza para cumplir mi meta. A mis abuelitos quienes me fomentaron valentía y el valor de no rendirme ante nada, a mis tías, tíos, primos quienes me brindaron consejos y me guiaron en mis estudios y en mi vida personal.

**CRISTINA VANESSA TOAQUIZA TIPÁN**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitir formar parte de esta distinguida institución y forjarme como estudiante en la prestigiosa carrera de Ingeniería Mecánica, a su vez a mis queridos docentes quienes me brindaron a lo largo de mi vida estudiantil con paciencia sus conocimientos, con el fin de formarme en el camino tanto personal como profesional.

**CRISTINA VANESSA TOAQUIZA TIPÁN**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Antecedentes .....	2
1.2	Alcance del problema.....	3
1.2.1	<i>Delimitación espacial</i> .....	3
1.2.2	<i>Delimitación sectorial</i> .....	3
1.2.3	<i>Delimitación académica</i> .....	3
1.3	Formulación del problema .....	3
1.4	Objetivos .....	4
1.4.1	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1	Antecedentes .....	5
2.2	Impeller .....	6



2.2.1	<i>Aplicaciones de impeller en la industria</i> .....	7
2.2.2	<i>Materiales que está diseñado el impeller</i> .....	7
2.3	<b>Ingeniería inversa</b> .....	8
2.4	<b>Escáner 3D</b> .....	9
2.5	<b>Impresión 3D</b> .....	10
2.5.1	<i>Impresora 3D por Estereolitografía (SLA)</i> .....	10
2.5.2	<i>Impresión por laser</i> .....	11
2.5.3	<i>Impresión 3D por inyección</i> .....	11
2.5.3.1	<i>Impresión por deposición de material fundido (FDM)</i> .....	11
2.5.3.2	<i>Impresión en 3D con filamento PLA</i> .....	12
2.5.3.3	<i>Filamento ABS</i> .....	13
2.5.3.4	<i>Filamento PC</i> .....	14
2.6	<b>Moldeo</b> .....	14
2.6.1	<i>Moldeado en arena</i> .....	15
2.7	<b>Aleaciones para fundición</b> .....	15
2.7.1	<i>Aleación de aluminio – silicio</i> .....	16
2.7.1.1	<i>Aplicaciones de la aleación Al- Si</i> .....	17
2.7.2	<i>Aleación de aluminio – cobre</i> .....	17
2.7.2.1	<i>Aplicaciones de la aleación Al-Cu</i> .....	18
2.8	<b>Limpieza de colada</b> .....	18
2.9	<b>Tratamiento con fundentes</b> .....	19
2.9.1	<i>Sales de cobertura</i> .....	19
2.9.2	<i>Sales de limpieza</i> .....	19
2.10	<b>Moldes metálicos</b> .....	20
2.10.1	<i>Características de la fundición en molde metálico</i> .....	21
2.11	<b>Diseño Asistido por computador (CAD)</b> .....	22
2.12	<b>Diseño Asistido por manufactura (CAM)</b> .....	23

2.12.1	<i>Clasificación de los sistemas CAM</i> .....	23
2.13	<b>Maquina CNC</b> .....	24
2.13.1	<i>Tornos CNC</i> .....	24
2.13.2	<i>Centro de mecanizado</i> .....	25
2.14	<b>Post procesador</b> .....	26
2.15	<b>Tipos de post procesadores para 5 ejes</b> .....	26
2.15.1	<i>Post procesador CNC de 5 ejes FANUC de MASTERCAM</i> .....	26
2.15.2	<i>Post procesador multiejes SPINNER, Heidenhain TNC, MAZAR y POWERMILL</i> ....	27
2.15.3	<i>CNC Siemens Sinumerik 840D (ROMI DCM 620-5X)</i> .....	29
2.15.4	<i>Post procesadores soportados por MASTERCAM</i> .....	29
2.16	<b>Programación de máquinas CNC</b> .....	30

### **CAPÍTULO III**

3	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	32
3.1	<b>Introducción</b> .....	32
3.2	<b>Metodología cualitativa</b> .....	32
3.3	<b>Metodología cuantitativa</b> .....	32
3.4	<b>Metodología experimental</b> .....	32
3.5	<b>Scanner 3D</b> .....	33
3.6	<b>Modelado del impeller</b> .....	33
3.6.1	<i>Selección de software CAD</i> .....	33
3.7	<b>Manufactura en el país</b> .....	34
3.7.1	<i>Impresión 3D</i> .....	34
3.7.1.1	<i>Selección de la impresora 3D</i> .....	35
3.7.1.2	<i>Selección de materiales para la impresora 3D</i> .....	36
3.7.2	<i>Moldes de fundición</i> .....	36

3.7.2.1	<i>Selección de molde para la función.</i>	36
3.7.2.2	<i>Selección del material a fundir</i>	37
3.7.2.3	<i>Cálculo de la masa a fundir</i>	38
3.7.2.4	<i>Dimensiones de los moldes en fundición</i>	38
3.7.2.5	<i>Parámetros para la fundición</i>	40
3.8	<b>Sistema CAM</b>	45
3.8.1	<i>Centro de mecanizado</i>	45
3.8.1.1	<i>Selección de software CAM</i>	45
3.8.1.2	<i>Selección de herramientas</i>	46
3.8.1.3	<i>Cálculo de parámetros de velocidad</i>	49

## CAPITULO IV

4	<b>MARCO DE RESULTADOS</b>	51
4.1	<b>Impeller semiabierto</b>	51
4.1.1	<i>Propiedades del PPE</i>	51
4.2	<b>Scanner 3D</b>	52
4.2.1	<i>Máquina y software CAD</i>	52
4.2.2	<i>Proceso de escaneo</i>	53
4.3	<b>Impresión en 3D</b>	55
4.3.1	<i>Propiedades Filamento PLA</i>	55
4.3.2	<i>Propiedades Resina de ingeniería especial</i>	56
4.3.3	<i>Proceso de Impresión 3D con filamento PLA</i>	56
4.3.4	<i>Proceso de Impresión 3D con Resina de ingeniería especial</i>	58
4.4	<b>Fundición</b>	62
4.4.1	<i>Análisis de la materia prima</i>	62
4.4.2	<i>Cálculo de parámetros</i>	64

4.4.2.1	<i>Volumen del bebedero</i> .....	64
4.4.2.2	<i>Área superior del bebedero</i> .....	64
4.4.2.3	<i>Presión metalostática</i> .....	64
4.4.2.4	<i>Cálculo de la masa a fundir</i> .....	64
4.4.2.5	<i>Tiempo de colado o llenado</i> .....	65
4.4.2.6	<i>Tiempo de solidificación</i> .....	65
4.4.3	<b><i>Proceso de fundición</i></b> .....	65
4.4.4	<b><i>Ensayos no Destructivos</i></b> .....	69
4.4.4.1	<i>Ensayo de composición química</i> .....	69
4.4.4.2	<i>Ensayo de dureza</i> .....	71
4.5	<b>Rectificación en CNC 5 ejes</b> .....	72
4.5.1	<b><i>Selección de herramientas</i></b> .....	72
4.5.2	<b><i>Cálculo para el proceso de corte</i></b> .....	72
4.5.2.1	<i>Parte superior (Planear)</i> .....	72
4.5.2.2	<i>Parte superior (Contornear)</i> .....	74
4.5.2.3	<i>Parte superior (Contorno de curvatura del álabe)</i> .....	76
4.5.2.4	<i>Parte inferior (Contorno)</i> .....	78
4.5.2.5	<i>Parte inferior (Acabado)</i> .....	79
4.5.3	<b><i>Simulación del mecanizado</i></b> .....	81
4.6	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	88
4.6.1	<b><i>Scanner – Impresión 3D</i></b> .....	88
4.7	<b>Scanner –Impresión 3D - Fundición</b> .....	89
4.8	<b>Scanner –Impresión 3D – Fundición - Mecanizado</b> .....	90
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	92
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	93
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## ANEXOS

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Diferencias entre máquina CNC y máquina Convencional.....	26
<b>Tabla 2-2:</b>	Máquinas y post procesadores adjuntados a MASTERCAM.....	29
<b>Tabla 1-3:</b>	Selección de software CAD.....	33
<b>Tabla 2-3:</b>	Selección de tipo de impresoras 3D .....	35
<b>Tabla 3-3:</b>	Selección de material para impresión 3D. ....	36
<b>Tabla 4-3:</b>	Parámetros de selección para moldes .....	37
<b>Tabla 5-3:</b>	Parámetros de selección para aluminio. ....	37
<b>Tabla 6-3:</b>	Tiempo estimado para el acceso de colado .....	40
<b>Tabla 7-3:</b>	Selección de software CAM .....	45
<b>Tabla 1-4:</b>	Propiedades principales de la resina PPE .....	51
<b>Tabla 2-4:</b>	Diferencias entre la máquina de escaneo “GO SCAN 3D” y “SENSE”. ....	52
<b>Tabla 3-4:</b>	Características Software CAD.....	53
<b>Tabla 4-4:</b>	Propiedades Mecánicas del filamento PLA.....	55
<b>Tabla 5-4:</b>	Propiedades Mecánicas Resina.....	56
<b>Tabla 6-4:</b>	Propiedades Mecánicas de los materiales 6061, 1100.....	63
<b>Tabla 7-4:</b>	Propiedades Químicas de los materiales 6061, 1100.....	63
<b>Tabla 8-4:</b>	Propiedades Químicas de los materiales 6061, 1100.....	69
<b>Tabla 9-4:</b>	Propiedades Mecánicas del material Tenzaloy 713.....	70
<b>Tabla 10-4:</b>	Datos técnicos del ensayo de Dureza Brinell .....	71
<b>Tabla 11-4:</b>	Herramientas de mecanizado y sus características .....	72
<b>Tabla 12-4:</b>	Parámetros de planear parte superior.....	72
<b>Tabla 13-4:</b>	Parámetros de contornear parte superior .....	74
<b>Tabla 14-4:</b>	Parámetros de contornear álabe.....	76
<b>Tabla 15-4:</b>	Parámetros para contornear parte inferior. ....	78
<b>Tabla 16-4:</b>	Parámetros del acabado de la parte inferior.....	79
<b>Tabla 17-4:</b>	Parámetros principales de mecanizado para el impeller semiabierto .....	81
<b>Tabla 18-4:</b>	Cuadro Comparativo de Propiedades Mecánicas PLA, Resina y PPE.....	88
<b>Tabla 19-4:</b>	Cuadro Comparativo Impresión 3D con filamento PLA y Resina. ....	89
<b>Tabla 20-4:</b>	Cuadro Comparativo Scanner, Impresión 3D, Fundición. ....	89

<b>Tabla 21-4:</b>	Cuadro Comparativo Scanner, Impresión 3D, Fundición y Mecanizado .....	90
--------------------	--	----

<b>Tabla 22-4:</b>	Cuadro Comparativo Scanner y Mecanizado .....	91
--------------------	---	----

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Impeller .....	6
<b>Ilustración 2-2:</b>	Impeller de una turbina .....	7
<b>Ilustración 3-2:</b>	Acero AISI 4140 .....	8
<b>Ilustración 4-2:</b>	Proceso de la ingeniería inversa .....	9
<b>Ilustración 5-2:</b>	Escaneo 3D de una rueda de turbina para ingeniería inversa posterior .....	9
<b>Ilustración 6-2:</b>	Esquema estereolitografía (SLA) .....	10
<b>Ilustración 7-2:</b>	Impresión 3D por laser .....	11
<b>Ilustración 8-2:</b>	Modelo impreso por método de inyección .....	11
<b>Ilustración 9-2:</b>	Impresora por deposición de material fundido (FDM) .....	12
<b>Ilustración 10-2:</b>	Impresión en 3D con filamento PLA .....	13
<b>Ilustración 11-2:</b>	Impresión 3D con Filamento ABS .....	13
<b>Ilustración 12-2:</b>	Filamento PC .....	14
<b>Ilustración 13-2:</b>	Esquema del molde para fabricar una pieza por fundición .....	14
<b>Ilustración 14-2:</b>	Fases de moldeado en arena .....	15
<b>Ilustración 15-2:</b>	Diagrama de equilibrio de aleación Al-Si .....	16
<b>Ilustración 16-2:</b>	Diagrama de equilibrio de aleación Al-Cu .....	18
<b>Ilustración 17-2:</b>	Tratamiento sobre la fluencia de aleación AlMg a temperatura constante. ....	20
<b>Ilustración 18-2:</b>	Molde metálico .....	21
<b>Ilustración 19-2:</b>	Canales para evacuación de gases en un molde .....	22
<b>Ilustración 20-2:</b>	Diseño de un sólido asistido por computador CAD .....	22
<b>Ilustración 21-2:</b>	Manufactura asistida por computador CAM .....	23
<b>Ilustración 22-2:</b>	Clasificación de los sistemas CAM .....	23
<b>Ilustración 23-2:</b>	Diagramas de bloques de una máquina CNC .....	24
<b>Ilustración 24-2:</b>	Torno LYNX SERIES .....	25
<b>Ilustración 25-2:</b>	ROMI DCM 620-5X .....	25
<b>Ilustración 25-2:</b>	Post procesador FANUC para 5 ejes .....	27
<b>Ilustración 27-2:</b>	Post procesadores Heidenhain TNC, MAZAK, POWERMILL .....	28
<b>Ilustración 28-2:</b>	Post procesador SIEMENS .....	29
<b>Ilustración 29-2:</b>	Comandos de Código G .....	31

<b>Ilustración 1-3:</b>	Sistemas de canales de fundición.....	39
<b>Ilustración 2-3:</b>	Esquema del sistema de distribución y dimensiones .....	42
<b>Ilustración 3-3:</b>	Representación de la Presión metalostática .....	43
<b>Ilustración 4-3:</b>	Aleaciones comerciales de aluminio.....	44
<b>Ilustración 5-3:</b>	Herramientas para planear .....	47
<b>Ilustración 6-3:</b>	Herramientas para contornear y ranurar .....	48
<b>Ilustración 7-3:</b>	Herramientas para acabado.....	49
<b>Ilustración 1-4:</b>	Impeller semiabierto en resina PPE .....	51
<b>Ilustración 2-4:</b>	Proceso de escaneo con SENSE .....	53
<b>Ilustración 3-4:</b>	Imágenes de escáner superficial.....	54
<b>Ilustración 4-4:</b>	Medidas generales y curvaturas del álabe.....	54
<b>Ilustración 5-4:</b>	Impeller diseñado en Solidworks.....	55
<b>Ilustración 6-4:</b>	Análisis del área de trabajo para la impresión en 3D.....	57
<b>Ilustración 7-4:</b>	Proceso de la impresión en 3D.....	58
<b>Ilustración 8-4:</b>	Pieza impresa en filamento PLA.....	58
<b>Ilustración 9-4:</b>	Visualización de la pieza a imprimir en resina en el Software Chitubox .....	59
<b>Ilustración 10-4:</b>	Proceso de impresión con resina.....	60
<b>Ilustración 11-4:</b>	Retiro de la pieza de la plancha y la base. ....	61
<b>Ilustración 12-4:</b>	Proceso de lavado de la pieza impresa en resina. ....	61
<b>Ilustración 13-4:</b>	Proceso de secado de la pieza por luz UV .....	62
<b>Ilustración 14-4:</b>	Impeller semiabierto impreso en resina .....	62
<b>Ilustración 15-4:</b>	Molde y pieza para fundición .....	66
<b>Ilustración 16-4:</b>	Compactación y retiro de exceso de arena en el molde .....	67
<b>Ilustración 17-4:</b>	Preparación de la caja superior, bebedero y retiro de exceso de arena en el molde .....	67
<b>Ilustración 18-4:</b>	Moldes listas para ingreso de colada .....	68
<b>Ilustración 19-4:</b>	Colocación de las pesas en los moldes. ....	68
<b>Ilustración 20-4:</b>	Colocación de la colada en los moldes. ....	69
<b>Ilustración 21-4:</b>	Pieza fundida en aluminio 1100.....	69
<b>Ilustración 22-4:</b>	Obtención del material mediante su composición química en EduPack.....	70
<b>Ilustración 23-4:</b>	Operaciones disponibles en 2D.....	82
<b>Ilustración 24-4:</b>	Visualización de la trayectoria en planear .....	83
<b>Ilustración 25-4:</b>	Operaciones en 3D.....	83
<b>Ilustración 26-4:</b>	Visualización de la trayectoria en contornear .....	84

<b>Ilustración 27-4:</b>	Visualización de la trayectoria de la curva interna del álabe .....	84
<b>Ilustración 28-4:</b>	Visualización de la trayectoria de la curva externa del álabe .....	85
<b>Ilustración 29-4:</b>	Visualización de la trayectoria de los álabes completos .....	85
<b>Ilustración 30-4:</b>	Visualización del acabado de los álabes completos.....	86
<b>Ilustración 31-4:</b>	Visualización de la operación en escalera de la parte inferior de la pieza .....	86
<b>Ilustración 32-4:</b>	Visualización del acabado superficial de la parte inferior de la pieza .....	87
<b>Ilustración 33-4:</b>	Impeller rectificado en CNC 5 ejes.....	87
<b>Ilustración 34-4:</b>	Impeller semiabierto impreso en Filamento PLA y Resina .....	88
<b>Ilustración 35-4:</b>	Impeller semiabierto Scanner, Impresión 3D, Fundición. ....	90
<b>Ilustración 36-4:</b>	Impeller semiabierto Scanner, Impresión 3D, Fundición y Mecanizado.....	91



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CARACTERÍSTICAS DEL SCANNER "GO SCAN 3D".
- ANEXO B:** CARACTERÍSTICAS IMPRESORAS 3D.
- ANEXO C:** CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO
- ANEXO D:** PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D
- ANEXO E:** CARACTERÍSTICAS DE TÉCNICAS DE LA MAQUINA DE IMPRESIÓN 3D  
RESINA
- ANEXO F:** PROPIEDADES FÍSICAS DEL IMPELLER SEMIABIERTO
- ANEXO G:** PARÁMETROS DEL IMPELLER PARA EL MECANIZADO
- ANEXO H:** CARACTERÍSTICAS CENTRO DE MECANIZADO.
- ANEXO I:** SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS PLANEAR, CONTORNEAR Y ACABADO
- ANEXO J:** PROPIEDADES DE LAS HERRAMIENTAS EN MASTERCAM
- ANEXO K:** CÓDIGO ISO G MECANIZADO IMPELLER SEMIABIERTO
- ANEXO L:** Hoja de procesos
- ANEXO M:** Hoja de procesos rectificado
- ANEXO N:** Planos

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar el proceso de manufactura de una pieza con geometría compleja como las bombas centrifugas, mediante la aplicación de diferentes métodos de mecanizado, desde los más comunes como: ingeniería inversa mediante el uso del Scanner 3D, impresión en 3D y fundición, hasta los menos conocidos, como es el uso de una máquina herramienta CNC 5 ejes, permitiendo que en un futuro este proyecto ayude a nuevas investigaciones. Para el diseño y construcción del Impeller semiabierto, se analizaron diferentes metodologías que permitieron enfocarse en aspectos relacionados con el diseño realizando en tres softwares CAD, CAE Y CAM, en donde en CAD se realizó la digitalización de las piezas mediante un scanner 3D y el modelado, posterior se elaboró una exportación en CAE, en donde se evaluó las características geométricas, subsiguientemente de una forma automática se generó el código G-CODE, esta codificación ayudó en el rectificado de la pieza fundida con un sobredimensionamiento del impeller semiabierto mediante la máquina CNC de 5 ejes. Finalizando con un análisis de propiedades mecánicas, tiempo de manufactura, valor monetario y vida útil de las piezas con los diferentes métodos desarrollados, dando como resultado que el proceso de Scanner 3D, terminando con la Impresión 3D en Resina de Ingeniería especial o con un mecanizado directamente del material en bruto. Se concluye que la ingeniería inversa por medio de equipos sofisticados que dispone la institución tal es el caso del scanner “SENSE”, permitió facilitar la digitalización de la geometría compleja del impeller semiabierto. Se recomienda diferentes procesos para una manufactura del impeller semiabierto han sido desarrollado con mayor eficiencia en propiedades mecánicas, es necesario reconocer que la institución cuenta con recursos correctos, sin embargo, como estudiantes no hemos aprovechado los recursos de manera apropiada.

**Palabras claves:** <G-CODE> <INGENIERÍA INVERSA> <IMPRESIÓN 3D> <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)> <INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)> <MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAM)> <RECTIFICADO> <FUNDICIÓN>.

2236-DBRA-UPT-2022



## SUMMARY

The objective of this research was to carry out the manufacturing process of a piece with complex geometry such as centrifugal pumps, through the application of different machining methods, from the most common such as: reverse engineering through the use of the 3D scanner, 3D printing and foundry, even the lesser known, such as the use of a 5-axis CNC machine tool, allowing this project to help new research in the future. For the design and construction of the semi-open Impeller, different methodologies were analyzed that allowed us to focus on aspects related to the design carried out in three CAD, CAE and CAM software; where in CAD the digitization of the pieces was carried out by means of a 3D scanner and modeling, later an export was elaborated in CAE, where the geometric characteristics were evaluated, subsequently in an automatic way the G-CODE code was generated, this coding assisted in the grinding of the casting with an oversizing of the semi-open Impeller using the 5-axis CNC machine. Finishing with an analysis of mechanical properties, manufacturing time, monetary value, and useful life of the pieces with the different methods developed, resulting in the 3D scanning process, ending with 3D printing in special engineering resin or with machining directly from the raw material. It is concluded that reverse engineering by means of sophisticated equipment available to the institution, such is the case of the "SENSE" scanner, allowed facilitating the digitalization of the complex geometry of the semi-open Impeller. Different processes are recommended for a manufacture of the semi-open Impeller developed with greater efficiency in mechanical properties.

**Keywords:** <REVERSE ENGINEERING <3D PRINTING> <COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)> COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE)> COMPUTER AIDED MANUFACTURING (CAM)>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.  
CI:0603747809



## **INTRODUCCIÓN**

La construcción de un impeller o cualquier pieza de compleja geometría ha sido un reto usando los métodos tradicionales, es por ello que el estudio y uso de máquinas tales como la herramienta CNC multiejes permitiendo efectividad, eficiencia en los cortes y acabados superficiales de calidad, la empresa o institución obtiene una rentabilidad más alta, de la mano van los softwares CAD especializados para este tipo de maquinaria y los métodos a desarrollarse, permiten una visualización de cada uno de los procesos, para evaluar su validez en los cortes y geometría.

En Ecuador la nueva tecnología ha ido avanzando de manera continua, es por ello que la manufactura mediante una máquina herramienta multiejes se está implementando en diferentes empresas, por lo cual la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha visto la necesidad de implementar un nuevo método, para la fabricación de piezas de geometrías complejas, en este caso una tecnología CNC multiejes. Sin embargo, a pesar de la necesidad que tiene el país de nueva tecnología existe un alto déficit en el personal cualificado para el uso de este proceso.

En la Escuela de Ingeniería Mecánica se pretende desarrollar proyectos basados en el uso de la máquina herramienta multiejes y procesos estudiados en el mismo y simulación de software CAD, una previa preparación de los nuevos profesionales, los otros procesos que se desarrollan dentro de la institución también es el Scanner, Impresión 3D y fundición, los cuales en diferentes empresas se desarrollan con similitudes pero también con detalles que pueden significar la diferencia en los acabados de la pieza en construcción.

Con la investigación y parte práctica que conlleva este proyecto, los procesos antes mencionados pueden ser analizados de una forma en la que la manufactura sea más sencilla, en menor tiempo y económicamente más factible, obteniendo calidad, mayor vida útil y propiedades mecánicas que este tipo de prototipos requieren.

## **CAPÍTULO I**

### **1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes**

Emplear procesos de arranque de material para la fabricación de los diferentes componentes se remonta a la prehistoria, pero sin duda, la primera máquina para la elaboración de piezas mecánicas es el torno de pértiga, inventado en el año 1250. Los procesos de mecanizado por arranque de viruta en la industria están siendo muy utilizados, el tamaño original de la pieza es importante ya que de eso depende el arranque de viruta que va desde pequeñas cantidades hasta el 70-90 % de la pieza original. Mediante este proceso de arranque de viruta las principales ventajas son la alta precisión dimensional, no existen cambios en la microestructura del material, dentro de las desventajas: genera mucho material no reciclable, tiempo de producción elevados y el tamaño de la pieza está limitado.

La creación de maquinaria y equipos vino gracias a la revolución industrial, la fabricación de piezas mediante el CNC es uno de los servicios con mayor demanda a nivel mundial, su función básica es mantener y garantizar la marcha de la locomotora productiva de una nación en sectores como transporte o aeronáutica, entre otros. En cada moldeado o corte hecho por estas máquinas, no se suprime la mano de obra cualificada, por el contrario, las empresas aumentan hoy en día sus niveles de producción y la plantilla que necesitan para manejarlas, que requiere de profesionalidad y especialización. La industria del mecanizado, por este proceso puede ofrecer piezas y componentes con altos estándares de diseño y precisión.

La industria del metal era una de las que más máquinas manuales usaban hacía hace décadas (punzonadoras, máquinas de corte por disco, prensas, etc.) pero hoy en día las versiones CNC de esas mismas máquinas están completamente extendidas y se usan de forma mayoritaria. Las máquinas herramienta más usadas en la industria de fabricación y de extracción de metales son El láser CNC y el plasma CNC: dan a las placas o a otro tipo de piezas su forma final. En la industria del tubo el láser se usa especialmente para mecanizar formas complejas con un acabado suave.

La tecnología en el Ecuador sin duda ha ido incrementando considerablemente, tal es el caso de nuevas formas de mecanizado y rectificado de piezas, independiente de su complejidad en la geométrica. Es por ello que la manipulación de estas tecnologías a favor de la educación es una gran beneficio como nuevos ingenieros enfrentando la vida laboral, es por ello que la Universidad Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con esta tecnología de máquinas herramientas multiejes, sin embargo no se han podido desarrollar proyectos o elementos de maquinarias, como es el caso de un

impeller semiabierto, su complejidad no permite utilizar los métodos comunes, sino la implementación de tecnología nueva, que beneficia en el tiempo de elaboración y sus acabados son con mayor precisión.

## **1.2 Alcance del problema**

### ***1.2.1 Delimitación espacial***

El presente trabajo de investigación se desarrollará dentro de las ciudades Latacunga perteneciente a la provincia de Cotopaxi, Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua y Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo ubicado en el territorio ecuatoriano.

### ***1.2.2 Delimitación sectorial***

El estudio y desarrollo de este trabajo de investigación se acoge a los procesos ilustrados dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Mecánica en la Carrera de Ingeniería Mecánica como preparación para futuros ingenieros en la vida laboral.

### ***1.2.3 Delimitación académica***

La investigación por desarrollarse permitirá fortalecer y evidenciar los conocimientos adquiridos en las aulas acerca de las bombas centrífugas y sobre todo el uso de nueva tecnología que la institución adquirió para mejorar de los nuevos ingenieros, el modelado mediante ingeniería inversa del impeller semiabierto de una bomba centrífuga, lo que consta de un escaneado en 3D de la pieza obteniendo una nube de puntos para modelarlo obteniendo una geometría adecuada, posteriormente una impresión en 3D del modelo servirá como molde para la fundición en arenas, un método que ayuda en la precisión de la complejidad que los impeller requieren.

Finalmente, el acabado superficial se realizará con la manipulación de la tecnología que un Software CAM con un CNC multiejes nos proporciona.

## **1.3 Formulación del problema**

En la actualidad sin duda el avance tecnológico en las instituciones educativas ayuda a la mejor preparación de los nuevos ingenieros, como es el caso de nuestra institución la cual adquirió tecnología de un CNC multiejes que ayuda a la fabricación de diferentes elementos que poseen un diseño complejo un claro ejemplo es un prototipo de impeller semiabierto dando terminados muy exactos y precisos.

El uso de este tipo de tecnologías Software CAM, es utilizado a nivel industrial en diversas áreas tales como: automotriz, aeronáutica, hidráulica entre otros. La manipulación de este tipo de máquinas ayudara a mejorar los conocimientos y sobre todo prepararnos para una vida en la industria.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Construir un impeller semiabierto de una bomba centrifuga P812/16 mediante ingeniería inversa, fundición y rectificado mediante CNC multiejes.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Aplicar ingeniería inversa en un impeller semiabierto mediante el escaneado en 3D obteniendo una nube de puntos para el modelado geométrico.
- Realizar un prototipo del impeller semiabierto mediante impresión en 3D en filamentos PLA.
- Diseñar los moldes mediante fundición en arena en el material de Aluminio 7957-T6.
- Rectificar el impeller semiabierto mediante CNC multiejes con la manipulación del código ISO-G.



## **CAPÍTULO II**

### **2 REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1 Antecedentes**

A continuación, se presentarán investigaciones relacionadas con el tema propuesto en cuanto a la construcción de un impeller para una bomba centrífuga, el cual permitirá guiar de mejor manera toda la información en cuanto al tema propuesto.

Proyecto “MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CERRADO PARA BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL DE INDUSTRIAS LICONT APLICANDO INGENIERÍA INVERSA”, realizada por Luis Esteban Espinoza Rodríguez, en la carrera de Ingeniería Mecánica Del Instituto Tecnológico de la Ciudad de México. Llegando a concluir que el proceso de fabricación es un factor clave en el desarrollo de la investigación, donde se podría buscar métodos de fabricación alternativos utilizando tecnología de punta, así los tiempos mejoren y los acabados de maquinado, para encontrar un nuevo modelo físico que mejore el proceso de bombeo del fluido. (Espinoza, 2017)

Proyecto cuyo tema es “FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE IMPULSOR DE UNA BOMBA CENTRIFUGA DEL ÁREA ELPO PLANTA DE PINTURA DE LA EMPRESA ENSAMBLADORA CIAUTO”, investigado por Luis Santiago Choto Chariguaman, en la carrera de Maestría y manufactura de diseño asistido por computador de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. El impulsor es la parte principal de funcionamiento de la bomba centrífuga, lo cual dependerá de ello de su forma y la aplicación de trabajo. La manufactura es complicada del prototipo por ser un impulsor cerrado, se ha visto necesario hacer uso de la tecnología de equipos y máquinas. El uso de la ingeniería inversa: escáner 3D, software CAD e impresora 3D con el cual se desarrolló el diseño conceptual, lo que permitió de esta manera manufacturar un prototipo de similar geometría al original. (Choto, 2017)

Trabajo investigado por Wladimir Gómez Cartagena-Colombia cuyo tema es “PARÁMETROS DE DISEÑO DE IMPULSORES UTILIZADOS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS”, llegando a concluir que de acuerdo con el tipo de fluido se debe seleccionar la bomba y el impulsor adecuado, es por esto que se presentan los diferentes tipos de bombas e impulsores y así poder elegir el mejor y que se adapte a todas las necesidades para que no exista fallas. Los parámetros de diseño del impulsor no solo afectan el rendimiento ya que si no se realiza adecuadamente el cálculo del impulsor se verá seriamente afectada la bomba, estos parámetros van desde los diámetros de entrada y salida del impulsor hasta el número de álabes de este. (Gomez, 2015)

Proyecto “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN IMPULSOR CENTRÍFUGO RADIAL SEMIABIERTO PARA BOMBAS DE TORBELLINO”, realizado por Andrés German Bonilla Villalba, en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Al determinar las dimensiones adecuadas para el impulsor se usan diferentes ecuaciones matemáticas y procesos computacionales que determinan la estructura y el análisis adecuado para el funcionamiento. Al momento de diseñar el impulsor y la modificación en la voluta, se generó una nueva curva característica de la bomba con el nuevo principio de funcionamiento, lo cual genera una altura máxima manométrica. (Bonilla, 2020)

Proyecto cuyo tema es “DESARROLLO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DE UN IMPELLER EN UN CENTRO DE MECANIZADO MULTIEJE EMPLEANDO EL SOFTWARE NX CAM”, realizado por Camilo André Castillo Téllez, en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santo Tomas. Llegando a concluir que es importante desde el principio comprender la pieza que se va a manufacturar en el mecanizado, analizando todo su entorno desde su geometría o cual permitió la implementación de un CAD paramétrico lo cual sirvió mucho ya que con el análisis matemático se comprendió que se podía paramétrica y la manera en la que se podía manipular los datos de entrada esto permitió manufacturar en diferentes geometrías variando los ángulos de entrada y salida. (Castillo, 2016)

## 2.2 Impeller

Impeller es un componente el cual tiene un platillo giratorio, la función principal es transferir energía mediante un movimiento giratorio esto lo puede generar un motor eléctrico, una turbina de motor de combustible. Se usa para aumentar y mover toda la velocidad de un flujo de aire, flujo de gases o flujo de algún líquido. En la figura 1 se observa un modelo de impeller. (Morales, 2020)



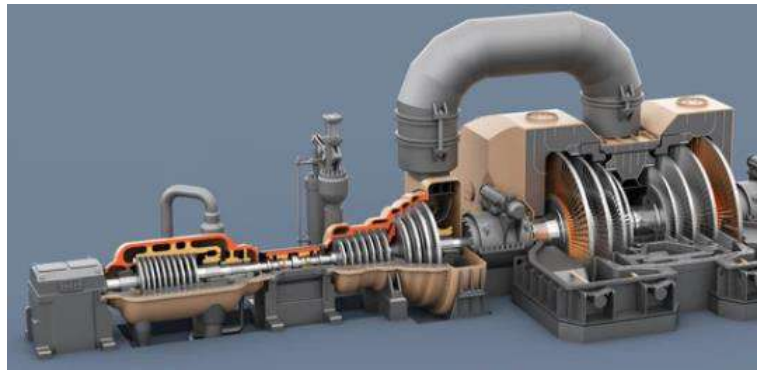
**Ilustración 1-2:** Impeller

**Fuente:** (Shutterstock, 2021)

### **2.2.1 Aplicaciones de impeller en la industria**

Los impeller son uno de los componentes utilizados de manera frecuente en la industria ya que son importantes para un buen desempeño de estas, se puede observar en los diferentes tipos de bombas, turbinas, ejes ya que el impeller en las industrias facilita el trabajo en las turbinas ya que ser utilizadas para el desplazamiento de agua o de cualquier flujo que se quiera trasladar de un lugar a otro. Además, los impeller son fabricados para turbinas de autos. (Morales, 2020)

A continuación, en la siguiente figura se observa la aplicación industrial de un impeller la cual se presenta en una turbina, la cual es la encargada de generar energía eléctrica mediante su movimiento rotacional.



**Ilustración 2-2:** Impeller de una turbina

Fuente: (BOHMAN, 2021)

### **2.2.2 Materiales que está diseñado el impeller**

La fabricación y dependiendo del lugar donde vaya a ser aplicado se usan materiales como: hierro, acero, bronce, latón y aluminio.

Uno de los materiales más utilizados es el acero AISI-SAE 4140 para trabajos de alta relación de compresión, este acero hace parte de la familia de aceros 41xx los cuales tienen buena resistencia a la tensión, torsión y la flexión. A continuación, en la figura 3 se observa el material del cual se fabrican los impeller de varias máquinas, teniendo en cuenta que dicho material es comercial en el país, teniendo como proveedores a BOHMAN.



**Ilustración 3-2:** Acero AISI 4140

**Fuente:** (BOHMAN, 2021)

El aluminio AA7075T6 mejor conocido como zical también está en la lista de materiales que está diseñado el empeller, ya que es una aleación de aluminio con zinc, este aluminio es muy fácil de mecanizar y es resistente a la fatiga, el AA7075 se usa frecuentemente en la fabricación de herramientas moldes. Por esto el aluminio AA7075 T-6 es un material ideal para fabricar impeller por su factibilidad y ofrece un costo beneficioso en comparación con otros materiales. (Castillo, 2016)

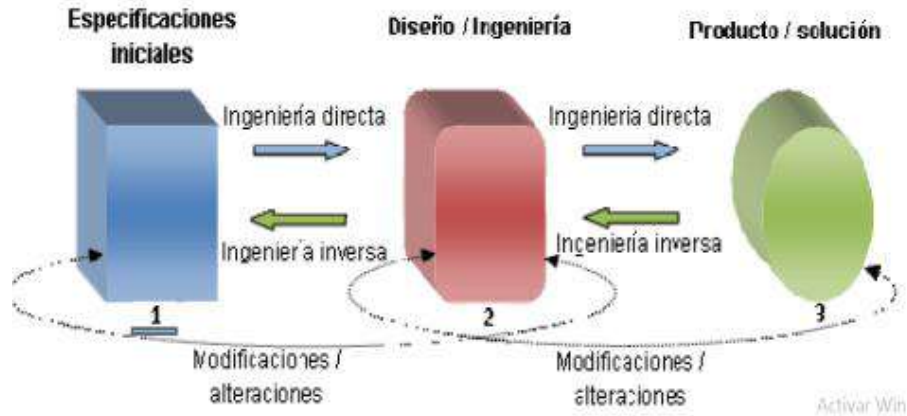
### **2.3 Ingeniería inversa**

La ingeniería inversa es un proceso el cual identifica como está constituido y de qué manera funciona un objeto mediante la realización de un análisis profundo de su estructura, se toma diferentes medidas de la superficie del objeto para poder así mejorarlo o duplicarlo de la mejor manera con una representación digital 3D del objeto. (Proun, 2020)

La ingeniería inversa tiene una gran variedad de aplicaciones actualmente las cuales están por todo tipo de empresas en las distintas áreas tecnológicas, algunas de sus aplicaciones son:

- Distinguir los sistemas de los rivales en el mercado para detectar una infracción en patentes por parte de la empresa.
- Generar productos compatibles con otros productos, cuando se presentan situaciones de no tener acceso a los detalles técnicos principales.
- Comprobar la seguridad de un producto para poder conocer las áreas de oportunidad que se pudiesen tener.

La ingeniería inversa captura y procesa la información geométrica del objeto físico en tres dimensiones. La captura de la información geométrica se conoce como digitalización 3D y el procesamiento de datos en la ingeniería inversa se denomina reconstrucción de superficies, lo cual se puede observar en la ilustración 4-2.



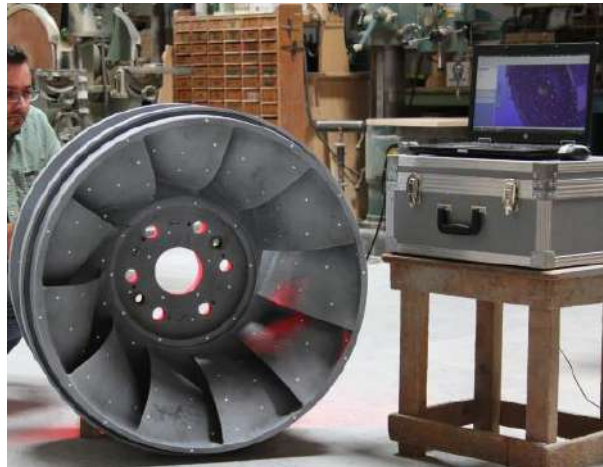
**Ilustración 4-2:** Proceso de la ingeniería inversa

Fuente: (Choto, 2017)

## 2.4 Escáner 3D

El escáner 3D es una herramienta de la ingeniería inversa, es el proceso el cual convierte objetos físicos en modelos digitales precisos además permite capturar de forma rápida y precisa la manera en la que está diseñada y geometrías del objeto. Este proceso genera una presentación digital completa de la pieza para ser utilizada en ingeniería inversa ya que los datos recopilados se proyectan como una nube de puntos, que es una imagen tridimensional del objeto que va a ser escaneado, esto permite crear variedad de conjuntos virtuales el cual permite comprobar el ajuste de las piezas. (LABS3D, 2019)

En la ilustración 5-2, se puede observar un ejemplo de escaneo 3D de una rueda de turbina para aplicar la ingeniería inversa, mencionada anteriormente.



**Ilustración 5-2:** Escaneo 3D de una rueda de turbina

Fuente: (Weekly, 2019)

Escáneres 3D y software especializado es muy utilizado en la ingeniería inversa en la elaboración de planos terminados, controla el producto metrológico en el proceso de fabricación y análisis de desgaste, controla que no exista desgaste, deformación y daños en los productos además tienen un excelente alto control de calidad.

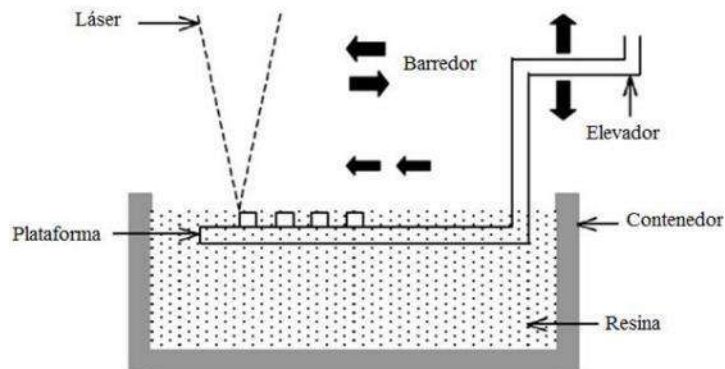
Escaneo 3D tiene muchos beneficios como escaneo de alta velocidad realiza un trabajo con mediciones precisas y capacidad para integrarse en sistemas automatizados. Su medición se lo realiza de cualquier objeto sin importar su tamaño, complejidad, el material o el color.

## 2.5 Impresión 3D

La impresión 3D consiste en la elaboración de piezas tridimensionales donde se lo puede diseñar mediante la utilización de un programa computarizado. Existe diferentes tipos de impresoras 3D: Estereolitografía (SLA), laser, inyección, deposición de material fundido (FDM). A continuación, se detallarán los tipos de impresiones y sus aplicaciones.

### 2.5.1 Impresora 3D por Estereolitografía (SLA)

Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida la cual es sensible a la luz donde la luz ultravioleta va condensando cada capa de la resina. Al realizar este método se diseñan piezas de muy alta calidad, pero una cantidad de material se desperdicia según el tipo de soporte del diseño que se va a fabricar. (Macas, y otros, 2015) En la figura siguiente figura, se puede observar un esquema de impresión Estereolitografía (SLA).



**Ilustración 6-2:** Esquema estereolitografía (SLA)

Fuente: (Tfmrimumed, 2017)

### 2.5.2 *Impresión por laser*

El láser es el componente principal en este tipo de impresión ya que el material que se encuentra en polvo este material llega a una temperatura adecuada y se compacta tomando la forma del diseño que se vaya a realizar. La ilustración 7-2 muestra una impresión 3D por láser.



**Ilustración 7-2:** Impresión 3D por laser

**Fuente:** (2019)

### 2.5.3 *Impresión 3D por inyección*

La inyección de aglomerante (tinta) es el principal en la impresión 3D por inyección, el material se encuentra en polvo y es compactado por la inyección de tinta lo cual esto permite imprimir el diseño con múltiples colores. Se puede observar en la ilustración 8-2 un modelo impreso por el método de inyección.



**Ilustración 8-2:** Modelo impreso por método de inyección

**Fuente:** (2019)

#### 2.5.3.1 *Impresión por deposición de material fundido (FDM)*

Este tipo de impresión es una de las más conocidas en impresoras 3D, esta es una técnica la cual deposita capas de material para generar el diseño. El material que se utiliza en impresión FDM es el

tipo filamento que está almacenado en rollos donde dicho material esta introducido en una boquilla que está a temperatura adecuada por lo tanto estos saldrán de la boquilla en forma de fino hilos que se solidifican de manera inmediata. (Macas, y otros, 2015) . Se puede observar en la ilustración 9-2 una impresora FDM.



**Ilustración 9-2:** Impresora por deposición de material fundido  
Fuente: (2019)

#### 2.5.3.2 Impresión en 3D con filamento PLA

El filamento PLA es considerado un material polímero semicristalino, tiene una temperatura de fusión de 180 °C esto hace que sea un material muy utilizado en la industria 3D ya que es muy fácil de comprimir además al imprimir con PLA no se necesita una bandeja de impresión calefactada. El filamento PLA tiene mayor resistencia a factores externos como el calor esto hace que sea más utilizado en las impresoras FDM 3D. (3Dnatives, 2019)

En la ilustración 10-2 se puede observar una impresión en 3D con filamento PLA. Propiedades de filamento PLA alta dureza, baja flexibilidad, fácil de usar, temperatura de impresión 180°C - 230°C, no es soluble. Además, se debe tener en consideración que la impresión con material PLA es más empleado para productos de carácter decorativo.



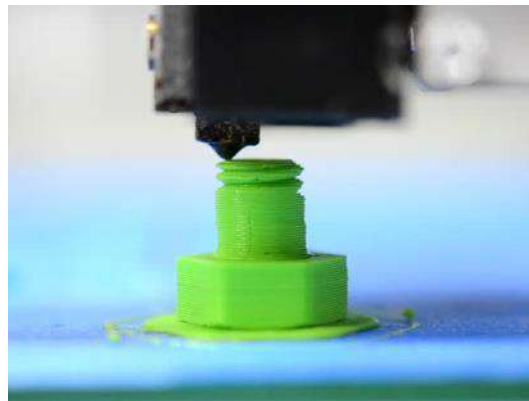


**Ilustración 10-2:** Impresión en 3D con filamento PLA

**Fuente:** (Imprime3D, 2019)

### 2.5.3.3 *Filamento ABS*

Filamento ABS para impresión 3D es muy utilizado profesionalmente tiene una gran resistencia en impactos y altas temperaturas, permite trabajar sobre la pieza ya impresa. Tiene una desventaja ya que produce gases nocivos al momento de imprimir esto no permite la presencia de personas en torno a la impresión. La cama caliente de estar en torno a 100-110 °C. (Mastoner, 2019). Un ejemplo de impresión con filamento ABS se muestra en la ilustración 11-2. Por lo que cabe recalcar que la impresión con dicho material se emplea en su mayoría en piezas de carácter industrial ya que posee propiedades similares al polietileno.



**Ilustración 11-2:** Impresión 3D con Filamento ABS

**Fuente:** (3Dnatives, 2019)

#### 2.5.3.4 Filamento PC

Filamento PC es termoplástico muy resistente el cual soporta elevadas temperaturas con una claridad óptica muy alta, se dobla y se deforma similar al caucho duro hasta romperse. La temperatura de extrusión esta entre 230-270 °C lo cual se recomienda uso de cama caliente a 90°C. En la ilustración 12-2, se observa el filamento PC. (Mastoner, 2019)



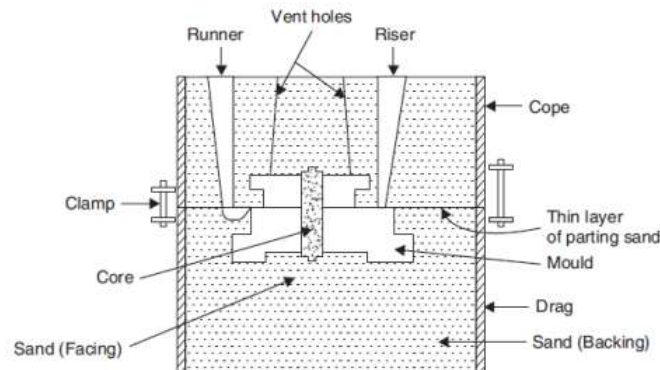
**Ilustración 12-2:** Filamento PC

Fuente: (Traiced, 2019)

## 2.6 Moldeo

Moldeo o conocido también como fundición es el proceso basado en la fusión de los metales, el cual consiste en varias operaciones mediante todo el procedimiento se obtiene un hueco o molde de arena, metal o material refractario donde se da la forma de la pieza que se va a fabricar donde se vierte el metal fundido dejándole enfriar hasta que se solidifica de manera completa. La temperatura para fundir los aceros es a 1150°C frente a 1450° C y el hierro puro 1538°C. (Sitenordeste, 2020)

En la ilustración 13-2, se ve muestra un esquema del moldeo de una pieza fundida, la cual se aprecia los distintos componentes del sistema: pieza, caja, bebederos, rebosaderos, canales de colada.



**Ilustración 13-2:** Esquema del molde para fabricar una pieza por fundición

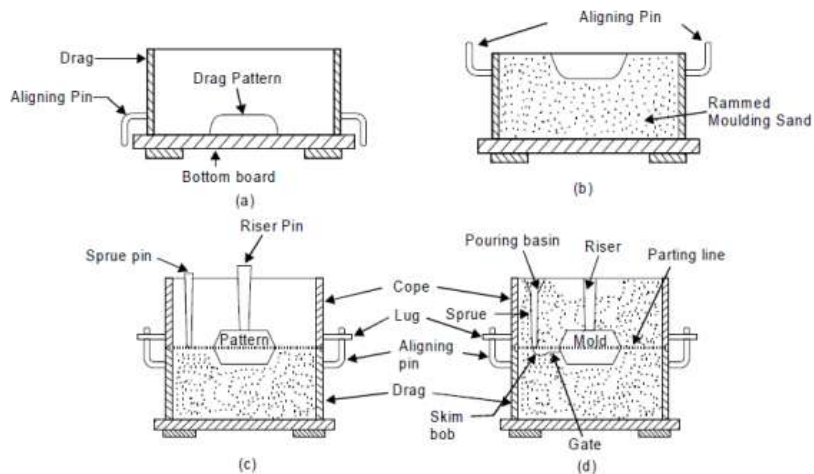
Fuente: (UC3M, 2019)

### 2.6.1 Moldeado en arena

La fundición de arena se utiliza para realizar grandes piezas las más realizadas son en hierro y acero, pero también puede ser de bronce y aluminio. El metal fundido se transforma en una cavidad de molde formada de arena puede ser normal (arcilla húmeda) o sintética (se usan productos orgánicos e inorgánicos).

Para la construcción de molde en arena se necesita una copia casi idéntica de la pieza que se va a fabricar o conocida también como modelo. El modelo se lo coloca en el moldeado y en el espacio restante se rellena de arena especial bien presionada, posteriormente se deja un conducto de entrada para el metal fundido, el cual lleva el nombre de bebedero y otro para la salida llamado rebosadero. (UC3M, 2019)

A continuación, en la ilustración 14-2 se muestra las fases de moldeado en arena, la cuales son la colocación de arena en una caja, la colocación de la pieza a manufacturar, la colocación de tubos para realizar el vertedero del material y finalmente la colocación del material en estado líquido en el molde de arena.



**Ilustración 14-2:** Fases de moldeado en arena

Fuente: (UC3M, 2019)

### 2.7 Aleaciones para fundición

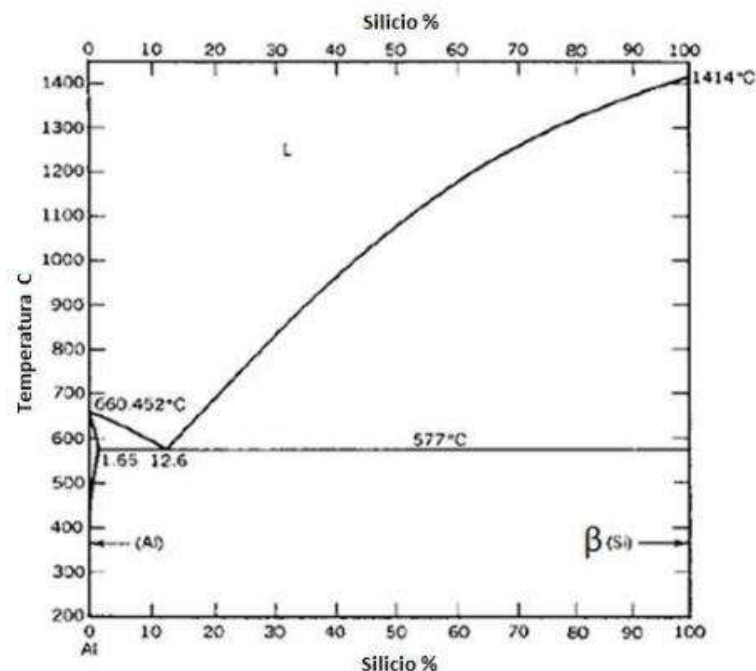
Las aleaciones de aluminio empleadas en la fundición contienen silicio, ya que se necesita provocar una reacción eutéctica, por lo genera bajos puntos de fusión, buena fluidez y buena colabilidad para fundiciones.

Dentro de una aleación de aluminio el componente más importante es el silicio, el cual debe estar en un rango de 5 al 12%, ya que promueve un aumento de fluidez en los metales en el instante que se encuentran fundidos, por lo que permite mayor capacidad de alimentación a los moldes sin tener dificultad en el llenado, también sirve como refuerzo al aluminio. Adema, se debe agregar un porcentaje de manganeso entre 0.3 y el 1%, ya que tiene como finalidad el aumento de resistencia al material en el instante de la fundición.

En algunas aleaciones de aluminio para fundición también se añade cobre, en una porción comprendida entre el 1 y 4%, con el fin de aumentar resistencia, especialmente a temperaturas elevadas. También se añaden algunas aleaciones de este tipo u otros elementos tales como: zinc, estaño, titanio y cromo. (Londo y Tierra, 2010)

### 2.7.1 Aleación de aluminio – silicio

En la siguiente figura, se observa la representación gráfica de fases “alfa Al-Si”, que es sencillo, pues no forma más que una solución sólida “beta” de silicio en aluminio y una solución solida de aluminio en silicio, aunque algunos autores la fase “beta” como silicio elemental. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)



**Ilustración 15-2:** Diagrama de equilibrio de aleación Al-Si

**Fuente:** (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

No hay más que un punto eutéctico que corresponde a la proporción de 12,5% de Si y cuya temperatura es de 577°C.

El silicio endurece al aluminio, aumenta su fluidez en la colada y resistencia a la corrosión. Las aleaciones de Al-Si son muy dúctiles y resistentes al choque mecánico, tienen un bajo coeficiente de dilatación y una elevada conductividad calorífica y eléctrica, pero son difíciles de mecanizar por la naturaleza abrasiva del silicio.

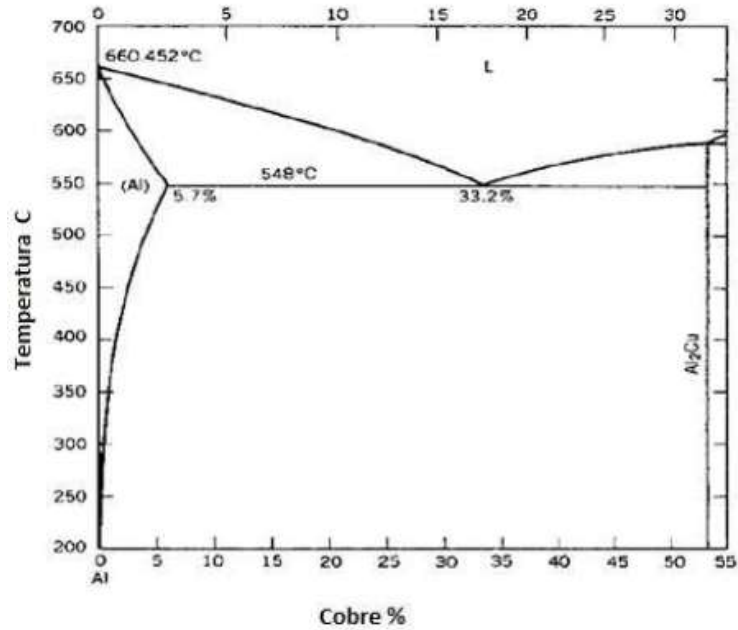
Las propiedades mecánicas de aleaciones Al-Si se mejoran añadiendo una cuchara de cloruro sódico o una mezcla de fluoruro y cloruro sódico. Esta operación incorpora una pequeña cantidad de sodio, inferior al 0,01% a la aleación, pero suficiente para variar la concentración eutéctica del 11,6% al 13% y bajar la temperatura eutéctica de 577°C a 570°C. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

#### *2.7.1.1 Aplicaciones de la aleación Al- Si*

Por lo general la principal aplicación de dicha aleación es la fundición de piezas difíciles, pero buenas cualidades de moldeo y la fabricación de piezas para usos marítimos, por su resistencia a la corrosión. Pero no se emplean para piezas ornamentales debido a que llegan a perder su apariencia. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

#### *2.7.2 Aleación de aluminio – cobre*

A continuación, se observa en la siguiente ilustración 16-2 el diagrama de fases AL-Cu hasta un 55% de Cu, teniendo en cuenta que es superior al porcentaje máximo empleado en este tipo de aleaciones, ya que por lo general no supera al 15%, ya que a partir de esta concentración se forman compuestos intermetálicos que hacen frágil a la aleación.



**Ilustración 16-2:** Diagrama de equilibrio de aleación Al-Cu  
**Fuente:** (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

Dicho diagrama presenta la fase “beta” que es una solución sólida de cobre en aluminio, ya que cristaliza en la red cubico entrada en las caras. La eutéctica esta forma por cristales duros de aluminio de cobre ( $Al_2Cu$ ) incrustados en la matiz de cristales de aluminio. La temperatura eutéctica es 548°C, que corresponde a una concentración del 33% de Cu.

La solubilidad del cobre en el aluminio varia del 0,45% a 300°C, hasta 5,7% a 548°C, lo que se utiliza para el temple de precipitación a la que puede ser sometida la aleación. La principal característica del cobre es que endurece mucho al aluminio, por lo que este tipo de aleación posee excelentes propiedades mecánicas y mantienen la facilidad de mecanizado de la misma. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

### 2.7.2.1 Aplicaciones de la aleación Al-Cu

Se caracterizan por una buena resistencia al calor y una menor resistencia a los agentes atmosféricos que las aleaciones sin cobre. Sin embargo, este tipo de aleaciones por sus propiedades mecánicas nos pueden ser soldadas.

## 2.8 Limpieza de colada

Es importante un tratamiento cuidadoso el fundido, ya que de este tratamiento depende de modo decisivo la fluidez, la capacidad de llenado del molde, la densidad y la estructura de la pieza, por lo

que la limpieza de la colada se ha de realizar inmediatamente antes del vertido. El efecto de limpieza se basa en la acción de procesos físico o químicos, incluso combinando ambos, estos son denominados tratamiento con fundentes. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

## **2.9 Tratamiento con fundentes**

Los fundentes o sales se usan para cuando el metal se encuentra más sucio o desmenuzado. Un fundente eficaz posee las siguientes características: baja viscosidad, insolubilidad en el aluminio, menor densidad que el aluminio, tensión de vapor lo más baja posible a la temperatura de trabajo, ataque mínimo a las paredes del horno, al material del crisol y acción escorificante sobre impurezas no metálicas. Los fundentes contienen con frecuencia componentes higroscópicos, se debe conservar en lugares secos. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

Según la forma de actuar y la composición, se pueden distribuir en dos grupos de fundentes lo cuales son los de sales cobertura y sales de limpieza.

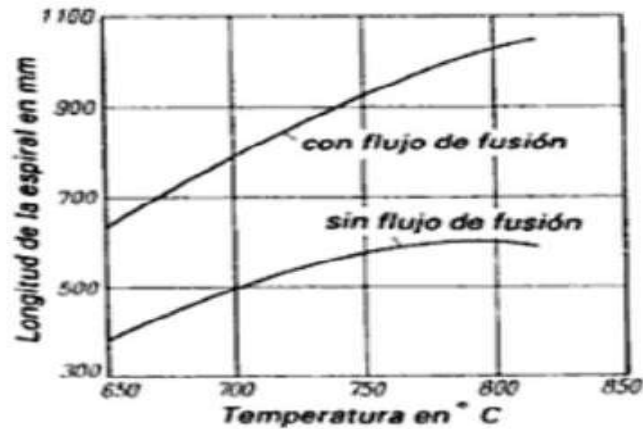
### **2.9.1 Sales de cobertura**

Las sales de cobertura deben disminuir las pérdidas metálicas y sirven para evitar la oxidación y absorción de gases en caldos de bajo punto de fusión, además, tienen la propiedad de retener el óxido de aluminio que flota en la superficie y separarlo ampliamente del metal que se le adhiere. Las sales de cobertura esta formadas por cloruro de fluoruros de metales alcalinos mezclados con criolita. Especial importancia tiene el tratamiento con sales de aleación de AlMg que contiene más de 3 a 4% de Mg. Estas aleaciones deben ser protegidas, además del oxígeno y el hidrogeno, también del nitrógeno del aire y de la atmosfera de horno, ya que el nitrógeno reacciona con el magnesio y forma nitruros. Para este fin se han desarrollado sales especiales que impide la inflamación de magnesio. (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

### **2.9.2 Sales de limpieza**

Las sales de limpieza o lavado sirven para la eliminación de las impurezas o metálicas existentes en el colado. Su acción debe atribuirse en la mayor parte a un efecto de flotación y también a reacciones químicas. Las mezclas constan fundamentalmente de cloruro de sodio y potasio junto con fluoruro sódico y potásico. Por su acción purificadora del caldo poco antes del vertido, mejoran esencialmente la fluencia en la operación de la colada. Estos fundentes son agregados en una proporción de 1 a 2% del peso del metal, se los debe adicionar la mitad al comienzo de la fusión y el resto al final de la misma.

En la siguiente ilustración 17-2, se representa la acción de un fundente sobre la capacidad de fluencia de una aleación AlMg.



**Ilustración 17-2:** Tratamiento sobre la fluencia de aleación AlMg a temperatura constante.

Fuente: (Garrido y Sánchez, Aldo y Victor, 2011)

## 2.10 Moldes metálicos

La fundición en moldes metálicos es uno de los procedimientos para obtener molduras de elevada precisión y calidad de la superficie. A diferencia de los moldes en arena, que se destruye después de obtenerse la moldura, un mismo molde metálico se rellena de metal desde varias centenas hasta cuantas decenas de miles de veces.

La cavidad del molde metálico puede ser elaborado con gran precisión y pequeña rugosidad de la superficie, por lo que las molduras que se obtienen y ellos poseen dimensiones exactas y una superficie con un correcto acabado. Además, la alta conductividad térmica del material de molde acelera considerablemente la solidificación y enriamiento de la moldura, lo que en muchos casos influye favorablemente en sus propiedades mecánicas.

Sin embargo, en comparación con la fundición de moldes en arena, los moldes metálicos aumentan la producción de molduras de 2 a 5 veces la producción, también se reduce el precio de costo de las molduras y el gasto de mezcla de moldeo, facilita el mecanizado y automatización de la producción mejorando las condiciones de trabajo.

Por lo general, el ingreso del metal líquido al molde se lo realiza de las siguientes maneras: por colocación por gravedad, centrífugo y por presión.



### **2.10.1 Características de la fundición en molde metálico**

Por lo general, los moldes metálicos se elaboran en fundición, acero, aluminio y cobre. Cuando son de pequeños y medianos tamaños se los realiza en fundición, mientras que si son de grandes se fabrican en acero. La fundición gris para la elaboración de moldes debe tener una estructura perlitoferítica sin vestigios de cementita estructuralmente libre, puesto que al llenar el molde con metal líquido y su calentamiento en la fundición del molde puede ocurrir transformaciones estructurales y producir deformación en el molde. (Londo y Tierra, 2010)

La cantidad de ferrita en la estructura no debe superar un 5-10%. La composición aproximada de esta fundición, en %, es: 3.4-3.6 de C; 1.8-2.2 de Si; 0.9-1 de Mn; 0.12-0.15 de P y 0.6-0.8 de S. Las piezas importantes de las coquillas se elaboran de aceros aleados, los machos metálicos de aceros de alto carbono. (Londo y Tierra, 2010)

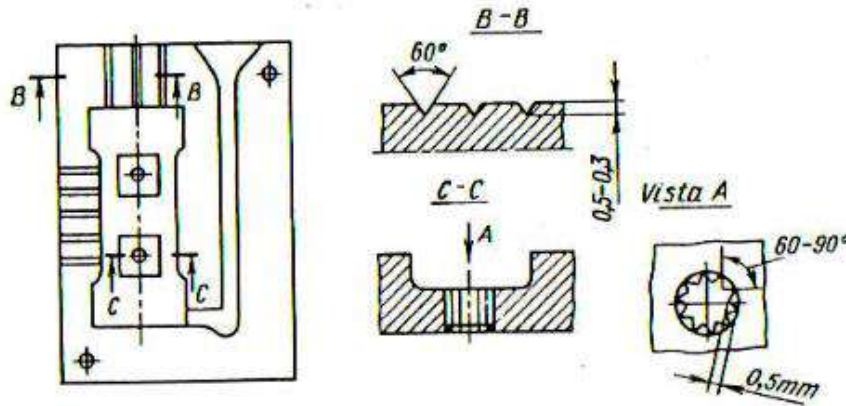
Al fundir aleaciones de aluminio y magnesio, la superficie útil libre del molde se mecaniza por corte, lo que aumenta la precisión y la finura de la superficie de las molduras, pero al mismo tiempo eleva su costo. Con frecuencia los moldes pequeños se elaboran por corte de piezas forjadas de acero, en la siguiente figura se observa el diseño de un molde metálico.



**Ilustración 18-2:** Molde metálico

Fuente: (BIRT, 2020)

Al diseñar el molde metálico se debe prestar especial atención a la ventilación, o sea, a la evacuación de los gases del molde con ayuda de respiraderos y canales para la expulsión de gases, como se observa en la ilustración 19-2.

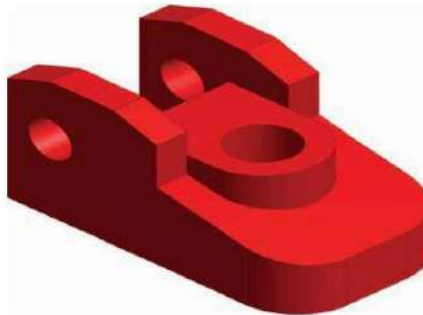


**Ilustración 19-2:** Canales para evacuación de gases en un molde

Fuente: (Londo y Tierra, 2010)

### 2.11 Diseño Asistido por computador (CAD)

CAD es el diseño asistido por computador, el cual es un software que realiza tareas como el diseño de un prototipo tanto en croquis 2D como en piezas tridimensionales 3D. Además, es muy empleado en el área de la ingeniería por su facilidad de uso y ahorro de tiempo en el diseño de piezas sencillas y sistemas complejos. La ilustración 20-2, muestra un ejemplo de lo que se puede realizar en este tipo de software.



**Ilustración 20-2:** Diseño de un sólido asistido por computador CAD

Fuente: (Choto, 2017)

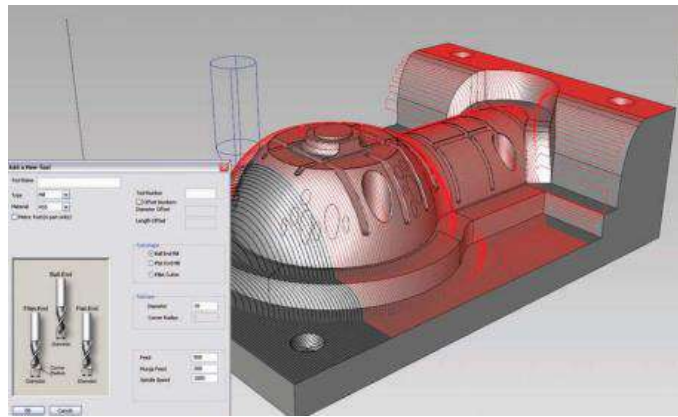
CAD se utiliza para diseñar productos conceptuales y estructura basándose en ensambles hasta llegar a un método de fabricación la cual tiene representaciones gráficas bidimensionales 2D (Autodesk AutoCAD) y tridimensionales 3D (Solidworks).

Se puede realizar cambios de manera rápida y fácil por la transferencia electrónica de archivos además es muy fácil de usar cuando un producto va a ser fabricado es mucho más fácil, evita errores costosos.

## 2.12 Diseño Asistido por manufactura (CAM)

Manufactura asistida por computadora CAM representa la administración, control de las herramientas y operaciones de un proceso, además el mecanismo de control necesario para establecer la comunicación con las máquinas y robots. (Orejuela, 2016)

Integra tanto diseño como la manufactura lo cual interpreta todas las especificaciones finales del diseño para el objeto que se va a fabricar. Los sistemas CAM permiten a los ingenieros analizar las diferentes formas que contiene un objeto sin la necesidad de crear un prototipo. Un diseño asistido por manufactura por computador CAM se puede observar en la ilustración 21-2, ya que se muestra la pieza en 3D y varias de las herramientas que pueden ser empleadas para realizar el mecanizado.

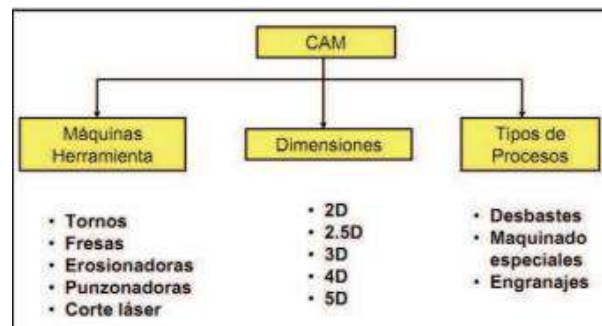


**Ilustración 21-2:** Manufactura asistida por computador CAM

Fuente: (Choto, 2017)

### 2.12.1 Clasificación de los sistemas CAM

Se clasifican según el tipo de máquinas herramientas según sea su aplicación, por los tipos de dimensiones y por la forma en que se realiza el proceso de maquinado, en la ilustración 22-2 se muestra la clasificación de los sistemas CAM. (Orejuela, 2016)



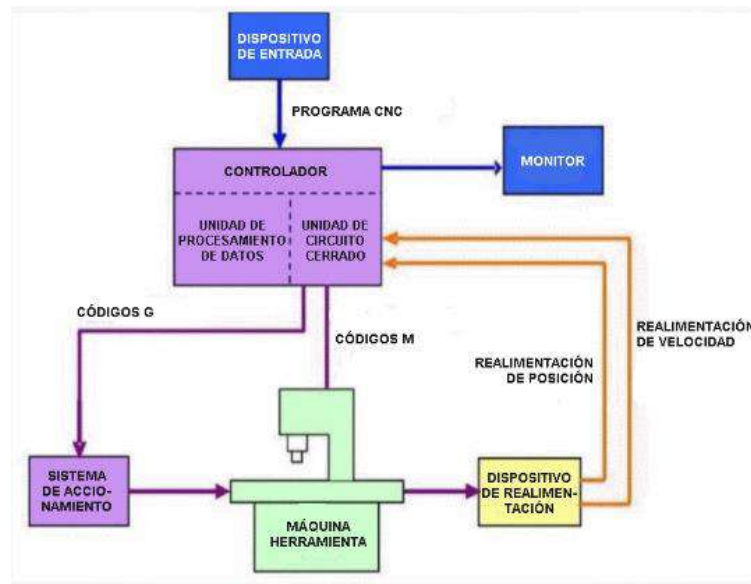
**Ilustración 22-2:** Clasificación de los sistemas CAM

Fuente: (Orejuela, 2016)

## 2.13 Máquina CNC

CNC son las siglas en inglés Computer Numeral Control (control numérico de computadora). Las máquinas CNC son dispositivos que se puede controlar mediante una computadora ya que es la parte en la cual se programa la misma. Además, en dicha máquina se puede llegar a mecanizar piezas en diferentes materiales como madera, plástico, MDF, metal, etc. (Tecnología CNC, 2018)

La máquina CNC está compuesta por 6 elementos fundamentales como dispositivo de entrada, controlador, máquina herramienta, sistema de accionamiento, dispositivos de realimentación y monito, por lo tanto, se mostrará un diagrama de bloques en la ilustración 23-2.



**Ilustración 23-2:** Diagramas de bloques de una máquina CNC

Fuente: (Tecnología CNC, 2018)

### 2.13.1 Tornos CNC

Los tornos CNC o conocidos también como torno de control numérico se utiliza para mecanizar piezas mediante un programa de computadora los cuales utilizan códigos alfanuméricos, posee ejes cartesianos x, y por lo tanto reproduce en cantidad y precisión porque la computadora que está incorporada tiene el control y es la encargada del diseño de la pieza. (MaquinariaBKB, 2020)

En el país se puede encontrar el torno LYNX SERIES como se muestra en la figura 24, este tipo de torno tiene un tipo de control CNC de 2 ejes tiene características que son de corte, alta precisión, alta eficacia y compacto. Tiene un menor tiempo de torneado ya que contiene un motor de indexación y la guía LM tipo rodillo de gran rigidez, su diseño se puede observar en la ilustración 24-2.



**Ilustración 24-2:** Torno LYNX SERIES

Fuente: (MaquinariaBKB, 2020)

### 2.13.2 Centro de mecanizado

Las máquinas se dividen de acuerdo con la orientación, su número de ejes es de 3, 4 y 5 ejes, es una máquina herramienta que está conformado por piezas por arranque de material. Una de centro de mecanizado es ROMI DCM 620-5X presenta 5 ejes los cuales están diseñados para mecanizado de piezas de geometrías simples y complejas en alta velocidad. Su configuración de 5 ejes realiza el mecanizado de piezas en sólo un setup, lo que disminuye el tiempo de mecanizado, con eficiencia, precisión y productividad donde tiene un control SINUMERIK 840D lo cual es la primera elección en ingenierías y aplicaciones de manufactura. (ROMI, 2016)

A continuación, en la figura 25-2 se puede observar un centro de mecanizado de marca ROMI DCM 620-5X, el cual posee 5 ejes. Dicha maquina es capaz de realizar piezas de carácter complejo y de variedad de formas.



**Ilustración 25-2:** ROMI DCM 620-5X

Fuente: (ROMI, 2016)

La tabla 1-2, muestra las características que posee el centro de mecanizado Romi, teniendo en cuenta que el mismo se lo puede encontrar localizado en Politécnica de Chimborazo.

**Tabla 1-2:** Diferencias entre máquina CNC y máquina Convencional

MÁQUINA CNC	MÁQUINA CONVENCIONAL
Se requiere de la presencia de un operador para manejar varias maquinas	Un operador puede manejar una sola maquina
Es rápida y precisa al momento de manufacturar	Es lenta o se requiere de más tiempo para realizar fabricación de piezas
Costo de manufacturas elevados	Costo de manufactura bajos
Programación mediante códigos G y M para su accionamiento	Presencia de un operador
Posee multiejes	Posee máximo 3 ejes
Cambio de herramientas programables	Cambio de herramientas requiere de un operador

Realizado por: Toaquiza C, 2022

## 2.14 Post procesador

El post procesador es un archivo de código que convierte lo que dibujamos (siempre ha de ser vectores) en un lenguaje de programación llamado G-CODE o Código G o también llamado código ISO. Y el archivo que crea el post procesador a partir de lo que hayamos dibujado, es el que le va a indicar a la maquina CNC que movimientos tiene que realizar para conseguir materializar nuestro dibujo. (Marcos Muñoz, 2018)

## 2.15 Tipos de post procesadores para 5 ejes

A continuación, se detallan algunos de los post procesadores que se emplean en máquinas CNC de 5 ejes, teniendo como finalidad el correcto funcionamiento de la máquina al instante de realizar el mecanizado.

### 2.15.1 Post procesador CNC de 5 ejes FANUC de MASTERCAM

El software CAD/CAM Mastercam y FANUC América proveedor de automatización, presentó un nuevo post procesador CNC diseñado para controladores Fanuc con capacidad de mecanizado para cinco ejes. Este post procesador permite a los operarios reducir sus ciclos de maquinado mientras incrementan la precisión de programas CAD/CAM al ejecutar operaciones en cinco ejes simultáneos. (FANUC, 2020)

En la siguiente ilustración 26-2, se observa el post procesador de la marca FANUC para 5 ejes.



**Ilustración 26-2:** Post procesador FANUC para 5 ejes

Fuente: (FANUC, 2020)

Un número de empresas han incorporado el post procesador simultáneo de 5 ejes en sus operaciones entre ellas la industria de fabricación, aeroespacial, médica y talleres de moldes. Con este programa de salida de código optimizado de Fanuc en Mastercam, las máquinas herramientas podrán procesar piezas modeladas en CAD con mayor precisión.

“Esta alianza con FANUC nos da la oportunidad de beneficiar a la base instalada en post proceso en 5 ejes en los equipos de control CNC serie FANUC 30i-B y 30i-B Plus. Donde nos aseguramos de incluir las mejores prácticas para obtener mayor productividad en el mecanizado”, nos dice Pedro Sánchez, Jr. Gerente de Post Proceso en Mastercam. (FANUC, 2020)

### ***2.15.2 Post procesador multiejes SPINNER, Heidenhain TNC, MAZAR y POWERMILL***

El alto nivel de seguridad de los programas de control generados por el postprocesador se debe a los procedimientos incorporados en el código fuente del postprocesador para verificar la existencia de errores del tecnólogo en el proyecto de procesamiento de detalles. Por ejemplo, el postprocesador no generará el programa de control y mostrará el mensaje de error si no ha sido asignada la velocidad del husillo de la máquina, si no ha sido especificado o si ya está introducido el número de herramienta. La lista de los errores comprobados se acuerda con los ingenieros industriales del Cliente.

Desarrollamos el post procesador teniendo en cuenta todas las especificidades de la máquina determinada. Esto significa que se tendrán en cuenta las particularidades del cambio automático de herramientas, las características del diseño de la máquina, lo que es especialmente importante en el

mecanizado multiejes, cuando antes de cambiar las coordenadas de los ejes de rotación de la máquina, es necesario alejar la herramienta de la pieza de trabajo de forma segura.

Aplicando ampliamente los eventos de usuario, usando las funciones estándares del dispositivo de la máquina CNC y también los elementos de programación dentro del mismo programa de control, alcanzamos el nivel más alto posible de la automatización del proceso del mecanizado tanto en la herramienta fresadora, como en la maquinaria de torneado y fresado. Dichos post procesadores soportan todas las funciones de transformación del sistema de coordenadas existentes en la máquina: G68.2/CYCLE800/PLANE SPATIAL para mecanizado posicional de cinco ejes (3+2) y G43.4/TRAORI/M128 para mecanizado continuo de cinco ejes. (LACIT, 2019)

En la siguiente figura, se observan los tipos de post procesadores que Heidenhain TNC, MAZAK y POWERMILL, que son empleados para máquinas CNC de 5 ejes, teniendo como ventaja una mejor programación para mecanizar una pieza de manera más fácil y eficiente.



**Ilustración 27-2:** Post procesadores Heidenhain TNC, MAZAK, POWERMILL

**Fuente:** (LACIT, 2019)



### 2.15.3 CNC Siemens Sinumerik 840D (ROMI DCM 620-5X)

Posee un monitor LCD de color de 19 inch, interfaz ethernet para servidor de fábrica USB, ofreciendo una gran flexibilidad para cargar programas y parámetros como se representa la figura 28-2. El CNC Siemens Sinumerik 840D ofrece el software programa GUIDE, que simplifica la elaboración de programas, a través de la entrada de datos en pantallas amigables e ilustraciones animadas que ayudan de maneja clara a la entrada de datos. La programación es simplificada a través de ciclos fijos de perforado, mandrilado y roscado, ciclos para fresado y cortes de perfiles libres.



**Ilustración 28-2:** Post procesador SIEMENS

Fuente: (ROMI, 2016)

### 2.15.4 Post procesadores soportados por MASTERCAM

A continuación, en la siguiente tabla se observan los controladores que MASTERCAM posee al momento de realizar la respectiva programación en diferentes ejes de una variedad de máquinas CNC, teniendo como final la facilidad de programación de códigos G para que los mismos sean manufacturados.

**Tabla 2-2:** Máquinas y post procesadores adjuntados a MASTERCAM

Capacidades	Máquinas	Controles
2-Axis	Haas	Fanuc
3-Axis	Mazak	Heidenhain TNC
4-Axis	OptiPro	Siemens
3+2 Axis	DMG	Mori Seiki
5-Axis	Mori Seiki	Fagor
6-Axis	Okuma	Mazak
Láser / Plasma / Waterjet	Makino	Okuma

Tool Centerpoint Management (TCP)	Matsuura	OSAI
Tited Work Planes (TWP)	Hurco	Haas
Dynamic Work Offsets (DWO)	Fadal	Hurco
Right-Angle Head support (RAH)	Toshiba	MillPlus
Vector Programming	Mitsubishi	Mitsubichi

Fuente: (CADA VSHMEIP, 2021)

## 2.16 Programación de máquinas CNC

La programación de las máquinas de Control Numérico Computarizado se realiza mediante códigos G y M, los cuales son de gran importancia ya que con el uso de los mismo podemos colocar los programas en coordenadas absolutas, relativas o polares dependiendo de la facilidad para el operador.

### Código G

El código G en CNC se utiliza para describir el tipo de operación o movimiento que se va a ejecutar en el bloque que incluye el código Tienen instrucciones específicas de cada grupo de códigos en los que están divididos, los códigos G tiene una regla universal en programación las cuales es que del mismo conjunto no pueden usar en el mismo bloque ya que los códigos del mismo bloque se cancelan entre sí. (TecnoEdu, 2018)

A continuación, en la ilustración 29-2 se podrá visualizar comandos de código que se utilizan para programación en CNC.

G00: Posicionamiento rápido (sin maquinar)  
G01: Interpolación lineal (maquinando)  
G02: Interpolación circular (horaria)  
G03: Interpolación circular (antihoraria)  
G04: Compás de espera  
G10: Ajuste del valor de offset del programa  
G20: Comienzo de uso de unidades imperiales (pulgadas)  
G21: Comienzo de uso de unidades métricas  
G28: Volver al home de la máquina  
G32: Maquinar una rosca en una pasada  
G36: Compensación automática de herramienta en X  
G37: Compensación automática de herramienta en Z  
G40: Cancelar compensación de radio de curvatura de herramienta  
G41: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la izquierda  
G42: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la derecha  
G70: Ciclo de acabado  
G71: Ciclo de maquinado en torneado (escalera con progresión monótona de cilindrados)  
G72: Ciclo de maquinado en frentado (escalera con progresión monótona de frentados)  
G73: Repetición de patrón  
G74: Taladrado intermitente, con salida para retirar virutas  
G76: Maquinar una rosca en múltiples pasadas  
G96: Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante  
G97: Fin de desbaste a velocidad tangencial constante  
G98: Velocidad de alimentación (unidades/min)  
G99: Velocidad de alimentación (unidades/revolución)

### **Ilustración 29-2:** Comandos de Código G

**Fuente:** (TecnoEdu, 2018)

## **CAPÍTULO III**

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Introducción**

El presente capítulo se hará uso de la investigación bibliográfica mencionada anteriormente, con la finalidad de conocer los procesos de manufactura existentes en el mercado ecuatoriano para poder mecanizar un impeller aplicando ingeniería inversa, utilizando impresión 3D, moldes en área y centro de mecanizado. Además, para cada proceso se realizará la respectiva selectividad de material, ya que es importante para la construcción del impeller.

#### **3.2 Metodología cualitativa**

Es un método de estudio que se propone evaluar, ponderar e interpretar información obtenida a través de recursos como entrevistas, conversaciones registros, memorias, entre otros, con el propósito de indagar en su significado profundo. Además, se trata de un modelo de investigación de uso extendido en las ciencias sociales, basado en la apreciación e interpretación de las cosas en su contexto natural. (Significados, 2018)

Para el presente proyecto de investigación se empleará la metodología cualitativa para determinar la selección de varios puntos como son, software CAD-CAE, tipo de máquinas para realizar la manufactura, materiales de construcción, tipos de herramientas entre otros, ya que se detallan parámetros de estos para después proceder a evaluarlos.

#### **3.3 Metodología cuantitativa**

Implica la recopilación y el análisis de datos cuantificables. Aquí la cuestión de la medición es esencial porque permite la observación empírica y su conexión con la dimensión conceptual de la investigación. Todos los datos cuantitativos son datos en forma numérica, tales como estadísticas, porcentajes, etc., obtenidos a través de encuestas, cuestionarios, o mediante la manipulación de datos estadísticos preexistentes. (David Escarcega, 2019)

La metodología cuantitativa será empleada en el presente proyecto, ya que por medio de la misma se validarán mediante ponderaciones los parámetros de selección mencionados anteriormente, teniendo en consideración que por este método vamos a tener resultados numéricos.

#### **3.4 Metodología experimental**

Es la determinación de cómo vamos a desarrollar nuestro experimento u observación. De este modo, trata de definir las variables que deben ser observadas, la relación entre elementos, cómo van a ser las variables medidas y cómo procederemos a analizar los datos obtenidos. (David Llopis, 2020)

Para el presenta proyecto se hará uso de la metodología experimental, ya que se va a manufacturar el impeller, mediante un proceso de escáner, impresión 3D, por fundición en arena y en un centro de mecanizado. Además, para verificar que este correctamente fabricado se harán uso de instrumentos de medición como calibrador pe de rey y micrómetro.

### **3.5 Scanner 3D**

El scanner 3D en el presente proyecto será de mucha utilidad, ya que tiene como finalidad la aplicación de la ingeniería inversa, debido a que con la ayuda de este se recopilaran los datos o nueve de puntos para que puedan ser procesados en un software CAD, haciendo la pieza en 3D. En este caso se utilizará el scanner “GO SCAN 3D” que se encuentra en las instalaciones de la Politécnica de Chimborazo”, en el Anexo A se observan las características técnicas del mismo.

### **3.6 Modelado del impeller**

Para realizar el modelado del impeller, se requiere de un software CAD (Diseño Asistido por Computador), ya que en la actualidad son empleados en la parte de ingeniería por motivos de eficiencia, ahorro de costos, presentación, funcionalidad entre otros aspectos. Además, dichos software poseen contornos fáciles de manejar y herramientas útiles para obtener un dibujo o modelado de carácter real incluido materiales.

#### **3.6.1 Selección de software CAD**

Se conoce que en la industria de la ingeniera mecánica existen varios softwares CAD, por lo que a continuación se procederá a seleccionar el más apropiado para dibujar un impeller de carácter físico. En la siguiente tabla 3-3, se indican software CAD, considerando en una escala del 1 al 5 para la selección de este, en la cual 1 es el valor mínimo y 5 el máximo.

**Tabla 1-3:** Selección de software CAD

Softwares	Parámetros de Selección
-----------	-------------------------

	Diseño en 3D competente y eficiente	Librerías	Herramientas de dibujo	Fiabilidad y estabilidad	Aplicaciones integradas	Interfaz de aprendizaje	Paquetes	Instalación	Costos económicos	TOTAL
Inventor Professional	5	4	5	4	5	5	3	4	5	40
Fusion 360	5	4	5	4	5	5	4	5	5	42
NX	5	5	5	5	5	5	5	3	3	41
Catia	5	5	5	5	5	5	5	3	3	41

Realizado por: Toaquiza C, 2022

En la tabla anterior, se evaluaron software CAD de clase alta (NX y Catia), los cuales son muy eficientes para lo que respecta al dibujo de piezas mecánicas en 2D y 3D, teniendo como desventajas los costos e instalación ya que requieren de licencias profesionales, también se apreciaron software de gama baja (Inventor Professional y Fusion 360), estos fueron evaluados poseyendo como resultado que el más apropiado para dibujar el IMPELLER es el Fusion 360, ya que obtuvo un valor de 42.

Además, el Fusion 360 tiene una gran similitud con el Inventor Professional, pero dicho software recalca por poseer una herramienta de nueve de puntos para agitar el dibujo de piezas escaneadas. Sin olvidar que se hará uso de una versión estudiantil por motivo de que la Politécnica de Chimborazo no dispone de licencia comercial.

### 3.7 Manufactura en el país

Con el desarrollo de la tecnología en el país existen diferentes procesos de manufactura para realizar piezas mecánicas en 3D, como se mencionó en el capítulo anterior se puede realizar la construcción de una pieza mediante procesos de impresión en 3D, fundición de arena o moldeado y haciendo uso de máquinas herramientas convencionales o CNC.

#### 3.7.1 Impresión 3D

En la actualidad, el proceso de impresión 3D es muy empleado para la fabricación de diferentes piezas, ya sean mecánicas o de otra índole, teniendo como ventajas la manufactura de piezas de formas complejas, también se realizan componentes de tamaños pequeños que son difícil de construir

en máquinas convencionales o CNC. Sin embargo, como desventaja radica la precisión del componente construido.

### 3.7.1.1 Selección de la impresora 3D

Para el proceso de impresión 3D, se dispone de varias máquinas en el mercado ecuatoriano las que se detallarán en la tabla 4-3, por lo que para su selección tendrán un rango del 1 al 5, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo.

**Tabla 2-3:** Selección de tipo de impresoras 3D

Tipos de impresoras 3D	Parámetros de Selección					
	Poco desperdicio de material	Precisión	Acabado del producto	Velocidad de impresión	Costos económicos de impresión	TOTAL
Estereolitografía (SLA)	3	5	5	5	3	21
Sinterización Selectiva por Láser (SLS)	5	5	5	5	3	23
Inyección	4	4	4	4	4	20
Deposición de material fundido (FDM)	5	4	4	4	5	22

Realizado por: Toaquiza C, 2022

En la tabla anterior, se observa que la impresora 3D de mayor ponderación es la láser con un valor de 23, debido a que posee varias ventajas en cuando a su precisión, velocidad de impresión y ahorro de materia prima al momento de la manufactura, pero cabe recalcar que en sus desventajas están los costos elevados. Además, dicha impresora no es comerciable en el país por lo que se dificultaría utilizarla.

Sim embargo, la impresora de deposición de material fundido se encuentra en segundo plan con una ponderación de 22, lo que significa que es adecuada para realizar trabajos de buena calidad, teniendo en cuenta que la misma es accesible en el mercado ecuatoriano a bajos costos de manufactura.

La impresora empleada para la construcción del impeller será una máquina “Creality CR-10S 3D Printer Advantages”, la cual se la puede ubicar en la ciudad de Latacunga en el local TOBY, misma que en el Anexo B se detallan las características de la máquina.

### 3.7.1.2 Selección de materiales para la impresora 3D

Actualmente, en el mercado ecuatoriano para la fabricación de piezas en impresión 3D se las realiza con PLA o ABS dependiendo de la aplicación a la que va a estar trabajando. Por lo tanto, en la tabla 4 se observan los parámetros de cada material, considerando en una escala del 1 al 5 para la selección de estos, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo.

**Tabla 3-3:** Selección de material para impresión 3D.

Material	Parámetros de Selección					
	Resistente	Aplicación industrial	Accesible en el mercado	Contaminante	Costos económicos de impresión	TOTAL
PLA	4	3	5	1	5	18
ABS	5	5	5	1	4	20

Realizado por: Toaquiza C, 2022

En la tabla anterior, se observa que el material ABS posee un total de 20, siendo este el mejor material para la impresión del IMPELLER, por sus características técnicas y mecánicas especialmente por la resistencia que tiene a gol.pes e impactos, mientras que el PLA por lo general se utilizan en piezas de carácter decorativo.

### 3.7.2 Moldes de fundición

En la actualidad, la fundición en arena en el país la realizan de dos maneras, ya sea sometiendo el molde a un secado y después ingresando el material líquido o el moldeo verde que consiste en verter la colada de forma directa sin ser procesado por algún tipo de secado. Mientras que los moldes de acero se los fabrica con la ayuda de máquinas herramientas convencionales y CNC por su alta precisión en el instante de la manufactura.

#### 3.7.2.1 Selección de molde para la función.

A continuación, se realizará una validación a los moldes en arena y a los metálicos debido a que son los empleados en el país al momento de fundir piezas en aluminio y en otros materiales, para lo cual mediante una ponderación del 1 a 5 se seleccionará la mejor alternativa para fundir el impeller, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo. En la siguiente tabla, se observan los parámetros para la selección.



**Tabla 4-3:** Parámetros de selección para moldes

Tipo de moldes	Parámetros de Selección					
	Construcción fácil	Elaboración de piezas en serie	Calidad alta de la pieza fundida	Producción en serie	Costos económicos	TOTAL
Arena	5	3	3	2	5	18
Acero	3	5	5	5	3	21

Realizado por: Toaquiza C, 2022

En la tabla anterior, se observa que el mejor molde para realizar la fundición es el de acero con un valor de 21, teniendo en cuenta que el mismo posee varias ventajas, tales como: la fabricación de piezas en serie con una alta calidad de terminado, mientras que el molde de arena tiene como características su construcción fácil, fundición de piezas con formas difíciles de manufacturar y sus costos económicos.

Sin embargo, para realizar la fundición del impeller se empleará un molde de arena debido a que no se requiere de una producción en serie. Cabe recalcar que dicho proceso se lo realizará en los talleres de la Empresa “Siderúrgica” ubicado en la ciudad de Ambato.

### 3.7.2.2 Selección del material a fundir

Por lo general, el material que se emplea cuando se tratan de moldes de arena es el aluminio, teniendo en consideración que hay diversos con sus respectivas aleaciones. Sin embargo, en este caso se analizarán el aluminio ASTM 355 y el ASTM 6061, los cuales mediante una ponderación del 1 al 5 se seleccionará cual es el más apropiado para la fundición, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo, en la siguiente tabla se observan las características de los diferentes aluminios.

**Tabla 5-3:** Parámetros de selección para aluminio.

Tipo de materiales	Parámetros de Selección				
	Resistencia a la corrosión	Resistencia a la tracción	Mecanizable	Costos económicos	TOTAL
ASTM 355	4	4	5	5	18
ASTM 6061	5	5	5	4	19

Realizado por: Toaquiza C, 2022

En la tabla 7-3, se observa que la ponderación más alta es la del aluminio ASTM 6061 con un valor de 19, debido a que posee mejores características que el ASTM 355, especialmente en lo que respecta

a la resistencia de corrosión y tracción. Además, es fácil de mecanizar con cualquier herramienta de corte en distintas máquinas herramientas, dicho material es accesible en el mercado ecuatoriano.

### 3.7.2.3 Cálculo de la masa a fundir

Como se mencionó anteriormente el impeller se lo dibujará en un software CAD, el mismo podrá ser de ayuda para el cálculo de volumen de la pieza para así proceder a calcular la masa que se requiera en el momento de la fundición de aluminio. A continuación, mediante la siguiente fórmula se deberá calcular la masa necesaria.

$$m = \rho * V$$

Donde:

m = Cantidad de masa a fundir, (gr).

$\rho$  = Densidad de la aleación de aluminio, ( $\frac{gr}{cm^3}$ )

V = Volumen de la pieza a ser fundida, ( $cm^3$ )

$$m = \rho * V$$

$$m = 2,7 \frac{gr}{cm^3} * 11,1705 cm^3$$

$$m = 30 gr$$

En el Anexo C, se observarán las características del aluminio que se utilizará para realizar la fundición del impeller, en este caso se tomará el valor de densidad, mismo que será reemplazado en la ecuación anterior.

### 3.7.2.4 Dimensiones de los moldes en fundición

En un sistema de fundición por gravedad, es necesario diseñar el molde con la cavidad correspondiente a la pieza, pero también es necesario añadir a ese molde los siguientes elementos:

- Sistema de canales de llenado: compuesto por embudo de vertido, bebedero, canales de colada y puertas de entrada. Es el conjunto de canales por donde el metal líquido se introduce al molde. De su diseño depende la velocidad de entrada y la aparición o no de impurezas en la pieza final.
- Mazarota o alimentador: es un elemento que se dispone para compensar las contracciones que se producen en la solidificación de la pieza. Estas contracciones provocarían rechupes o porosidades en la pieza sin un correcto diseño de las mazarotas.
- Salida de aire: son pequeños canales que permiten la salida del aire y de los gases formados en el llenado del molde. (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII, 2022)



**Ilustración 1-3:** Sistemas de canales de fundición

**Fuente:** (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII, 2022)

- **Contracciones**

Se diferencian tres fases distintas en este proceso:

- **Contracción líquida:** el metal en estado líquido se contrae en volumen desde la temperatura a la que se ha llevado para la fusión hasta la temperatura en la que comienza la solidificación. Esta contracción no afecta al diseño del molde, ya que sólo ocurre una contracción volumétrica y ningún otro fenómeno interfiere en esa contracción. Su valor depende de la aleación y del valor del sobrecalentamiento, siendo del orden del 0,68% al 1,8% por cada 100°C de sobrecalentamiento para las fundiciones gráficas.
- **Contracción de solidificación:** esta contracción es la más importante a la hora de conseguir una pieza fundida de calidad. Es la contracción que sufre el metal en la solidificación. Si su valor es grande será difícil conseguir que la pieza no tenga porosidades ni cavidades. Esto es así porque el fenómeno de solidificación y el de contracción ocurren al mismo tiempo, y hay zonas que solidifican antes que otras, lo cual hace que queden zonas aisladas de líquido que seguirá contrayendo dentro de un sólido, y así se generan los rechupes o las porosidades. En la siguiente secuencia de imágenes se analizan los pasos que llevan a un rechupe:
  - a) Supongamos una cierta cantidad de metal líquido atrapada dentro del molde, aislada del resto de metal líquido.
  - b) La parte que primero se solidifica es generalmente el exterior de la pieza, por estar en contacto con el molde y enfriarse antes, por ello se forma una cáscara solidificada, estando todavía el interior en estado líquido.
  - c) Al irse solidificando el metal líquido que hay en el interior de la pieza, dicho metal se va contrayendo, por lo que ocupa menos volumen, y el volumen interior de la cáscara sigue siendo el mismo, por ello van apareciendo huecos. (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII, 2022)

- d) Una vez todo el metal se ha solidificado, las zonas sin llenar por el metal se quedan huecas, a esos huecos se les denomina rechupes. Y estos rechupes son los que se deben tratar de evitar en una pieza fundida (o al menos localizarlos en zonas que no afecten al correcto funcionamiento de la pieza). (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII, 2022)
- Contracción sólida: tras haber solidificado, la pieza sigue contrayéndose ya que pasa de una temperatura elevada a la temperatura ambiente. Este enfriamiento no genera ya rechupes o porosidades, pero la contracción que se da se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el modelo, ya que la pieza será de menor tamaño que el modelo debido a esa contracción sólida.

### 3.7.2.5 Parámetros para la fundición

- **Tiempo de colado o llenado**

De acuerdo con el criterio de Jander ha propuesto una regla simple en cuanto al tiempo de llenado, el cual consiste en que el tiempo óptimo para un molde inferior de 10 kg depende de la aleación de colada, modo de acceso (parte inferior, superior o costado) y del menor espesor de pared de la pieza. A continuación, en la siguiente tabla se observa el tiempo de llenado con relación al modo de acceso de la colada en el molde.

**Tabla 6-3:** Tiempo estimado para el acceso de colado

Modo de acceso	Al-Si
Por la parte inferior	$tc = e - 1$
Por el costado	$tc = e$
Por la parte superior	$tc = e + 1$

Fuente: (Londo y Tierra, 2010)

Donde:

$tc$  = Tiempo de colado, (s).

$e$  = espesor menor de la pieza, (m).

$$tc = e + 1$$

$$tc = 4 + 1$$

$$tc = 5 s$$

Además, se debe tener en consideración que para la fundición del impeller se lo realizará desde la parte superior, ya que los vertedores estarán de forma vertical para el ingreso de la colada.

- **Tiempo de solidificación**

Chvorinov desarrolló hace tiempo una fórmula en la que se estima el tiempo de solidificación para una pieza (o zona de pieza) fundida. El tiempo de llenado del molde será igual al tiempo de

solidificación del metal en la pared más delgada del molde. De esta forma, conseguimos minimizar la cantidad de material utilizado ya que cuanto mayor sea el tiempo de solidificación, menor cantidad de material necesitaremos lo que conllevará menor coste en la producción: (Urrutia, 2014)

$$ts = C * \left(\frac{V}{A}\right)^2 = C * Mp^2$$

Donde:

ts = Tiempo de solidificación de la pieza, (s).

C = constante dependiente de las características térmicas del material del molde y de las propiedades del metal fundido, (s/m<sup>2</sup>).

V = volumen de la pieza, (m<sup>3</sup>).

A = área de la pieza en contacto directo con el material del molde, (m<sup>2</sup>).

Mp = se conoce como módulo de la pieza a la división entre Vp y Ap (m).

$$C = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{\rho_{mat} * H}{T_f - T_o}\right)^2 * \frac{1}{K * \rho_{mat} * C_{p_{molde}}}$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del material, (kg/m<sup>3</sup>).

H = Calor latente de fusión, (J/kg).

T<sub>f</sub> = Temperatura de fusión, (°C).

T<sub>o</sub> = Temperatura ambiente, (°C)

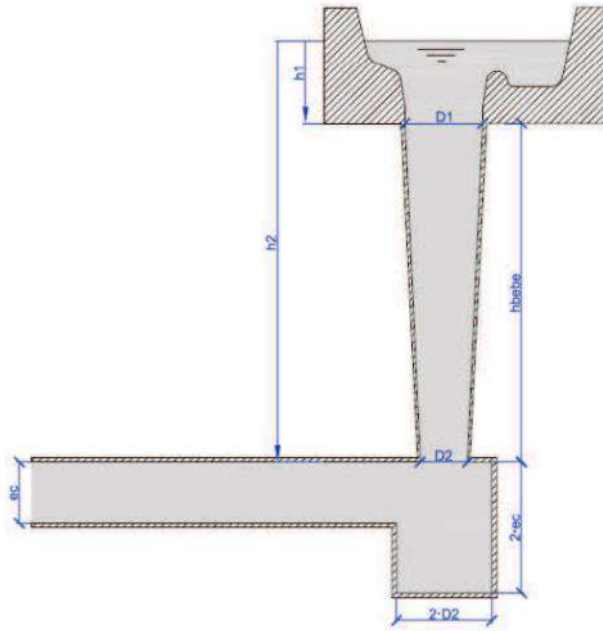
C<sub>p<sub>molde</sub></sub> = Calor específico del molde

K = conductividad térmica

- La altura de la base del bebedero será dos veces el ancho del canal de colada siguiendo las recomendaciones en Castings, John Campbell, 1991. Con esto se busca evitar los problemas de salpicadura y de aparición de vena contracta.
- Se considerará que todos los tramos del canal de colada tendrán una misma longitud para el caso de que existan varias puertas de entrada al molde. Además, la sección del canal de colada será cuadrada. (Urrutia, 2014)

- **Volumen del bebedero**

El volumen de material que albergará el bebedero vendrá dado por la siguiente expresión:



**Ilustración 2-3:** Esquema del sistema de distribución y dimensiones

**Fuente:** (Urrutia, 2014)

$$V_{bebe} = \frac{1}{3} * \pi * h_{bebe} * \left( \frac{D1^2}{4} + \frac{D2^2}{4} + \frac{D1 * D2}{4} \right)$$

Donde:

D1 = Diámetro superior del bebedero, (m).

D2 = Diámetro inferior del bebedero, (m).

h<sub>bebe</sub> = Altura del bebedero, (m).

- **Área superior del bebedero**

El volumen de material que albergará el bebedero vendrá dado por la siguiente expresión:

$$A_1 = \frac{Q}{\rho * f_{pb} * \sqrt{2g * h1}} * f_{sA1}$$

Donde:

Q = caudal del material

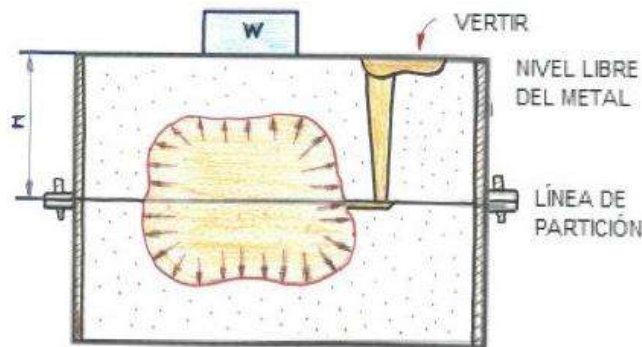
$f_{pb}$  = (Factor de pérdidas del caso). Se recomienda un valor de 0,5 de acuerdo con lo indicado por el equipo de investigadores del British Non-Ferrous Metals Technology Centre (BNF) en su publicación 18, de 1975.

$f_{sA1}$  = (Factor de sobredimensionamiento del área superior del bebedero). Se recomienda aumentar el área A1 un 20% para compensar las pérdidas de carga. (Urrutia, 2014)

- **Presión metalostática**

Durante la colada o sea cuando se vacía el metal fundido líquido en el molde, ocurren una serie de fenómenos que son importantes y conviene analizar:

- El metal líquido muy caliente y pesado discurre por los canales del sistema de alimentación, penetrando en la cavidad del molde, choca con las paredes y avanza hasta llenar la cavidad del molde. Durante esta fase tienden a producirse las erosiones que pueden dañar el molde.
- Una vez llenado la cavidad del molde y mientras el metal está en estado líquido, ejerce una presión sobre las paredes del molde y los elementos que tengamos dentro de éste, tales como machos, una presión metalostática perpendicular a la superficie del molde. (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII, 2022)



**Ilustración 3-3:** Representación de la Presión metalostática

**Fuente:** (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuen LHII, 2022)

$$F = \delta * V \text{ superficies no planas}$$

$$F = \delta * H * A \text{ superficies planas}$$

Donde:

F = Empuje metalostática, (kg).

A = Área de la pared que se está considerando (m<sup>2</sup>).

Hm = Altura del metal líquido, desde el nivel libre hasta la pared (m).

$\delta$  = Peso específico del metal líquido (kg/m<sup>3</sup>)

- **Cálculo de cargas en el aluminio**

En la siguiente figura, se observan los componentes químicos que se deben emplear para el proceso de fundición mediante moldes de arena, teniendo en consideración que cada componente mejora las propiedades del material de acuerdo con la aplicación que se requiera. Además, se conoce que los principales componentes en una fundición son el silicio y el cobre, por sus propiedades mecánicas como son: la resistencia a la corrosión y a la tracción.

UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
<b>Aleaciones para forja</b>						
1100	>99Al, 0.12Cu	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	89 124	24 97	25 4	Componentes eléctricos, hojas metálicas finas (papel).
3003	1.2Mn	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	117 159	34 149	23 7	Recipientes a presión, resistencia a corrosión, hojas metálicas finas.
5052	2.5Mg, 0.25Cr	Recocido (O) Trab. en frío (H34)	193 262	65 179	18 4	Transportes, metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos.
2024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Recocido (O) Tratamiento T6	220 442	97 345	12 5	Estructuras aeronáuticas.
6061	1.0Mg, 0.6Si, 0.27Cu, 0.2Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	152 290	82 345	16 10	Transportes, estructuras aeronáuticas y marinas y otras de alta resistencia.
7075	5.6Zn, 2.5Mg, 1.6Cu, 0.23Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	276 504	145 428	10 8	Estructuras aeronáuticas y aeroespaciales.
<b>Aleaciones para fundición</b>						
355,0	5Si, 1.2Cu	Arena (T6) Molde metálico (T6)	220 285	138 -	2.0 1.5	Bombas domésticas, accesorios aeronáutica, cárter aviación.
356,0	7Si, 0.3Mg	Arena (T6), Molde metálico (T6)	207 229	138 152	3.0 3.0	Fundiciones de gran complejidad, ejes portadores de las motoras, ruedas de camiones.
332,0	9.5Si, 3Cu, 1.0Mg	Molde metálico (T5)	214			Pistones de automóviles.
413,0	12Si, 2Fe	Fundición en coquilla	297	145	2.5	Fundiciones complicadas.

**Ilustración 4-3:** Aleaciones comerciales de aluminio

Fuente: (UPV, 2010)

- **Método para limpieza de colada**

Por lo general en la industria ecuatoriana, el más empleado es el método de las sales de limpieza, las cuales sirven para eliminar impurezas no metálicas que se encuentran en la colada. Por lo que se tiene en consideración que las sales poseerán cloruro de sodio y potasio ya que actúan como agentes purificadores, teniendo en cuenta que serán agregados en una proporción de 1 al 2% del peso del metal.



### 3.8 Sistema CAM

En la actualidad, el proceso CAM es muy empleado en el área de ingeniería ya que permite realizar la manufactura de varias piezas o componentes de diferentes máquinas o de procesos mecánicos, teniendo como ventajas el ahorro de tiempo al momento de mecanizar, la seguridad del operador debido a que no tiene mucha relación física con la máquina, precisión en la fabricación y ahorro energético.

#### 3.8.1 Centro de mecanizado

Para realizar la manufactura del IMPELLER, se utilizará un centro de mecanizado ROMI CNC de 5 ejes con control SLNUMERIK 840D, la cual se encuentra en la Politécnica de Chimborazo, misma que tiene las siguientes características técnicas.

- Rango de velocidad 15 a 15000 rpm.
- Recorrido de los ejes, x=620mm, y=520mm, z=460mm.
- Ángulo de rotación del eje B=-100° y +100°.
- Ángulo de rotación del eje C=360°.
- Peso admisible 300 Kg.
- Capacidad de herramientas 30.
- Mandril de herramienta BT/BBT 40.
- Potencia del motor principal 18 KW.
- Peso neto 9200 Kg.
- Valor por hora de máquina 80\$.

En el Anexo D, se observan el resto de las características mecánicas referentes al centro de mecanizado mencionado anteriormente.

##### 3.8.1.1 Selección de software CAM

En la siguiente tabla, se indican los softwares CAM que se emplean en el área de ingeniería en cuanto a la manufactura, considerando en una escala del 1 al 5 para la selección de este, siendo 1 el valor mínimo y 5 el máximo.

**Tabla 7-3:** Selección de software CAM

Softwares	Parámetros de Selección					
	Instalación Fácil	Cantidad de Herramientas	Interfaz de aprendizaje	Simulación virtual	Costos bajos	TOTAL
NX	3	5	3	5	4	20

Catia	3	5	3	5	4	20
VisualMill	5	3	5	4	5	22
MaterCAM	5	4	5	4	5	23

Fuente: Toaquiza, C.

En la tabla 9-3, se observan diferentes softwares CAM que son empleados en la industria de la manufactura y en la ingeniería mecánica, debido a que poseen varias características que facilitan la programación al operador CNC.

Se observa que los softwares de gama alta (NX y Catia) poseen la misma ponderación ya que tienen mucha similitud en cuanto a sus características. Además, dichos programas son muy empleados en industrias grandes por su eficiencia y paquetes computacionales, teniendo como desventaja que para usarlos es necesario de una licencia profesional la cual es costosa.

Por lo antes mencionado, se observa que el software MasterCAM tiene una ponderación de 23, siendo este el adecuado para realizar la programación del IMPELLER. Sin olvidar que se hará uso de una versión estudiantil por motivo que la universidad Politécnica de Chimborazo no dispone del programa.




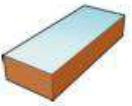
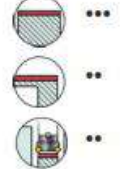
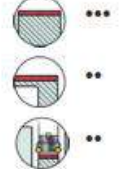
### 3.8.1.2 Selección de herramientas

Debido a la forma que posee un IMPELLER, se tienen que realizar varias operaciones para su mecanizado ya que es de forma compleja por motivo que posee aspas, por lo tanto, entre las operaciones utilizadas para este tipo de piezas mecánicas se encuentran el planeado, contorneado y acabado.

- **Selección de herramienta para planear**

En el mercado ecuatoriano se tiene un sin número de herramientas de diferentes marcas para planear en un centro de mecanizado, en este caso se hará uso de una “Face Mill 90°”, la cual poseerá 3 dientes, debido a su paso uniforme y al diámetro de corte que se requiere para mecanizar el IMPELLER. Además, dicha herramienta poseerá de plaquitas de insertos “R390-11T412M-NMW”, esta se le eligió por las dimensiones de la fresado a utilizar y por el rendimiento que posee el filo al momento de hacer el arranque de viruta al material, en la figura 31-3, se observa la herramienta para planear recomendable en cuanto a aluminio.

Sin embargo, al momento de realizar la selección de la herramienta se tomará en consideración el tipo de mandril de la máquina, el cual es un cono “BT-40”, ya que es en donde va a estar sujeta en el instante de planear la pieza.



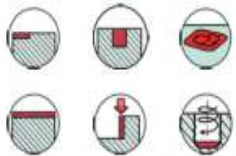

	CoroMill® 490	CoroMill® 390	
	Página D17	Página D25	Página D27
			
Profundidad de corte ( $a_p$ ), mm	5.5 - 10.0	10 - 15.7	36 - 85
pulgadas	.216 - .394	.394 - .618	1.420 - 3.900
$D_c$ mm	20 - 250	12 - 200	32 - 200
$D_c$ pulgadas	.750 - 10.000	.500 - 8.000	1.250 - 4.000
Material	<b>P M K N S H</b>	<b>P M K N S H</b>	<b>P M K N S H</b>
 Planeado			

**Ilustración 5-3:** Herramientas para planear

Fuente: (SANDVIK, 2012)

- **Selección de herramienta para contornear**

Actualmente, en el mercado ecuatoriano se puede encontrar una gama muy amplia en cuanto a herramientas de contorneado, ya que son muy empleadas en piezas que tienen formas complejas de mecanizado. Por lo tanto, en este caso para el mecanizado del IMPELLER se utilizará una “Fresa sólida para ranurar” con cuatro dientes, debido a su paso uniforme, al semi-acabado que dicha herramienta proporciona, el desprendimiento de viruta sin obstrucciones y al diámetro de corte que se necesita para mecanizar la pieza, dicha herramienta se la observa en la figura 32-3.



	Desbaste/semiacabado Primera elección	Desbaste, alto avance
		
Página	D234	D234
Diseño	Profundidad de ranura variable (VFD), ángulo helicoidal -50°	Fresa de alto avance (HFC, ángulo helicoidal -50°)
Diámetro de fresa (Dc) mm (pulgadas)	2-25 (.079-.984)	4-20 (.157-.787)
Radio de punta (r <sub>p</sub> ), diám. mm (pulgadas)	0.2-4 (.008-.157)	0.5-2 (.020-.079)
Aplicación		

**Ilustración 6-3:** Herramientas para contornear y ranurar

Fuente: (SANDVIK, 2012)

- **Selección de herramientas para acabado**

De acuerdo con la forma que posee el IMPELLER, se deberá utilizar una herramienta “CoroMill Plural de Acabados con Punta Esférica”, misma que posee dos dientes, debido a su paso uniforme de corte y al diámetro necesario para el mecanizado. Además, tiene un vástago de 5 mm, como se observa en la siguiente ilustración 7-3.

	Perfilado 
Página	D268
Diseño	Fresa de punta esférica (BNE), ángulo helicoidal -30°
Diámetro de fresa (Dc) mm (pulgadas)	0.1-20 (.004-.787)
Radio de punta (r <sub>c</sub> ), diám. mm (pulgadas)	0.1-10 (.004-.394)
Aplicación	

**Ilustración 7-3:** Herramientas para acabado

Fuente: (SANDVIK, 2012)

### 3.8.1.3 Cálculo de parámetros de velocidad

Para realizar la manufactura en el centro de mecanizado, es necesario hacer cálculos respectivos para el tipo de material seleccionado y las herramientas empleadas para la fabricación de la pieza. Entre los principales parámetros están la velocidad de avance, corte, avance por diente, entre otras. Dichos valores obtenidos serán de utilidad en el instante que se programe en el software CAM.

A continuación, se observan las fórmulas que se deben utilizar para realizar los cálculos mencionados para el mecanizado del IMPELLER. es

$$n = \frac{Vc * 1000}{D * \pi}$$

Vc = Velocidad de corte, (m/min).

n = Velocidad de husillo, (rpm).

D = Diámetro de la herramienta, (mm).

$$Vf = fz * z * n$$

Vf = Avance de la mesa, (mm/min).

fz = Avance por diente, (mm).

z = Número de dientes, (adimensional).

n = Velocidad de husillo, (rpm).

$$Ac = a_p * fz$$

Ac = Área específica de corte, (mm<sup>2</sup>).

$a_p$  = Área de herramienta de corte, ( $mm^2$ ).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$T_m = N_p * \frac{L_t}{V_f}$$

$T_m$  = Tiempo de mecanizado

$L_t$  = Longitud a mecanizar, (mm).

$N_p$  = Número de pasados, (*adimensional*).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$T_{tm} = T_m + T_{pm} + T_h$$

$T_{tm}$  = Tiempo total de mecanizado

$T_{tm}$  = Longitud a mecanizar, (*min*).

$T_{pm}$  = Número de pasados, (*min*).

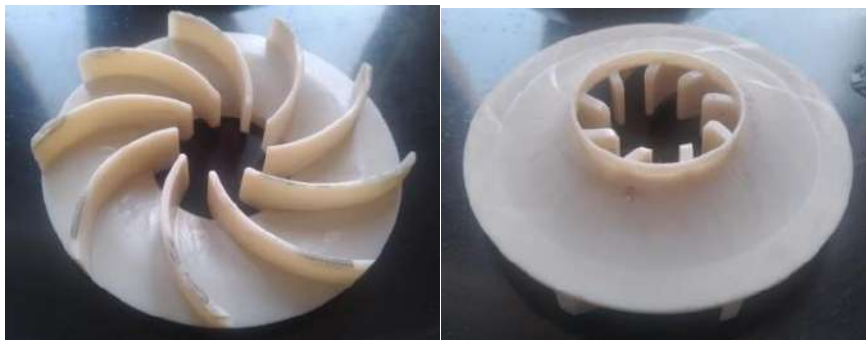
$T_h$  = Avance por diente, (*min*).

## CAPITULO IV

### 4 MARCO DE RESULTADOS

#### 4.1 Impeller semiabierto

El impeller que se tomó como referencia para realizar cada uno de los procesos mencionados anteriormente, es de un material Éter de polifenileno (PPE), un material sumamente resistente por lo que su uso es exclusivo para fluidos donde exista la presencia de algunos sólidos y poco caudal. La geometría del impeller se representa en la ilustración 1-4.



**Ilustración 1-4:** Impeller semiabierto en resina PPE

Realizado por: Toaquiza C, 2022

##### 4.1.1 Propiedades del PPE

Beneficios inherentes de la resina PPE (alta resistencia al calor asequible, buenas propiedades de aislamiento eléctrico, excelente estabilidad hidrolítica y la capacidad de usar paquetes retardadores de fuego no halógenos), con excelente estabilidad dimensional, buena procesabilidad y baja densidad.

**Tabla 1-4:** Propiedades principales de la resina PPE

Propiedad	Norma	Valor
<b>Propiedades generales</b>		
Peso específico	ISO 1183-1	$1,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
Absorción de la humedad	ISO 62	0,05 %
<b>Propiedades mecánicas</b>		
La contracción del molde	ASTM D955	0,0059 a 0,006 in/in
Absorción de agua (22°C – 24 h)	ASTM D 570	0,1 %
Alargamiento de rotura	ISO 527	10 %
Resistencia a la tracción	ISO 527-2	50 MPa
Módulo de flexión	ISO 178	2400 MPa
Resistencia a la flexión	ASTM D790	55 – 100 MPa
Impacto con Entalla Izod	ASTM D256	2,8 a 7,2 ft*lb/in
Dureza Rockwell	ASTM D785	118 a 122 HRC
Temperatura de ablandamiento Vicat	ISO 306	165 a 193 °C

Temperatura de deflexión bajo carga de 66 psi	ASTM D648	60 a 200 °C
---	-----------	-------------

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Este plástico es procesado por moldeo por inyección o extrusión, dependiendo del tipo, la temperatura de procesamiento es 260-300°C. La superficie puede ser impresa, estampada en caliente, pintada o metalizada. Las soldaduras son posibles por medio de elemento de caliente, la fricción o la soldadura por ultrasonidos. Puede ser pegado con diferentes adhesivos o solventes halogenados.

## 4.2 Scanner 3D

Para la obtención de la geometría del impeller, es necesario distinguir dos puntos fundamentales tales como:

- Máquina y software CAD
- Proceso de escaneo
- Modelado del impeller semiabierto en 3D.

### 4.2.1 Máquina y software CAD

El proyecto está basado en el uso de máquinas y herramientas disponibles en los talleres de la Facultad de Mecánica, por lo que para el proceso de escaneo se pretendía realizar con la máquina “GO SCAN 3D” disponible en el grupo de investigación “GIDETER”, sin embargo, por motivos de mantenimiento fue necesario utilizar otro tipo de escáner como es el caso de “SENSE”.

**Tabla 2-4:** Diferencias entre la máquina de escaneo “GO SCAN 3D” y “SENSE”.

Características Técnicas		
Variable	GO SCAN 3D	SENSE
Fabricante	3D Systems	3D Systems
Resolución	0,5 mm	1 mm
Precisión	0,1 mm	0,9 mm
Software	VXelements	3D Sense
Escaneo de color	Si	No
Formato archivo	.dae, .obj, .ply, .stl, .txt	.obj, .ply, .stl
Max. tamaño de pieza	300 x 300 mm	3000 x 3000 mm
Observación	Trabaja con nube de puntos	Trabaja con superficies

Realizado por: Toaquiza C, 2022



Existen diferentes softwares para la modelación de la pieza ya sea mediante nube de puntos o superficies.

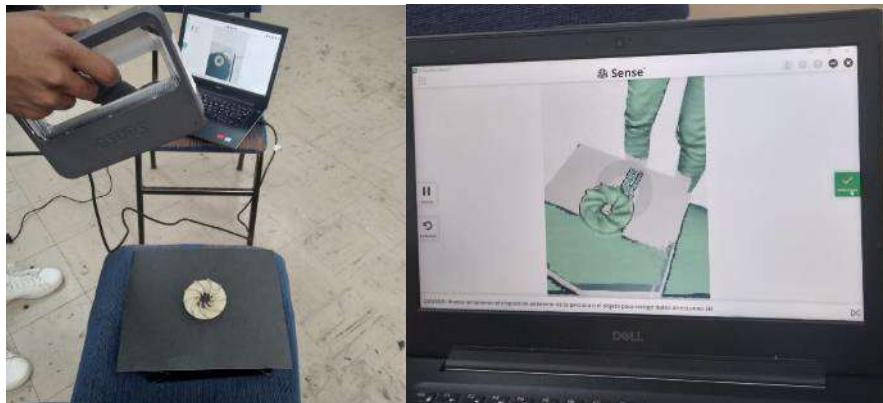
**Tabla 3-4:** Características Software CAD

Características del software CAD y CAE		
Software	Nombre	Característica
Software CAD	Fusion 360	Fácil instalación, licencia estudiantil, trabaja con superficies o nube de puntos.
Software CAD	Solidworks	Modelado mecánico 3D

Realizado por: Toaquiza C, 2022

#### 4.2.2 *Proceso de escaneo*

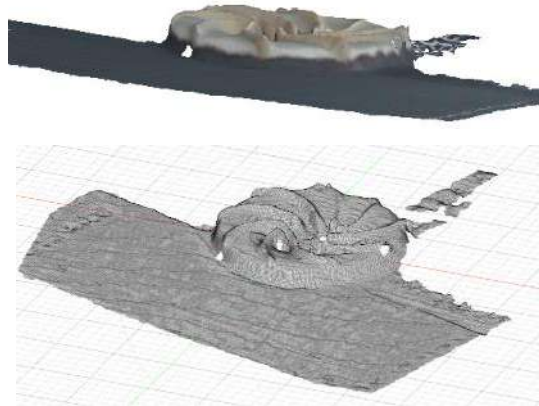
La manipulación de la máquina de escaneo “SENSE” es sencillo, por lo que no se necesita una preparación previa, el área donde se debe colocar la pieza debe ser de colores oscuros, el tiempo de exposición de la pieza es entre 3 a 4 segundos, ya que si sobrepasa el tiempo debido a sus dimensiones no se distingue la geometría convirtiéndose en una sola superficie



**Ilustración 2-4:** Proceso de escaneo con SENSE

Realizado por: Toaquiza C, 2022

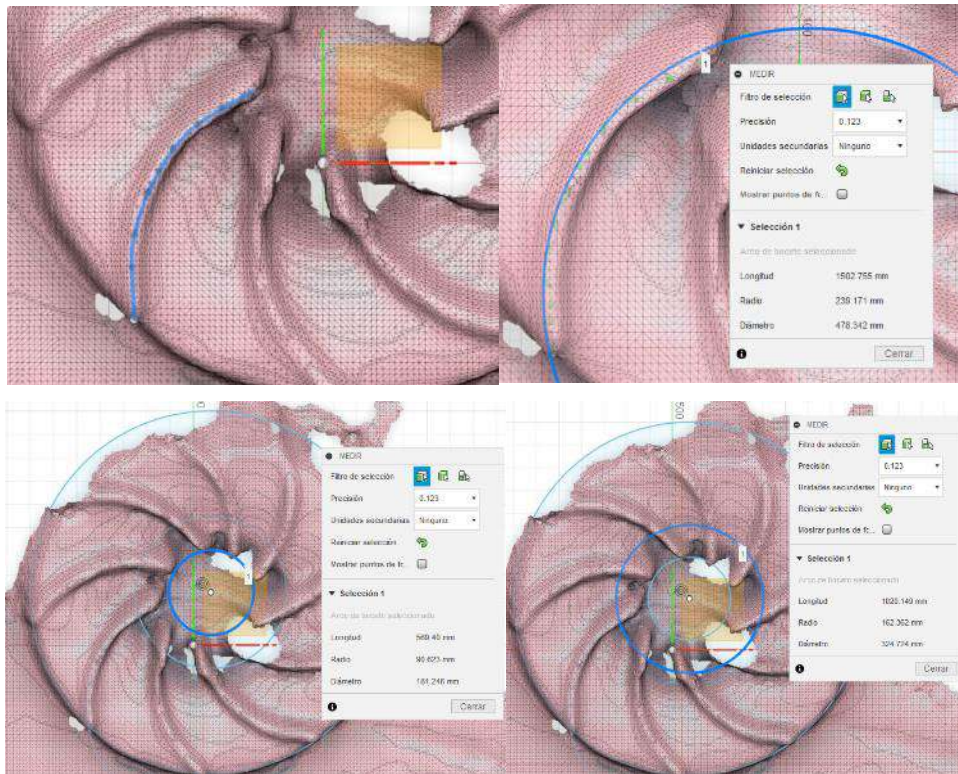
Luego de varios intentos encontrando el ángulo y la posición adecuada se pudo obtener la superficie y la distinción de un álabe perfectamente.



**Ilustración 3-4:** Imágenes de escáner superficial

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

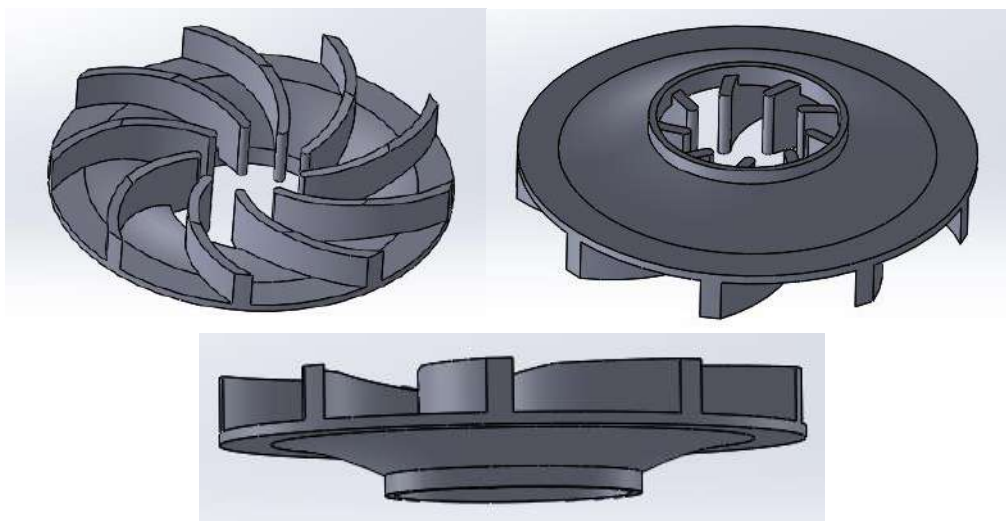
La creación del modelo 3D mediante “FUSION 360” nos permite generar la geometría compleja del impeller semiabierto, por la cual ya tenemos una referencia para poder realizar, con la ayuda de la superficie obtenida mediante el escaneo, se puede tomar medidas principales de la pieza, con esto se puede verificar mediante un calibrador, el objetivo principal es la curvatura del álabe, la cual debe ser precisa en sus dimensiones.



**Ilustración 4-4:** Medidas generales y curvaturas del álabe

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Con las medidas que se obtuvo y la ayuda de instrumentos de medida podemos obtener la geometría y diseñarlo en el software Solidworks, obteniendo de esta manera la digitalización completa del impeller.



**Ilustración 5-4:** Impeller diseñado en Solidworks.

Realizado por: Toaquiza C, 2022

### 4.3 Impresión en 3D

#### 4.3.1 Propiedades Filamento PLA

Las impresiones en 3D es la creación de objetos físicos mediante la adición de filamentos en capas a partir de un diseño geométrico en un software seleccionado, los materiales para esta impresión poseen una alta calidad y resistencia, dependiendo de la aplicación para el cual sean diseñados. El proceso es muy efectivo, tanto que origina piezas completamente aptas para el funcionamiento. Con ayuda de una validación con respecto los filamentos ABS y PLA, hemos tomado en cuenta que le mejor es PLA.

**Tabla 4-4:** Propiedades Mecánicas del filamento PLA

Propiedades Mecánicas PLA	
Módulo de Young	3500 MPa
Diámetro	1,75 mm
Alargamiento de rotura	80 MPa
Resistencia al impacto	5 kJ/m <sup>2</sup>
Temperatura de impresión	180 – 230 °C
Resistencia a la deformación por el calor	30 °C
Dureza Shore	(2 – 3,263) D

Densidad	1,25 x10 <sup>-3</sup> kg/m <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	(47 – 70) MPa
Calor específico	1.2x10 <sup>3</sup> J/kg °C
Conductividad térmica	0.15 W/m °C
Precio (1kg, 350 m)	26,5 \$

Realizado por: Toaquiza C, 2022

#### 4.3.2 Propiedades Resina de ingeniería especial

La impresión 3D de resina, conocida como polimerización en cubeta, está representada por tres tecnologías: SLA (Estereolitografía), DLP (procesamiento de luz digital), LCD (pantalla de cristal líquido).

Considerada una resina con alta precisión posee una superficie lisa. Baja contracción, es dimensionalmente estable después de la creación rápida de prototipos. perfecto para prototipos funcionales y repuestos industriales.

Resina de ingeniería MOLAZON compatible con todas las impresoras de longitud de onda de 405 min (Elegoo, Anycubic, Phrozen, Epax, Creality).

**Tabla 5-4: Propiedades Mecánicas Resina**

Propiedades Resina	
Recipiente	Aluminio
Resistencia a la temperatura	150 °C
Temperatura de almacenamiento	5 a 30 °C
Temperatura ideal de impresión	25 a 28 °C
Dureza Shore	85D
Precio (1kg)	83 \$
Resistencia a la tracción	52 – 70 MPa
Módulo de tracción	2,9 – 3.2 GPa
Alargamiento a la rotura	4 – 8 %
Resistencia a la flexión	121 – 130 MPa
Módulo de flexión	3,1 – 3,3 GPa
Impacto IZOD (entallado)	20 J/m
Protéjase siempre con guantes, gafas protectoras y mascarilla durante su uso y manipulación	

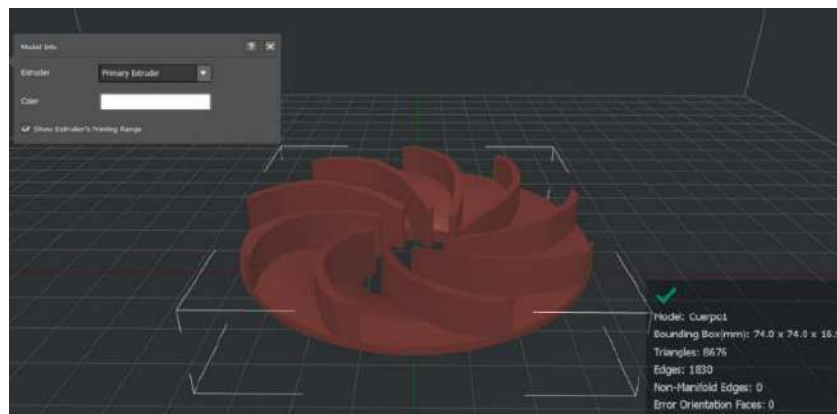
Realizado por: Toaquiza C, 2022

### 4.3.3 Proceso de Impresión 3D con filamento PLA

La digitalización de la pieza empieza con el documento en el software “CURA”, un sistema muy recomendado para este tipo de impresora “Creality CR-10S 3D Printer Advantages”, este programa ayuda en la configuración de los parámetros adecuados dependiendo de la geometría del impeller.

Los parámetros fundamentales que se cambiaron fue la velocidad y la capa de inicio de impresión: con respecto a la velocidad la máquina trabaja con excelencia con un rango del 50 -60 %, en este caso colocaremos un 50% de velocidad, con respecto al inicio de la impresión es necesario que empiece desde los álabes para conservar su geometría. La capa de inicio tiene un espesor de 0,15mm para que pueda mantenerse estabilidad mientras termina el proceso.

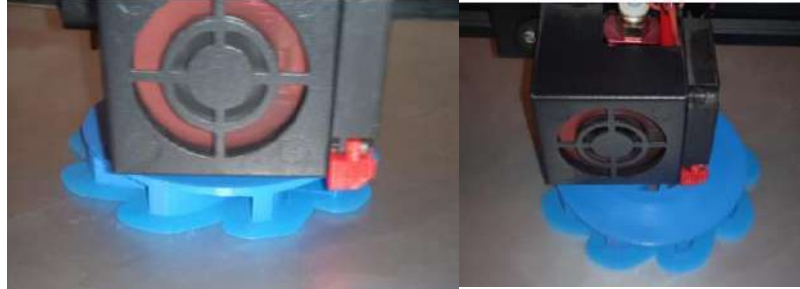
Se tomó en cuenta estos parámetros como principales después de varias pruebas hasta encontrar las mejores opciones. Luego de verificar este proceso procedemos a la segmentación de la figura, obteniendo un cuadro delimitador con las medidas de 74 x 74 x 16,9 (mm), el tiempo de duración que es de 5 horas como se muestra en la figura 38-4.



**Ilustración 6-4:** Análisis del área de trabajo para la impresión en 3D

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

El proceso de máquina “Creality CR-10S 3D Printer Advantages” empieza con la calibración de la cama, luego alcanzar la temperatura en la cama de 55°C y del extrusor con 220°C, una vez alcanzado este punto debemos pulsar el extrusor (permitir que el filamento salga por el extrusor). El relieve y la resistencia que se utilizó es alto. En la figura 39-4 representamos la impresión en 3D de la pieza



**Ilustración 7-4:** Proceso de la impresión en 3D

Realizado por: Toaquiza C, 2022

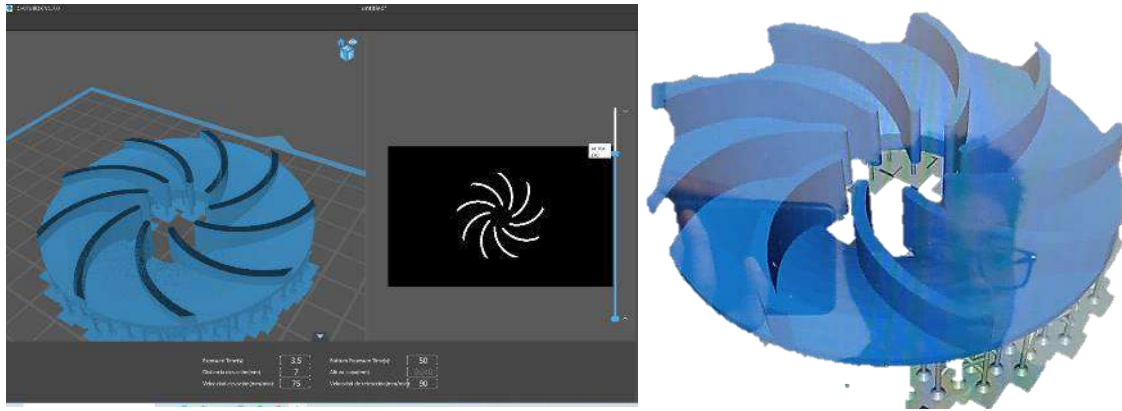


**Ilustración 8-4:** Pieza impresa en filamento PLA

Realizado por: Toaquiza C, 2022

#### ***4.3.4 Proceso de Impresión 3D con Resina de ingeniería especial***

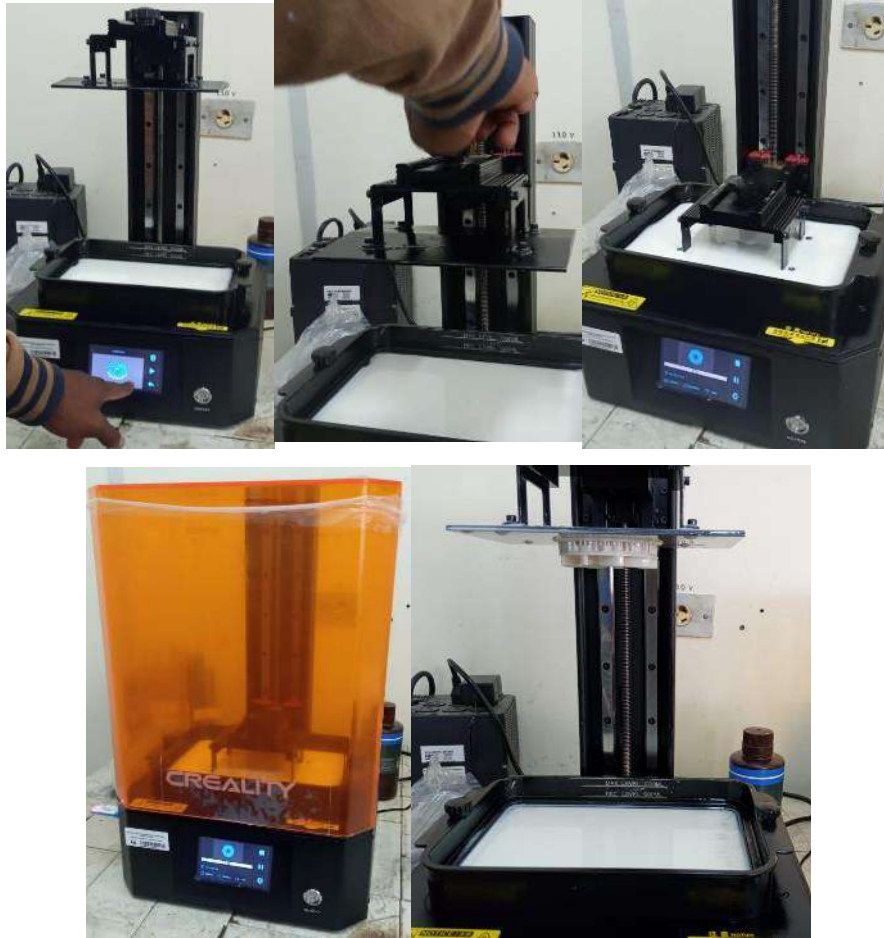
Con la pieza digitalizada, el primer paso es abrir en el software “CHITUBOX”, el cual permite una visualización de la pieza a imprimir, la modificación de parámetros. Uno de los parámetros es la altura elevación de 3,5 mm, la altura entre cada capa es de 0,4 mm, el formato con el que se guardó el documento es .ctb como se puede observar en la figura.



**Ilustración 9-4:** Visualización de la pieza a imprimir en resina en el Software Chitubox

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

El siguiente paso es la manipulación de la máquina Creality LD-002R HD LCD Impresora 3D de Resina, guardar el archivo, y luego colocar la resina dentro de la cama ya calibrada, se analizan los datos y se visualiza el tiempo que durara el proceso, en este caso de 2 horas y 8 min, el plato ubicado en la parte superior también es necesario ajustarlo y calibrarlo, y comienza el proceso, es necesario asegurarse que en la primera capa no exista el choque del plato y la cama debido a que puede romperse, una vez verificada este paso, se procede a colocar una tapa protectora de sustancias que puedes dañar la consistencia de la resina. Una vez finalizada las 7 capas que están programadas el plato automáticamente su ubica en la posición inicial manteniendo ya la pieza terminada.

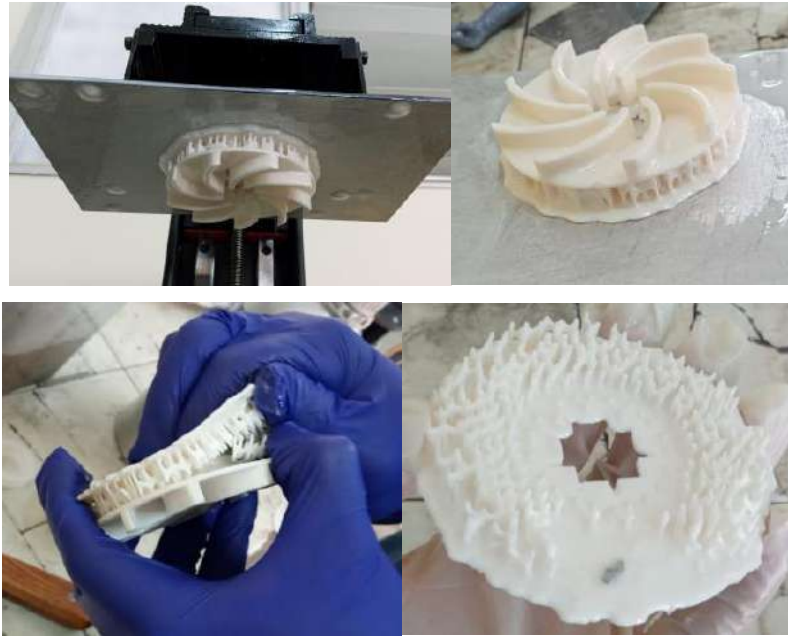


**Ilustración 10-4:** Proceso de impresión con resina

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Visualizamos una pieza que posee una capa en la parte inferior, debido a los múltiples puntos de contacto y con dimensiones mínimas, que es fácil de desprender.





**Ilustración 11-4:** Retiro de la pieza de la plancha y la base.

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Se puede observar que la pieza posee resina alrededor, características que se trata realiza con ayuda del alcohol isopropílico que se coloca hasta cubrir la pieza mediante en un remolino como se muestra a continuación durante 2 min y 30 seg., tiempo suficiente para este tratamiento.



**Ilustración 12-4:** Proceso de lavado de la pieza impresa en resina.

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Para corregir la fragilidad que en este momento posee la pieza impresa, es necesario enfocarlo con un láser UV controlador por ordenador, por un tiempo de 8 min.



**Ilustración 13-4:** Proceso de secado de la pieza por luz UV

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Una vez terminado con este proceso, se obtendrá una pieza totalmente resistente y un acabado superficial, con respecto al puntos de unión que quedaron solo es necesario una lija para retirarlos.



**Ilustración 14-4:** Impeller semiabierto impreso en resina

Realizado por: Toaquiza C, 2022

## 4.4 Fundición

### 4.4.1 *Análisis de la materia prima*

El material que se usaría en este proceso es el 7957 T6, también conocido como 6061 aplicando un tratamiento térmico, temple brusco y envejecimiento artificial, por lo que es importante conocer características mecánicas y químicas de los materiales antes mencionados, valores tomados del Software EduPack.

Sin embargo, el proceso se realizó en la empresa “Siderúrgica de Tungurahua”, la cual consta de hornos con materia prima ya preparada como es el caso del aluminio 1100, se define como un material comercialmente puro, no es tratable térmicamente y tiene una alta resistencia a la corrosión, conductividad eléctrica y térmica favorable, contienen una composición de 99% Al.

Siendo de las más utilizadas debido a sus características únicas de soldadura y propiedades de formación en diversos estados. Al mismo tiempo se caracteriza por ser suave y dúctil, por lo que es adecuado para doblar, estirar, estampar, perfilar e infinidad de aplicaciones con formas más específicas.

**Tabla 6-4:** Propiedades Mecánicas de los materiales 6061, 1100

<b>Propiedades mecánicas</b>			
	<b>6061</b>	<b>1100</b>	<b>Unidades</b>
Módulo de Young	68 - 74	69 - 72	GPa
Elongación	12 - 17	37 - 43	% deformación
Módulo de flexión	68 - 74	69 - 72	GPa
Límite de Elasticidad	193 - 290	24 - 26	MPa
Resistencia a la tracción	241 - 320	55 - 61	MPa
Resistencia a la compresión	207 - 290	24 - 26	MPa
Resistencia a la flexión (módulo de rotura)	193 - 290	24 - 26	MPa
Resistencia a la fractura	33 - 35	32 - 35	MPa* m <sup>0.5</sup>

Fuente: Toaquiza, C.

**Tabla 7-4:** Propiedades Químicas de los materiales 6061, 1100

<b>Propiedades químicas</b>			
	<b>6061</b>	<b>1100</b>	<b>Unidades</b>
Composición	Al 96 % Cr 0,04 – 0,35%, Cu 0,15 – 0,4 % Fe 0 – 0,7% Mg 1% Mn 0 - 0,15% Si 0,4- 0,8% Ti 0 - 0,15 % Zn 0 – 0,25% Otro 0 – 15%	Al 99% Otro 1%	%
Densidad	2,67*10 <sup>3</sup> - 2,73*10 <sup>3</sup>	2,67*10 <sup>3</sup> - 2,73*10 <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Precio	2,39 – 2,63	2,23 – 2,45	USD/kg
Punto de fusión	580 - 650	645 - 675	°C
Temperatura máxima de servicio	110 - 170	130 – 200	°C
Temperatura mínima de servicio	-273	-273	°C
Conductividad térmica	152 - 169	239 - 249	°C
Coefficiente de dilatación térmica	22,7 – 23,9	22,9 – 24,1	Ustran/°C
Calor latente de fusión	384 - 393	384 – 393	J/kg
Durabilidad (fluidos)	Excelente	Excelente	

Disolventes orgánicos	Excelente	Excelente	
-----------------------	-----------	-----------	--

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Cuando se funden los metales o aleaciones de los mismos, al momento de enfriarse y solidificar se contraen, dicha contracción se debe a que las moléculas cambian de un estado líquido caliente a un estado sólido a la temperatura ambiente. La contracción normal, dependiendo del tipo de metal, es de entre el 1% y 2% de su volumen. Cuanto mayor sea el armazón, más relevante se vuelve la contracción.

#### 4.4.2 Cálculo de parámetros

##### 4.4.2.1 Volumen del bebedero

$$V_{bebe} = \frac{1}{3} * \pi * h_{bebe} * \left( \frac{D1^2}{4} + \frac{D2^2}{4} + \frac{D1 * D2}{4} \right)$$

$$V_{bebe} = \frac{1}{3} * \pi * 0,09 \text{ m} * \left( \frac{0,07\text{m}^2}{4} + \frac{0,07\text{m}^2}{4} + \frac{0,07\text{m} * 0,07\text{m}}{4} \right)$$

$$V_{bebe} = 3,463 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

##### 4.4.2.2 Área superior del bebedero

$$A_1 = \frac{Q}{\rho * f_{pb} * \sqrt{2g * h_1}} * f_{s_{A1}}$$

$$A_1 = \frac{0,00000224}{2,7 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,5 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,01}} * 1,2$$

$$A_1 = 0,045 \text{ m}^2$$

##### 4.4.2.3 Presión metalostática

$$F = \text{Peso específico} * V$$

$$F = 26487 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 1,12 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$F = 0,2943 \text{ N}$$

##### 4.4.2.4 Cálculo de la masa a fundir

$$m = \rho * V$$

$$m = 2,7 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,12 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m = 0,030 \text{ kg}$$

A la masa de la pieza se le debe aumentar un 25% para compensar la masa de los ductos a colocarse

$$mt = m * 1.25\%$$

$$mt = 30 * 1.25\%$$

$$mt = 37,5gr$$

#### 4.4.2.5 Tiempo de colado o llenado

$$t = e + 1$$

$$t = 3 + 1$$

$$t = 4 s$$

#### 4.4.2.6 Tiempo de solidificación

$$ts = C * \left(\frac{Vp}{Ap}\right)^2 = C * Mp^2$$

$$ts = 4,42 \frac{s}{m^2} * \left(\frac{1,12x10^{-5} m^3}{0,0143 m^2}\right)^2$$

$$ts = 4,42 \frac{s}{m^2} * 0,6134$$

$$ts = 2,71 s$$

$$C = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{2,7x10^3 \frac{kg}{m^3} * 390 \frac{J}{kg}}{660 - 23^\circ C}\right)^2 * \frac{1}{0,15 * 2,7x10^3 \frac{kg}{m^3} * 1,2x10^3 \frac{J}{kg^\circ C}}$$

$$C = \frac{\pi}{4} * (1653,061)^2 * 2,057x10^{-6}$$

$$C = 4,42 \frac{s}{m^2}$$

#### 4.4.3 Proceso de fundición

El proceso de la fundición se desarrolló en las instalaciones de la empresa “Siderúrgica Tungurahua”, un lugar apropiadas para este procedimiento, en primer lugar, con la preparación de la arena, es una combinación entre la Arena Silícica tamizando una y otra vez hasta obtener una muy fina, hasta obtener un tamaño entre 0,5mm – 2 mm y el aglutinante que se activa mediante el agua (8% bentonita un tipo de arcilla y 6% de agua), la cual servirá como recubrimiento de la pieza, esto permitirá que la geometría compleja de los álabes tenga un mejor acabado en nuestro producto.

Los moldes son seleccionados de acuerdo con el tamaño de la pieza tanto altura como dimensiones, los moldes para este cuerpo son de madera con refuerzos en sus esquinas diagonales, y de preferencia

desmontables. La pieza es cubierta con una arena de contacto, esta es parte arena Silícica y otros componentes (secreto de la empresa), que permiten que la pieza y la arena preparada se compacten.



**Ilustración 15-4:** Molde y pieza para fundición

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Posteriormente se coloca la arena previamente preparada, la colocación se realiza por capas alrededor de 3 mm, entre cada una se debe tener en cuenta las esquinas y la compactación de forma lateral y horizontal para obtener la permeabilidad necesaria y conservar la geometría lo más precisa posible con respecto a los álabes, su espesor es mínimo a pesar de que la pieza está con sobredimensionamiento por el tratamiento que consecutivamente se realizará a la fundición. Se observa un excedente de arena y procedemos a retirarlo como se muestra en la figura 42-4, especialmente de la parte inferior de la pieza, para que tome la forma de la circunferencia. Los instrumentos utilizados para este procedimiento tienen una previa preparación y forma específica.

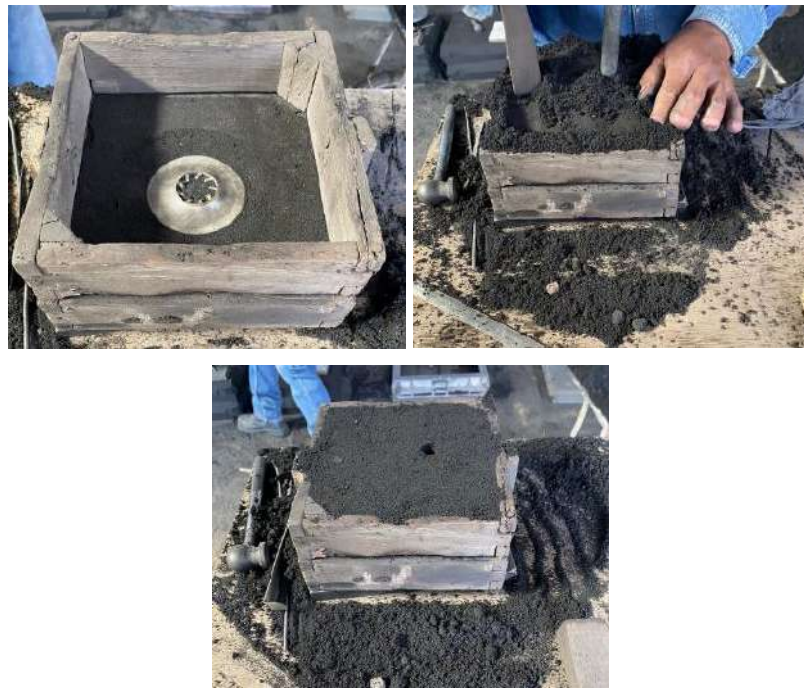




**Ilustración 16-4:** Compactación y retiro de exceso de arena en el molde

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Con la caja invertida y colocando su par superior, esparcimos la arena combinada seca, sin olvidar la colocación de tubos que servirán como ductos de la colada al interior de cavidad de la pieza que se está construyendo, a continuación, realizar los mismos pasos anteriormente dichos como es la colocación de las capas de arena, compactación y retirar el exceso y saca los tubos, también es necesario limpieza de los ductos.



**Ilustración 17-4:** Preparación de la caja superior, bebedero y retiro de exceso de arena en el molde

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Se debe realizar la separación con sumo cuidado, debido a que los alabes están en riesgo, es necesario mantenerlos intactos. Una vez retirada la pieza es necesario retirar el exceso de arena seca.



**Ilustración 18-4:** Moldes listas para ingreso de colada

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Una vez separadas y limpias, con ayuda de un rociador se aplica una mezcla de grafito, melaza y agua y luego a un secado de molde con una antorcha. Y se cierran las cajas con las cavidades terminadas. Los moldes tienen peso en la parte superior para evitar que, debido a la presión metalostática, la caja superior se levante y el metal salga por la intercara de las dos partes del molde



**Ilustración 19-4:** Colocación de las pesas en los moldes.

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Una vez preseleccionada el material, lo fundimos, cuando la colada esta lista por lo general se coloca un desgasificante, en este caso por el tipo del material no es necesario. Se saca el crisol con la protección requerida, se vierte el metal en los moldes, la altura promedio para este tamaño de piezas es de 10 cm, como se muestra en la figura. colocamos





**Ilustración 20-4:** Colocación de la colada en los moldes.

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Luego se solidificó y se secó el metal, se desmolda, se limpia la moldura. Por último, se dan los acabados necesarios obteniendo la pieza final como se muestra en la figura 45-4.



**Ilustración 21-4:** Pieza fundida en aluminio 1100

Realizado por: Toaquiza C, 2022

#### 4.4.4 Ensayos no Destructivos

##### 4.4.4.1 Ensayo de composición química

El presente ensayo se desarrolló en las instalaciones de la empresa “Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero Provincia de Tungurahua”, el equipo que se utilizó es el Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C, y el método que se utilizó es la Comparación por Fluorescencia de Rayos X por energía dispersiva de Materiales se obtuvo la siguiente tabla con los siguientes porcentajes.

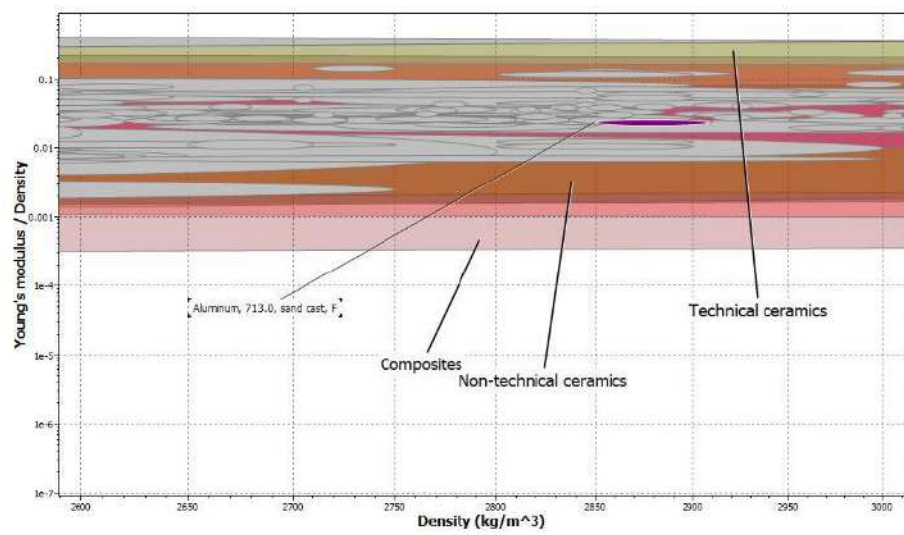
**Tabla 8-4:** Propiedades Químicas de los materiales 6061, 1100.

	Elementos									
Probeta		Zn.	Fe.	Cu.	Pb.	P.	Si.	S.	Mn.	Ni.

Aluminio 1100	<b>% Contenido</b>	42,03	17,97	17,50	5,58	5,07	4,36	3,79	3,01	0,68
	<b>+/- Error</b>	0,58	0,51	0,47	0,34	0,11	0,16	0,13	0,30	0,14

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Como se puede visualizar en la tabla, los porcentajes en los elementos no se asemejan a un Aluminio 1100, esto se debe a que la probeta proviene de una fundición, por lo que por el calor u otros tipos de factores esta composición puede cambiar, por lo cual el ensayo nos permitirá encontrar y evaluar el material con el que se trabajará.



**Ilustración 22-4:** Obtención del material mediante su composición química en EduPack

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Mediante el EduPack se pudo obtener como resultado que el material de trabajo es el Aluminio 713, también conocido como Tenzaloy. Tenzaloy 713 con una resistencia a la corrosión comparable a la mayoría de las aleaciones de aluminio de la serie 300, no está sujeta a las preocupaciones de deformación de las piezas fundidas tratadas térmicamente. Tenzaloy 713 es una opción viable para marcos, palancas y soportes donde se requiere resistencia al impacto o soporte de carga en la fundición de arena de aluminio.

**Tabla 9-4:** Propiedades Mecánicas del material Tenzaloy 713

Propiedades Mecánicas		
	713	Unidades
Módulo de Young	65,7 – 68,3	GPa
Elongación	5 - 6	% deformación

Módulo de flexión	65,7 – 68,3	GPa
Límite de Elasticidad	163 – 181	MPa
Resistencia a la tracción	240 - 264	MPa
Resistencia a la compresión	163 - 181	MPa
Resistencia a la flexión (módulo de rotura)	172 – 189	MPa
Resistencia a la fractura	26,7 – 30,9	MPa* m <sup>0.5</sup>
Dureza Vickers	86,5 - 95,6	HV

Realizado por: Toaquizá C, 2022

#### 4.4.4.2 Ensayo de dureza

El ensayo se realiza en el durómetro, es un proceso mediante indentación, donde se coloca una carga y es transmitida a una bola de acero de diámetro 2,5 mm en la superficie de la probeta, se mide el diámetro impreso en cada una, calculando la dureza mediante la siguiente fórmula:

$$HV = \frac{2P}{\pi D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

**Tabla 10-4:** Datos técnicos del ensayo de Dureza Brinell

Datos Técnicos					
<b>Carga:</b>	187,5 kgf	<b>Tiempo de aplicación:</b>		30 s	
<b>Diámetro aplicador:</b>	2,5 mm				
	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>Promedio</b>	<b>Dureza Brinell</b>	
<b>Probeta 1</b>					
Punto 1	1,55	1,57	1,56	87,377	83,718
Punto 2	1,6	1,58	1,59	83,652	
Punto 3	1,6	1,64	1,62	80,125	
<b>Probeta 2</b>					
Punto 1	1,45	1,525	1,487	97,379	87,965
Punto 2	1,5	1,592	1,546	89,189	
Punto 3	1,57	1,56	1,565	86,742	
<b>Probeta 3</b>					
Punto 1	1,555	1,575	1,565	86,742	85,971
Punto 2	1,552	1,562	1,557	87,762	
Punto 3	1,585	1,6	1,592	83,411	
				<b>Dureza Brinell</b>	<b>85,885 HB</b>
				<b>Dureza Vickers</b>	<b>90,608 HV</b>

Realizado por: Toaquizá C, 2022

Obteniendo un valor dentro del rango sugerido para el tipo de elemento de fundición.

## 4.5 Rectificación en CNC 5 ejes

El uso de una máquina CNC 5 ejes a pesar de su importancia y uso para piezas de geometrías complejas dentro de la industria es de poco conocimiento entre los profesionales, no existe una información tan amplia como es el caso de un equipo con 2 o 3 ejes. En este caso se usó para la rectificación de un impeller semiabierto; su geometría y las curvas que se muestra en los álabes permiten que, con la máquina seleccionada, el proceso sea mucho más fácil y en menor tiempo. El uso de un software ha permitido la facilidad de obtención del código G, para este caso se usó Mastercam, es necesario conocer las herramientas del cual consta.

### 4.5.1 Selección de herramientas

**Tabla 11-4:** Herramientas de mecanizado y sus características

Proceso	Herramienta	Características
Planear	Face Mill 90°	Plaquetas de insertos “R390-11T412M-NMW”
Contornear	Fresa sólida para ranurar	Diámetro 10 mm Radio de punta 0,4 mm
Acabado	CoroMill Plural de Acabados con Punta Esférica	Diámetro 3 mm Radio de punta 1,5 mm

Realizado por: Toaquiza C, 2022

### 4.5.2 Cálculo para el proceso de corte

#### 4.5.2.1 Parte superior (Planear)

**Tabla 12-4:** Parámetros de planear parte superior

Parámetros de máquina CNC		
	Calculado	Ingresado
Tolerancia	0,02	
Ancho de corte máximo	0,15	
Velocidad de corte, (m/min).	-	36
Diámetro (mm).	-	12
Radio de esquina (mm).	-	2
Número filos	-	3
Avance por diente (mm)	-	0,1
Velocidad de avance, (mm/min).	286,4787	286,5
Avance de penetración (mm).	-	477,45
Velocidad de retracción (mm/min).	-	477,45
Velocidad el husillo (mm/min).	954,929	955
Tiempo de avance	1,378	1min 32 s
Longitud total (mm)	-	197,496

Número de pasadas	-	2
-------------------	---	---

Realizado por: Toaquiza C, 2022

- Velocidad de corte

$V_c$  = Velocidad de corte, (m/min).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$D$  = Diámetro de la herramienta, (mm).

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi}$$

$$n = \frac{36 * 1000}{12 * \pi}$$

$$n = 954,929 \text{ rpm}$$

- Avance de la mesa

$V_f$  = Avance de la mesa, (mm/min).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$z$  = Número de dientes, (adimensional).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$$V_f = f_z * z * n$$

$$V_f = 0,1 \text{ mm} * 3 * 954,929 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$V_f = 286,4787 \text{ mm/min}$$

- Área específica de corte

$A_c$  = Área específica de corte, ( $\text{mm}^2$ ).

$a_p$  = Área de herramienta de corte, ( $\text{mm}^2$ ).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$A_c = a_p * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * D^2}{4} * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * 12^2 \text{mm}^2}{4} * 0,1$$

$$A_c = 11,30 \text{ mm}^2$$

- Tiempo de mecanizado

$L_t$  = Longitud a mecanizar, (mm).

$N_p$  = Número de pasadas, (adimensional).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$Tm = Np * \frac{Lt}{Vf}$$

$$Tm = 2 * \frac{197,496 \text{ mm}}{0,3 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} * 954,929 \text{ rev}}$$

$$Tm = 1,378 \text{ min}$$

- Tiempo total de mecanizado

Ttm = Tiempo total de mecanizado, (min).

Tpm = Tiempo de preparación de máquina, (min).

Th = Tiempo de cambio de herramienta, (min).

$$Ttm = Tm + Tpm + Th$$

$$Ttm = 1,378 + 20 + 1,5$$

$$Ttm = 22,878 \text{ min}$$

#### 4.5.2.2 Parte superior (Contornear)

**Tabla 13-4:** Parámetros de contornear parte superior

Parámetros de máquina CNC		
	Calculado	Ingresado
Velocidad de avance, (m/min).	-	36
Diámetro (mm).	-	10
Radio de esquina (mm).	-	0,4
Número filos	-	4
Avance por diente (mm)	-	0,171
Velocidad de avance, (mm/min).	783,5	785,82
Avance de penetración (mm).	-	200
Velocidad de retracción (mm/min).	-	5000
Velocidad el husillo (mm/min).	1145,915	1146
Tiempo de avance	13,78	8min 33s
Longitud total (mm)	-	10190,487
Número de pasadas	-	1

Realizado por: Toaquiza C, 2022

- Velocidad de corte

Vc = Velocidad de corte, (m/min).

n = Velocidad de husillo, (rpm).

D = Diámetro de la herramienta, (mm).

$$n = \frac{Vc * 1000}{D * \pi}$$

$$n = \frac{36 * 1000}{10 * \pi}$$

$$n = 1145,915 \text{ rpm}$$

- Avance de la mesa

$V_f$  = Avance de la mesa, (mm/min).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$z$  = Número de dientes, (adimensional).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$$V_f = f_z * z * n$$

$$V_f = 0,171 \text{ mm} * 4 * 1145,915 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$V_f = 783,805 \text{ mm/min}$$

- Área específica de corte

$A_c$  = Área específica de corte, ( $\text{mm}^2$ ).

$a_p$  = Área de herramienta de corte, ( $\text{mm}^2$ ).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$A_c = a_p * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * D^2}{4} * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * 10^2 \text{ mm}^2}{4} * 0,171$$

$$A_c = 13,430 \text{ mm}^2$$

- Tiempo de mecanizado

$L_t$  = Longitud a mecanizar, (mm).

$N_p$  = Número de pasados, (adimensional).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$T_m = N_p * \frac{L_t}{V_f}$$

$$T_m = 1 * \frac{10190,487 \text{ mm}}{0,684 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} * 1145,915 \text{ rev}}$$

$$T_m = 13 \text{ min}$$

- Tiempo total de mecanizado

$T_{tm}$  = Tiempo total de mecanizado, (min).

$T_{pm}$  = Tiempo de preparación de máquina, (*min*).

$T_h$  = Tiempo de cambio de herramienta, (*min*).

$$T_{tm} = T_m + T_{pm} + T_h$$

$$T_{tm} = 13 + 5 + 1,5$$

$$T_{tm} = 19,5 \text{ min}$$

#### 4.5.2.3 Parte superior (Contorno de curvatura del álabe)

**Tabla 14-4:** Parámetros de contornear álabe

Parámetros de máquina CNC		
	Calculado	Ingresado
Velocidad de avance, (m/min).	-	36
Diámetro (mm).	-	3
Radio de esquina (mm).	-	1,5
Número filos	-	1
Avance por diente (mm)	-	0,08
Velocidad de avance, (mm/min).	779,2188	305,6
Avance de penetración (mm).	-	509,32
Velocidad de retracción (mm/min).	-	509,32
Velocidad el husillo (mm/min).	3819,5	3820
Tiempo de avance	50 min	46 min 25s
Longitud total (mm)	-	54691,877
Número de pasadas	-	1

Realizado por: Toaquiza C, 2022

- Velocidad de corte

$V_c$  = Velocidad de corte, (m/min).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$D$  = Diámetro de la herramienta, (mm).

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi}$$

$$n = \frac{36 * 1000}{10 * \pi}$$

$$n = 1145,91 \text{ rpm}$$

- Avance de la mesa

$V_f$  = Avance de la mesa, (mm/min).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$z$  = Número de dientes, (adimensional).



$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$$Vf = fz * z * n$$

$$Vf = 0,08mm * 1 * 1145,91 \frac{rev}{min}$$

$$Vf = 779,2188 \text{ mm/min}$$

- Área específica de corte

$A_c$  = Área específica de corte, ( $mm^2$ ).

$a_p$  = Área de herramienta de corte, ( $mm^2$ ).

$fz$  = Avance por diente, (mm).

$$A_c = a_p * fz$$

$$A_c = \frac{\pi * D^2}{4} * fz$$

$$A_c = \frac{\pi * 3mm^2}{4} * 0,08$$

$$A_c = 0,56 \text{ mm}^2$$

- Tiempo de mecanizado

$L_t$  = Longitud a mecanizar, (mm).

$N_p$  = Número de pasados, (*adimensional*).

$fz$  = Avance por diente, (mm).

$$T_m = N_p * \frac{L_t}{Vf}$$

$$T_{m1} = 1,8 \text{ min}$$

$$T_{m1} = 1,7 \text{ min}$$

$$T_{m1} = 31,5 \text{ min}$$

- Tiempo total de mecanizado

$T_{tm}$  = Tiempo total de mecanizado, (*min*).

$T_{pm}$  = Tiempo de preparación de máquina, (*min*).

$T_h$  = Tiempo de cambio de herramienta, (*min*).

$$T_{tm} = T_m + T_{pm} + T_h$$

$$T_{tm} = 31,5 + 5 + 1,5$$

$$T_{tm} = 38 \text{ min}$$

#### 4.5.2.4 Parte inferior (Contorno)

**Tabla 15-4:** Parámetros para contornear parte inferior.

Parámetros de máquina CNC		
	Calculado	Ingresado
Velocidad de avance, (m/min).	-	36
Diámetro (mm).	-	10
Radio de esquina (mm).	-	0,4
Número filos	-	4
Avance por diente (mm)	-	0,17143
Velocidad de avance, (mm/min).	779,2188	785,8285
Avance de penetración (mm).	-	200
Velocidad de retracción (mm/min).	-	5000
Velocidad el husillo (mm/min).	1145,91	1146
Tiempo de avance	13,78	15 min 19s
Longitud total (mm)	-	18421,059
Número de pasadas	-	1

Realizado por: Toaquiza C, 2022

- Velocidad de corte

$V_c$  = Velocidad de corte, (m/min).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$D$  = Diámetro de la herramienta, (mm).

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi}$$

$$n = \frac{36 * 1000}{10 * \pi}$$

$$n = 1145,91rpm$$

- Avance de la mesa

$V_f$  = Avance de la mesa, (mm/min).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$z$  = Número de dientes, (adimensional).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$$V_f = f_z * z * n$$

$$V_f = 0,17mm * 4 * 1145,91 \frac{rev}{min}$$

$$V_f = 779,2188 \text{ mm/min}$$

- Área específica de corte

$A_c$  = Área específica de corte, ( $mm^2$ ).

$a_p$  = Área de herramienta de corte, ( $mm^2$ ).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$A_c = a_p * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * D^2}{4} * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * 10mm^2}{4} * 0,17$$

$$A_c = 13,35 \text{ mm}^2$$

- Tiempo de mecanizado

$L_t$  = Longitud a mecanizar, (mm).

$N_p$  = Número de pasados, (*adimensional*).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$T_m = N_p * \frac{L_t}{V_f}$$

$$T_m = 1 * \frac{18421,059}{0,684 \frac{mm}{rev} * 1145,915 \text{ rev}}$$

$$T_{m1} = 13,78 \text{ min}$$

- Tiempo total de mecanizado

$T_{tm}$  = Tiempo total de mecanizado, (*min*).

$T_{pm}$  = Tiempo de preparación de máquina, (*min*).

$T_h$  = Tiempo de cambio de herramienta, (*min*).

$$T_{tm} = T_m + T_{pm} + T_h$$

$$T_{tm} = 13,78 + 15 + 1,5$$

$$T_{tm} = 30,28 \text{ min}$$

#### 4.5.2.5 Parte inferior (Acabado)

**Tabla 16-4:** Parámetros del acabado de la parte inferior

Parámetros de máquina CNC		
	Calculado	Ingresado
Velocidad de avance, (m/min).	-	36
Diámetro (mm).	-	3

Radio de esquina (mm).	-	1,5
Número filos	-	1
Avance por diente (mm)	-	0,035
Velocidad de avance, (mm/min).	114,59	136,42
Avance de penetración (mm).	-	100
Velocidad de retracción (mm/min).	-	600
Velocidad el husillo (mm/min).	3819,71	3820
Tiempo de avance	27,6	29 min 12s
Longitud total (mm)	-	18421,059
Número de pasadas	-	1

Realizado por: Toaquiza C, 2022

- Velocidad de corte

$V_c$  = Velocidad de corte, (m/min).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$D$  = Diámetro de la herramienta, (mm).

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi}$$

$$n = \frac{36 * 1000}{3 * \pi}$$

$$n = 3819,71rpm$$

- Avance de la mesa

$V_f$  = Avance de la mesa, (mm/min).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$z$  = Número de dientes, (adimensional).

$n$  = Velocidad de husillo, (rpm).

$$V_f = f_z * z * n$$

$$V_f = 0,03mm * 1 * 3819,71 \frac{rev}{min}$$

$$V_f = 114,59 mm/min$$

- Área específica de corte

$A_c$  = Área específica de corte, ( $mm^2$ ).

$a_p$  = Área de herramienta de corte, ( $mm^2$ ).

$f_z$  = Avance por diente, (mm).

$$A_c = a_p * f_z$$

$$A_c = \frac{\pi * D^2}{4} * f_z$$

$$Ac = \frac{\pi * 3mm^2}{4} * 0,03$$

$$Ac = 0,212 mm^2$$

- Tiempo de mecanizado

Lt = Longitud a mecanizar, (mm).

Np = Número de pasados, (adimensional).

fz = Avance por diente, (mm).

$$Tm = Np * \frac{Lt}{Vf}$$

$$Tm = 1 * \frac{18421,059}{0,03 \frac{mm}{rev} * 114 rev}$$

$$Tm1 = 27,52 min$$

- Tiempo total de mecanizado

Ttm = Tiempo total de mecanizado, (min).

Tpm = Tiempo de preparación de máquina, (min).

Th = Tiempo de cambio de herramienta, (min).

$$Ttm = Tm + Tpm + Th$$

$$Ttm = 27,52 + 5 + 1,5$$

$$Ttm = 31,02 min$$

**Tabla 17-4:** Parámetros principales de mecanizado para el impeller semiabierto

	Velocidad de avance (mm/min).	Velocidad el husillo (mm/min).	Tiempo de avance (min)	Tiempo del proceso total (min)	Tiempo mecanizado (min)
<b>Parte Superior</b>					
<b>Planear</b>	286,5	954,929	1min 32 s	23	97
<b>Contornear</b>	286,5	1146	8 min 33s	15	
<b>Contorno A</b>	305,6	3820	31 min 25s	38	
<b>Acabado</b>	305,6	3820	18 min 3 s	21	
<b>Parte Inferior</b>					
<b>Contornear</b>	785,8285	1146	15 min 19s	41	72
<b>Acabado</b>	136,42	3820	29 min 12s	31	
				<b>Total</b>	169 min (2 horas 48 min)

Realizado por: Toaquiza C, 2022

### 4.5.3 Simulación del mecanizado

Es necesario tener el programa con la pieza en sólido, identificar los ejes en los cuales se va a trabajar, en este caso la pieza se encuentra en los ejes XY con una profundidad en Z, es necesario tener el diseño con las dimensiones que al final necesitamos, y no con el sobredimensionamiento que obtuvimos para la impresión en 3D y la fundición. Ya que como el programa tiene la opción de visualización en 3D este ayudara a la verificación de las operaciones con las diferentes herramientas. Para un mejor manejo de las operaciones la sugerencia es dividirlo en dos grupos o máquinas, una siendo la parte superior como los álabes y la segunda la parte inferior.

El primero paso es la creación del material en bruto, existen diversos, una rectangular, circular y también hay la opción de adaptarlo a las dimensiones del sólido con el que trabajaremos. Debido a los acabados desiguales que se obtiene mediante la fundición, es necesario planear esto permite limpiar el material en bruto creando una superficie pareja para futuras operaciones. El primer paso es la creación de herramientas dependiendo de las operaciones. Debido a que el Aluminio, y las dimensiones son menores, los avances deben ser cuidadosos de 1 mm por cada movimiento.

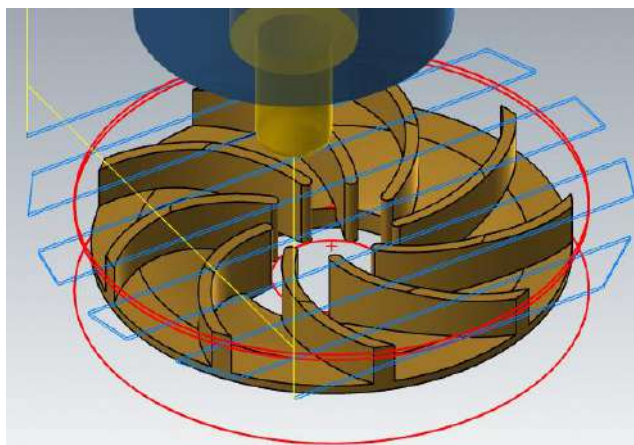


**Ilustración 23-4:** Operaciones disponibles en 2D

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Para este caso se determinó que una fresa plana es la mejor opción, lo cual se debe consultar a la biblioteca todas las herramientas en milímetros que podemos utilizar, es evidente que, debido a la geometría de nuestra pieza, las medidas de esta herramienta serán de dimensiones mayores ya que la planeación no necesita de mucho velocidad y fuerza. En la elección de las herramientas en la biblioteca, automáticamente valores de velocidad, avance, corte con valores recomendados, pero se puede modificar según nuestra necesidad. Una vez seleccionada la trayectoria podemos mediante una

simulación verificar si los cortes van de acuerdo a la necesidad. En la figura 60-4 nos muestra mediante el color azul la trayectoria que sigue la herramienta, en este caso fue necesario dos pasadas para tener un planeado adecuado.



**Ilustración 24-4:** Visualización de la trayectoria en planear

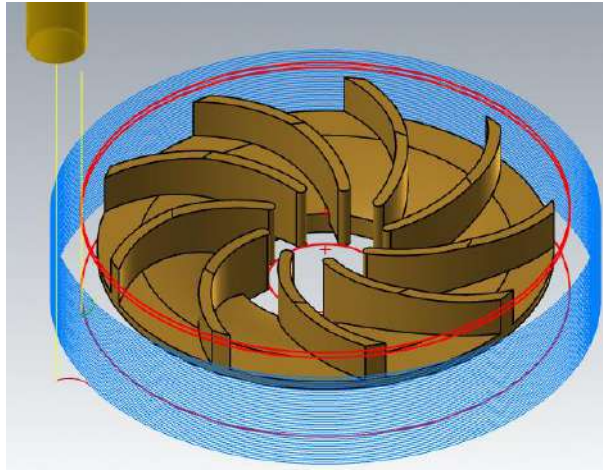
**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

La operación siguiente que necesitamos en esta pieza se tiene en 3D como se muestra en la figura 61-4, encontramos el contorno el cual permite quitar el material a lo largo de una trayectoria en este caso la circunferencia. En este caso la herramienta es más pequeña para los contornos de los álabes los cuales con muy finos y tienen puntas que se deben cuidar, en la figura 62-4. Se visualiza la operación.



**Ilustración 25-4:** Operaciones en 3D

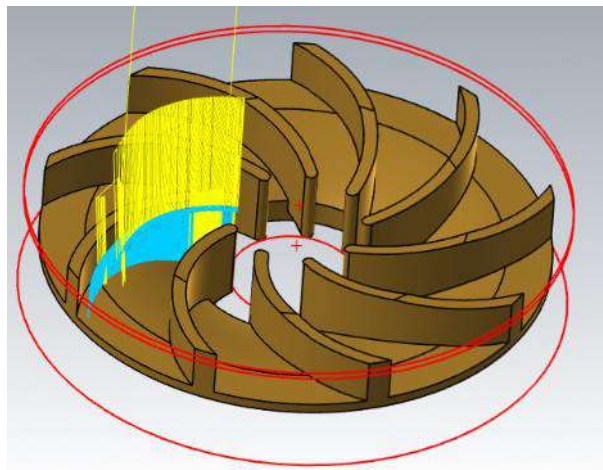
**Realizado por:** Toaquiza C, 2022



**Ilustración 26-4:** Visualización de la trayectoria en contornear

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Para la realización de curva donde van los álabes es necesario una herramienta más pequeña, por los espacios que hay entre ellos. Cubre la forma de la curva la parte superior y la forma del álabe interno como se muestra en la Figura 63-4.

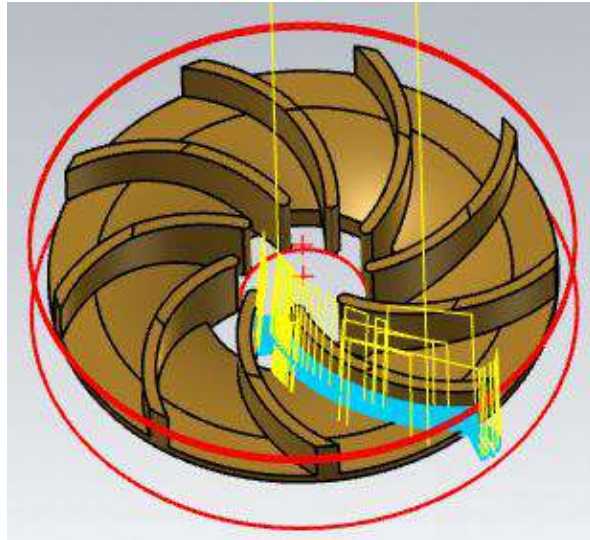


**Ilustración 27-4:** Visualización de la trayectoria de la curva interna del álabe

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Mientras tanto con las mismas características de la herramienta y creando una nueva operación se rectifica la parte externa del álabe, y la curva como se muestra en la Figura 64-4.

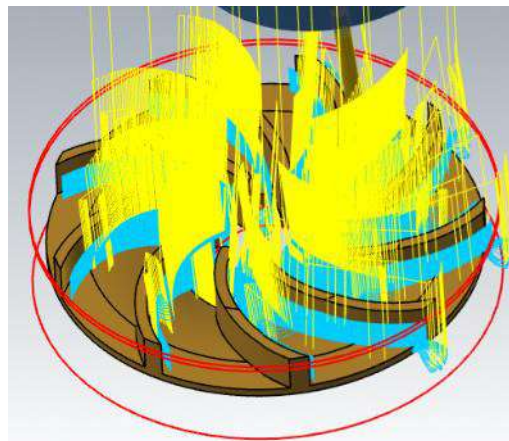




**Ilustración 28-4:** Visualización de la trayectoria de la curva externa del álabe

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

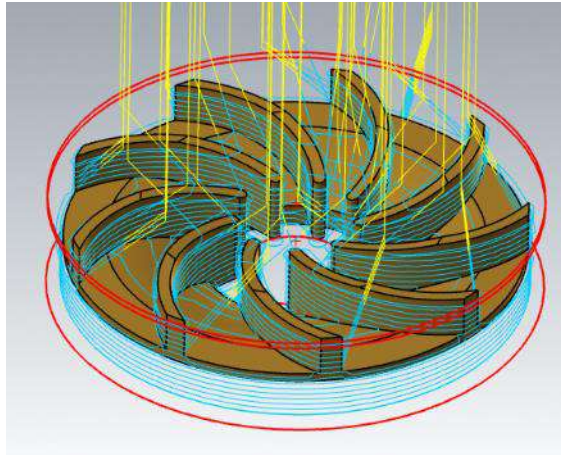
Una vez obtenida la forma de los álabes tanto interno como externo, nos dirigimos a transformar, posición y la opción girar, la cual permite repetir n veces una o varias operaciones alrededor de un punto central. En la figura 65-4 nos permite visualizar la operación que creamos con los 9 álabes.



**Ilustración 29-4:** Visualización de la trayectoria de los álabes completos

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

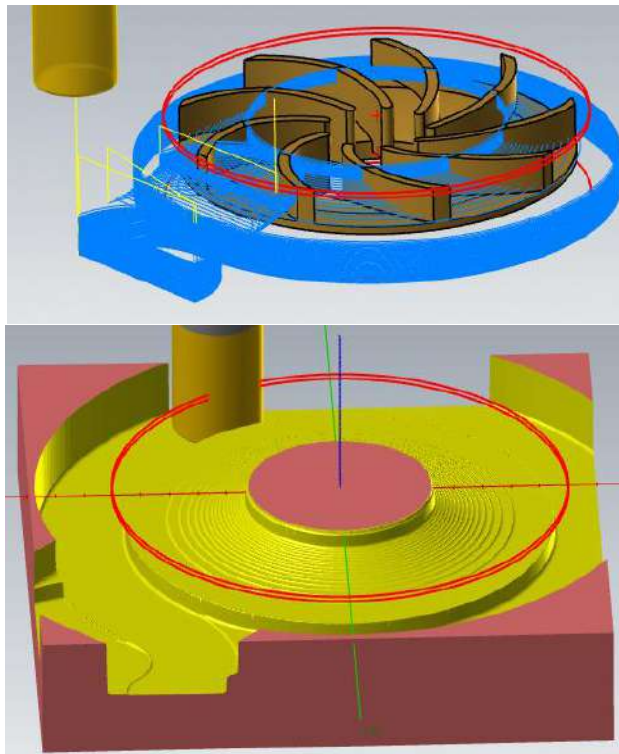
Para que el proceso quede completo es necesario un acabado más preciso de los álabes con la misma herramienta, pero cambiando velocidades y avances de corte, como se visualiza en la figura 66-4.



**Ilustración 30-4:** Visualización del acabado de los álabes completos

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

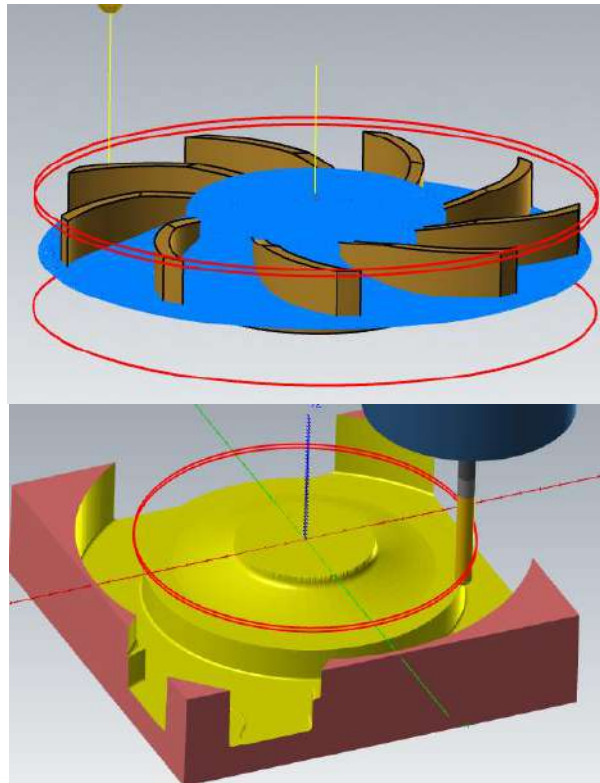
Una vez concluida la parte superior, procedemos a la parte inferior, debemos darnos cuenta que la posición de la pieza en la máquina de igual forma cambiara, siendo ahora la parte superior sostenida por el mandil, por lo que en el software al realizar las operaciones no se gira el sólido, por lo que las operaciones están sobrepuestas en la parte superior de la pieza. pero en la visualización ya considera este dato. La mejor opción es hacerlo en escalones, como se visualiza en la figura 67-4.



**Ilustración 31-4:** Visualización de la operación en escalera de la parte inferior de la pieza

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

Para el acabado superficial de la curva inferior del rodete es necesario cambiar de herramienta y otros parámetros importantes.



**Ilustración 32-4:** Visualización del acabado superficial de la parte inferior de la pieza

Realizado por: Toaquiza C, 2022

A pesar de las herramientas y velocidades que se utilizó para los acabados, es necesario una limpieza con una lija con el grano extrafino, el cual permite quitar asperezas y sirve para acabados de precisión. Obteniendo una pieza funcional como se muestra en la figura 69-4.



**Ilustración 33-4:** Impeller rectificado en CNC 5 ejes

Realizado por: Toaquiza C, 2022

## 4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.6.1 Scanner – Impresión 3D

La manufactura de la pieza que, formado por el scanner, que es la digitalización del impeller evidenciando la curvatura compleja que posee, la impresión en 3D, se la puede desarrollar mediante varias opciones tanto con filamento PLA y resina. Sin embargo, las diferencias son notables, tanto en el acabado superficial, la resistencia que a simple vista son totalmente incomparables, resaltando como mejor opción de la impresión en resina.



**Ilustración 34-4:** Impeller semiabierto impreso en Filamento PLA y Resina  
Realizado por: Toaquiza C, 2022

A continuación, se presenta una tabla de comparación de las principales propiedades.

**Tabla 18-4:** Cuadro Comparativo de Propiedades Mecánicas PLA, Resina y PPE.

Comparación Propiedades Mecánicas PLA y Resina			
	PLA	Resina	PPE
Densidad	$1,25 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	$1,18 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	$1,10 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
Alargamiento a la rotura	6 %	8 %	10%
Temperatura de impresión	180 – 230 °C	150 °C	150 °C
Dureza Shore	2,5 D	85 D	82D
Resistencia a la tracción	58,5 MPa	61 MPa	50 MPa
Precio (1kg, 350 m)	26,5 \$	83 \$	250 \$

Realizado por: Toaquiza C, 2022

Se evidencia que la manufactura entre el escáner y la impresión 3D mediante resina, obtendremos una pieza óptima.

**Tabla 19-4:** Cuadro Comparativo Impresión 3D con filamento PLA y Resina.

	<b>Scanner</b>	<b>Impresión 3D Filamento PLA</b>	<b>Impresión 3D Resina</b>
Software	Fusion 360 Solidworks	Cura	Chitubox
Tiempo	48 horas	6 horas	2,5 horas
Precio	\$20	\$18	\$30
	Total	\$38	\$50

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

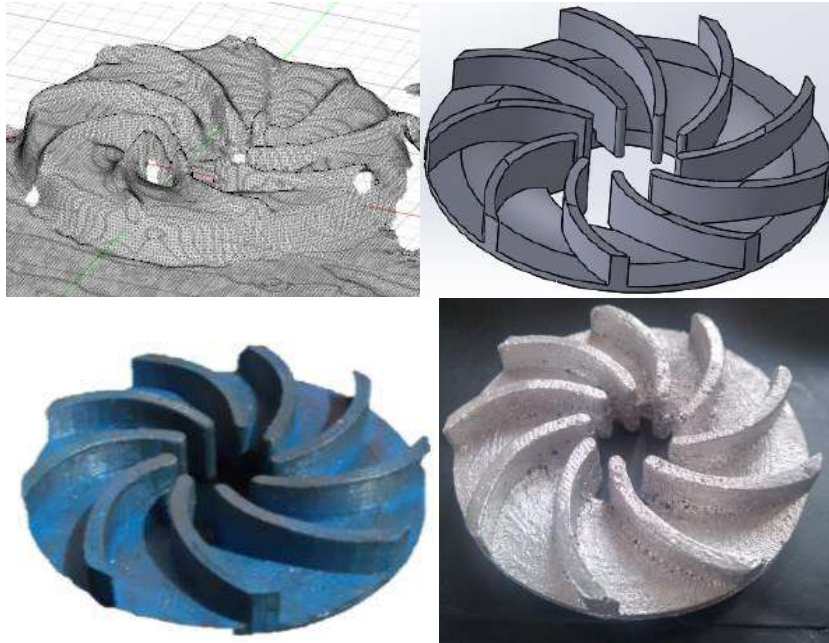
#### 4.7 Scanner –Impresión 3D - Fundición

La digitalización es un proceso necesario, continuando con la impresión en filamento PLA el cual servirá como molde para posteriormente desarrollarse la fundición. Un proceso que exige investigación, obteniendo pasos claves para la disminución de porosidad. Sin embargo, relacionando precios y el resultado obtenido luego de los tres procesos, se puede decir que la fundición no es necesaria para la manufactura del impeller. La siguiente tabla demuestra valores relacionados con la pieza que se obtuvieron durante los procesos indicados.

**Tabla 20-4:** Cuadro Comparativo Scanner, Impresión 3D, Fundición.

	<b>Scanner</b>	<b>Impresión 3D</b>	<b>Fundición</b>	<b>TOTAL</b>
Software	Fusion 360 Solidworks	Cura Chitubox	-	
Tiempo	48 horas	6 horas	48 horas	102 horas 4 días
Precio	\$20	\$18	\$25	\$63

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022



**Ilustración 35-4:** Impeller semiabierto Scanner, Impresión 3D, Fundición.

Realizado por: Toaquiza C, 2022

#### 4.8 Scanner –Impresión 3D – Fundición - Mecanizado

Dentro del desarrollo de los cuatro procesos, podemos ayudarnos de los datos antes mencionados, y repitiendo la información que la fundición es un proceso innecesario, e incluso la impresión en 3D puede ser omitida, por lo que después del scanner directamente podemos dirigirnos al mecanizado, ayudándonos de los diferentes softwares como son el Solidworks, Mastercam, obteniendo un código ISO G, desde el material en bruto hasta la pieza. Sin embargo, es necesario considerar los costos que genera este proceso, debido a que interviene un técnico encargado y el uso de la máquina.

**Tabla 21-4:** Cuadro Comparativo Scanner, Impresión 3D, Fundición y Mecanizado

	Scanner	Impresión 3D	Fundición	Mecanizado	TOTAL
Software	Fusion 360, Solidworks	Cura, Chitubox	-	MasterCAM	
Tiempo	48 horas	6 horas	48 horas	3 horas	105 horas 4 días y 9 horas
Precio	\$20	\$18	\$25	\$250	\$313

Realizado por: Toaquiza C, 2022

**Tabla 22-4:** Cuadro Comparativo Scanner y Mecanizado.

	<b>Scanner</b>	<b>Mecanizado</b>	<b>TOTAL</b>
Software	Fusion 360 Solidworks	MasterCAM	
Tiempo	48 horas	2 horas	50 horas
Precio	\$20	\$150	\$170

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022



**Ilustración 36-4:** Impeller semiabierto Scanner, Impresión 3D, Fundición y Mecanizado.

**Realizado por:** Toaquiza C, 2022

## CONCLUSIONES

Por medio del presente trabajo de titulación, fue necesario la investigación y comprensión desde sus inicios cuáles serán los pasos que se tomarán para la construcción del impeller semiabierto, tomando en cuenta su compleja geometría en relación al CAD CAM CAE, los métodos a usar dependerían de las características de la pieza tales como: ángulo de entrada y salida del fluido, el número de álabes y los espesores o dimensiones que se manejan.

La ingeniería inversa por medio de equipos sofisticados que dispone la institución tal es el caso del scanner “SENSE”, permitió facilitar la digitalización de la geometría compleja del impeller semiabierto.

El proceso de impresión en 3D mediante filamento en PLA, ha permitido obtener un molde apto para el proceso de fundición, sin embargo, mediante Resina de Ingeniería especial conseguimos una pieza óptima para su funcionamiento inmediato.

La fundición es un proceso muy complejo, posee fases y tiempos que se deben respetar rigurosamente, sin duda, es importante aclarar la diferencia entre la teoría y lo práctico, el desarrollo del proceso se hizo en una empresa especializada en fundición, por lo que las recomendaciones en especial los tiempos de espera, dependían de la geometría de la pieza y la materia prima a usarse.

La manufactura mediante el rectificado en CNC multiejes permitió mayor eficiencia en tiempo, materiales y acabado superficial, dando como resultado una pieza con mejores propiedades y tiempo de vida útil de aproximadamente 24 meses, en condiciones óptimas y con mantenimientos de acuerdo a lo establecido.

La investigación nos dio una idea de las diferentes formas de manufactura partiendo desde un Scanner, verificando tiempos, propiedades y factibilidad en los recursos, por lo que se concluyó que el proceso de fundición no es necesario y puede ser evitado. Si queremos un prototipo similar en material y mejorando propiedades es suficiente con una impresión 3D con resina de ingeniería especial, en el caso de usar otro tipo de materiales como el aluminio, un material claramente mejor que el PPE, es el uso directo del mecanizado en máquina CNC multiejes.



## **RECOMENDACIONES**

Mientras se realizaba la investigación del trabajo se encontraron diferentes inconvenientes para la rectificación del impeller semiabierto, los cuales fueron la poca información que existe con referencia al uso del CNC 5 ejes, las características o personal capacitado para la manipulación de este.

La investigación ha permitido el conocer diferentes lugares y personal altamente capacitadas para cada uno de los procesos mencionados, por lo que nuestro conocimiento paso más allá de una investigación, llevamos de la mano la teoría y la práctica. Por lo que se recomienda el uso continuo de talleres y laboratorios que la institución educativa posee.

Diferentes procesos para una manufactura del impeller semiabierto han sido desarrollado con mayor eficiencia en propiedades mecánicas, es necesario reconocer que la institución cuenta con recursos correctos, sin embargo, como estudiantes no hemos aprovechado los recursos de manera apropiada.

## GLOSARIO

**Código G:** Es un lenguaje de comando de máquina alfanumérico basado en ASCII que el controlador interpreta en movimientos y modos discretos. (TecnoEdu, 2018).

**Diseño asistido por computador (CAD):** Es un software que realiza tareas como el diseño de un prototipo tanto en croquis 2D como en piezas tridimensionales 3D. (Choto, 2017)

**Impeller:** Impeller es un componente el cual tiene un platillo giratorio, la función principal es transferir energía mediante un movimiento giratorio esto lo puede generar un motor eléctrico, una turbina de motor de combustible. (Morales, 2020)

**Ingeniería inversa:** Es un proceso el cual identifica como está constituido y de qué manera funciona un objeto mediante la realización de un análisis profundo de su estructura, duplicar de la mejor manera con una representación digital 3D del objeto. (Proun, 2020).

**Manufactura asistida por computadora (CAM):** Representa la administración, control de las herramientas y operaciones de un proceso, además el mecanismo de control necesario para establecer la comunicación con las máquinas y robots. (Orejuela, 2016)

## BIBLIOGRAFÍA

- ASORCAD.** GO SCAN 3D. [En línea] 2012. [https://www.metalia.es/guiadeempresas/Asorcad/pdf/AsorCAD\\_GOscan3D\\_spa\\_Non\\_Ind\\_LT.pdf](https://www.metalia.es/guiadeempresas/Asorcad/pdf/AsorCAD_GOscan3D_spa_Non_Ind_LT.pdf).
- BIRT.** Moldes metálicos. [En línea] 31 de 03 de 2020. [https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMPP/DMPP04/es\\_DFM\\_DMPP04\\_Contenidos/website\\_31\\_\\_moldes\\_metlicos.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMPP/DMPP04/es_DFM_DMPP04_Contenidos/website_31__moldes_metlicos.html).
- BOHMAN.** ACERO BONIFICADO + LAM. CALIENTE 709/ AISI 4140 (BARRA REDONDA). [En línea] 30 de 05 de 2021. <https://bohman.com.ec/shop/product/acero-bonificado-lam-caliente-709-aisi-4140-barra-redonda-27173#attr=23299>.
- BONILLA, ANDRES.** Técnicas de procesos de manufactura IMPELLER. [En línea]. (Trabajo de titulación). Repositorio Universidad Técnica de Cotopaxi. Febrero de 2020. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6766/1/T-001553.pdf>.
- CADAVSHMEIP.** Post-Procesadores - MASTERCAM. [En línea] 03 de 07 de 2021. <https://www.cadavshmeip.com/mastercam/postprocesadores>.
- CASTILLO, CAMILO.** Desarrollo del proceso de manufactura de un impeller. [En línea] 2016. [Citado el: 14 de Diciembre de 2021.] <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/Castillocamilo2016.pdf>.
- CHOTO, LUIS.** Fabricación de un prototipo de impulsor de una bomba centrífuga del área ELPO planta de pintura de la empresa ensambladora CIAUTO. Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13546/TESPE5353895.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CREALITY CR10S, PRO.** Technical Specifications. [En línea] 2019. <http://cdn.cnetcontent.com/74/8c/748c8c7f-1fc5-4e16-ad55-3a15b88ff330.pdf>.
- DAVID ESCARCEGA.** Metodología de la investigación cuantitativa. [En línea] 24 de 12 de 2019. <https://www.questionpro.com/blog/es/metodologia-de-la-investigacion-cuantitativa/>.
- DAVID LLOPIS.** Metodología de la investigación. [En línea] 17 de 05 de 2020. <https://poliformat.upv.es/access/content/user/24389381/Contenido%20abierto%20al%20p%C3%BAblico/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n/3.2%20Metodologi%CC%81a%20experimental.pdf>.
- DNATIVES.** El filamento PLA en la impresión 3D. [En línea] 19 de Agosto de 2019. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/>.

**ESPINOSA, LUIS.** Modelo de simulacion de un impulsor cerrado para bomba central de fuga horizontal de industrias Licont aplicando ingenieria inversa. [En línea] 15 de Octubre de 2017. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <http://repositorio.tecnm.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/278/1/Modelado%20y%20simulaci%C3%B3n%20de%20un%20impulsor%20cerrado%20para%20bomba%20centr%C3%ADfuga%20horizontal%20de%20Industrias%20Licont%20aplicando%20ingenier%C3%ADa%20inversa..pdf>.

**FANUC.** Postprocesador Cnc De 5 Ejes Fanuc De Mastercam. [En línea] 03 de 12 de 2020. <https://www.3dcadportal.com/notas-de-prensa/post-procesador-cnc-de-5-ejes-fanuc-de-mastercam>.

**GARRIDO Y SÁNCHEZ, ALDO Y VICTOR.** Determinación de la Metodología para la Obtención de Aleaciones de Aluminio de Fundición Maquinables sin Porosidad. [En línea] 2011. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3955>.

**GARRIDO Y SÁNCHEZ, ALDO Y VICTOR.** Determinación de la Metodología para la Obtención de Aleaciones de Aluminio de Fundición Maquinables sin Porosidades. [En línea] 2011.

**GOMEZ, WLADIMIR.** Analisis De Los Parametros Basicos De Diseño De Impulsores. [En línea] 29 de Octubre de 2015. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0028093.pdf>.

**IMPRIME3D.** Impresión 3D Online [En línea] 19 de Agosto de 2019. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://imprime3dbarato.com/coste-los-materiales-impresion-3d/>.

**JAV, FRANCISCO.** Escaneo 3D e Ingeniería inversa de elementos y piezas. [En línea] 15 de Febrero de 2019. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://www.labs3d.com/escaneo-ingenieria-inversa>.

**LACIT.** Desarrollo de postprocesadores nx cam para máquinas CNC. [En línea] 29 de 09 de 2019. <https://lakit.net/es/desarrollo-de-postprocesadores-nx-cam-para-maquinas-cnc/>.

**LONDO Y TIERRA, PAÚL Y DIEGO.** Desarrollo Tecnológico Para La Fundición En Troquel De Las Aleaciones De Aluminio ASTM 355 Y ASTM 40E. [En línea] 2010.

**MACAS, CESAR Y PILCO, KLEVER.** Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D. [En línea]. Repositorio epoch. 26 de Enero de 2015. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/4676/1/85T00388.pdf>.

**MAQUINARIABKB.** Tornos CNC. [En línea] 27 de Febrero de 2020. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <https://bkbmaquinaria.com/categoria-producto/maquinaria/tornos-cnc/>.

**MARCOS MUÑOZ, CNC.** Post Procesadores. [En línea] 19 de 04 de 2018. <https://marcosmunoz.com/post-procesadores-que-son/>.

**MASTONER.** Los 10 mejores Tipos de Filamento para Impresión 3D. [En línea] 10 de Diciembre de 2019. <https://mastoner.com/blog/tipos-de-filamentos-existen-para-imprimir-en-3d/>.

**MORALES, DIEGO.** Diseño y Fabricacion Impellers. [En línea] 17 de Abril de 2020. [Citado el: 9 de Diciembre de 2021.] <https://es.scribd.com/document/456932720/Diseno-y-fabricacion-impellers-convertido-1-docx>.

**OREJUELA, JOSE.** Diseño asistido CAM. [En línea] Agosto de 2016. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/CD-5187.pdf>.

**PROUN.** Ingenieros Asesores. [En línea] 27 de Agosto de 2020. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://ingenierosasesores.com/actualidad/ingenieria-inversa-concepto-aplicaciones/>.

**ROMI DCM 620, 5 EJES.** Centros De Mecanizado Vertical - 5 Ejes / 5 Caras. [En línea] [https://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/cat\\_romi\\_dcm620\\_es\\_aj\\_01\\_-\\_062016\\_baixa.pdf](https://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/cat_romi_dcm620_es_aj_01_-_062016_baixa.pdf).

**ROMI.** LÍNEA ROMI DCM 62. [En línea] 1 de Febrero de 2016. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] [https://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/cat\\_romi\\_dcm620\\_es\\_aj\\_01\\_-\\_062016\\_baixa.pdf](https://www.romi.com/wp-content/uploads/2016/02/cat_romi_dcm620_es_aj_01_-_062016_baixa.pdf).

**SANDVIK.** Herramientas rotativas. 2012.

**SHUTTERSTOCK.** Impeller. [En línea] 30 de Septiembre de 2021. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://www.shutterstock.com/es/search/impeller>.

**SIGNIFICADOS.** Significado de Investigación cualitativa. [En línea] 12 de 10 de 2018. <https://www.significados.com/investigacion-cualitativa/>.

**SITENORDESTE.** Conformacion por moldeo. [En línea] 8 de Mayo de 2020. [http://www.sitenordeste.com/mecanica/conformacion\\_por\\_moldeo.htm](http://www.sitenordeste.com/mecanica/conformacion_por_moldeo.htm).

**TECNOEDU.** Programación de máquinas de CNC con códigos G&M. [En línea] 2018. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <https://tecnoedu.com/CNC/GM.php>.

**TECNOLOGIA FACIL.** Impresoras 3D. [En línea] 29 de Mayo de 2019. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <https://tecnologia-facil.com/que-es/impresoras-3d/>.

**TECNOLOGÍA-CNC.** Introducción a la tecnología CNC. [En línea] 2018. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/introduccion-a-la-tecnologia-cnc>.

**TFMRIMUNED.** Estereolitografía. SLA. [En línea] 22 de Abril de 2017. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://tfmrimuned.wordpress.com/estereolitografia-sla/>.

**TRAIRED.** Filamento PC (Prusament). [En línea] 2019. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <https://www.taiced.com/product-page/filamento-pc-prusament>.

**UC3M.** Ingeniería Mecánica. [En línea] 20 de Diciembre de 2019. [Citado el: 13 de Diciembre de 2021.] <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-mecanica/material-de-clase-1/ocw-capitulo2.pdf>.

**UPV.** Aleaciones para ingeniería. [En línea] 18 de 03 de 2010. [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_4.html).

**URRUTIA, FRANCISCO JAVIER PLAZA.** Ingeniería Industrial. Cartagena : Universidad Politécnica de Cartagena, 2014.

**WEEKLY.** Tecnologías aditivas y escaneo 3D en ingeniería mecánica: 7 historias de éxito. [En línea] 26 de Febrero de 2019. [Citado el: 10 de Diciembre de 2021.] <https://weekly-geekly-es.imtqy.com/articles/440896/index.html>.

## ANEXOS

### ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DEL SCANNER "GO SCAN 3D".

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		GO! SCAN 3D
PESO	1,1 kg	Es decir, casi el mismo peso que un litro de leche
DIMENSIONES	127 x 156 x 262 mm	Como una caja de pañuelos de papel.
FUENTE DE LUZ	Luz blanca (LED)	Similar a la de una linterna LED.
VELOCIDAD DE MEDICIÓN	550.000 mediciones por segundo	Cada segundo se graban 550.000 mediciones para crear rápidamente el modelo en 3D.
RESOLUCIÓN	0,500 mm	Correspondiente a un grano de arena (pero no se le ocurra escanear uno).
PRECISIÓN	Hasta 0,100 mm	Inferior al grosor de un cabello humano.
EXACTITUD VOLUMÉTRICA*	0,300 mm/m	Depende del tamaño de la pieza que digitalice.
DISTANCIA DE SEGURIDAD	400 mm	Más o menos, la misma distancia natural a la que situaría su libro (o libro electrónico) favorito.
PROFUNDIDAD DE CAMPO	250 mm	Una mayor profundidad de campo implica una mayor flexibilidad en la distancia de seguridad.
ÁREA DE DIGITALIZACIÓN	380 mm x 380 mm	Imagínese un cuadrado más o menos de la mitad del póster de una película.
SOFTWARE	VXelements	Software de digitalización en 3D sencillo pero potente incluido con el escáner.
FORMATO DE SALIDA	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr	Ni intente buscar un software que no abra estos archivos...
ESTÁNDAR DE CONEXIÓN	1 puerto USB 2.0	Igual que su teléfono inteligente o cámara.
RANGO DE TAMAÑOS DE LAS PIEZAS (RECOMENDADO)	0,3 m - 3,0 m	Desde un pie de verdad hasta un vehículo mini: ¡las posibilidades son enormes!

Fuente: (AsorCAD, 2012)

## ANEXO B: CARACTERÍSTICAS IMPRESORAS 3D.

Creality CR10S Pro 3D Printer



### Technical Specifications

<b>Printing Properties</b>	Technology	Fused deposition modeling (FDM)
	Printing space dimensions	Length 300 mm = width 300 mm × 400 mm
	Noise intensity	53 dB
	Number of nozzles	1
	Nozzle diameter	0.4 mm
	Nozzle temperature	≤ 260° C
	Printing speed	≤ 180 mm/s
	Layer height	From 0.1 mm up to 0.3 mm
	Printing surface type	BUILD TAK
	Heat bed temperature	≤ 110° C
	Printing surface calibration methods	Manual, Automatic
	Printing accuracy	± 0.1 mm
	Feeder system	Bowden (dual geared, Capricorn tube)
Filament diameter	1.75 mm	
<b>Communication &amp; Control</b>	User interface type	Colored touch screen
	Direct communication port	USB Mini B
	Memory card port	Micro SD
	Supported operating systems for direct communication	Windows, MacOS, Linux
	Methods of sending print instructions	Direct connection or using memory card
<b>Power</b>	Power input	120-240 V, 50-60 Hz, ≤ 5.9 A
	Maximum power	480 W
	Power connector	IEC C13
<b>Volume &amp; Mass</b>	Printer dimensions	Length 550 mm = width 490 mm × 650 mm
	Operating space dimensions	Length 800 mm = width 710 mm × 900 mm
	Net mass	13.1 Kg
	Package size	500 mm = 600 mm × 380 mm
	Gross mass	17.5 Kg

Fuente: (Creality CR10S, 2019)



**ANEXO C: CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO**  
**PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LA ALEACION DE ALUMINIO**  
**ASTM 355 [17]**

1. **Composición:** (5% Si, 1.3% Cu, 0.5% Mg)
2. **Nombre comercial:** aleación 355 (fundición en arena y en molde permanente)
3. **Número ASTM:** B26, aleación SC51A (arena); B108, aleación SC51A (molde permanente).
4. **Números de designación:** QQ-A-601, clase 10 (arena); QQ-A-596, clase 6 (molde permanente).
5. **Otras designaciones:** SAE 322; AMS 4210, 4212, 4214, 4280, 4281.
6. **Densidad a 68 °F (20 °C):** 2.71 gramos/cm<sup>3</sup> (0.098 lb/cm<sup>3</sup>).
7. **Temperatura Liquidus:** 1150 °F (621 °C).
8. **Temperatura Solidus:** 1071 °F (545 °C).

<b>Fundición en Molde Permanente</b>							
Condición	Esfuerzo de tensión psi	Esfuerzo de fluencia psi	Elongación %	Dureza BHN	Esfuerzo de Corte psi	Límite de fatiga psi	Esfuerzo de fluencia a compresión psi
T51	30000	24000	2	75	24000	.....	24000
T6	42000	27000	4	90	34000	10000	27000
T62	45000	40000	1.5	105	36000	10000	40000
T7	40000	30000	2	85	30000	10000	30000
T71	36000	31000	3	85	27000	10000	31000

**Fuente:** (Londo y Tierra, 2010)

## ANEXO D: PARÁMETROS DE IMPRESIÓN 3D

**Advanced Settings**

Layer | Extruder | IJFF | Solid Fill | Support | Platform Adhesion | Cooling | Temperature | Speed | Advanced | Misc | Other | Texture | GCode

General

Layer Height: 0.1500 mm

Shells: 4.0

Maximum Shells Overlay Percentage: 80 %

Mix Shells in optimal order

First Layer Settings

First Layer Height: 0.2000 mm

First Layer Extruder: 100.0 %

First Layer Extrusion Width Percentage: 100 %

First Layer Solid Fill Pattern Type: Lines

First Layer Solid Fill Extrusion Width Percentage: 100 %

First Layer Shells: 2.0

Layer Start Point

Layer Start Point Type: HBRPDC

First Layer Start Point X: 0.0000 mm

First Layer Start Point Y: 0.0000 mm

Scan Method: None

Other

Spiral Vase Mode

Spiral Vase Mode Path Interpolation

Print External Shells First

Print IJFF First

Print Parts in Same Order for Each Layer

Minimal Segment Length: 0.0100 mm

Merge Nearby Lines: 0.0000 mm

Minimal Part Size: 100 %

Dimensional Compensation

XY Size Compensation for Contours: 0.00 mm

XY Size Compensation for Holes: 0.00 mm

Small Features

Shell Feature Diameter: 20.00 mm

Shell Fillet Radius Minimum Diameter: 7.00 mm

Shell Feature Tapered Minimum Diameter: 50 %

Shell Feature Offset Width: 100 %

Save As | Single Mode | Save | Cancel

**Advanced Settings**

Layer | Extruder | IJFF | Solid Fill | Support | Platform Adhesion | Cooling | Temperature | Speed | Advanced | Misc | Other | Texture | GCode

Primary Extruder

General

Extrusion Width: 0.40 mm

Retraction

Retraction

Retraction Speed: 40.00 mm/s

Retraction Material Amount: 5.50 mm

Minimal Travel of Retraction: 1.00 mm

Minimal Amount of Retraction: 0.02 mm

Extra Retract Amount: 0.00 mm

Recoil Speed: 30.0 mm/s

Avoid Unnecessary Retraction in Support

Z-Hop at Retraction: 0.000 mm

Z-Hop performed: 0

Cooling

Cooling Distance: 0.60 mm

Apply Cooling on end IJFF and lower shell IJ

Wipe

Outer Shell Wipe Distance: 0.60 mm

Outer Shell Wipe Speed: 30.0 mm/s

Extruder Switch User Control

Controlled Speed of Extruder switch: 20.0 mm/s

Retraction Amount of Extruder switch: 0.00 mm

Default Speed of Extruder switch: 20.0 mm/s

Extra Retract Amount of Extruder-switch: 0.00 mm

Save As | Single Mode | Save | Cancel

**Advanced Settings**

Layer | Extruder | IJFF | Solid Fill | Support | Platform Adhesion | Cooling | Temperature | Speed | Advanced | Misc | Other | Texture | GCode

IJFF

IJFF Extruder: Primary Extruder

IJFF Density: 65 %

IJFF Overlay: 25 %

IJFF Filtration: 100.0 %

IJFF Pattern Type: Honeycomb

Fill Gaps in 100% Concentric IJFF

Copy IJFF Lines Endpoints

Use Lines Pattern in High Density Grid IJFF Endpoints

IJFF Extrusion Width Percentage: 100 %

IJFF Offset X: 0.00 mm

IJFF Offset Y: 0.00 mm

Configure IJFF Layers

IJFF Outline Shells: 0

Fill Gaps in IJFF Outline Shells

Print Solid Fill in 100% IJFF

Adaptive IJFF

Adaptive IJFF Reduction Count: 2

IJFF Ratio Range: 3 - 30 %

Adaptive IJFF Layers: 5

Adaptive IJFF Inner Interfacial Diameter: 0.01 mm

Adaptive IJFF Internal Width: 2.00 mm

IJFF Angle

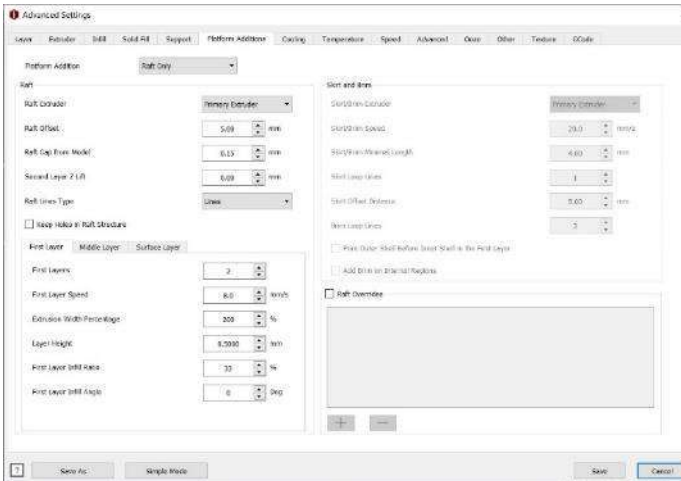
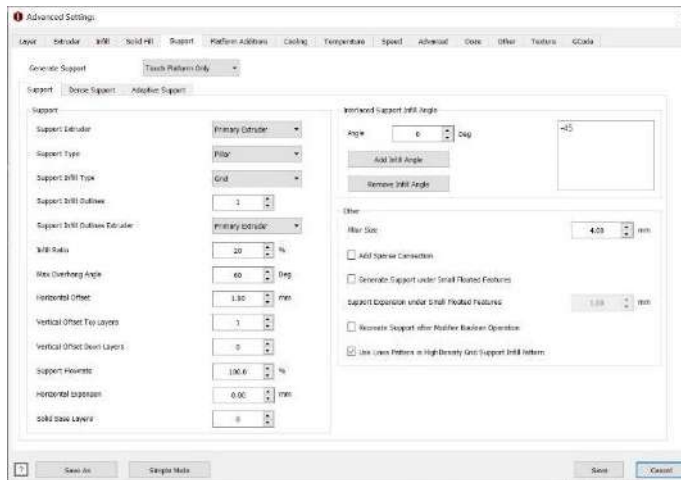
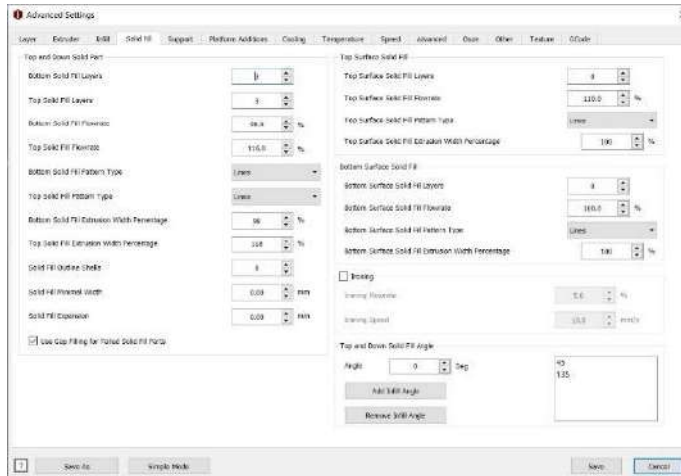
Angle: 0 deg

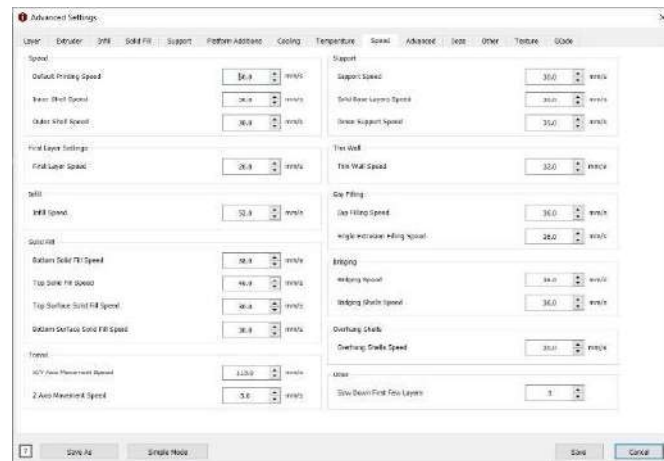
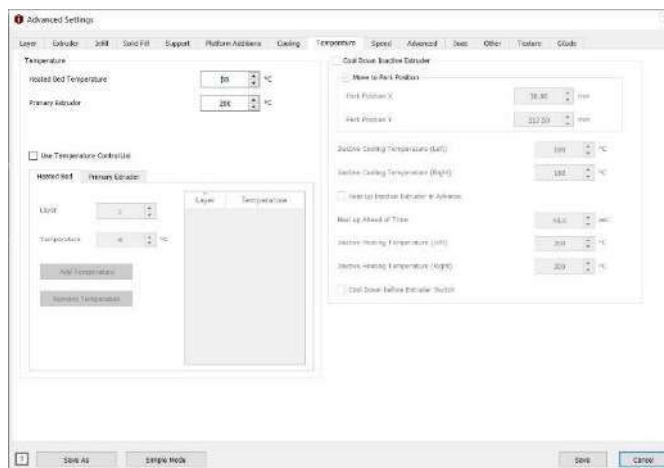
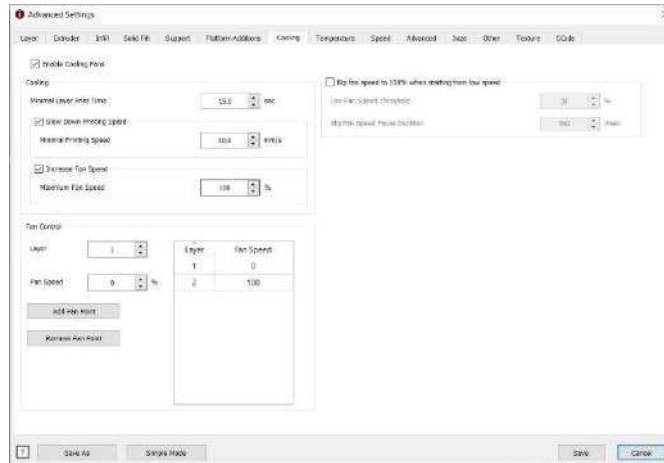
30  
150  
200

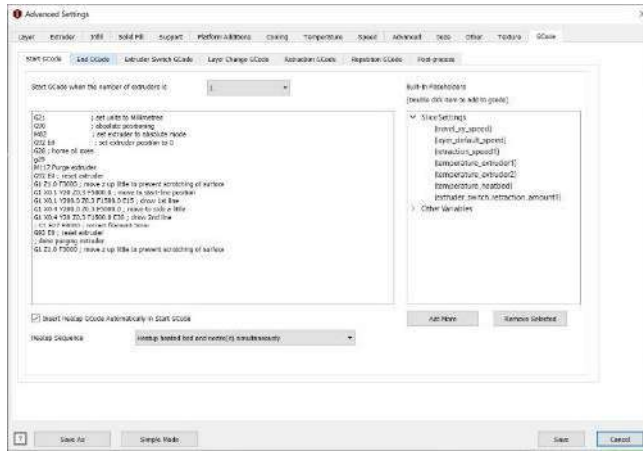
Add IJFF Angle

Remove IJFF Angle

Save As | Single Mode | Save | Cancel







**ANEXO E: CARACTERÍSTICAS DE TÉCNICAS DE LA MAQUINA DE IMPRESIÓN 3D RESINA**

<b>Creality 3D LD-002R LCD</b>	
<b>Modelo</b>	LD-002R LCD
<b>Tecnología de impresión</b>	UV-LCD
<b>Volumen de impresión</b>	119(L) x 65(AN) x 160(A) mm
<b>Velocidad de impresión</b>	20-30 mm/h
<b>Configuración de soportes</b>	Automático/Manual
<b>Voltaje Nomina</b>	100-240V
<b>Voltaje de Salida</b>	12V
<b>Altura de capa</b>	0.01-0.05mm
<b>Precisión XY</b>	0.075mm
<b>Monitor de impresión</b>	Pantalla Táctil
<b>Método de impresión</b>	USB
<b>Formato de archivo</b>	.STL
<b>Compatible con sistemas operativos</b>	Windows (7+) Mac OS X (10.7+)
<b>Peso de envío</b>	8.7 kg
<b>Potencia nominal</b>	72W
<b>Altura mínima de capa</b>	20 µm
<b>Fabricante N°</b>	1001030010
<b>Marca (Fabricante)</b>	Creality
<b>Contenido</b>	1 unidad
<b>Consumibles</b>	Resina fotosensible rígida ordinaria. Resina estándar. Resina elástica. Resina de alta resistencia. Resina dental

## ANEXO F: PROPIEDADES FÍSICAS DEL IMPELLER SEMIABIERTO

Propiedades de masa de rodete		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.00 gramos por milímetro cúbico		
Masa = 11.17 gramos		
Volumen = 11170.50 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 14252.88 milímetros cuadrados		
Centro de masa: ( milímetros )		
X = 0.00		
Y = 0.00		
Z = -8.04		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
lx = ( 1.00, 0.00, 0.00)	Px = 3969.37	
ly = ( 0.00, 1.00, 0.00)	Py = 3969.37	
lz = ( 0.00, 0.00, 1.00)	Pz = 7724.61	
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 3969.37	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 3969.37	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 7724.61
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 4692.25	lxy = 0.00	lxz = 0.00
lyx = 0.00	lyy = 4692.25	lyz = 0.00
lzx = 0.00	lzy = 0.00	lzz = 7724.61

Fuente: Toaquiza, C.

**ANEXO G: PARÁMETROS DEL IMPELLER PARA EL MECANIZADO**

<b>Datos característicos para fundición</b>		
Dato	Valor	Unidad
Masa para fundir (m)	0,03	kg
Volumen pieza (V)	$1.12 \times 10^{-5}$	$m^3$
Área pieza (A)	0.0143	$m^2$
Densidad material ( $\rho$ )	$2,7 \times 10^3$	$kg/m^3$
Espesor min. Pieza (e)	0,004	m
Tiempo de colado (tc)	5	s
Tiempo solidificación (ts)	2,71	s
Constante (C)	4,42	$s/m^2$
Calor latente de fusión (H)	390	J/kg
Temperatura fusión ( $T_f$ )	660	$^{\circ}C$
Temperatura ambiente ( $T_o$ )	23	$^{\circ}C$
Calor específico del molde ( $C_{p_{molde}}$ )	$1.2 \times 10^3$	$J/kg^{\circ}C$
Conductividad térmica (K)	0.15	$W/m^{\circ}C$
Altura del bebedero ( $h_{bebe}$ )	0.09	m
Diámetro superior bebedero (D1)	0.07	m
Diámetro superior bebedero (D2)	0.07	m
Área superior del bebedero (A1)	$4.495 \times 10^{-9}$	$m^2$
Caudal (Q)	0.00000224	$m^3/s$
Factor de pérdidas del cazo ( $f_{pb}$ )	0,5	
Factor de sobredimensionamiento del área superior del bebedero ( $f_{s_{A1}}$ )	1,2	%
Peso específico material ( $\delta$ )	26487	$kg/m^3$
Altura del metal líquido, desde el nivel libre hasta la pared (Hm).	0,01	m
Volumen del bebedero ( $V_{bebe}$ )	3,436	$m^3$

Fuente: Toaquiza, C.



## ANEXO H: CARACTERÍSTICAS CENTRO DE MECANIZADO.

Especificaciones técnicas		ROMI DCM 620-5F	ROMI DCM 620-5X
<b>Cabezal vertical</b>			
Cono del husillo ISO 40 Z	ISO	40	40
Rango de velocidad	rpm	10 a 10.000	15 a 15.000
<b>Avances</b>			
Avance rápido (ejes X / Y / Z)	m/min	36	36
Avance de corte programable	mm/min	1 a 20.000	1 a 20.000
Rotación máxima de los ejes B y C	rpm	12	12
<b>Recorridos</b>			
Recorrido del eje X	mm	620	620
Recorrido del eje Y	mm	520	520
Recorrido del eje Z	mm	460	460
Distancia entre nariz del husillo y mesa	mm	150 – 610	150 – 610
Ángulo de rotación eje B	grados	-110° – +110° (**)	-110° – +110° (**)
Ángulo de rotación eje C	grados	360°	360°
<b>Mesa rotativa</b>			
Superficie de la mesa	mm	600 x 600	600 x 600
Número de ranuras "T"	mm	5	5
Ancho de las ranuras "T" x distancia	mm	18 x 100	18 x 100
Agujero de la guía central	mm	Ø 60 H7	Ø 60 H7
Dimensiones máximas de las piezas en la mesa	mm	Ø 520 x 330 altura	Ø 520 x 330 altura
Peso admisible	kg	300	300
<b>Cambiador de herramientas con brazo articulado</b>			
Capacidad de herramientas		30	30
Diámetro máximo de la herramienta	mm	76	76
Diámetro máximo de la herramienta (con adyacentes vacíos)	mm	127	127
Longitud máxima de la herramienta	mm	250	250
Peso máximo de la herramienta	kg	7	7
Peso máximo admisible en magazine	kg	160	160
Mandril de la herramienta	tipo	BT / BBT 40	BT / BBT 40
<b>Potencia</b>			
Motor principal ca (régimen S6 - 40% - 10 min.)	cv/kW	24 / 18	24 / 18
Motor principal ca (régimen continuo)	cv/kW	16 / 12	16 / 12
Potencia total instalada	kVA	50	50
<b>Dimensiones y pesos (*)</b>			
Altura (recorrido máximo)	mm	2.873	2.873
Área ocupada (frente x lateral)	mm	4.167 x 3.400	4.167 x 3.400
Peso neto	kg	9.200	9.200

Fuente: (ROMI DCM 620)

# ANEXO I: SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS PLANEAR, CONTORNEAR Y ACABADO

## Fresas de ranurar

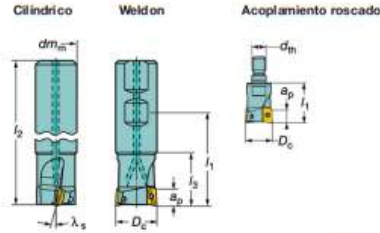
Diámetro 12-42 mm



$K_r = 90^\circ$

Tamaño de plaqueta  
11, 17

Versión métrica



$l_1$  = longitud de programación

Código de pedido	Paso grande	Paso normal	Paso reducido	Refrigerante <sup>1)</sup>	Dimensiones, mm												
					$d_{m, \text{máx}}$	$l$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	Máx. $d_n$	$n_{\text{máx}}^{2)}$						
<b>Mango cilíndrico</b>																	
11 12 R390-012A16-11L <sup>1)</sup>	1	-	-	-	1	0.2	16	95	20	11.48	10.0	68600					
16 R390-016A16-11L	2	-	-	-	1	0.3	16	100	25	13.43	10.0	41500					
18 R390-018A16-11L	2	-	-	-	1	0.3	16	145	25	13.43	10.0	31000					
20 R390-020A20-11L	2	-	R390-020A20-11M	3	-	1	0.4	20	110	25	10.27	10.0	34600				
25 R390-025A20-11L	2	-	-	-	-	1	0.5	20	170	40	10.27	10.0	20300				
22 R390-022A20-11L	2	-	-	-	-	1	0.5	20	170	30	14	10.0	20300				
25 R390-025A25-11L	2	-	R390-025A25-11M	3	-	R390-025A25-11H	4	-	1	0.5	25	120	32	17.06	10.0	38500	
R390-025A25L-11L	2	-	-	-	-	1	0.5	25	210	50	17.06	10.0	8100				
30 R390-030A25L-11L	2	-	-	-	-	1	1.1	25	210	35	18.8	10.0	11000				
32 R390-032A32-11L	2	-	R390-032A32-11M	3	-	R390-032A32-11H	4	-	1	0.8	32	130	40	19.46	10.0	31000	
40 R390-040A32-11L	2	-	R390-040A32-11M	3	-	R390-040A32-11H	4	-	1	0.8	32	170	50	21.93	10.0	27000	
R390-040A32L-11L	2	-	-	-	-	1	1.7	32	250	65	21.93	10.0	9100				
17 25 R390-025A25-17L	2	-	-	-	-	1	0.5	25	120	32	11.55	15.7	30800				
R390-025A25L-17L	2	-	-	-	-	1	0.5	25	210	50	17.06	10.0	11000				
32 R390-032A32-17L	2	-	R390-032A32-17M	3	-	-	-	1	0.8	32	130	40	13.15	15.7	25600		
R390-032A32L-17L	2	-	-	-	-	1	1.5	32	250	65	19.46	10.0	7600				
40 R390-040A32-17L	2	-	R390-040A32-17M	3	-	-	-	1	1.1	32	170	50	14.78	15.7	21900		
R390-040A32L-17L	2	-	-	-	-	1	1.7	32	250	65	21.93	10.0	7600				
<b>Weld on</b>																	
11 12 R390-012B16-11L	1	-	-	-	-	1	0.2	16	44.5	6.8	20	11.48	10.0	68600			
16 R390-016B16-11L	2	-	-	-	-	1	0.2	16	49.5	7.3	25	13.43	10.0	41500			
20 R390-020B20-11L	2	-	R390-020B20-11M	3	-	-	-	1	0.3	20	56.5	8.1	25	10.27	10.0	34600	
25 R390-025B25-11L	2	-	R390-025B25-11M	3	-	R390-025B25-11H	4	-	1	0.4	25	56.5	8.8	32	17.06	10.0	36500
32 R390-032B32-11L	2	-	R390-032B32-11M	3	-	R390-032B32-11H	4	-	1	0.6	32	64.5	10.0	40	19.46	10.0	31000
40 R390-040B32-11L	2	-	R390-040B32-11M	3	-	R390-040B32-11H	4	-	1	0.8	32	74.5	11.0	50	21.93	10.0	27000
17 25 R390-025B25-17L	2	-	-	-	-	1	0.4	25	56.5	8.8	32	11.55	15.7	30800			
32 R390-032B32-17L	2	-	R390-032B32-17M	3	-	-	-	1	0.8	32	64.5	10.0	40	13.15	15.7	25600	
40 R390-040B32-17L	2	-	R390-040B32-17M	3	-	R390-040B32-17H	4	-	1	0.8	32	74.5	11.0	50	14.78	15.7	21900
<b>MSSC</b>																	
11 16 R390-16T08-11L <sup>1)</sup>	2	-	-	-	-	0	0.2	25	-	-	13.43	10.0	8	10900			
20 R390-20T10-11L <sup>1)</sup>	2	-	R390-20T10-11M	3	-	-	1	0.2	30	-	10.27	10.0	10	9900			
25 R390-25T12-11L <sup>1)</sup>	2	-	R390-25T12-11M	3	-	-	1	0.2	35	-	17.06	10.0	12	8100			
32 R390-32T16-11L <sup>1)</sup>	2	-	R390-32T16-11M	3	-	-	1	0.3	45	-	18.46	10.0	16	9100			
35 R390-35T16-11L <sup>1)</sup>	2	-	R390-35T16-11M	3	-	-	1	0.4	45	-	20.46	10.0	16	9100			
40 R390-40T16-11L <sup>1)</sup>	2	-	R390-40T16-11M	4	-	-	1	0.4	45	-	21.93	10.0	16	9100			
42 R390-42T16-11L <sup>1)</sup>	2	-	R390-42T16-11M	4	-	-	1	0.4	45	-	22.49	10.0	16	9100			

1) 0 = sin refrigerante, 1 = refrigerante a través del centro

2) Se debe considerar también  $2) n_{\text{máx}}$  (rev máx. / min.) para mangos.

3) Se recomienda utilizar geometrías agudas.

4) No se dan los valores  $n_{\text{máx}}$ , rpm, máx. para el diseño de acoplamiento roscado puesto se utilizan siempre con extensiones largas.

☉ = Paso uniforme

☉ = Paso diferencial

Nota:

Quando use placas con radio > 1.6 mm, los cuerpos estándar deben de ser modificados de acuerdo a:  $r = r_1 - 0.5$  mm.



## Clave de códigos general para plaquitas CoroMill

**R** **390** - **11** **T3** **12** **M** - **P** **L** **W**

1 2 3 4 5 6 7 8 9

<p><b>1</b> Sentido de la plaquita</p> <p>R = A derecha L = A izquierda</p>	<p><b>2</b> Código principal</p> <p>Ejempl 390= CoroMill® 390</p>	<p><b>3</b> Anchura de la plaquita</p> <p>Ejempl 11=11 mm (.669 inch)</p>
<p><b>4</b> Espesor de plaquita, s mm</p> <p>Ejempl: T3 s = 3.97 04 s = 4.76 06 s = 6.33</p>	<p><b>5</b> Radio de punta</p> <p>Ejempl 12 = 1.2 mm 02</p>	<p><b>6</b> Rendimiento del filo</p> <p>M = Mayor seguridad de filo. E = Máxima agudeza y precisión H = Elevada agudeza del filo y alta precisión K = Agudeza de corte elevada</p>
<p><b>7</b> Principal área de aplicación ISO</p> <p><b>P</b> <b>M</b> <b>K</b> <b>N</b> <b>S</b> <b>H</b></p>	<p><b>8</b> Operación</p> <p>L = Corte ligero M = Medio H = Pesado T = Tornofresado</p>	<p><b>9</b> Wiper</p> <p>W = Wiper</p>

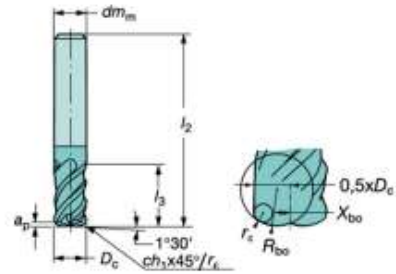
# Fresa con alto avance

Sin corte central

Dureza  $43 \leq \text{HRc} \leq 63$



Ángulo de hélice:  $-50^\circ$   
Tolerancias:  $D_c$ : h9  
 $dm_m$ : h6



Versión métrica

$D_c$ mm	$D_c$ pul- gadas	Código de pedido	$z, ^\circ$	Dimensiones, mm							Máx. $a_p$	Material					
				$dm_m$	$l_2$	$l_3$	$r_c$	$R_{\text{corona}}^{(1)}$	$R_{\text{bo}}$	$X_{\text{bo}}$		SC	MC	SC	SC		
Mango cilíndrico														P	M	S	H
4	.157	R215.H4-04050BAC01H	4	6	57	11	0.5	0.620	4.0	0.6	0.1						
4	.157	R215.H4-04050BAC02P	4	6	57	11	0.5	0.670	2.0	0.8	0.2						
6	.236	R215.H4-06050BAC02H	4	6	57	15	0.5	0.690	9.0	0.7	0.2						
6	.236	R215.H4-06050BAC03P	4	6	57	15	0.5	0.750	3.0	1.4	0.3						
6	.236	R215.H4-06050BAK02P	4	6	100	15	0.5	0.750	3.0	1.4	0.2						
8	.315	R215.H4-08050CAC02H	4	8	63	20	1	1.230	12.0	0.78	0.2						
8	.315	R215.H4-08050CAC05P	4	8	63	20	1	1.380	4.0	1.54	0.5						
8	.315	R215.H4-08050CAK02P	4	8	120	20	1	1.380	4.0	1.54	0.2						
10	.394	R215.H4-10050DAC03H	4	10	72	26	1.5	1.770	15.0	0.8	0.3						
10	.394	R215.H4-10050DAC07P	4	10	72	26	1.5	1.990	5.0	1.7	0.7						
10	.394	R215.H4-10050DAK03P	4	10	150	26	1.5	1.990	5.0	1.7	0.3						
12	.472	R215.H4-12050DAC04H	4	12	30	30	1.5	1.880	18.0	1	0.4						
12	.472	R215.H4-12050DAC08P	4	12	83	30	1.5	2.100	6.0	2.25	0.8						
12	.472	R215.H4-12050DAK08P	4	12	93	16	1.5	2.100	6.0	2.25	0.8						
16	.630	R215.H4-16050EAC05H	4	16	92	36	2	2.460	24.0	1.5	0.5						
16	.630	R215.H4-16050EAC10P	4	16	92	36	2	2.750	8.0	3.1	1.0						
16	.630	R215.H4-16050EAK10P	4	16	112	36	2	2.750	8.0	3.1	1.0						
20	.787	R215.H4-20050EAC06H	4	20	104	45	2	2.610	30.0	2.2	0.6						
20	.787	R215.H4-20050EAC13P	4	20	104	45	2	3.070	10.0	4	1.3						
20	.787	R215.H4-20050EAK13P	4	20	130	45	2	3.070	10.0	4	1.3						

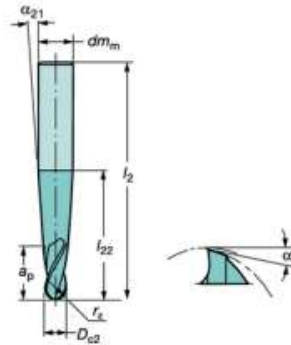
# Fresa cónica de punta esférica

Corte central

Diseño esférico



Ángulo de hélice: 40°



Versión métrica

D <sub>c2</sub>	Código de pedido	z <sub>0</sub> <sup>1)</sup>	Dimensiones, mm							Max. a <sub>p</sub>	Material												
			dm <sub>m</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>22</sub>	r <sub>c</sub>	α°	α <sub>21</sub>	P		M		K		N		S		H				
									3C		3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C	3C		
	Mango cilíndrico									1620	1630	1620	1630	1620	1630	1620	1630	1620	1630	1620	1630	1620	1630
4.0	R216.52-04040RAL10G	2	8.0	80	42.9	2.0	16°	3°	10.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
4.0	R216.53-04040RAL40G	3	8.0	80	39.6	2.0	16°	3°	40.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
6.0	R216.52-06040RAL12G	2	10.0	100	43.9	3.0	14°	3°	12.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
6.0	R216.54-06040RAL40G	4	10.0	100	40.6	3.0	14°	3°	40.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
8.0	R216.53-08040RAL15G	3	12.0	100	44.9	4.0	14°	3°	15.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
8.0	R216.54-08040RAL40G	4	12.0	100	40.6	4.0	14°	3°	40.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
10.0	R216.53-10040RAL18G	3	14.0	115	45.9	5.0	12°	3°	18.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
10.0	R216.54-10040RAL40G	4	14.0	115	42.6	5.0	12°	3°	40.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
12.0	R216.53-12040RAL20G	3	16.0	115	46.8	6.0	12°	3°	20.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
12.0	R216.54-12040RAL42G	4	16.0	115	43.5	6.0	12°	3°	42.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
16.0	R216.53-16040RAL22G	3	20.0	125	48.8	8.0	12°	3°	22.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
16.0	R216.54-16040RAL45G	4	20.0	125	46.0	8.0	12°	3°	45.0	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆

Fuente: (SANDVIK, 2012)

## ANEXO J: PROPIEDADES DE LAS HERRAMIENTAS EN MASTERCAM Planear

Editar herramienta

**Paso actual:**  
Definir geometría de herramienta  
Finalizar propiedades

### Finalizar propiedades misceláneas.

Ajuste cualquier propiedad miscelánea antes de finalizar la creación de herramientas.

<b>Operación</b>	
Nº de herramienta:	2
Compensación de longitud:	2
Compensación de diámetro:	2
Nº de cabezal:	-1
Velocidad de corte:	549.79579
Avance por diente:	0.08571
Cantidad de filos:	4
Velocidad de avance:	1200
Avance de penetración:	250
Velocidad de retracción:	5000
Velocidad del husillo:	3500
Dirección del husillo:	Sentido horario
Material:	

<b>General</b>	
Nombre:	Hta diametro 50 mm R 6
Descripción:	
Nombre del fabricante:	
Código de herramienta de fabricante:	
Calidad de herramienta:	

<b>Fresado</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Herramienta de desbaste	
<input checked="" type="checkbox"/> Herramienta de acabado	
Ancho de corte de desbaste XY (%):	0
Profundidad de corte de desbaste Z (%):	0
Ancho de corte de acabado XY (%):	0
Profundidad de corte de acabado Z (%):	0

Ayuda Cancelar Atrás Siguiente Terminar

## Contornear

Editar herramienta

**Paso actual:**  
Definir geometría de herramienta  
Finalizar propiedades

### Finalizar propiedades misceláneas.

Ajuste cualquier propiedad miscelánea antes de finalizar la creación de herramientas.

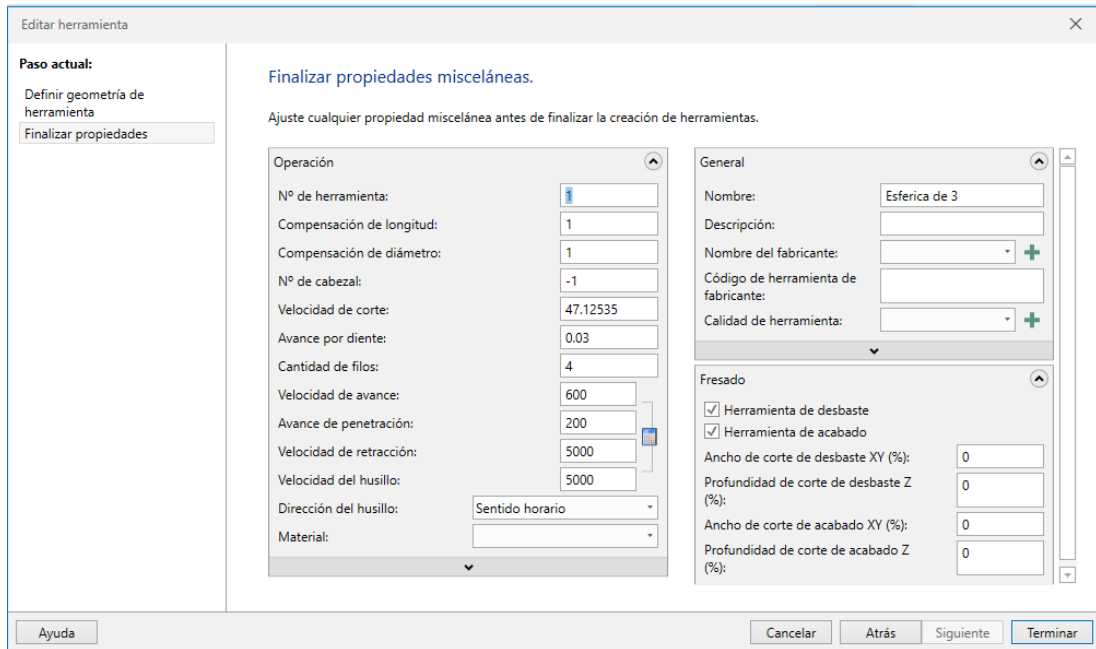
<b>Operación</b>	
Nº de herramienta:	3
Compensación de longitud:	3
Compensación de diámetro:	3
Nº de cabezal:	-1
Velocidad de corte:	274.8979
Avance por diente:	0.17143
Cantidad de filos:	2
Velocidad de avance:	1200
Avance de penetración:	200
Velocidad de retracción:	5000
Velocidad del husillo:	3500
Dirección del husillo:	Sentido horario
Material:	

<b>General</b>	
Nombre:	Hta de diametro 25 R0.8
Descripción:	
Nombre del fabricante:	
Código de herramienta de fabricante:	
Calidad de herramienta:	

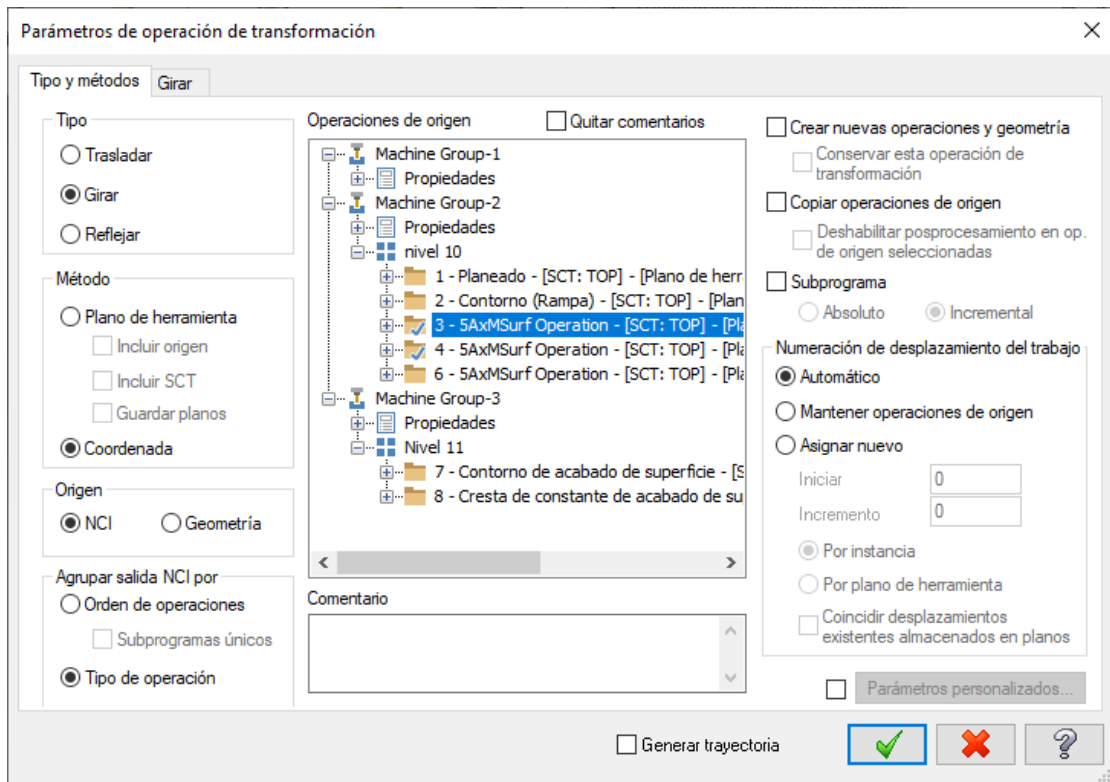
<b>Fresado</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Herramienta de desbaste	
<input checked="" type="checkbox"/> Herramienta de acabado	
Ancho de corte de desbaste XY (%):	0
Profundidad de corte de desbaste Z (%):	0
Ancho de corte de acabado XY (%):	0
Profundidad de corte de acabado Z (%):	0

Ayuda Cancelar Atrás Siguiente Terminar

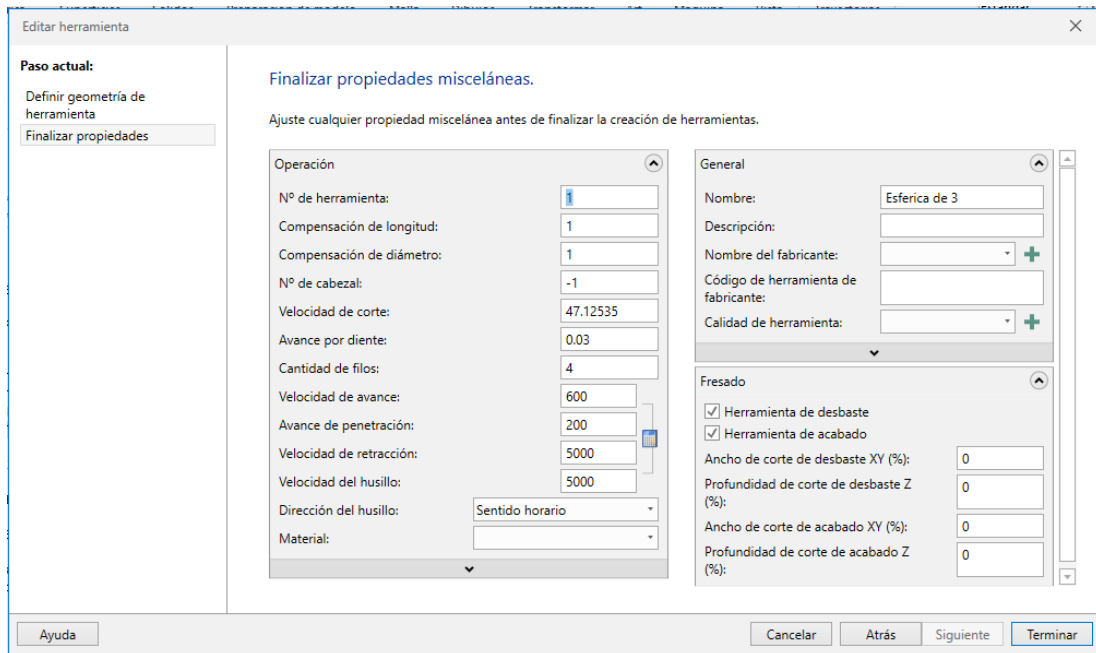
## Profundidad de la curva



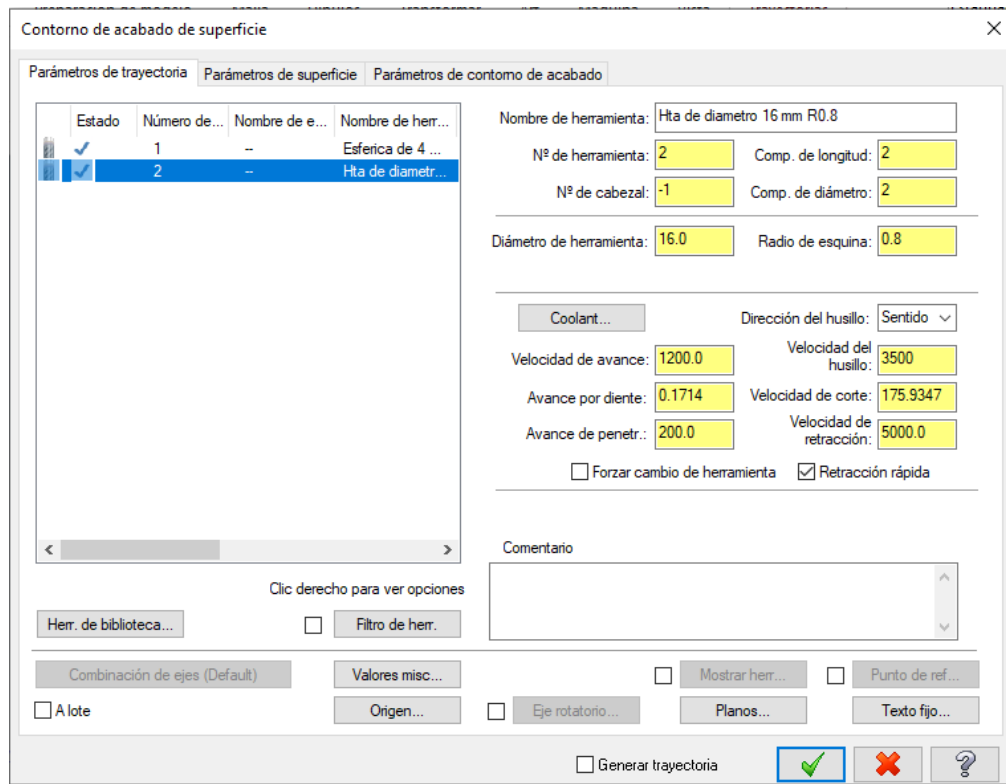
Parámetros de giro y copiado para la construcción del álabe.



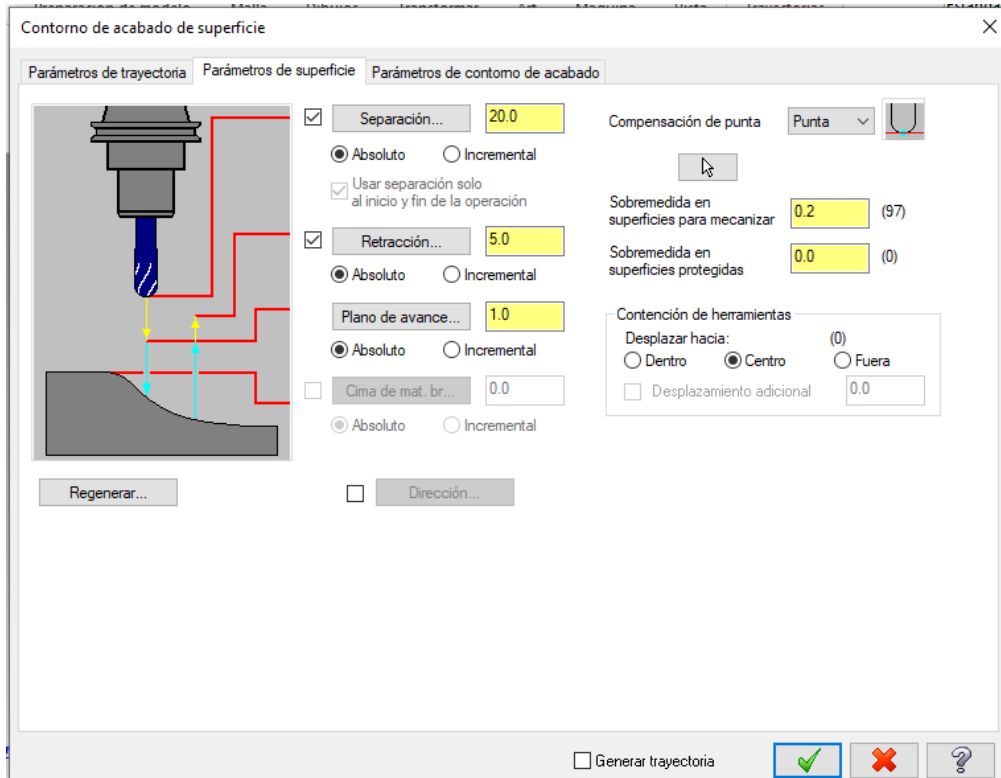
Acabado parte superior



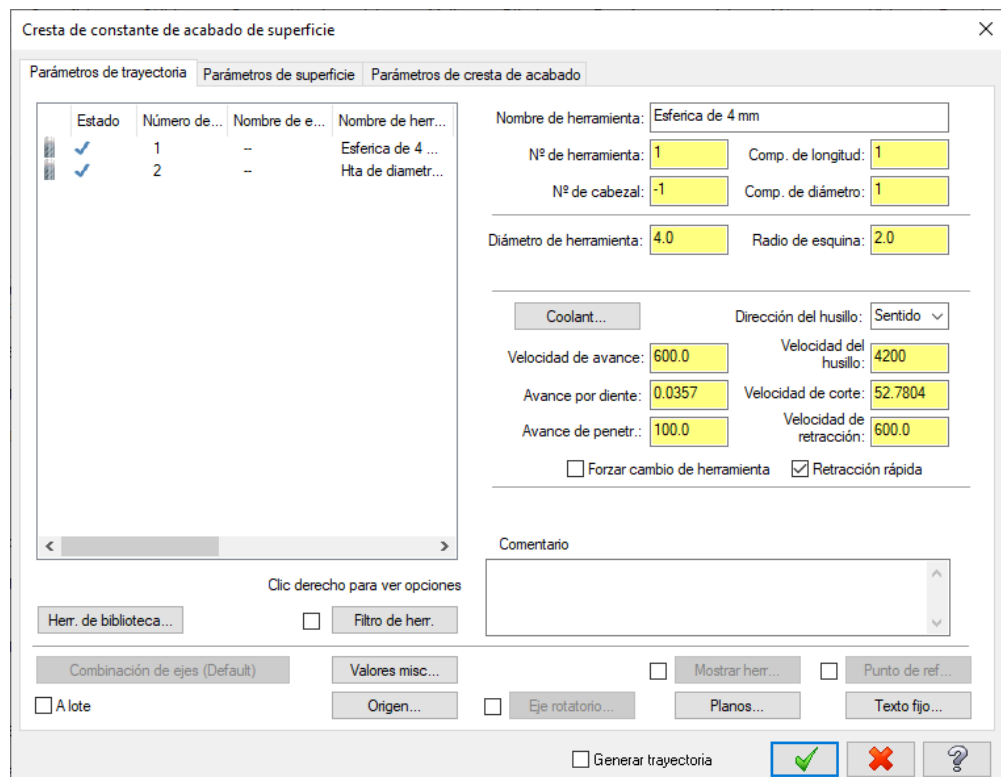
## Contorno parte inferior escalonada

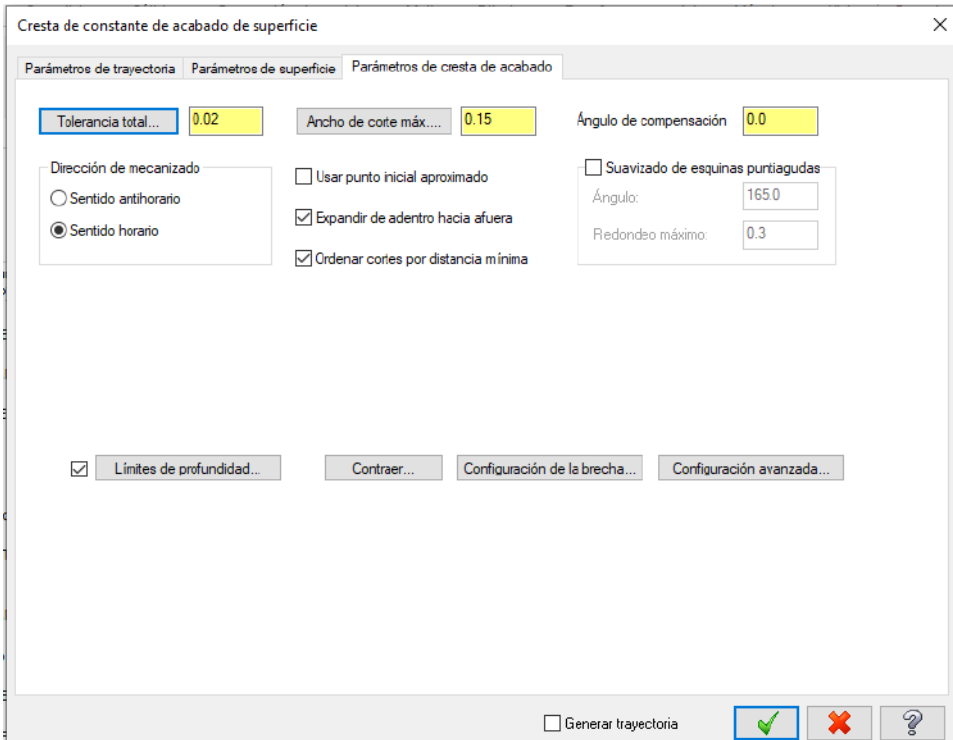
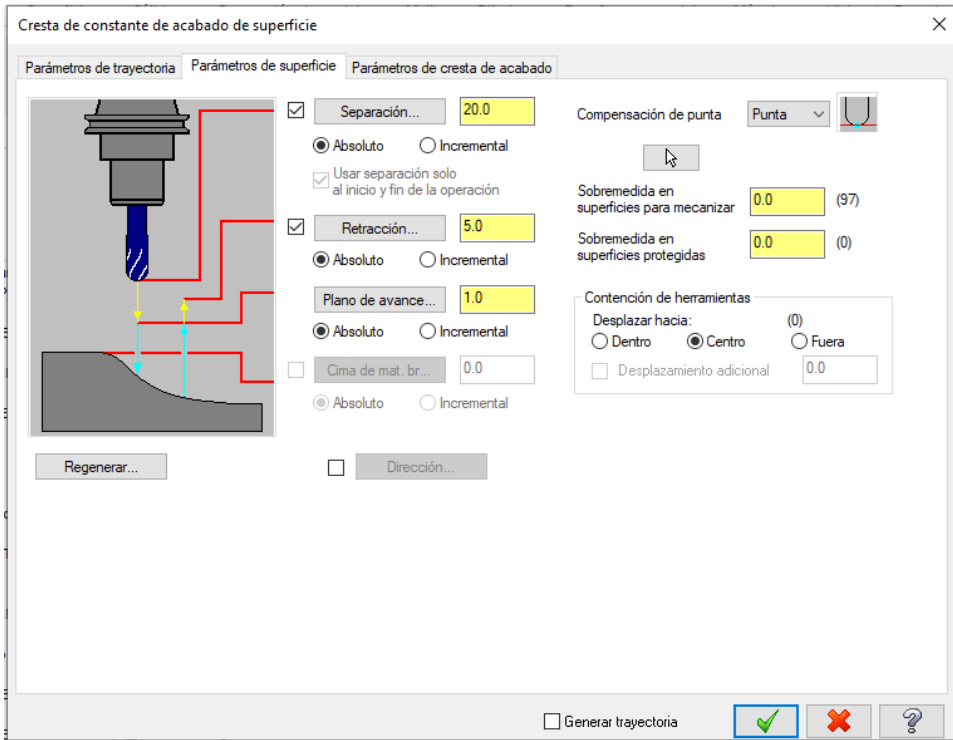






### Acabado superficial parte inferior





Contorno de acabado de superficie

Parámetros de trayectoria | Parámetros de superficie | Parámetros de contorno de acabado

Tolerancia total...: 0.02

Profundidad de corte máxima: 0.25

Detectar contrasalidas

Radio de redondeo de esquina: 2.0

Arco/Línea de entrada/salida

Radio de arco: 16.0

Barrido de arco: 90.0

Longitud de línea: 0.0

Permitir arco/línea fuera de límite

Usar punto inicial aproximado

Optimizar orden de corte

Minimizar enterramiento

Ordenar cortes de abajo hacia arriba

Límite de espiral: 0.0

Dirección de contornos cerrados

En concordancia  Convencional

Longitud inicial: 0.0

Dirección de contornos abiertos

Una dirección  Zigzag

Transición

Alta velocidad  Quebrado  Rampa  Seguir superficie

Longitud de bucle: 2.0

Longitud de rampa: 10.0

Hélice...  Loma...  Planos...

Prof. de corte... Config. de brecha... Config. avanzada...

Generar trayectoria

Fuente: Toaquiza, C.

## ANEXO K: CÓDIGO ISO G MECANIZADO IMPELLER SEMIABIERTO

```
|Tool MILL has tool number zero! Its info is not output into to_ini.ini file.
Tool MILL_1 has tool number zero! Its info is not output into to_ini.ini file.
Tool MILL_2 has tool number zero! Its info is not output into to_ini.ini file.
Tool MILL_3 has tool number zero! Its info is not output into to_ini.ini file.
N10 ;Start of Program
N20 ;
N30 ;PART NAME :C:\Users\julio\Dropbox\PC\Documents\TECNODISEÑOS\tesis RODETE\RODETE MECANIZADO.
N40 ;DATE TIME :Mon Jul 18 17:44:55 2022
N50 ;
N60 DEF REAL _camtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _A_HOME, _B_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G90 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: MILL_ROUGH
N140 ;TOOL NAME : MILL
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-5 Parameters
N160 ;TOOL DIAMETER : 8.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 75.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 0.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.080000
N210 ;Outtol : 0.080000
N220 ;Stock : 1.000000
N230 _camtolerance=.16
N240 _X_HOME=999999.9 _Y_HOME=999999.9 _Z_HOME=999999.9
N250 _A_HOME=0 _B_HOME=0
N260 ;
N270 ;Operation : CONTOUR_AREA
N280 ;
```

```
N290 TRAF00F
N300 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N310 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME B=_B_HOME D0
N320 ;First Tool
N330 T="MILL"
N340 M6
N350 MSG("MILL_ROUGH")
N360 TRAF00F
N370 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N380 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME B=_B_HOME D0
N390 ;Initial Move
N400 CYCLE832(_camtolerance,0,1)
N410 TRAORI
N420 G54
N430 ORIWKS
N440 ORIXES
N450 G0 A0.0 B0.0
N460 G0 X-40.26607 Y17.99833 Z27.1 S3979 D0 M3
N470 ;Approach Move
N480 Z11.1
N490 ;Engage Move
N500 G1 Z10.69998 F159.
N510 X-40.02179 Y18.18011 Z9.16925
N520 X-39.32616 Y18.69775 Z7.87156
N530 X-38.28508 Y19.47246 Z7.00448
N540 X-37.05705 Y20.38629 Z6.70001
N550 ;Cutting
N560 X-36.90578 Y20.49886
N570 X-36.75451 Y20.61142 Z8.78603
N580 X-36.25775 Y20.98108 Z9.04111
N590 X-35.76099 Y21.35074 Z9.14538
N600 X-34.79829 Y22.06713 Z9.2
N610 X-33.83559 Y22.78351
N620 X-31.91019 Y24.21628
```

N630 X-30.69793 Y25.11837  
N640 X-30.69385 Y25.12141 Z15.1897 N970 X-42.30673 Y-.79912  
N650 X-30.65465 Y25.15058 Z15.10312 N980 X-42.18584 Y-2.60722 Z6.7  
N660 X-30.55632 Y24.77281 Z15.10091 N990 X-42.10963 Y-2.55051 Z8.60061  
N670 X-30.07707 Y23.8426 Z15.1 N1000 X-41.97971 Y-2.45383 Z8.82543  
N680 X-29.41725 Y23.17456 Z15.10043 N1010 X-41.49836 Y-2.09564 Z9.161  
N690 X-28.06107 Y22.28633 Z15.1046 N1020 X-41.01701 Y-1.73745 Z9.2  
N700 X-28.07408 Y22.27664 Z15.193 N1030 X-40.05431 Y-1.02106  
N710 X-28.07815 Y22.27361 Z9.2 N1040 X-39.47779 Y-.59205  
N720 X-31.78014 Y19.51881 N1050 X-39.47372 Y-.58902 Z15.18657  
N730 X-33.46487 Y18.26514 N1060 X-39.45583 Y-.57571 Z15.10162  
N740 X-35.39027 Y16.83237 N1070 X-39.15702 Y-.74328 Z15.10049  
N750 X-37.31567 Y15.3996 N1080 X-38.16081 Y-1.09762 Z15.1  
N760 X-38.27837 Y14.68322 N1090 X-36.74519 Y-1.19249  
N770 X-39.24107 Y13.96683 Z9.1258 N1100 X-35.35784 Y-.87356  
N780 X-39.88888 Y13.48477 Z8.74799 N1110 X-34.10242 Y-.20249  
N790 X-40.00213 Y13.4005 Z6.70001 N1120 X-33.09754 Y.79912  
N800 X-40.11537 Y13.31623 N1130 X-32.13167 Y1.71877 Z15.10001  
N810 X-40.75526 Y11.43905 Z6.7 N1140 X-31.16579 Y2.63842 Z15.09996  
N820 X-41.04187 Y10.3886 N1150 X-29.18823 Y3.99561 Z15.1  
N830 X-41.39456 Y8.86531 N1160 X-27.9693 Y4.67139 Z15.09999  
N840 X-41.68747 Y7.35212 N1170 X-26.03588 Y5.59386  
N850 X-41.68453 Y7.35431 Z15.21822 N1180 X-24.77281 Y5.9841  
N860 X-41.71421 Y7.212 Z15.13678 N1190 X-23.82672 Y6.2603 Z15.21868  
N870 X-41.71511 Y7.19211 Z15.1 N1200 X-23.83992 Y6.25048 Z15.1  
N880 X-41.97489 Y5.59386 Z15.1002 N1210 X-23.84399 Y6.24745 Z8.98491  
N890 X-42.14797 Y3.99561 Z15.10109 N1220 X-24.28037 Y5.92272 Z9.02131  
N900 X-41.95395 Y2.44459 Z15.1 N1230 X-26.20577 Y4.48995 Z9.19531  
N910 X-41.93454 Y2.37402 N1240 X-28.13117 Y3.05718 Z9.2  
N920 X-42.05983 Y2.28079 Z8.77114 N1250 X-30.05658 Y1.62441  
N930 X-42.07747 Y2.26766 Z8.74598 N1260 X-30.65826 Y1.17667  
N940 X-42.16075 Y2.20569 Z6.70001 N1270 X-37.09633 Y-3.61415  
N950 X-42.24403 Y2.14372 N1280 X-37.75818 Y-4.10667  
N960 X-42.31297 Y.79912 Z6.70002 N1290 X-39.68358 Y-5.53944

N1300 X-40.61557 Y-6.23297  
N1310 X-41.08157 Y-6.57973 Z9.15209  
N1320 X-41.54756 Y-6.9265 Z8.75702  
N1330 X-41.60899 Y-6.97221 Z8.63659  
N1340 X-41.68966 Y-7.03224 Z6.70003  
N1350 ;Retract Move  
N1360 X-41.99729 Y-7.26116 Z5.18714  
N1370 X-42.74597 Y-7.81828 Z3.93616  
N1380 X-43.82171 Y-8.61879 Z3.13753  
N1390 X-45.06076 Y-9.54081 Z2.91284  
N1400 ;Departure Move  
N1410 G0 Z27.1  
N1420 X-42.48045 Y3.5377  
N1430 ;Approach Move  
N1440 Z19.23556  
N1450 ;Engage Move  
N1460 G1 X-42.42612 Y3.7982 Z17.69769  
N1470 X-42.25579 Y4.61499 Z16.37872  
N1480 X-41.99538 Y5.86373 Z15.47944  
N1490 X-41.68453 Y7.35431 Z15.13678  
N1500 ;Cutting  
N1510 X-41.38506 Y8.79035 Z15.10008  
N1520 X-41.07491 Y9.50246 Z15.1  
N1530 X-40.75526 Y10.02916 Z15.10039  
N1540 X-40.47755 Y10.3886 Z15.1021  
N1550 X-38.05878 Y12.51388  
N1560 X-35.4018 Y14.33598  
N1570 X-32.56485 Y15.86283  
N1580 X-29.56754 Y17.03903  
N1590 X-27.9693 Y17.60772 Z15.1015  
N1600 X-27.87752 Y17.62867 Z15.11558  
N1610 X-27.85674 Y17.64413 Z13.39314  
N1620 X-27.85267 Y17.64716 Z9.2  
N1630 X-22.2137 Y21.84335  
N1640 X-21.99981 Y22.00251 Z15.09992  
N1650 X-21.57632 Y22.00084  
N1660 X-19.97807 Y21.85288  
N1670 X-18.50585 Y21.57632 Z15.1  
N1680 X-16.74038 Y21.12202 Z15.09998  
N1690 X-16.90052 Y21.00285 Z9.2  
N1700 X-17.32021 Y20.69055  
N1710 X-19.24561 Y19.25778  
N1720 X-19.75798 Y18.87651  
N1730 X-19.76205 Y18.87347 Z13.53241  
N1740 X-19.82559 Y18.82619 Z15.25624  
N1750 X-19.88912 Y18.77891 Z15.38814  
N1760 X-20.0162 Y18.68435 Z15.5699  
N1770 X-20.27034 Y18.49523 Z15.8116  
N1780 X-20.40878 Y18.39222 Z15.9086  
N1790 X-19.97807 Y18.13985 Z16.0131  
N1800 X-18.37982 Y17.16003 Z16.08543  
N1810 X-18.15683 Y17.01618 Z16.08076  
N1820 X-17.31125 Y15.90297 Z16.09102  
N1830 X-16.94949 Y16.17217 Z16.02969  
N1840 X-15.02409 Y17.60494 Z15.59108  
N1850 X-14.47426 Y18.01409 Z15.32075  
N1860 X-14.19935 Y18.21866 Z15.07995  
N1870 X-14.06189 Y18.32095 Z14.88  
N1880 X-13.99317 Y18.37209 Z14.73353  
N1890 X-13.92444 Y18.42323 Z14.43928  
N1900 X-13.92283 Y18.42443 Z14.35939  
N1910 X-13.92036 Y18.42627 Z8.74233  
N1920 X-13.09868 Y19.03771 Z8.74558  
N1930 X-12.71674 Y19.32193 Z8.74849  
N1940 X-12.71267 Y19.32496 Z15.18727  
N1950 X-12.69693 Y19.33667 Z15.30805  
N1960 ;Retract Move  
N1970 X-12.74115 Y19.30377 Z16.8678

N1980	X-13.26086	Y18.91703	Z18.28772	N2320	X-5.59386	Y41.97584	
N1990	X-14.17694	Y18.23534	Z19.35165	N2330	X-3.99561	Y42.14284	Z6.70001
N2000	X-15.34992	Y17.36247	Z19.89762	N2340	X-2.39737	Y42.26459	Z6.7
N2010	G0 X-29.64147	Y21.25772	Z19.08044	N2350	X-1.15323	Y42.30954	
N2020	;Engage Move						
N2030	G1 X-29.72034	Y21.56076	Z17.55145	N2360	X-1.15479	Y42.30838	Z15.18276
N2040	X-29.94058	Y22.40698	Z16.25868	N2370	X-.79912	Y42.32123	Z15.1001
N2050	X-30.26866	Y23.66756	Z15.39894	N2380	X.79912	Y42.3384	Z15.1007
N2060	X-30.65465	Y25.15058	Z15.10312	N2390	X2.39737	Y42.04219	Z15.10235
N2070	;Cutting						
N2080	X-30.97229	Y26.37105	Z15.11025	N2400	X3.24124	Y41.6443	Z15.10151
N2090	X-30.86115	Y27.9693	Z15.10019	N2410	X3.83946	Y41.23056	Z15.10059
N2100	X-30.52649	Y28.93089	Z15.10059	N2420	X3.95919	Y41.31966	Z9.17795
N2110	X-30.17015	Y29.56754	Z15.10008	N2430	X4.34082	Y41.60364	Z9.05385
N2120	X-29.88719	Y29.95698	Z15.10032	N2440	X4.72244	Y41.88762	Z8.75447
N2130	X-29.56754	Y30.31476	Z15.1	N2450	X4.81949	Y41.95984	Z6.70002
N2140	X-26.8195	Y32.76404	Z15.10007	N2460	X4.91654	Y42.03206	
N2150	X-26.37105	Y33.12555	Z15.10031	N2470	X5.59386	Y41.97584	Z6.70003
N2160	X-25.64201	Y33.64462	Z15.1	N2480	X10.09139	Y41.08863	Z6.70001
N2170	X-24.77281	Y33.87877	Z15.10149	N2490	X10.00477	Y41.02418	Z8.59725
N2180	X-23.17456	Y34.04233	Z15.10121	N2500	X9.91816	Y40.95972	Z8.74629
N2190	X-19.97807	Y33.92373	Z15.10054	N2510	X9.63541	Y40.74932	Z9.01739
N2200	X-19.00319	Y33.82091	Z15.10066	N2520	X9.15406	Y40.39113	Z9.1914
N2210	X-18.95548	Y33.85641	Z15.1791	N2530	X8.67271	Y40.03294	Z9.2
N2220	X-18.95141	Y33.85944	Z9.2	N2540	X7.71001	Y39.31655	
N2230	X-18.43238	Y34.24567		N2550	X6.87252	Y38.69334	
N2240	X-16.50697	Y35.67844		N2560	X6.75426	Y38.60534	Z15.10035
N2250	X-14.58157	Y37.11121		N2570	X7.19211	Y38.17687	Z15.10056
N2260	X-12.65617	Y38.54398		N2580	X9.26577	Y35.68001	Z15.10043
N2270	X-10.73077	Y39.97675	Z9.19912	N2590	X9.38212	Y35.76659	Z9.2
N2280	X-9.97861	Y40.53646	Z9.10079	N2600	X9.73313	Y36.02779	
N2290	X-9.22645	Y41.09617	Z8.748	N2610	X10.00614	Y36.23095	
N2300	X-9.07735	Y41.20713	Z8.60069	N2620	X11.93154	Y37.66372	
N2310	X-8.92824	Y41.31808	Z6.70002	N2630	X13.85694	Y39.09649	Z9.1786
				N2640	X14.16363	Y39.32471	Z9.05388
				N2650	X14.47032	Y39.55293	Z8.75001



N2660	X14.54822	Y39.61089	Z6.70001	
N2670	X14.62611	Y39.66886		
N2680	X16.12765	Y39.15702		
N2690	X16.78158	Y38.85271	Z6.7	
N2700	X18.70036	Y37.90643		
N2710	X18.62827	Y37.85278		
N2720	X18.55618	Y37.79914	Z8.7454	
N2730	X18.07846	Y37.44365	Z9.15137	
N2740	X17.11576	Y36.72727	Z9.2	
N2750	X16.15306	Y36.01088		
N2760	X14.22766	Y34.57811		
N2770	X14.16749	Y34.53334		
N2780	X11.53273	Y32.5727		
N2790	X11.44758	Y32.50934	Z9.20241	
N2800	X11.40379	Y32.47675	Z15.10412	
N2810	X12.19716	Y31.16579	Z15.10745	
N2820	X12.91951	Y29.56754	Z15.10257	
N2830	X13.16245	Y28.9912	Z15.10068	
N2840	X13.20262	Y29.02109	Z9.20043	
N2850	X13.29462	Y29.08955	Z9.2	
N2860	X17.212	Y32.00464		
N2870	X17.21302	Y32.0054	Z10.675	
N2880	X17.21608	Y32.00767	Z15.16076	
N2890	X17.32404	Y32.088	Z15.10636	
N2900	X16.9838	Y31.16579	Z15.11052	
N2910	X16.94821	Y29.56754	Z15.10799	
N2920	X17.45177	Y27.38881	Z15.10254	
N2930	X17.32179	Y27.29209	Z9.2	
N2940	X15.93181	Y26.25775		
N2950	X14.96911	Y25.54136		
N2960	X14.55853	Y25.23584		
N2970	X14.53817	Y25.22069	Z15.21184	
N2980	;Retract Move			
N2990	X14.77707	Y25.39846	Z16.74389	
N3000	X15.46813	Y25.91271	Z18.04536	
N3010	X16.50615	Y26.68514	Z18.91813	
N3020	X17.7331	Y27.59817	Z19.2293	
N3030	G0	X15.94539	Y28.35119	Z19.12327
N3040	;Engage Move			
N3050	G1	X16.04854	Y28.63077	Z17.59126
N3060	X16.34676	Y29.43909	Z16.2899	
N3070	X16.79465	Y30.65311	Z15.41732	
N3080	X17.32404	Y32.088	Z15.10636	
N3090	;Cutting			
N3100	X17.57345	Y32.76404	Z15.1033	
N3110	X18.37982	Y33.80926	Z15.10154	
N3120	X19.04366	Y34.36228	Z15.10121	
N3130	X19.97807	Y34.87214	Z15.10262	
N3140	X21.56905	Y35.2469	Z15.10218	
N3150	X21.77612	Y35.40099	Z9.16819	
N3160	X22.27859	Y35.77489	Z8.74682	
N3170	X22.29999	Y35.79081	Z8.70648	
N3180	X22.35776	Y35.8338	Z6.70001	
N3190	X22.41553	Y35.87679		
N3200	X24.751	Y34.36228	Z6.7	
N3210	X25.7701	Y33.57882		
N3220	X25.76926	Y33.5782	Z15.10003	
N3230	X26.37105	Y33.11571	Z15.10006	
N3240	X27.9693	Y31.79216	Z15.10034	
N3250	X28.53058	Y31.16579	Z15.10097	
N3260	X28.68495	Y30.95363	Z15.10103	
N3270	X28.73606	Y30.99167	Z6.7	
N3280	X28.78717	Y31.0297		
N3290	X29.56754	Y30.30116		
N3300	X30.29023	Y29.56754	Z6.70001	
N3310	X31.46489	Y28.22806		
N3320	X31.4327	Y28.2041	Z8.48481	
N3330	X31.33612	Y28.13223	Z8.74477	
N3340	X31.11376	Y27.96677	Z9.02693	
N3350	X30.50249	Y27.5119	Z9.2	

N3360	X29.89123	Y27.05703			N3710	X37.86341	Y18.60672	Z6.7
N3370	X29.75027	Y26.95214	Z15.11036		N3720	X37.92866	Y18.65528	
N3380	X30.03892	Y24.77281	Z15.10103		N3730	;Retract Move		
N3390	X30.03986	Y22.37339	Z15.10011		N3740	X39.1567	Y19.56911	Z7.00449
N3400	X30.19829	Y22.49128	Z9.2		N3750	X40.19777	Y20.34382	Z7.87158
N3410	X31.48449	Y23.4484			N3760	X40.89339	Y20.86146	Z9.16927
N3420	X32.44719	Y24.16478			N3770	X41.13767	Y21.04323	Z10.7
N3430	X33.40989	Y24.88116	Z9.1431		N3780	;Departure Move		
N3440	X33.79139	Y25.16506	Z8.78995		N3790	G0 Z27.1		
N3450	X33.91975	Y25.26058	Z6.7		N3800	X-22.9816	Y34.24052	
N3460	X34.28272	Y24.77281			N3810	;Approach Move		
N3470	X36.0837	Y22.07661	Z6.70001		N3820	Z19.10018		
N3480	X36.01943	Y22.02879			N3830	;Engage Move		
N3490	X35.95517	Y21.98097	Z8.74632		N3840	G1 X-22.67861	Y34.20856	Z17.56948
N3500	X35.70601	Y21.79556	Z9.04962		N3850	X-21.81615	Y34.1176	Z16.27189
N3510	X35.22466	Y21.43737	Z9.2		N3860	X-20.52551	Y33.98147	Z15.40496
N3520	X33.78061	Y20.36279			N3870	X-19.00319	Y33.82091	Z15.10066
N3530	X32.03571	Y19.06434			N3880	;Cutting		
N3540	X29.74304	Y17.35827			N3890	X-18.37982	Y33.75516	Z15.10073
N3550	X29.62322	Y17.26911	Z9.20008		N3900	X-15.18333	Y33.16517	Z15.10109
N3560	X29.56032	Y17.2223	Z15.13556		N3910	X-13.92272	Y32.80725	Z15.10099
N3570	X29.49277	Y16.78158	Z15.10071		N3920	X-13.90531	Y32.8202	Z14.04366
N3580	X29.16105	Y15.18333	Z15.10169		N3930	X-13.90123	Y32.82324	Z9.2
N3590	X28.17489	Y11.98684	Z15.10065		N3940	X-9.51768	Y36.08521	
N3600	X27.9693	Y11.38009	Z15.1		N3950	X-8.43465	Y36.89114	
N3610	X27.88867	Y11.18411			N3960	X-7.67068	Y37.45964	
N3620	X28.13358	Y11.36636	Z9.2		N3970	X-7.66661	Y37.46267	Z15.18322
N3630	X28.37513	Y11.54611			N3980	X-7.50219	Y35.96053	Z15.10221
N3640	X28.4353	Y11.59088			N3990	X-7.19211	Y35.1135	Z15.10079
N3650	X33.85049	Y15.62055			N4000	X-6.75146	Y34.36228	Z15.10189
N3660	X34.15133	Y15.84442			N4010	X-6.17343	Y33.77956	Z15.10154
N3670	X36.07673	Y17.27719			N4020	X-6.22608	Y33.74038	Z15.18873
N3680	X36.93745	Y17.91768			N4030	X-6.22935	Y33.73795	Z12.15
N3690	X37.3678	Y18.23792	Z9.15055		N4040	X-6.23015	Y33.73735	Z9.2
N3700	X37.79816	Y18.55817	Z8.7454		N4050	X-9.58597	Y31.24015	

```
N165690 ;Approach Move
N165700 Z17.93
N165710 ;Engage Move
N165720 G1 Z8.2
N165730 X25.51273 Y28.37038
N165740 ;Cutting
N165750 X25.88269 Y26.33124
N165760 X26.08081 Y24.26777
N165770 X26.1206 Y22.1952
N165780 X26.00182 Y20.12565
N165790 X25.71039 Y18.07381
N165800 X25.27904 Y16.05288 Z8.19701
N165810 X24.69669 Y14.0762 Z8.07442
N165820 X23.96884 Y12.15691 Z7.86532
N165830 X23.10271 Y10.30799 Z7.59021
N165840 X22.10708 Y8.54152 Z7.24503
N165850 X20.99253 Y6.86901 Z6.82774
N165860 X19.7707 Y5.30007 Z6.33698
N165870 X18.45402 Y3.8425 Z5.77102
N165880 X17.05644 Y2.50318 Z5.13018
N165890 X15.5931 Y1.28745 Z4.41595
N165900 ;Retract Move
N165910 X14.15289 Y.09094 Z3.713
N165920 Z16.73
N165930 ;Departure Move
N165940 G0 Z19.13
N165950 ;End of Path
N165960 TRAF00F
N165970 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N165980 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME A=_A_HOME B=_B_HOME D0
N165990 CYCLE832()
N166000 M5
N166010 ;End of Program
N166020 M30
```

Fecha 19-Jul-2022 16:25:54  
pieza de trabajo actual C:\Users\  
Nombre del nodo workstation

N10 G40 G18 G710 G90	N320 G00 Z3.4
N20 (TORNEADO RODETE IMPULSOR)	N330 X65.262
N30	N340 G01 Z3. F.1
N40 T0101	N350 Z-6.2
N50	N360 X67.21
N60 G54	N370 X67.775 Z-5.917 F.7
N70 G96 S100 M03	N380 G00 Z3.4
N80 G00 X200. Z20. D01	N390 X63.314
N90 X73.052 Z3.4	N400 G01 Z3. F.1
N100 G01 Z3. F.1	N410 Z-6.2
N110 Z-6.2	N420 X65.262
N120 X75.	N430 X65.828 Z-5.917 F.7
N130 X75.566 Z-5.917 F.7	N440 G00 Z3.4
N140 G00 Z3.4	N450 X61.367
N150 X71.105	N460 G01 Z3. F.1
N160 G01 Z3. F.1	N470 Z-6.165
N170 Z-6.2	N480 G02 X62.134 Z-6.2 I3.702 K38.618
N180 X73.052	N490 G01 X63.314
N190 X73.618 Z-5.917 F.7	N500 X63.88 Z-5.917 F.7
N200 G00 Z3.4	N510 G00 Z3.4
N210 X69.157	N520 X59.419
N220 G01 Z3. F.1	N530 G01 Z3. F.1
N230 Z-6.2	N540 Z-6.059
N240 X71.105	N550 G02 X61.367 Z-6.165 I4.676 K38.513
N250 X71.67 Z-5.917 F.7	N560 G01 X61.932 Z-5.882 F.7
N260 G00 Z3.4	N570 G00 Z3.4
N270 X67.21	N580 X57.471
N280 G01 Z3. F.1	N590 G01 Z3. F.1
N290 Z-6.2	N600 Z-5.929
N300 X69.157	N610 G02 X59.419 Z-6.059 I5.65 K38.382
N310 X69.723 Z-5.917 F.7	N620 G01 X59.985 Z-5.777 F.7
	N630 G00 Z3.4
	N640 X55.524
	N650 G01 Z3. F.1
	N660 Z-5.773

---

N670 G02 X57.471 Z-5.929 I6.624 K38.226  
N680 G01 X58.037 Z-5.646 F.7  
N690 G00 Z3.4  
N700 X53.576  
N710 G01 Z3. F.1  
N720 Z-5.591  
N730 G02 X55.524 Z-5.773 I7.598 K38.044  
N740 G01 X56.089 Z-5.49 F.7  
N750 G00 Z3.4  
N760 X51.629  
N770 G01 Z3. F.1  
N780 Z-5.383  
N790 G02 X53.576 Z-5.591 I8.571 K37.837  
N800 G01 X54.142 Z-5.308 F.7  
N810 G00 Z3.4  
N820 X49.681  
N830 G01 Z3. F.1  
N840 Z-5.15  
N850 G02 X51.629 Z-5.383 I9.545 K37.603  
N860 G01 X52.194 Z-5.101 F.7  
N870 G00 Z3.4  
N880 X47.733  
N890 G01 Z3. F.1  
N900 Z-4.889  
N910 G02 X49.681 Z-5.15 I10.519 K37.342  
N920 G01 X50.247 Z-4.867 F.7  
N930 G00 Z3.4  
N940 X45.786  
N950 G01 Z3. F.1  
N960 Z-4.601  
N970 G02 X47.733 Z-4.889 I11.493 K37.054  
N980 G01 X48.299 Z-4.606 F.7  
N990 G00 Z3.4  
N1000 X43.838  
N1010 G01 Z3. F.1

---

N1020 Z-4.285  
N1030 G02 X45.786 Z-4.601 I12.467 K36.738  
N1040 G01 X46.351 Z-4.318 F.7  
N1050 G00 Z3.4  
N1060 X41.89  
N1070 G01 Z3. F.1  
N1080 Z-3.94  
N1090 G02 X43.838 Z-4.285 I13.44 K36.393  
N1100 G01 X44.404 Z-4.002 F.7  
N1110 G00 Z3.4  
N1120 X39.943  
N1130 G01 Z3. F.1  
N1140 Z-3.565  
N1150 G02 X41.89 Z-3.94 I14.414 K36.018  
N1160 G01 X42.456 Z-3.657 F.7  
N1170 G00 Z3.4  
N1180 X37.995  
N1190 G01 Z3. F.1  
N1200 Z-3.16  
N1210 G02 X39.943 Z-3.565 I15.388 K35.613  
N1220 G01 X40.509 Z-3.282 F.7  
N1230 G00 Z3.4  
N1240 X36.048  
N1250 G01 Z3. F.1  
N1260 Z-2.723  
N1270 G02 X37.995 Z-3.16 I16.362 K35.176  
N1280 G01 X38.561 Z-2.877 F.7  
N1290 G00 Z.283  
N1300 X34.666  
N1310 G01 X34.1 Z0.0 F.1  
N1320 Z-2.254  
N1330 G02 X36.048 Z-2.723 I17.336 K34.707  
N1340 G01 X36.613 Z-2.44 F.7  
N1350 G00 X200. Z20.  
N1360 ;Operation : FINISH TURN OD

---

N1370 DIAMON  
N1380 G96 S100 M03  
N1390 X29.8 Z.8  
N1400 G02 X31.4 Z0.0 I.8 K0.0 F.15  
N1410 G03 X32.7 Z-.65 I0.0 K-.65  
N1420 G01 Z-2.754  
N1430 G02 X60.734 Z-6.7 I17.336 K34.707  
N1440 G01 X73.4  
N1450 G03 X74.7 Z-7.35 I0.0 K-.65  
N1460 G01 Z-8.2  
N1470 X75.  
N1480 G02 X76.6 Z-7.4 I0.0 K.8  
N1490 G00 X200. Z20.  
N1500 ;Operation : CENTERLINE\_BREAKCHIP  
N1510 DIAMON  
N1520 T0  
N1530 M06  
N1540 G95 S0 M04  
N1550 X4.567 Z20.719  
N1560 X0.0 Z3.  
N1570 G01 Z-.3 F.7  
N1580 Z.7  
N1590 Z-.3  
N1600 Z-.6  
N1610 Z.4  
N1620 Z-.6  
N1630 Z-.9  
N1640 Z.1  
N1650 Z-.9  
N1660 Z-1.2  
N1670 Z-.2  
N1680 Z-1.2  
N1690 Z-1.5  
N1700 Z-.5  
N1710 Z-1.5  
N1720 Z-1.8

---

N1730 Z-.8	N2080 Z-5.4	N2430 Z-8.7	N2780 Z-11.3
N1740 Z-1.8	N2090 Z-4.4	N2440 Z-9.	N2790 Z-12.3
N1750 Z-2.1	N2100 Z-5.4	N2450 Z-8.	N2800 Z-12.6
N1760 Z-1.1	N2110 Z-5.7	N2460 Z-9.	N2810 Z-11.6
N1770 Z-2.1	N2120 Z-4.7	N2470 Z-9.3	N2820 Z-12.6
N1780 Z-2.4	N2130 Z-5.7	N2480 Z-8.3	N2830 Z-12.9
N1790 Z-1.4	N2140 Z-6.	N2490 Z-9.3	N2840 Z-11.9
N1800 Z-2.4	N2150 Z-5.	N2500 Z-9.6	N2850 Z-12.9
N1810 Z-2.7	N2160 Z-6.	N2510 Z-8.6	N2860 Z-13.2
N1820 Z-1.7	N2170 Z-6.3	N2520 Z-9.6	N2870 Z-12.2
N1830 Z-2.7	N2180 Z-5.3	N2530 Z-9.9	N2880 Z-13.2
N1840 Z-3.	N2190 Z-6.3	N2540 Z-8.9	N2890 Z-13.5
N1850 Z-2.	N2200 Z-6.6	N2550 Z-9.9	N2900 Z-12.5
N1860 Z-3.	N2210 Z-5.6	N2560 Z-10.2	N2910 Z-13.5
N1870 Z-3.3	N2220 Z-6.6	N2570 Z-9.2	N2920 Z-13.8
N1880 Z-2.3	N2230 Z-6.9	N2580 Z-10.2	N2930 Z-12.8
N1890 Z-3.3	N2240 Z-5.9	N2590 Z-10.5	N2940 Z-13.8
N1900 Z-3.6	N2250 Z-6.9	N2600 Z-9.5	N2950 Z-14.1
N1910 Z-2.6	N2260 Z-7.2	N2610 Z-10.5	N2960 Z-13.1
N1920 Z-3.6	N2270 Z-6.2	N2620 Z-10.8	N2970 Z-14.1
N1930 Z-3.9	N2280 Z-7.2	N2630 Z-9.8	N2980 Z-14.4
N1940 Z-2.9	N2290 Z-7.5	N2640 Z-10.8	N2990 Z-13.4
N1950 Z-3.9	N2300 Z-6.5	N2650 Z-11.1	N3000 Z-14.4
N1960 Z-4.2	N2310 Z-7.5	N2660 Z-10.1	N3010 Z-14.7
N1970 Z-3.2	N2320 Z-7.8	N2670 Z-11.1	N3020 Z-13.7
N1980 Z-4.2	N2330 Z-6.8	N2680 Z-11.4	N3030 Z-14.7
N1990 Z-4.5	N2340 Z-7.8	N2690 Z-10.4	N3040 Z-15.
N2000 Z-3.5	N2350 Z-8.1	N2700 Z-11.4	N3050 Z-14.
N2010 Z-4.5	N2360 Z-7.1	N2710 Z-11.7	N3060 Z-15.
N2020 Z-4.8	N2370 Z-8.1	N2720 Z-10.7	N3070 Z-15.3
N2030 Z-3.8	N2380 Z-8.4	N2730 Z-11.7	N3080 Z-14.3
N2040 Z-4.8	N2390 Z-7.4	N2740 Z-12.	N3090 Z-15.3
N2050 Z-5.1	N2400 Z-8.4	N2750 Z-11.	N3100 Z-15.6
N2060 Z-4.1	N2410 Z-8.7	N2760 Z-12.	N3110 Z-14.6
N2070 Z-5.1	N2420 Z-7.7	N2770 Z-12.3	N3120 Z-15.6

---








N3030	Z-14.7	N3380	Z-17.3	N3730	Z-21.9	N4080	G00 X4.567
N3040	Z-15.	N3390	Z-18.3	N3740	Z-20.9	N4090	Z20.719
N3050	Z-14.	N3400	Z-18.6	N3750	Z-21.9	N4100	;Operation : ROUGH_BORE_ID
N3060	Z-15.	N3410	Z-17.6	N3760	Z-22.2	N4110	DIAMON
N3070	Z-15.3	N3420	Z-18.6	N3770	Z-21.2	N4120	T0
N3080	Z-14.3	N3430	Z-18.9	N3780	Z-22.2	N4130	M06
N3090	Z-15.3	N3440	Z-17.9	N3790	Z-22.5	N4140	G96 S0 M03
N3100	Z-15.6	N3450	Z-18.9	N3800	Z-21.5	N4150	X4.567 Z20.719
N3110	Z-14.6	N3460	Z-19.2	N3810	Z-22.5	N4160	X15.804 Z3.4
N3120	Z-15.6	N3470	Z-18.2	N3820	Z-22.8	N4170	G01 Z3. F.1
N3130	Z-15.9	N3480	Z-19.2	N3830	Z-21.8	N4180	Z-20.8
N3140	Z-14.9	N3490	Z-19.5	N3840	Z-22.8	N4190	Z-21.2 F.15
N3150	Z-15.9	N3500	Z-18.5	N3850	Z-23.1	N4200	G00 X13.804
N3160	Z-16.2	N3510	Z-19.5	N3860	Z-22.1	N4210	Z3.4
N3170	Z-15.2	N3520	Z-19.8	N3870	Z-23.1	N4220	X16.608
N3180	Z-16.2	N3530	Z-18.8	N3880	Z-23.4	N4230	G01 Z3. F.1
N3190	Z-16.5	N3540	Z-19.8	N3890	Z-22.4	N4240	Z-20.8
N3200	Z-15.5	N3550	Z-20.1	N3900	Z-23.4	N4250	Z-21.2 F.15
N3210	Z-16.5	N3560	Z-19.1	N3910	Z-23.7	N4260	G00 X14.608
N3220	Z-16.8	N3570	Z-20.1	N3920	Z-22.7	N4270	Z3.4
N3230	Z-15.8	N3580	Z-20.4	N3930	Z-23.7	N4280	X17.412
N3240	Z-16.8	N3590	Z-19.4	N3940	Z-24.	N4290	G01 Z3. F.1
N3250	Z-17.1	N3600	Z-20.4	N3950	Z-23.	N4300	Z-20.8
N3260	Z-16.1	N3610	Z-20.7	N3960	Z-24.	N4310	Z-21.2 F.15
N3270	Z-17.1	N3620	Z-19.7	N3970	Z-24.3	N4320	G00 X15.412
N3280	Z-17.4	N3630	Z-20.7	N3980	Z-23.3	N4330	Z3.4
N3290	Z-16.4	N3640	Z-21.	N3990	Z-24.3	N4340	X18.345
N3300	Z-17.4	N3650	Z-20.	N4000	Z-24.6	N4350	G01 Z3. F.1
N3310	Z-17.7	N3660	Z-21.	N4010	Z-23.6	N4360	Z-1.2
N3320	Z-16.7	N3670	Z-21.3	N4020	Z-24.6	N4370	X17.412
N3330	Z-17.7	N3680	Z-20.3	N4030	Z-24.9	N4380	X16.847 Z-.917 F.15
N3340	Z-18.	N3690	Z-21.3	N4040	Z-23.9	N4390	G00 X16.345
N3350	Z-17.	N3700	Z-21.6	N4050	Z-24.9	N4400	Z3.4
N3360	Z-18.	N3710	Z-20.6	N4060	Z-25.	N4410	X19.277
N3370	Z-18.3	N3720	Z-21.6	N4070	Z3.	N4420	G01 Z3. F.1






---





N4430 Z-1.2	N4780 Z-1.2
N4440 X18.345	N4790 X23.006
N4450 X17.779 Z-.917 F.15	N4800 X22.441 Z-.917 F.15
N4460 G00 X17.277	N4810 G00 X21.939
N4470 Z3.4	N4820 Z3.4
N4480 X20.209	N4830 X24.871
N4490 G01 Z3. F.1	N4840 G01 Z3. F.1
N4500 Z-1.2	N4850 Z-1.2
N4510 X19.277	N4860 X23.939
N4520 X18.711 Z-.917 F.15	N4870 X23.373 Z-.917 F.15
N4530 G00 X18.209	N4880 G00 X22.871
N4540 Z3.4	N4890 Z3.4
N4550 X21.142	N4900 X25.803
N4560 G01 Z3. F.1	N4910 G01 Z3. F.1
N4570 Z-1.2	N4920 Z-1.2
N4580 X20.209	N4930 X24.871
N4590 X19.644 Z-.917 F.15	N4940 X24.305 Z-.917 F.15
N4600 G00 X19.142	N4950 G00 X23.803
N4610 Z3.4	N4960 Z3.4
N4620 X22.074	N4970 X26.735
N4630 G01 Z3. F.1	N4980 G01 Z3. F.1
N4640 Z-1.2	N4990 Z-1.2
N4650 X21.142	N5000 X25.803
N4660 X20.576 Z-.917 F.15	N5010 X25.237 Z-.917 F.15
N4670 G00 X20.074	N5020 G00 X24.735
N4680 Z3.4	N5030 Z3.4
N4690 X23.006	N5040 X27.668
N4700 G01 Z3. F.1	N5050 G01 Z3. F.1
N4710 Z-1.2	N5060 Z-1.2
N4720 X22.074	N5070 X26.735
N4730 X21.508 Z-.917 F.15	N5080 X26.17 Z-.917 F.15
N4740 G00 X21.006	N5090 G00 X25.668
N4750 Z3.4	N5100 Z3.4
N4760 X23.939	N5110 X28.6
N4770 G01 Z3. F.1	N5120 G01 Z3. F.1





N5130 Z-1.2  
N5140 X27.668  
N5150 X27.102 Z-.917 F.15  
N5160 G00 X15.412  
N5170 Z-13.755  
N5180 X16.612  
N5190 G01 X17.412 F.1  
N5200 X18.389 Z-15.516  
N5210 Z-20.8  
N5220 Z-21.2 F.15  
N5230 G00 X16.389  
N5240 Z-15.516  
N5250 X17.589  
N5260 G01 X18.389 F.1  
N5270 X19.366 Z-17.277  
N5280 Z-20.8  
N5290 Z-21.2 F.15  
N5300 G00 X17.366  
N5310 Z-17.277  
N5320 X18.566  
N5330 G01 X19.366 F.1  
N5340 X20.343 Z-19.039  
N5350 Z-20.8  
N5360 Z-21.2 F.15  
N5370 G00 X18.343  
N5380 Z-19.039  
N5390 X19.543  
N5400 G01 X20.343 F.1  
N5410 X21.32 Z-20.8  
N5420 X20.754 Z-20.517 F.15  
N5430 G00 X4.567  
N5440 Z20.719  
N5450 ;Operation : FINISH\_BORE\_ID  
N5460 DIAMON  
N5470 G96 S100 M03  
N5480 X28.4 Z.8  
N5490 G03 X30. Z0.0 I0.0 K-.8  
N5500 G01 Z-1.7  
N5510 X20.112  
N5520 G02 X18.812 Z-2.35 I0.0 K-.65  
N5530 G01 Z-12.984  
N5540 X18.86 Z-13.158  
N5550 X23.098 Z-20.8  
N5560 G03 X21.984 Z-21.785 I-.771 K-.214  
N5570 G00 X4.567  
N5580 Z20.719  
N5590 M30

**ANEXO L:** Hoja de procesos



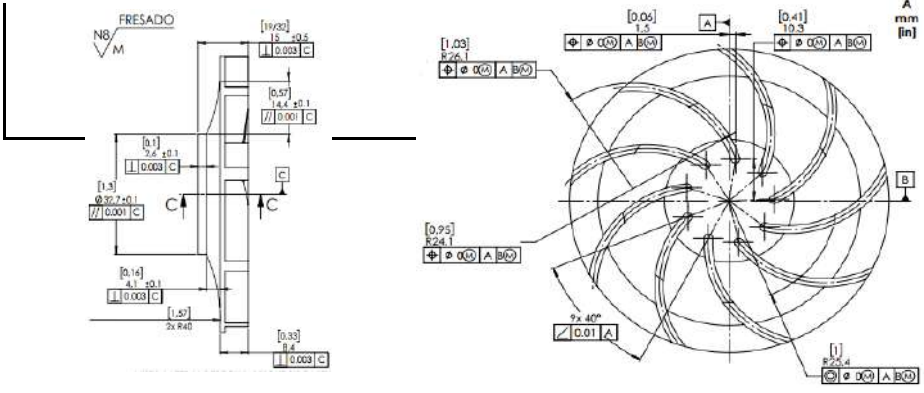
 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>		 <b>HOJA DE PROCESOS FUNDICIÓN</b>		HOJA Nº	1	
<b>FACULTAD DE MECANICA</b>				FASE	1	
<b>ESCUELA DE MECANICA</b>						
CONJUNTO: BOMBA CENTRIFUGA			PIEZA: IMPELLER SEMIABIERTO			
MATERIAL: ALUMINIO Tenzaloy 713			NÚMERO DE PLANO	Nº1	Nº de PIEZA	
					1	
					CANTIDAD	
					1	
Número de operación	Nombre de Operación	Imagen de Operación	Descripción de operación	Máquina y Herramienta	Preparación de herramientas	Tiempo fabricación [min]
1	Seleccionar la caja del molde		Selección de la matriz o caja de madera dependiendo del tamaño de la pieza	Caja cuadrada para molde (30cm x 30 cm) , con su respectiva tapa	Se verifica el tamaño para evitar desperdicios	5
2	Preparación de la pieza para molde		Limpieza de pieza a fundir, rellenando los orificios de la pieza con arena.	Caja cuadrada para molde (30cm x 30 cm) Trapo de limpieza	Coloca la caja de madera en un lugar como para trabajar.	5
3	Preparación de la arena mezclada		Mezclar arena silicica (tamaño 0,5 - 2 mm), 8% de arcilla y 6% de agua	Pala y balde	Ninguna	10
4	Preparación de molde		Colocada la pieza en la caja se vierte la mezcla de arena en todo el área del molde	Caja inferior y Pala	Ninguna	10

6	Compactar		Apisonar los extremos de una forma lateral y horizontal para compactar la arena en el molde	Pisón	Ninguna	15
7	Preparación del molde		Se elimina el exceso de arena.	Espátula reguladora	Ninguna	10
8	Preparación de molde		Se coltea la caja exponiendo la pieza y retirando el exceso de arena	Espátula	Ninguna	10
9	Preparación de molde		Colocar la otra caja encima de la que ya esta preparada	Caja de madera	Ninguna	2
10	Compactar		Colocar un tubo de diámetro de 70 mm que ayudara como bebedero, colocar la arena preparada y compactar de forma lateral y horizontal la arena en el molde	Pisón, pala y caja superior	Ninguna	15

11	Preparación de molde		Retirar el tubo, el exceso de arena en el molde y en el bebedero	Espátula	Ninguna	15
12	Separación de moldes		Separar los moldes con mucho cuidado, retirar el molde y se limpia los ductos	Espátula	Ninguna	5
13	Preparación de los moldes		Con una pistola de aire eliminar la arena resuelta, y rociar una mezcla (melaza, grafito y aire), con una antorcha eliminar los residuos de agua.	Antorcha, pistola de aire, brocha	Ninguna	10
14	Preparación del molde		Unir las dos cajas, poner dos pesas que contraresten la presión metalostática	Pesas	Ninguna	5

15	Ingreso de colada		Con ayuda del crisol tomar la colada para colocar en el molde por un tiempo de 4 seg.	Crisol	Proteccion adecuada para el uso del crisol	10
16	Solidificacion de la pieza		Esperar un tiempo de 3 min despues de colocar la colada	-	-	5
17	Retiro de pieza		Retirar la pieza de la caja, y el exceso de la arena y cortar el ducto	Alicate	Ninguna	5
18	Preparacion de la pieza		Balancear la pieza, verificar la porosidad	Suelda	Ninguna	15
<b>Tiempo del Proceso [min]</b>						<b>152</b>
						<b>2 horas y 30 min</b>
<b>Precio</b>						<b>25</b>

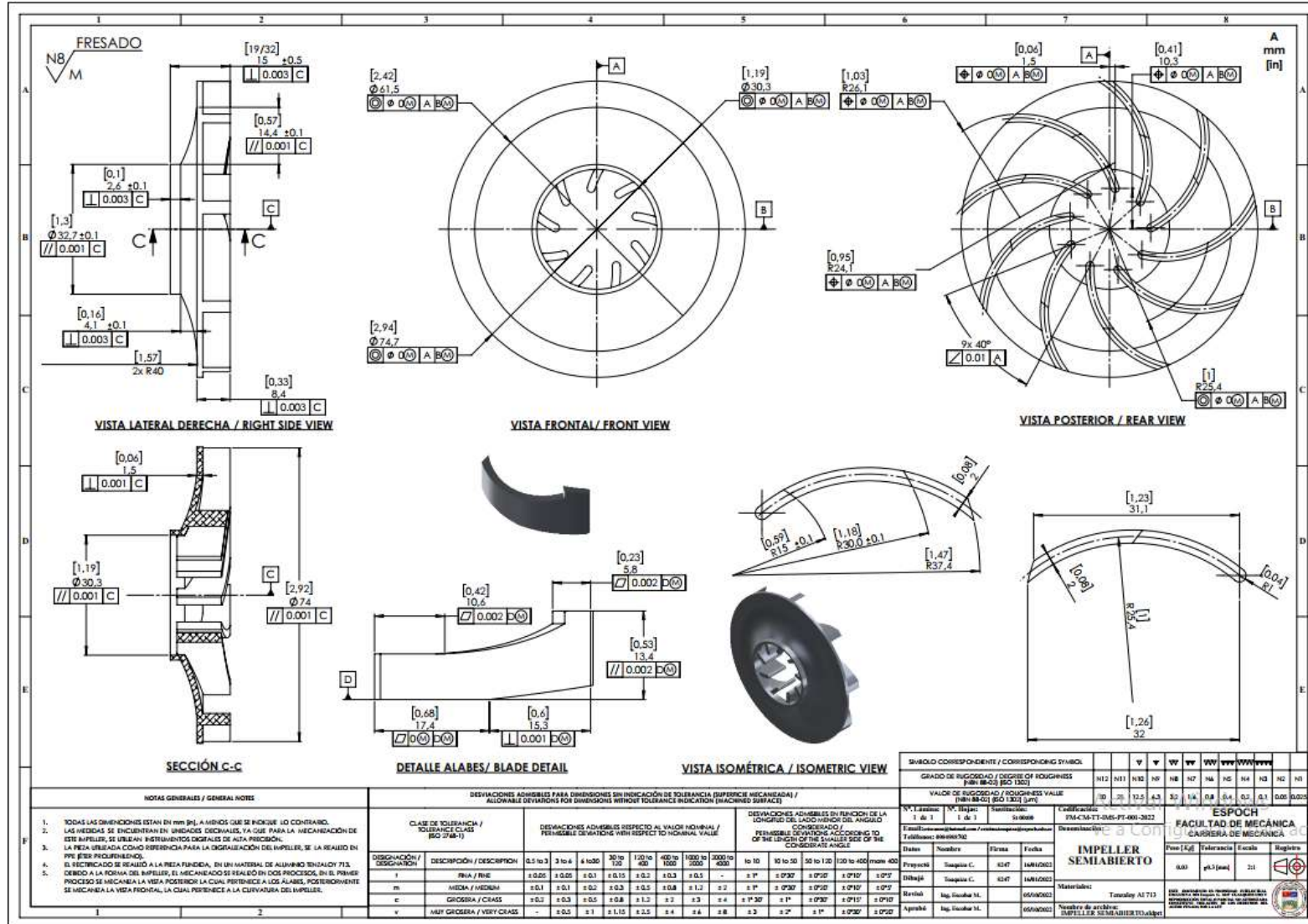
**ANEXO M: Hoja de procesos rectificado**

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE MECÁNICA</b>		 <b>HOJA DE PROCESOS</b>		HOJA Nº	1						
				FASE	1						
<b>CC: IMPELLER SEMIABIERTO</b>			<b>PIEZA: IMPELLER</b>								
<b>MATERIAL: ALUMINIO Tenzaloy 713</b>		<b>NÚMERO DE PLANO</b>	<b>Nº1</b>	<b>Nº de PIEZA</b>	1						
<b>DIMENSIONES DE MATERIAL:</b>				<b>CANTIDAD</b>	1						
<b>HERRAMIENTAS:</b>		<b>CROQUIS DE LA PIEZA TERMINADA</b>									
Torno, flexometro, centrador digital, compas, llaves en general, goniometro UTILES ESPECIALES: Calibrador, micrómetro, lapiz metálico, refrigerante A = Velocidad de avance V = Velocidad de Corte n = Rotaciones P = Profundidad de pasada L = Longitud de pasada NP = Número de Pasadas Tm = Tiempo de Maquinado Tp = Tiempo de preparación											
OPERACIÓN	AJUSTE	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA	DIMENSIONES PARA MECANIZAR			VELOCIDADES			TIEMPOS	
				NP	P	L	V	n	A	Tp	Tm
				Cant.	[mm]	[mm]	[m/min]	[rev/min]	[mm/min]	[min]	[min]
1		Preparación de la pieza, búsqueda de herramientas							10		
2		Trazado de piezas	Lapiz metalico						5		
3		Sujeción de pieza	Plato de garras						5		
4		Planear	Torno	2	0,1	197,49	36	954,929	286,5	6	2



5		Contornear	Torno	1	0,17 1	10190,48	36	1145,91 5	785,82	7	13
6		Contorno álabes	Torno	1	0,08	54691,8	36	3820	305,6	3	32
7		Acabado	Torno	1	0,08	30475,99 3	36	3820	305,6	3	19
8		Contorno parte inferior	Tonro	1	0,17	18421,05 9	36	1145,91	785,8285	18	14
9		Acabado parte inferior	Torno	1	0,03 5	18421,05 9	36	3819,71	136,42	3	28
										<b>60</b>	<b>108</b>
										<b>TIEMPOS TOTALES</b>	
										<b>TIEMPO TOTAL DE MANUFACTURA</b>	
										<b>168</b>	
										<b>2 horas 48 min</b>	

ANEXO N: Planos



- NOTAS GENERALES / GENERAL NOTES
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN mm IN, A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO. LAS MEDIDAS SE ENCUENTRAN EN UNIDADES DECIMALES, YA QUE PARA LA MECANIZACIÓN DE ESTE IMPELLER, SE USARÁN INSTRUMENTOS DIGITALES DE ALTA PRECISIÓN.
  2. LA PIEZA ELABORADA COMO REFERENCIA PARA LA ORGANIZACIÓN DEL IMPELLER, SE LA REALIZÓ EN PPE POR PREFERENCIA.
  3. EL RECTIFICADO SE REALIZÓ A LA PIEZA FUNDIDA, EN UN MATERIAL DE ALUMINIO 7050 T3. DEBIDO A LA FORMA DEL IMPELLER, EL MECANIZADO SE REALIZÓ EN DOS PROCESOS, EN EL PRIMER PROCESO SE MECANIZA LA VISTA POSTERIOR LA CUAL PERTENECE A LOS ALABES, POSTERIORMENTE SE MECANIZA LA VISTA FRONTAL, LA CUAL PERTENECE A LA CUVIERTA DEL IMPELLER.

DEVIACIONES ADMISIBLES PARA DIMENSIONES SIN INDICACIÓN DE TOLERANCIA (SUPERFICIE MECANIZADA) / ALLOWABLE DEVIATIONS FOR DIMENSIONS WITHOUT TOLERANCE INDICATION (MACHINED SURFACE)

CLASE DE TOLERANCIA / TOLERANCE CLASS (ISO 7-1)	DEVIACIONES ADMISIBLES RESPECTO AL VALOR NOMINAL / PERMISSIBLE DEVIATIONS WITH RESPECT TO NOMINAL VALUE										DEVIACIONES ADMISIBLES EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DEL LAO MENOR DEL ANGULO CONSIDERADO / PERMISSIBLE DEVIATIONS ACCORDING TO THE LENGTH OF THE SMALLER SIZE OF THE CONSIDERATE ANGLE				
	0.5 to 3	3 to 6	6 to 30	30 to 100	100 to 400	400 to 1000	1000 to 2000	2000 to 4000	to 10	10 to 30	30 to 100	100 to 400	mm	mm	mm
f	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	-	± 1°	± 0°30'	± 0°10'	± 0°5'			
m	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.3	±2	± 1° 30'	± 0°20'	± 0°10'	± 0°5'			
c	±0.3	±0.3	±0.5	±0.8	±1.3	±2	±3	±4	± 1° 30'	± 1°	± 0°15'	± 0°10'			
v	-	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8	±3	±2°	±1°	±0°30'			

GRADO DE RUGOSIDAD / DEGREE OF ROUGHNESS (Rm - Rz) (ISO 1302)

VALOR DE RUGOSIDAD / ROUGHNESS VALUE (Rm - Rz) (ISO 1302) (µm)	H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
30	20	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	

ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA

IMPELLER SEMIABIERTO

PROYECTO Trazado C. 4247 (48/12/2021)

DISEÑADO Trazado C. 4247 (48/12/2021)

REVISADO Ing. Ivánbaldo M. 65092002

APROBADO Ing. Ivánbaldo M. 65092002

Material: Tantalum Al 713

Numero de articulo: IMPELLER SEMIABIERTO/Adj1