

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS FÍSICAS Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



TEMA:

APLICACIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO EN IMPRESIÓN 3D PARA LA FABRICACIÓN DE
PIEZAS DE TAMAÑO REDUCIDO EN ALUMINIO FUNDIDO A PARTIR DE MOLDE
DISEÑADO

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR (A):

MARCO ANDRÉS SALTOS HERNÁNDEZ

DIRECTOR (A):

ING. VÍCTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA MSc.

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100465608-6	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Saltos Hernández Marco Andrés	
DIRECCIÓN:	Bolívar 13-23 y 9 de Octubre, Cotacachi - Imbabura	
EMAIL:	masaltosh@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	062914077	TELÉFONO MÓVIL: 0999666656

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	APLICACIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO EN IMPRESIÓN 3D PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE TAMAÑO REDUCIDO EN ALUMINIO FUNDIDO A PARTIR DE MOLDE DISEÑADO
AUTOR (ES):	Saltos Hernández Marco Andrés
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	25/07/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenierio en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Víctor Alfonso Erazo Arteaga MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de julio de 2023

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Saltos Hernández Marco Andrés

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 25 de julio de 2023

Ing. Víctor Erazo

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(1) 
Ingeniero Víctor Erazo
C.C. 171988029

DOCENTE
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El tribunal Examinador del trabajo de titulación "APLICACIÓN DE PROTOTIPADO RÁPIDO EN IMPRESIÓN 3D PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE TAMAÑO REDUCIDO EN ALUMINIO FUNDIDO A PARTIR DE MOLDE DISEÑADO" elaborado por SALTOS HERNÁNDEZ MARCO ANDRÉS, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f) 

Ingeniero Victor Erazo
C.C: 1719188029

(f) 
Ingeniero Fernando Valencia
C.C: 1003188669

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación es dedicado a mis padres Marco y Diana, quienes fueron mi inspiración para culminar Mis estudios y cumplir mis objetivos. De igual manera es Dedicado a mi hermano Juan Camilo quien siempre Ha sido un apoyo incondicional en mi vida.

Marco Saltos

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización de esta tesis:

Agradezco profundamente a mi tutor ingeniero Víctor Erazo por su guía experta, paciencia y valiosos comentarios durante todo el proceso de investigación y redacción de este trabajo.

También quiero agradecer a mis profesores, quienes me brindaron una educación sólida y me inspiraron a seguir adelante en este proyecto. En especial, al ingeniero Fernando Valencia quien en su calidad de asesor brindó sus conocimientos para el mejoramiento de este trabajo.

Mi gratitud se extiende al ingeniero Edwin Guevara, quien compartió generosamente su experiencia y conocimientos especializados, lo que enriqueció enormemente este trabajo.

También deseo agradecer a la empresa SMO por proporcionar el acceso a recursos, herramientas y equipos, lo cual fue esencial para el desarrollo del trabajo expuesto.

Un agradecimiento especial a mi familia por su inquebrantable apoyo emocional y palabras de aliento durante todo este proceso. Su amor y comprensión me impulsaron a superar los desafíos.

Además, quiero agradecer a mis entrañables amigos Mishelle, Alejandra, Brayan, Sebastián, con quienes compartí gratos momentos a lo largo de mi vida universitaria.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a esta tesis y cuyo nombre no aparece en esta lista. Su apoyo fue fundamental para su culminación exitosa.

¡Gracias a todos!

Marco Saltos

RESUMEN

Los métodos clásicos de fabricación de piezas presentan problemas diversos dependiendo de la pieza a crear, la fundición no está exenta de estos problemas, que pueden ser subsanados de diversas formas que pueden incidir en aumento de costos exponenciales en el precio final.

Mientras que, la manufactura aditiva presenta otros problemas muy diferentes a los que la fundición puede tener. Es por esta razón que en este presente trabajo de investigación se plantea una posible solución mediante la fusión de ambas técnicas de manufactura, adquiriendo las mejores características de cada una y aumentando la efectividad en la fabricación de piezas de gran complejidad geométrica o en piezas artísticas con gran nivel de detalle.

Se propone diversos pasos a seguir para poder conseguir una versatilidad en el proceso aplicado, se prueban diversos métodos de acabado superficial a la impresión 3D y se determina correctas formas de conseguir un aluminio con mayor pureza y menor nivel de poros en el colado, además se detalla un procedimiento detallado para una correcta fundición en aluminio, y un diseño de molde adecuado a las piezas estudiadas, evitando los problemas más comunes. Finalmente, se detalla los resultados obtenidos en el proceso y las conclusiones obtenidas del mismo.

Palabras clave: fundición, impresión 3D, molde, acabado superficial.

ABSTRACT

The classic methods of manufacturing parts present various problems depending on the part to be created, casting is not exempt from these problems, which can be solved in various ways that can lead to exponential cost increases in the final price.

On the other hand, additive manufacturing presents other problems that are very different from those of casting. It is for this reason that in this research work a possible solution is proposed through the fusion of both manufacturing techniques, acquiring the best characteristics of each one and increasing the effectiveness in the manufacture of parts of great geometric complexity or artistic pieces with great level of detail.

Several steps to follow are proposed to achieve versatility in the applied process, several methods of surface finishing to 3D printing are tested and correct ways to achieve some aluminum with higher purity and lower level of pores in the casting are determined, also a detailed procedure for a correct casting in aluminum is detailed, and a mold design suitable for the studied parts, avoiding the most common problems. Finally, the results obtained in the process and the conclusions are detailed.

Keywords: casting, 3D printing, mold, surface finish.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
1 INTRODUCCIÓN	6
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos	7
1.3 Justificación	7
1.4 Alcance	8
2 MARCO REFERENCIAL	9
2.1 ANTECEDENTES	9
2.2 MARCO TEÓRICO	10
2.2.1 Prototipado Rápido.....	10
2.2.2 Tecnologías Sustractivas	10
2.2.3 Tecnologías Aditivas	10
2.2.4 Impresión 3D	11
2.2.5 Materiales para Impresión 3D	12
2.2.6 Proceso de fundición	13
2.2.7 Molde Permanente.....	14
2.2.8 Yeso para moldeo	15
2.2.9 Arena de Sílice.....	15
2.2.10 Materiales para fundición.....	15
2.2.11 Consideraciones de la Fundición.....	18
2.2.12 Contracción.....	18
2.2.13 Parafina.....	19

2.2.14	Refractarios.....	19
3	MARCO METODOLÓGICO	21
3.1	Tipos de Investigación	21
3.2	Diseño de la Investigación.....	21
3.2.1	Diseño del modelo patrón adecuado.....	21
3.2.2	Desarrollo de prototipo de molde adecuado para los modelos impresos .	26
3.2.3	Validación del proceso	44
4	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
4.1	Diseño del modelo patrón	50
4.2	Impresión de modelo	51
4.3	Postprocesado de pieza	52
4.4	Creación del material del molde	52
4.5	Curado de molde.....	53
4.6	Quemado de PLA.....	54
4.7	Fundición de Aluminio	54
4.8	Colado del molde.....	55
4.9	Limpieza de la pieza	56
4.10	Validación de procesos	56
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1	CONCLUSIONES	60
5.2	RECOMENDACIONES.....	61
6	REFERENCIAS.....	63
7	ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema materiales de impresión.....	12
Figura 2: Figura diseñada para estudio.....	22
Figura 3: Pieza impresa en PLA.....	24
Figura 4: Pieza con modificaciones necesarias para moldeo	25
Figura 5: Tetrahidrofurano (THF) utilizado para pulimento.....	26
Figura 6: Arena sílice lavada.....	29
Figura 7: Arena sílice tamizada.....	29
Figura 8: Alúmina utilizada como refractario	30
Figura 9: Alúmina tamizada	31
Figura 10: Pezaje de materiales para molde.....	32
Figura 11: Comparativa entre pruebas de mezcla realizadas	33
Figura 12: Prueba realizada con el 20% de humedad.....	34
Figura 13: Prueba realizada con el 25% de humedad.....	34
Figura 14 Prueba realizada con el 30% de humedad.....	35
Figura 15: Comparativa de pesos de pruebas realizadas	36
Figura 16: Estructura de molde con pieza en interior.....	37
Figura 17: Vaciaderos y respiros realizados con parafina de moldeo	38
Figura 18: Impregnación de grafito en molde	38
Figura 19: Recipiente con materiales a mezclar para molde.....	39
Figura 20: Mezclador utilizado para elaborar material de molde.....	39
Figura 21: Consistencia de material de molde elaborado.....	40
Figura 22: Molde con pieza en interior y mezcla realizada.....	40
Figura 23: Molde finalizado para empezar proceso de fraguado	41
Figura 24: Comparativa de temperatura de molde durante proceso de fraguado	41
Figura 25: Desmontaje de preforma de mazarota de molde.....	42
Figura 26: Horno mufla utilizado para proceso de curado de molde	42
Figura 27: Molde curado salido del horno.....	43
Figura 28: Molde quemado en horno mufla	43
Figura 29: Residuos de PLA luego de proceso de quemado	44
Figura 30: Horno tipo Venturi para fundición de aluminio alimentado por GLP.....	44
Figura 31: Pastillas desgasificantes de aluminio activadas por cloro.....	45
Figura 32: Fundición de aluminio en horno tipo Venturi a temperatura superior a 600 grados	45

Figura 33: Molde rodeado de arena verde para ejercer contrapresión en el molde.....	46
Figura 34: Colado de aluminio en caldero.....	46
Figura 35: Vaciado de aluminio fundido en molde	47
Figura 36: Herramientas utilizadas para extracción de pieza de molde	47
Figura 37: Extracción de la pieza fundida de molde	48
Figura 38: Limpieza de pieza fundida	48
Figura 39: Superficie de pieza fundida.....	49
Figura 40: Simulación de llenado de pieza en software SolidWorks	51
Figura 41: Curva de granulometría según escala de Atterberg [47].....	53
Figura 42: Molde con cavidades de respiros de molde	54
Figura 43: Proceso de escoriado de colada de aluminio.....	55
Figura 44: Colado de aluminio fundido.....	55
Figura 45: Pieza presta a extracción y limpieza	56
Figura 46: Primera prueba realizada con poros a simple vista	57
Figura 47: Segunda prueba realizada con poro de menor tamaño visible.....	57
Figura 48: Tercera prueba realizada de pieza fundida.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades mecánicas PLA	13
Tabla 2: Propiedades físicas del aluminio	17
Tabla 3: Propiedades mecánicas del aluminio.....	18
Tabla 4: Contracción características de varios materiales	18
Tabla 5: Propiedades de la parafina.....	19
Tabla 6: Parámetros de impresión de PLA utilizados	23
Tabla 7: Comparación entre tipo de molde VS Acabado de pieza.....	27
Tabla 8: Comparación entre Tipo de molde VS Mecanizado	28
Tabla 9: Porcentaje de humedad VS Fraguado	33
Tabla 10: Tabla comparativa porcentaje de agua VS peso.....	35
Tabla 11: Comparativa entre pruebas realizadas VS porosidad obtenida	59

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se presenta una breve introducción al tema de investigación a tratar en este trabajo.

1.1 Planteamiento del problema

En el mercado nacional, las empresas dedicadas a la fundición han visto reducidas sus órdenes de producción en cuanto a piezas pequeñas se refiere, según la Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero), esta reducción podría llegar a ser incluso del 2,1%. Mientras que para la Federación Ecuatoriana de Industrial del Metal (Fedimetal), señala que el país produce cerca del 30% del acero que se consume, esto equivale a cerca de 500.000 toneladas de acero [1].

En los procesos de mecanizados consistentes con el moldeo en diversos elementos, se tiene varias limitaciones con respecto al molde necesario para su utilización y el uso del molde para la fundición. Todos estos limitantes conllevan al elevado coste de producción de ciertas piezas de tamaño reducido y de detalle más minucioso. Lo cual evidenciaría la reducción en la producción del acero [2].

Para contrarrestar estas problemáticas se han desarrollado diversos métodos que terminan encareciendo el producto final debido a su complejidad en la implementación y a los recursos necesarios para su desarrollo. Uno de estos métodos es el de poliestireno estirado, en el cual la precisión de las piezas elaboradas llega a un alto nivel, pero también a un coste elevado debido a la complejidad del proceso de obtención de la pieza base en poliestireno. Otro de estos métodos es el denominado como cera perdida, en el cual el artista esculpe un diseño en cera, el tamaño y la complejidad del modelo de cera están limitados por la habilidad que tenga el tallador de cera y la capacidad de su equipo de fundición. Por lo que se podría decir que no existe un método del todo efectivo para el desarrollo de piezas de menor tamaño en fundiciones de metales tales como el aluminio.

Es por esa razón por lo que las nuevas tecnologías de prototipado rápido entran en escena en las clásicas técnicas de moldeo, como en este caso la impresión en 3D. el uso de estas nuevas tecnologías podría abaratar costos y optimizar procesos de fabricación y mecanizado de piezas varias. Y es así como la implementación de estas tecnologías puede proveer una solución a este problema u otros relacionados, o añadir una nueva perspectiva hacia estos procesos de manufactura [3].

1.2 Objetivos

Se presentan los objetivos, tanto generales como específicos, tratados en este trabajo.

1.2.1 Objetivo General

Estudiar la factibilidad del uso de la impresión 3D como modelo patrón para moldeado en aluminio fundido.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el modelo patrón para el proceso de moldeado en aluminio fundido.
- Desarrollar un prototipo funcional de molde adecuado para los modelos impresos en impresión 3D.
- Validar el proceso desarrollado.

1.3 Justificación

El mercado del acero a nivel mundial representa un pilar fundamental en el desarrollo de proyectos de todo tipo, desde construcción civil hasta diseño mecánico en todos los campos de la sociedad. En concordancia con esto, el mercado del acero del Ecuador es de vital importancia para el desarrollo nacional y en la economía del país.

Si bien es cierto, existen varios métodos para la creación e implementación de la fundición, aunque estos no complacen a las necesidades cuando se habla de piezas de menor tamaño. Las técnicas clásicas implementadas en la fundición permiten obtener grandes volúmenes de piezas siempre y cuando se hable de piezas de un mayor tamaño. Mientras que las tecnologías como la manufactura aditiva permiten tener gran detalle en piezas de poco tamaño, pero estas no son óptimas para la producción en masa debido a sus problemas en la repetición de piezas a un volumen superior.

Por estas razones la unión de estas dos técnicas podría añadir un nuevo método para el mecanizado y manufacturado de piezas detalladas, lo que podría ayudar al aumento de la productividad de las empresas de este sector, y así beneficiar a gran parte de la industria metalmeccánica.

Además, este trabajo de titulación podría promover una nueva línea de investigación con respecto a la fusión de tecnologías de la “vieja escuela” y otras modernas capaces de cubrir las necesidades del mercado actual.

1.4 Alcance

En el presente proyecto de titulación se estudiará la viabilidad de la utilización de la impresión 3D para el desarrollo del moldeado con aluminio fundido.

Los moldes desarrollados serán de un tamaño reducido para poder determinar las cualidades luego del proceso de fundido.

La geometría establecida en los modelos será fija para poder estudiar sus características, similitudes o diferencias.

El molde desarrollado en este proyecto será de forma y tamaño fijo, cubriendo las necesidades de los modelos a estudiarse.

Se variará las características de los modelos impresos en 3D tales como relleno, número de capas, número de pasadas, patrón de relleno.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL

A continuación, se muestra un poco de contexto como antecedente al trabajo realizado.

2.1 ANTECEDENTES

En 2016, Carolina Bustos, perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid desarrolló un proyecto final de carrera denominado "Estudio de la colabilidad del aluminio con moldes realizados en PLA por impresión 3D", dando como conclusiones que el plástico de la impresión se termina mezclando con la colada de aluminio, lo cual como es evidente, cambia las propiedades del aluminio y aumenta las impurezas en la mezcla, dando como resultado un pésimo acabado superficial y muy bajas prestaciones mecánicas con respecto a otros tipos de moldeo en aluminio fundido. Con lo cual, según Carolina, no se recomienda realizar el mismo procedimiento para la fabricación de piezas[4].

Como se explica en Análisis del proceso de fundición de aluminio y propuestas de mejoras en la eficiencia de producción de bases dentadas en la empresa PRESS FORJA S.A. Se desarrolló un análisis en el proceso de fundición del aluminio en la producción de bases dentadas en la empresa Press Forja S.A., y se dio a conocer la importancia de que el horno de fusión deba tener una tapa que impida el contacto de la colada con el aire, debido a que esto genera desbalance energético en el horno y reduciendo las prestaciones finales de las piezas fundidas [5].

En la publicación "Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM)" se determina que los rangos de impresión deben ser inferiores al rango de 50-95% para optimizar tiempos y material de impresión, además se determina que la máxima resistencia del material de impresión se obtiene al 100% de relleno, por lo que no es recomendable utilizar estos parámetros para el desarrollo de este estudio, esto debido a que afectaría a la calidad de la pieza fundida [6].

2.2 MARCO TEÓRICO

Se presenta información adquirida necesaria para la realización del trabajo presentado.

2.2.1 Prototipado Rápido

El prototipado rápido es una tecnología aplicada en los últimos tiempos en gran medida en el sector industrial, consiste en la fabricación de piezas diseñadas para poderlas a ver pruebas y ver su funcionamiento en poco tiempo debido a su velocidad de fabricación. Existen diversos tipos de prototipado rápido, impresión 3D, corte láser, CNC, etc. Estos métodos de fabricación permiten obtener las piezas a mayor rapidez y estudiar sus características. Una desventaja de estas tecnologías es la producción en masa. Esta tecnología está destinada a la fabricación individual de piezas debido a que cada máquina se centra en una sola pieza a la vez [7].

2.2.2 Tecnologías Sustractivas

La fabricación por tecnologías sustractivas consiste en la eliminación de material de un bloque inicial "tocho/bruto" con herramientas y máquinas de corte o herramientas para fundir el material.

Estas tecnologías están predominadas por maquinaria de control numérico computarizado "CNC", lo que permite tener gran exactitud y precisión en los cortes y así mismo en las piezas finales.[8]

- Mecanizado CNC (torneado, fresado, etc.) método de fabricación utilizado con termoplásticos duros como nylon, metales blandos y duros.
- Mecanizado por electroerosión (EDM) muy utilizado con metales duros principalmente.
- Corte por láser, un láser corta maderas, acrílicos, metales o termoplásticos.
- Corte por chorro de agua, consiste en la utilización del agua a grandes presiones para cortar plásticos, metales blandos y duros, piedra, vidrio.
- Eliminación por pulido, consiste en la reducción de capas superficiales de una pieza mediante lijado, limado o pulido.

2.2.3 Tecnologías Aditivas

Este tipo de tecnologías se basa en la deposición de material (a menudo plástico o metal) en forma de capas una sobre otra, creando piezas de diversas formas y detalles.

Algunas ventajas de este tipo de fabricación es que la producción es económica y a mayor velocidad de una sola pieza a la vez, se reduce el coste en logística debido a que incluso se puede fabricar piezas en los hogares en las personas, el ahorro energético es más alto ya que el consumo de una de estas máquinas es significativamente menor que en otras de diversos métodos de fabricación, buenas prestaciones mecánicas en las piezas finalizadas ya que los materiales ahora utilizados son estudiados a gran medida y sometidos a pruebas más exigentes para proveer mejores características. [9]

Estas tecnologías pueden catalogarse en dos tipos: método de aplicación de la materia o en el material aplicado:

- Estereolitografía (SLA) consiste en la aplicación de resinas de altas resistencias y flexibles.
- Sinterizado selectivo por láser (SLS) consiste en la utilización de termoplásticos como el nylon.
- Modelado por deposición fundida (FDM) diversos termoplásticos como el PLA o el ABS.
- Fusión selectiva por láser (SLM) es un tipo de sinterizado para metales blandos y duros.
- Fusión por haz de electrones (EBM) es un tipo de fabricación para metales.

2.2.4 Impresión 3D

La impresión 3D es un proceso por el cual un diseño digital se convierte en físico al hacer uso de materiales de deposición.[10] Este es un método denominado fabricación aditiva, debido a que capas de material fundido se van depositando una sobre otra hasta formar la forma del diseño previo.[11]

En 1990 se empieza a aplicar la fabricación aditiva para obtener patrones de fundición (Rapid Casting); en 1995, para obtener herramientas de producción, especialmente moldes de inyección (Rapid Tooling), y en el 2000, para obtener piezas de producción (Rapid Manufacturing). A partir de aquí, el desarrollo ha sido muy rápido, gracias también a la expiración de diferentes patentes. Si entre 1984 y 2011 se vendieron en el mundo 45.000 impresoras 3D, en 2012 se vendieron el mismo número en un solo año.[12]

2.2.5 Materiales para Impresión 3D

Los materiales con los que se puede realizar la impresión 3D han avanzado significativamente a lo largo de estos últimos años. Estos materiales se encuentran almacenados en un depósito y es empujado a los extrusores para su deposición en forma de capas. Estos materiales deben tener características específicas, como su velocidad de solidificación, la cual debe ser considerada para mantener la fijación de la capa anterior y la capa siguiente.[13]

Entre los materiales de impresión más comunes se tiene:

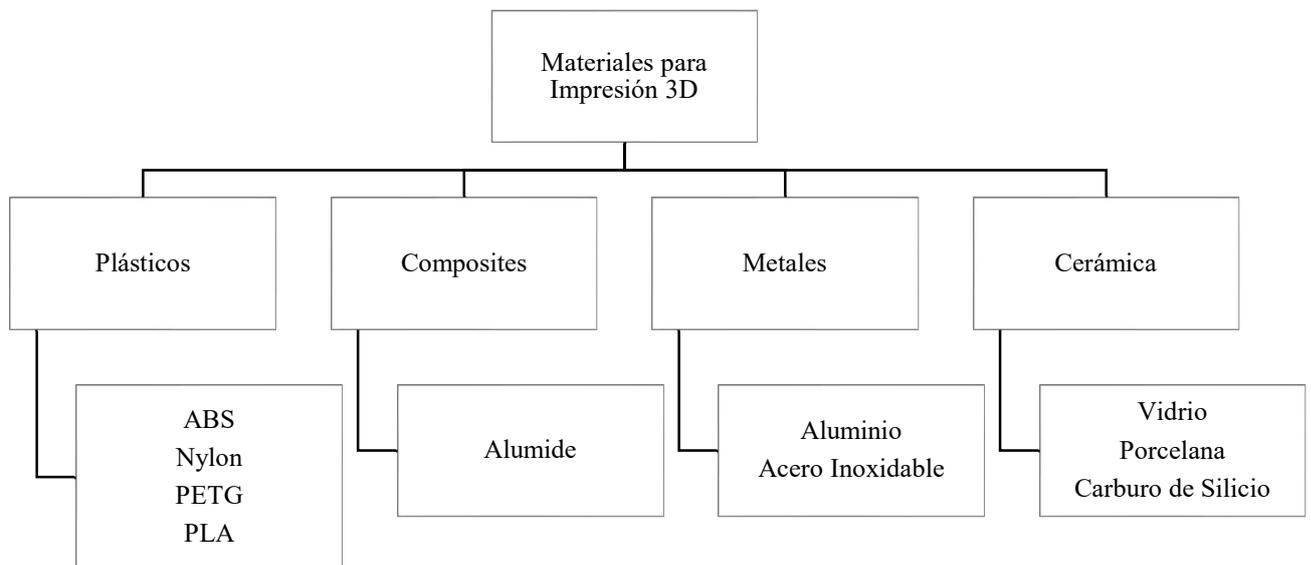


Figura 1: Esquema materiales de impresión

2.2.5.1 PLA

Ácido Poliláctico o Poliláctido es un termoplástico derivado de la fécula de maíz o de los tubérculos, con lo cual se puede evidenciar que es biodegradable. Su utilización es muy amplia debido a su variedad de colores y acabados presentes en el mercado. Sus efectos nocivos son muy reducidos por lo que es el más usado en la impresión 3D en hogares. Tiene buenas características mecánicas, no tan buenas como el ABS, es más usado en adornos o piezas que no requieran grandes esfuerzos mecánicos [14], [15].

A continuación, se puede observar las características mecánicas pertenecientes al PLA.[15], [16]

Propiedades Mecánicas	PLA
-----------------------	-----

Resistencia a la tracción (MPa)	59
Alargamiento a la rotura (%)	7
Módulo elástico (MPa)	3500
Módulo de corte (MPa)	1287
Coefficiente de Poisson	0.36
Rendimiento	70
Resistencia a la flexión (MPa)	106
Dureza (HR)	88
Temperatura de reflexión térmica (°C)	55
Porcentaje de elongación (%)	11.3
Módulo de Young (MPa)	1280

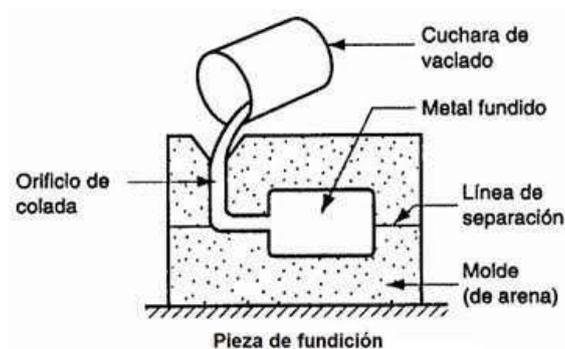
Tabla 1: Propiedades mecánicas PLA

2.2.6 Proceso de fundición

Dentro de los diversos métodos por los cuales los materiales extraídos en minas y canteras son transformados en piezas elaboradas se puede diferenciar el forjado, estriado, la extrusión y la fundición. Este último es el más antiguo y uno de los más usados en la actualidad.[17]

El proceso de fundición se produce cuando se vierte material en estado líquido (metales) en un molde el cual tiene en su interior la forma de la pieza a elaborar. Es un proceso complicado en el cual varios factores intervienen durante su proceso, desde la temperatura del material hasta la velocidad de entrada al molde.[18]

El material más utilizado para la elaboración de moldes es la arena, esta puede ser de diferentes tipos dependiendo el tipo de molde que se vaya a realizar o el material que se vaya a fundir.[19]



2.2.7 Molde Permanente

El moldeado con moldes permanentes comúnmente se lo realiza con materiales de un punto de fusión muy elevado para evitar desgastes excesivos en el mismo. Los materiales más usados para estos moldes suelen ser acero o hierro fundido, aunque hay veces que estos moldes también se los realiza con materiales cerámicos capaces de resistir altas temperaturas.

Estos moldes están diseñados para encajar con precisión y facilidad, son maquinados en su interior y permiten obtener un buen acabado superficial.

Los metales para fundición por este método suelen ser aluminio, magnesio, aleaciones de cobre o incluso hierro fundido. [19]

Este método es muy usado cuando las piezas a fundirse son en gran cantidad debido a su relación coste-beneficio.

2.2.7.1 Molde Semipermanente

El proceso denominado como molde semipermanente consta de un exterior del molde de un material sólido y duradero, capaz de resistir el ingreso del metal fundido, y un interior conformado por arena sólida que puede ser destruido luego del proceso para así poder obtener interiores o cavidades muy intrincadas o de geometrías complejas.[19]

2.2.7.2 Molde Desechable (No Permanente)

Es un proceso de moldeo en el cual el molde se destruye luego del vertido del metal líquido para poder obtener la pieza acabada. En estos moldes se usa predominantemente arena verde, yeso o materiales similares; añadidos algún aglutinante que le permite al material mantener la forma mientras se realiza el proceso de fundido.

Este tipo de moldeo es el más utilizado para piezas pequeñas debido a la facilidad de crear moldes con estos tipos de materiales.

La predominancia de la utilización de arena verde para estos moldeos es muy notoria, esto no minimiza el uso de otros materiales como el yeso para elaborar moldes de piezas en las que en arena verde sería imposible debido a su geometría o a su detalle.

2.2.8 Yeso para moldeo

El yeso es un material ampliamente utilizado en la fabricación de moldes para la fundición de metales, especialmente para piezas de tamaño pequeño o mediano.

El proceso de fabricación de un molde de yeso comienza con la creación de un modelo de la pieza que se desea fundir. Este modelo se coloca en una caja de moldeo y se recubre con yeso líquido, que se deja fraguar. Una vez que el yeso ha endurecido, se retira el modelo, dejando una cavidad en el yeso que corresponde a la forma de la pieza. Este molde de yeso se seca y se cuece para eliminar la humedad residual y aumentar su resistencia. El metal fundido se vierte en el molde de yeso a través de un canal de vertido, y una vez que se ha enfriado y solidificado, se rompe el molde para extraer la pieza fundida.

Debido a su facilidad de uso, bajo costo y capacidad para reproducir detalles finos, el yeso es una opción popular para la fabricación de moldes en una variedad de industrias, desde la fabricación de joyas hasta la producción de piezas de maquinaria.

2.2.9 Arena de Sílice

La arena de sílice es un material compuesto principalmente de sílice, que es un mineral común en la corteza terrestre. La arena de sílice se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones industriales, como la fabricación de vidrio, la producción de acero y fundición de metales.

Su capacidad para resistir altas temperaturas y su estabilidad química la hacen ideal para su uso como material de moldeo en la fundición. Además, la arena de sílice es conocida por su dureza, resistencia y capacidad para resistir la abrasión.

También se utiliza en la fabricación de productos como filtros de agua, pinturas, productos cosméticos y productos para el cuidado personal, entre otros.

A pesar de su amplia utilización, la exposición prolongada a la arena de sílice puede ser perjudicial para la salud, por lo que se deben tomar precauciones para minimizar la inhalación de partículas de sílice en el aire.

2.2.10 Materiales para fundición

Dentro de los materiales más usados en el proceso de fundición podemos distinguir las aleaciones ferrosas y no ferrosas. Estos dos grupos se diferencian debido al “material base” del cual están formadas.[20]

2.2.10.1 Metales Ferrosos

Las aleaciones ferrosas constan de una base de hierro-carbono en las cuales los componentes fundamentales son el hierro (Fe) y el carbono (C). Además, están presentes otros como el silicio y el manganeso para brindar diferentes propiedades a la aleación, también están presentes elementos como el azufre (S) y el fósforo (P) en forma de escoria en la mezcla.[20]

2.2.10.2 Metales no Ferrosos

Las aleaciones no ferrosas constan de un material base distinto al hierro, estos pueden ser cobre, aluminio, magnesio, zinc, níquel, plomo estaño y titanio. Cuando el material base es el cobre se puede obtener diferentes tipos de latones dependiendo el material presente en la aleación.[21]

Mientras que si el material base en la aleación es el aluminio puede obtenerse diferentes materiales con propiedades muy interesantes a base del aluminio. Estos tipos de aleaciones son consideradas ligeras debido a su densidad y a su composición.

2.2.10.3 Aluminio

El aluminio es un material dúctil y muy suave pero débil frente a esfuerzos de tensión. Este material es de difícil obtención en la naturaleza pese a ser de los más presentes en la composición del manto terrestre.[22] La dificultad radica en su afinidad con el oxígeno. Es por esto, que comúnmente se lo encuentra en forma de alúmina (óxido de aluminio) en forma de mineral presente en las rocas de bauxita. Este mineral pasa por un proceso de electrólisis para separar el oxígeno del aluminio, pese a esto es raramente utilizado en estado puro en procesos de fundición.[23]

El aluminio tiene una muy alta resistencia a la corrosión debido a que forma una capa dura e impermeable frente al óxido en su superficie.

Las aleaciones del aluminio usualmente mejoran las propiedades tanto físicas como mecánicas del estado puro de este material, pueden aumentar su dureza, rigidez, resistencia a la tensión, maquinabilidad.[24]

Las aleaciones de aluminio son propensas a la existencia de porosidades debido a la absorción de gases presentes en el ambiente durante el proceso de fundición. Aunque

estos poros pueden ser controlados mediante la adición de materiales fundentes tales como compuestos orgánicos hexacloroetanos.[25], [26]

A continuación, se muestran las propiedades físicas y mecánicas del aluminio en su estado puro, hay que tener en cuenta que las propiedades pueden cambiar debido a la pureza del material y al método de extracción del aluminio [27].

Propiedad	Valor
Masa atómica	26.98 g/mol
Densidad	2.7 g/cm ³
Punto de fusión	660.3 °C
Punto de ebullición	2467 °C
Estado de la materia	Sólido a temperatura ambiente
Color	Plateado/blanco
Conductividad térmica	237 W/(m·K)
Conductividad eléctrica	38.2×10^6 S/m
Coefficiente de expansión térmica	23.1×10^{-6} K ⁻¹
Módulo de elasticidad	70 GPa
Dureza (escala Mohs)	2.75

Tabla 2: Propiedades físicas del aluminio [28]

Propiedad	Valor
Módulo de elasticidad	70-80 GPa
Límite elástico	30-60 MPa
Límite de ruptura	110-570 MPa
Ductilidad	Alta
Dureza (escala Rockwell)	20-100 HRB
Coefficiente de Poisson	0.33
Coefficiente de fricción	0.3-0.6
Tenacidad	Moderada
Resistencia a la fatiga	Buena

Resistencia a la corrosión	Buena (debido a la formación de una capa de óxido protector)
Conductividad eléctrica	38.2×10^6 S/m

Tabla 3: Propiedades mecánicas del aluminio[28]

2.2.11 Consideraciones de la Fundición

Durante el proceso de fundición se debe tener presente varios factores que van a alterar este proceso, si se los maneja correctamente se puede obtener una pieza adecuada a los requerimientos, mientras que si no se los trata de la manera adecuada pueden arruinar todo el proceso con lo cual vuelve inservible a la pieza final.[29]

2.2.12 Contracción

Durante la fundición los metales se calientan hasta el punto de fusión de estos, pero mientras estos se solidifican se enfrían, estos cambios de temperatura producen un efecto de contracción inherente al proceso mismo. Es por eso por lo que el modelo a utilizar para crear el molde debe tener en cuenta este aspecto debido a que si no se lo considera se obtiene una pieza de dimensiones más reducidas de las iniciales.

Cada material tiene un porcentaje de contracción diferente, además de las dimensiones que también afectan a la contracción, en el aluminio esta contracción es la más elevada pudiendo llegar al 6,6%.[30]

Aleación de prueba	Dimensiones de modelo (in)	Tipo de construcción	Contracción in/ft
Hierro Gris	Arriba 24	Construcción abierta	1/8
Acero	Encima de 72	Construcción de noyo	5/32
Aluminio	Arriba de 48	Construcción abierta	9/64
Magnesio	Arriba de 48	Construcción de noyo	5/32
Latón	-	-	3/16

Tabla 4: Contracción características de varios materiales [28]

2.2.13 Parafina

El uso de la parafina como material aditivo en la fabricación de cera para aplicar a las piezas de moldeo es esencial en el proceso de fundición. Esto debido a que la cera tiene una gran facilidad para brindar ángulos de salida en las piezas a moldear.

A continuación, se presentan las características esenciales de la parafina.

Propiedad	Valor
Fórmula química	C_nH_{2n+2}
Peso molecular	300-450 g/mol
Apariencia	Sólido blanco o incoloro
Punto de fusión	46-68 °C
Punto de ebullición	370-550 °C
Solubilidad en agua	Insoluble
Índice de refracción	1.4-1.5
Estado de agregación a temperatura ambiente	Sólido

Tabla 5: Propiedades de la parafina[31]

2.2.14 Refractarios

Un material refractario es un material que resiste a fundirse o que soporta temperaturas iguales o superiores a 1.500 °C. Los materiales refractarios se usan para el revestimiento de hornos y la fabricación de crisoles, también son muy usados para el revestimiento del molde ya que ayudan a contrarrestar diversos procesos que ocurren en este durante al colado del material. [32]

Los materiales refractarios deben resistir al contacto con los materiales fundidos y a la escoria presente en estos, además de los gases que se producen en la colada. También deben soportar los choques térmicos que pueden suceder al ingresar la colada a los moldes. Otro aspecto que deben cumplir los materiales refractarios es la resistencia a la creación de poros ya que a mayor cantidad de poros peor acabado superficial y facilidad de corrosión.[33]

2.2.14.1 Alúmina

La alúmina es un compuesto químico formado por óxido de aluminio (Al_2O_3). Es uno de los óxidos más abundantes en la corteza terrestre y se encuentra en numerosos minerales. La alúmina es conocida por su alta resistencia mecánica, su alta dureza y su excelente capacidad para resistir temperaturas extremadamente altas.

Estas propiedades hacen que la alúmina sea un material ampliamente utilizado en diversas aplicaciones, incluyendo la industria de la cerámica, la ingeniería de materiales, la electrónica y la industria del acero. Además, la alúmina se utiliza en la producción de aluminio a partir de la bauxita, un mineral rico en alúmina.

La alúmina es ampliamente usada en los procesos de fundición de aluminio en 2 etapas importantes del proceso, en la creación del molde y en la fundición del aluminio.

- Creación del molde: La alúmina se la puede usar para recubrir de un material refractario el molde para mejorar las características de este, mejora tanto la resistencia a los choques térmicos como la resistencia a la creación de poros en la pieza fundida.
- Agente desoxidante: Cuando se añade alúmina al material fundido dentro del horno, esta reacciona con el oxígeno presente en la colada formando óxidos que pueden ser removidos con mayor facilidad en forma de escoria, esto ayuda a purificar el metal a fundir y tener mejor características finales de la pieza.

Capítulo III

3 MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta las actividades realizadas en el presente trabajo.

3.1 Tipos de Investigación

En el presente texto se desarrolla una investigación experimental enfocada a aplicar cambios a un procedimiento para conseguir diversos resultados para conseguir el más adecuado. Esto debido a que se trata de conseguir el método más adecuado para desarrollar el procedimiento propuesto en este trabajo.[34]

En este trabajo también se aplica una investigación aplicada debido a que se enfoca en la resolución de un problema directo y práctico. Esto es aplicado a que es un trabajo que tiene como objetivo encontrar estrategias para lograr un objetivo específico [34].

3.2 Diseño de la Investigación

Se detallan las actividades necesarias para cumplir con los objetivos planteados partiendo de una lógica adecuada y secuenciada en el proceso de diseño.

3.2.1 Diseño del modelo patrón adecuado

En esta etapa se diseña el modelo a ser fundido, para conseguir este diseño se pone como punto de partida restricciones como la complejidad de la pieza o el acabado superficial requerido en la misma.

3.2.1.1 Actividad 1: Diseño de modelo CAD para impresión.

Para el diseño de la pieza a ser estudiada se empezó con una categorización de los parámetros a ser estudiados con el proceso.

A continuación, se mencionan las características tomadas como base para el diseño de la pieza.

- Que su geometría sea complicada de elaborar por métodos tradicionales.
- Que su fabricación no se pueda realizar en molde tradicional.

- Que se pueda fabricar a base de impresión 3D.
- Que su tamaño no sobrepase los 15 cm en todas las direcciones.
- Que su material de impresión sea Ácido Poliláctico (PLA).

En base a las características antes mencionadas, se decidió escoger un rodete de un turbocompresor con álabes de salida radial [35].

Para el diseño se utilizó el software computacional SOLIDWORKS® con licencia estudiantil.

El diseño del rodete se basó bajo la normativa NTE INEN-IEC 61366-6 [36] la cual es idéntica a la Norma Internacional IEC 61366-6:1998 [37]. Además, se toma como partida inicial rodetes ya diseñados de licencia libre.

Los estudios de eficiencia del rodete no se incluyen en este proyecto de investigación debido a que este trabajo no se centra en el estudio de la eficiencia del rodete, en realidad está centrado en el estudio de un nuevo proceso de fabricación de esta pieza o de similares características.

El diseño del rodete se puede observar en la figura 3.

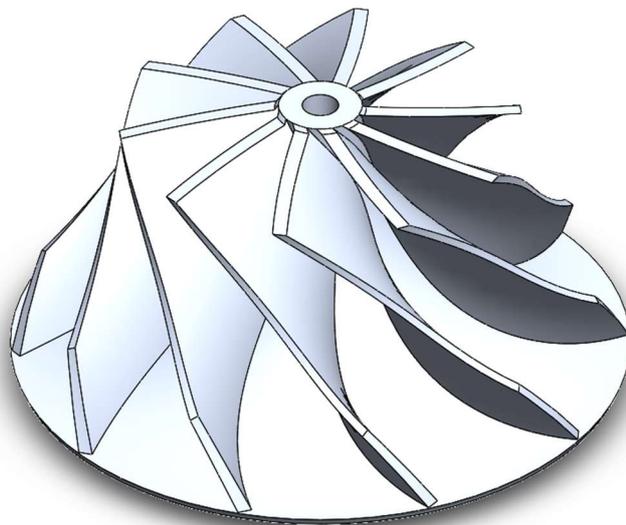


Figura 2: Figura diseñada para estudio

3.2.1.2 Actividad 2: Determinación de los parámetros idóneos para impresión 3D.

La pieza al tener varios detalles con una geometría un tanto complicada debe ser impresa con unos parámetros diferentes a los normalmente utilizados en la impresión 3D con PLA [38].

El parámetro que más se modifica es la velocidad de impresión, esto provoca que la impresora se mueva a mayor velocidad mientras deposita material en cada capa, con una mayor velocidad de impresión se consigue que las capas se mantengan unidas en menor tiempo lo que permite la impresión de geometrías complicadas sin necesidad de soportes adicionales [39].

En la tabla 6 se especifican los parámetros aplicados para la impresión.

Parámetro de impresión	Valor APLICADO
Temperatura del extrusor	220°C
Temperatura de la cama	60°C
Velocidad de impresión	50 mm/s
Altura de capa	0.2 mm
Diámetro de la boquilla	0.4 mm
Retracción	1 mm
Adherencia de la cama	Cinta Scotch Blue
Enfriamiento	Ventilador de capa activado

Tabla 6: Parámetros de impresión de PLA utilizados [15]

3.2.1.3 Actividad 3: Impresión de modelo patrón en material seleccionado.

Para la impresión de la pieza se utilizó una impresora Ender 3 Pro con características de fábrica sin modificaciones adicionales.

El filamento utilizado para la impresión “filament2print” de 1.75mm de diámetro fabricado bajo los estándares RoHSS.

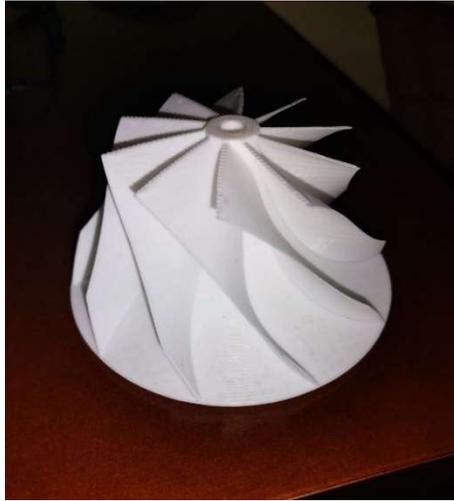


Figura 3: Pieza impresa en PLA

La pieza tuvo una duración de impresión de 8 horas y 24 minutos con las configuraciones previamente establecidas. No requirió de soportes adicionales ni de modificaciones para la primera impresión. La pieza impresa se puede observar en la figura 4.

3.2.1.4 Actividad 4: Validación de las piezas creadas por medio de la impresión 3D.

La pieza pese a ser muy bien impresa debe ser modificada en el diseño, esto debido a los requerimientos para el proceso de fundición. Cuando en una pieza a ser fundida tiene un espesor menor a 3mm es necesario añadir elementos de depósito que permitan a la pieza rellenar en partes que su espesor sea muy pequeño [40].

Con estas modificaciones, el nuevo diseño propuesto será el que se puede observar en la figura 5.

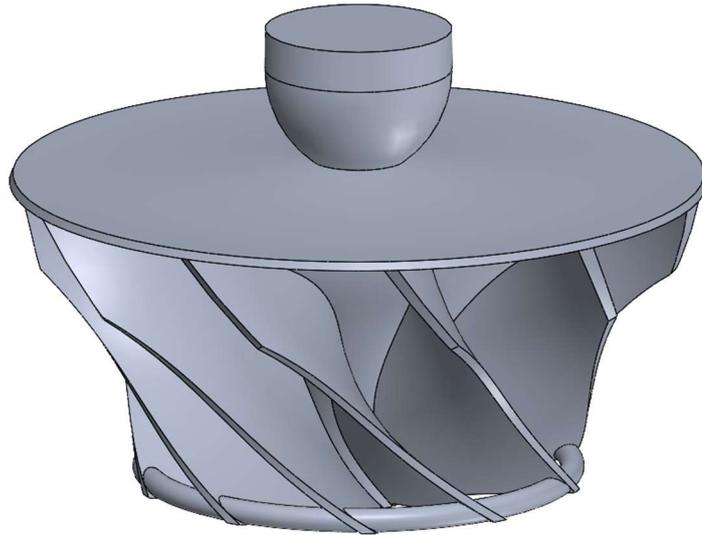


Figura 4: Pieza con modificaciones necesarias para moldeo

El nuevo diseño consta de una “corona de llenado”, esta permite el ingreso de material a los álabes y que puedan tener la forma final con el aluminio fundido. La corona luego puede ser retirada con ayuda de una herramienta de corte como una amoladora. Esta corona no afecta al propósito de la pieza debido a que su finalidad es ser retirada luego de la culminación del proceso.

Además, se contempló la necesidad de una preforma de mazarota para la entrada del material fundido. Esta mazarota luego fue modificada en la creación del molde que se evidencia en la siguiente sección.

3.2.1.5 Actividad 5: Preparación de las piezas mediante postprocesado.

La pieza luego de ser impresa presenta una superficie rugosa debido al proceso de impresión, las capas de cada pasada del extrusor pueden ser notorias en todas las piezas impresas en 3D. Es necesario mejorar la superficie de la pieza por algún método de pulido que garantice un mejor acabado superficial de la pieza.

El postprocesado de la pieza se realiza en dos etapas, la primera consiste en un pulido con materiales abrasivos y la segunda consiste en un pulido con un agente solvente.

- Pulido con materiales abrasivos

El pulido se lo realizó con lijas de diversa numeración, se empezó por una lija número 80, luego una lija de número 120 y finalmente una lija número 220. La numeración de las lijas viene dada por la densidad de grano presente en la superficie de la lija, mientras menor sea el número de lija el grano será más grueso y retirará más material de la pieza.

➤ Pulido con agente solvente

La pieza luego de ser pulida con lija se aplicó un proceso de impregnación con un material solvente del PLA. Este compuesto se denomina “tetrahidrofurano” con fórmula empírica C_4H_8O también conocido como THF.

Este compuesto es un líquido parecido al thinner de una viscosidad baja y con un olor similar, es comúnmente utilizado como solvente en reacciones químicas, también es muy utilizado como disolvente de pinturas, resinas, pegamentos y recubrimientos en diversas áreas.



Figura 5: Tetrahidrofurano (THF) utilizado para pulimento

El THF fue aplicado a la pieza con ayuda de un pincel de cerdas suaves para tener una capa uniforme de solvente en la pieza.

3.2.2 Desarrollo de prototipo de molde adecuado para los modelos impresos

Durante esta etapa se realiza la selección del molde adecuado para los modelos tomando en cuenta el material, la porosidad del material, brindando la solución óptima al proceso evitando los problemas clásicos del moldeo tradicional [3].

3.2.2.1 Actividad 1: Determinación de la técnica de moldeo adecuada para el proceso.

Para poder determinar la técnica adecuada para el moldeo de la pieza seleccionada se realizó una comparación entre las diferentes técnicas de moldeo comúnmente utilizadas y los tipos de molde característicos usados en cada una.

Tipo de molde	Material de molde	Uso de aditivo o Aglutinante	Dificultad de Fabricación	Acabado de la pieza
Permanente	Acero aleado	NO	Alta dificultad	Excelente acabado
	Hierro fundido	NO	Alta dificultad	Excelente acabado
Semipermanente	Acero aleado - Arena de Sílice	SI	Media dificultad	Buen acabado
	Acero aleado - Arena verde	SI	Media dificultad	Buen acabado dependiendo aditivos
	Acero aleado - Resina Epóxica	NO	Media dificultad	Buen acabado dependiendo aditivos
No permanente	Arena verde	SI	Baja dificultad	Regular acabado dependiendo aditivo
	Arena de Sílice	SI	Baja dificultad	Buen acabado dependiendo aditivos

Tabla 7: Comparación entre tipo de molde VS Acabado de pieza

Tipo de molde	Material de molde	Tipo de aditivo / aglutinante	Necesidad de mecanizado de molde	Capacidad de copia de geometrías complejas
----------------------	--------------------------	--------------------------------------	---	---

Permanente	Acero aleado	NO	SI – CNC	Geometría exterior
	Hierro fundido	NO	SI – CNC	Geometría exterior
Semipermanente	Acero aleado - Silicato		Depende la	NO
	Arena de Sílice		pieza	
	Acero aleado - Bentonita/		Depende la	NO
	Arena verde Carbonilla		pieza	
No permanente	Acero aleado - NO		Depende la	NO
	Resina Epóxica		pieza	
No permanente	Arena verde	Bentonita/	NO	NO
		Carbonilla		
	Arena de Sílice	Silicato	NO	SI

Tabla 8: Comparación entre Tipo de molde VS Mecanizado

Tomando en consideración las comparaciones realizadas en las tablas 7 y 8 se optó por la realización de un molde no permanente a base de arena de sílice, esto debido a que la geometría de la pieza requiere un molde destruible para poder obtener su geometría y un acabado superficial deseado.

3.2.2.2 Actividad 2: Selección del material para el molde.

Para la selección del material se siguió los resultados de las tablas 7 y 8 obteniendo que el material más adecuado es la arena de sílice como base del molde usando aglutinante para mejorar la mezcla.

La arena de sílice debe ser tamizada para obtener una granulometría fina, se usó un tamiz de 20 μ m como se muestra en las figuras 7 y 8.



Figura 6: Arena sílice lavada



Figura 7: Arena sílice tamizada

Además, hay que considerar que para la correcta obtención de la pieza estudiada es necesario un tipo de material capaz de obtener la geometría de la pieza. Es por eso, que como segundo material de la mezcla se considera al yeso, esto debido a que cuando se mezcla con agua puede llenar los espacios dejados por la arena en el molde y así obtener una copia más directa de la pieza.

El yeso puede ser adquirido en diferentes presentaciones con diferentes características, la más adecuada para el uso en la fundición es el yeso odontológico como lo indica [41].

Si bien es cierto, estos materiales son los más usados para la realización de moldes desechables, hay que tener una consideración un aspecto más de la mezcla idónea. La capacidad refractaria del material debe ser superior que las normalmente obtenidas con el yeso y con la arena de sílice, esta consideración es necesaria debido al tipo de modelo escogido y a su geometría.

La refractariedad de la arena puede ser aumentada con silicato como aditivo, pero una desventaja del uso del silicato con el yeso en mezcla es que el silicato inhibe la capacidad de curación del yeso por su solidificación casi inmediata al aplicar CO₂, y debido a que el CO₂ es uno de los gases más presentes en el aire dificulta el proceso de obtención del molde.

Por lo tanto, el material elegido para aumentar la capacidad de refracción del molde es la alúmina, ya que este material es capaz de resistir altas temperaturas y presiones generadas en la fundición.

Otra ventaja del uso de la alúmina es su capacidad de mezcla con el yeso, debido a que ambos son polvos de granulometría parecidas y su capacidad de mezcla con el agua también es alta.

La alúmina se obtuvo de un compuesto refractario muy utilizado en el revestimiento de hornos industriales llamado bauxita de alta alúmina como se muestra en la figura 9.

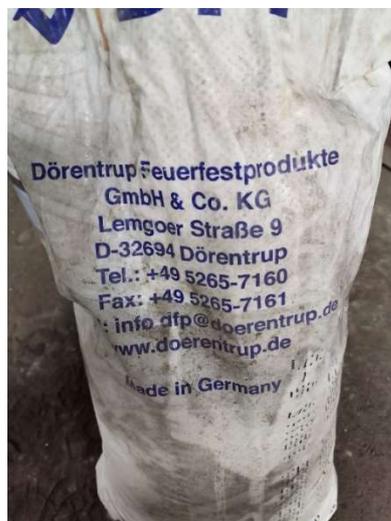


Figura 8: Alúmina utilizada como refractario

La alúmina también debe ser tamizada con el mismo tamaño de tamiz que la arena de sílice para obtener una mezcla homogénea como se muestra en la figura 10.



Figura 9: Alúmina tamizada

Esta mezcla fue probada mediante experimentación cambiando la cantidad de humedad presente en la mezcla. Para obtener la cantidad adecuada de agua a añadir en la mezcla se considera una relación polvo-agua base del yeso odontológico y cambiándola hasta obtener una mezcla adecuada.

La relación polvo-agua del yeso odontológico es aproximadamente 20% (este porcentaje depende de la calidad del yeso, el fabricante y la consistencia que se requiera dar al yeso, pero puede ser usado como referencia base).

Ya que son 3 los materiales sólidos a usarse en la mezcla se partieron con porcentajes iguales para elaborar la mezcla y añadiendo 20% de agua.

Se usó una balanza de 5 décimas de precisión para determinar la cantidad exacta de cada uno de los materiales.



Figura 10: Pezaje de materiales para molde

El primer ensayo realizado demostró que los porcentajes debían ser modificados para obtener mejores resultados, basados en lo expuesto en [42] se obtiene los siguientes porcentajes de la mezcla

- Yeso odontológico: 30%
- Arena sílice: 33%
- Alúmina: 35%

Para determinar la cantidad exacta de agua que se debía añadir a la mezcla se tomó como referencia la necesidad de obtener las mejores calidades superficiales en la pieza. Esto obliga a que la mezcla sea más líquida de lo que se toma como referencia del yeso para mortero.

Con esto en cuenta la relación polvo-agua de la mezcla se ensayó con 20%, 25% y 30% obteniendo los siguientes resultados:

Relación polvo-agua	Consistencia	Velocidad de fraguado	Creación de poros en el molde
20%	Pastosa – Forma grumos de material que no terminan mezclándose	Rápida – Aproximadamente 5 minutos	Existencia de varios poros en el molde

25%	Intermedia – Forma grumos de material más pequeños que en la primera prueba	Intermedia – Aproximadamente 10 minutos	Existencia de poros en menor medida y cantidad
30%	Fluida – Forma mezcla homogénea de los materiales	Lenta – Aproximadamente 15 minutos	Porosidad casi nula en el molde

Tabla 9: Porcentaje de humedad VS Fraguado



Figura 11: Comparativa entre pruebas de mezcla realizadas

En la figura 12 se puede comprobar la diferencia entre los ensayos realizados para obtener la mezcla adecuada del molde.

Se puede evidenciar como con el 20% de agua se obtuvo una mezcla mucho más espesa y con una velocidad de fraguado muy rápida, esto provocó la creación de varios poros en el molde de ensayo, lo cual provocaría que se creen vacíos de aire en el molde por lo tanto dañaría el acabado superficial de la pieza final. Los resultados de este ensayo se muestran en la figura 13.



Figura 12: Prueba realizada con el 20% de humedad

Con el 25% de agua se obtuvo una mezcla con mayor consistencia y una velocidad de fraguado intermedia (aprox. 10 min) esto provocó la creación de poros en menor medida y cantidad que el primer ensayo, aun así, la presencia de poros fue evidente y afectaría la pieza final. Los resultados de este ensayo se muestran en la figura 14.



Figura 13: Prueba realizada con el 25% de humedad

Con el 30% de agua se obtuvo una mezcla muy fluida casi líquida con una velocidad de fraguado lenta (aprox. 15 min) esto permitió que el aire contenido en el interior del molde pueda salir por la superficie y la presencia de poros sea casi nula en la pieza,

además al ser una mezcla más líquida es capaz de copiar con mayor precisión los detalles de la pieza. Los resultados de este ensayo se muestran en la figura 15.



Figura 14 Prueba realizada con el 30% de humedad

Las pruebas realizadas además fueron pesadas luego de haber fraguado completamente y los resultados se muestran en la tabla 10.

Ensayo – Relación polvo-agua	Peso
1 - 20%	0,96 kilogramos
2 - 25%	1,05 kilogramos
3 - 30%	1,15 kilogramos

Tabla 10: Tabla comparativa porcentaje de agua VS peso

Es evidente el aumento de peso conforme aumenta el porcentaje de agua añadido a la mezcla. Esto influirá luego en la etapa de curación del molde. Los pesos de los moldes probetas realizadas se muestran en la figura 16.



Figura 15: Comparativa de pesos de pruebas realizadas

Con lo expuesto anteriormente, se determina que la mezcla ideal para el propósito de estudio es la siguiente:

- Yeso odontológico: 30%
- Arena sílice: 33%
- Alúmina: 35%
- Relación polvo-agua: 30%

3.2.2.3 Actividad 3: Elaboración del molde seleccionado para las piezas a fundir.

Para la elaboración del molde es necesario realizar una estructura de sujeción que permita contener todo el material realizado en la mezcla además de la pieza lista para el molde.

La caja del molde es elaborada a partir de un tubo de acero de perforado en toda su superficie con agujeros de aproximadamente 3 mm de diámetro, esto es necesario para que los gases procedentes del proceso de fundición tengan una forma de escapar del molde. La estructura base del molde se muestra en la figura 17.



Figura 16: Estructura de molde con pieza en interior

Como se evidencia en la figura 17, la estructura debe ser cubierta por un plástico para poder depositar dentro la mezcla realizada y evitar fugas. Las dimensiones del tubo utilizado son las siguientes:

- Diámetro: 150 mm
- Alto: 300 mm
- Espesor: 1 mm

Para poder garantizar una forma del molde que contenga una mazarota de entrada del material, es necesario modificar la pieza a estudiar por medio de la adición de un elemento que contenga la forma de una mazarota, este elemento tiene una preforma elaborada en masilla automotriz [43]. También es necesaria la colocación de respiros fabricados en cera de fundición, estos respiros permiten la regulación de presiones en el interior del molde y la salida de gases de la colada al entrar en contacto con el molde. Estas modificaciones se evidencian en la figura 18.



Figura 17: Vaciaderos y respiros realizados con parafina de moldeo

Antes de la colocación de la pieza dentro de la estructura que contendrá al molde, es necesario cubrir la pieza con una fina capa de grafito para poder lubricar las paredes de la pieza y evitar una adherencia entre la pieza y el molde.

El grafito fue aplicado con la técnica de imprimación con ayuda de una brocha para poder cubrir toda la superficie de la pieza, hay que evitar que el grafito cubra las paredes de la estructura, la lubricación generada por el grafito puede provocar que el material de la mezcla no se adhiera a las paredes del molde y puede terminar destruyendo el molde.



Figura 18: Impregnación de grafito en molde

Para la preparación del material del molde se utiliza un balde como material para mezclar los elementos.



Figura 19: Recipiente con materiales a mezclar para molde

Para poder tener una mezcla homogénea se utilizó una mezcladora mecánica, esto consiste en un taladro con una varilla mezcladora comúnmente utilizada para mezclar mortero en la construcción.



Figura 20: Mezclador utilizado para elaborar material de molde

Para la preparación primero se añadió todos los elementos sólidos, se procedió a realizar una mezcla con el taladro de aproximadamente 2 minutos, o hasta conseguir una mezcla homogénea de los materiales. Luego se procedió a añadir el agua y seguir

mezclando por unos 3 minutos más, el tiempo de mezcla no debe ser muy largo debido a que cuando el yeso entra en contacto con el agua empieza a fraguar.



Figura 21: Consistencia de material de molde elaborado

Se procede a rellenar la caja del molde con la pieza en su interior con la mezcla realizada.



Figura 22: Molde con pieza en interior y mezcla realizada

La mezcla debe cubrir completamente la pieza y rellenar completamente la caja del molde como se muestra en la figura 25.



Figura 23: Molde finalizado para empezar proceso de fraguado

Durante el fraguado de la mezcla se produce una reacción exotérmica generada por el cambio de fase de la mezcla al pasar de líquido a sólido, en la figura 25 se puede evidenciar la diferencia de temperatura en el molde.



Figura 24: Comparativa de temperatura de molde durante proceso de fraguado

Para terminar la fabricación del molde se debe retirar la preforma de la mazarota y limpiar la superficie del molde, también así se debe limpiar la entrada de los respiros de cera para evitar haya residuos en el interior del molde.



Figura 25: Desmontaje de preforma de mazarota de molde

3.2.2.4 Actividad 4: Preparación del molde elaborado para el proceso de fundición.

El fraguado de la mezcla se lo desarrolló durante 2 días con ventilación natural para agilizar el proceso, si bien es cierto el fraguado en húmedo fue con cierta rapidez, el fraguado en seco demoró mayor tiempo hasta evaporar el exceso de agua superficial en la mezcla y en el molde desarrollado.

Un proceso esencial en la fabricación de moldes con yeso es el curado de este. El curado del molde se lo realizó en un horno de mufla eléctrico, figura 28.



Figura 26: Horno mufla utilizado para proceso de curado de molde

La curación se lo realizó durante 9 horas seguidas, la temperatura se fue aumentando cada media hora en 50 °C hasta alcanzar los 450 °C. El molde curado se puede observar en la figura 29.



Figura 27: Molde curado salido del horno

Luego del proceso de curado, es necesario realizar un proceso de quemado del PLA que se encuentra en el interior, así se puede obtener una cavidad con la forma de la pieza estudiada.

El proceso de quemado se lo realizó en el mismo horno de mufla cambiando las temperaturas utilizadas. El quemado se lo realizó durante 8 horas aumentando la temperatura cada hora en 100 °C. El molde quemado se puede observar en la figura 30.



Figura 28: Molde quemado en horno mufla

Los residuos del proceso de quemado fueron recogidos por una bandeja en la parte inferior del horno. La cantidad de residuos no puede ser cuantificada debido a que no se puede estandarizar el orden de quemado de las partes del modelo, en cada prueba los residuos son variados y de diferentes tamaños.



Figura 29: Residuos de PLA luego de proceso de quemado

3.2.3 Validación del proceso

En esta etapa se desarrolla el proceso de fundición en el molde elaborado siguiendo parámetros establecidos mediante investigación documental y experimental del proceso de fundición.

3.2.3.1 Actividad 1: Fundición de chatarra de aluminio para obtención de colada.

Para la fundición de la chatarra de aluminio se utilizó un horno Venturi a gas y aceite.



Figura 30: Horno tipo Venturi para fundición de aluminio alimentado por GLP

La colada de aluminio debe ser sometida a un proceso de desgasificación para retirar la mayor cantidad de escoria posible del aluminio [29], este proceso se realizó con pastillas de cloro, además es necesario añadir sodio a la colada para la activación del cloro, el sodio se lo añadió en forma de sal de mesa.



Figura 31: Pastillas desgasificantes de aluminio activadas por cloro

El horno se lo dejó funcionar durante aproximadamente 1 hora hasta fundir toda la chatarra de aluminio.



Figura 32: Fundición de aluminio en horno tipo Venturi a temperatura superior a 600 grados

El molde se aseguró con arena alrededor para evitar que la presión generada rompa el molde, la arena que rodea al molde es arena verde seca para comprimir el molde.



Figura 33: Molde rodeado de arena verde para ejercer contrapresión en el molde

3.2.3.2 Actividad 2: Colado del aluminio en los moldes elaborados.

Para el proceso del colado del aluminio se utilizó un caldero de acero recubierto en su interior con concreto refractario.

El equipo de protección personal es de vital importancia en este proceso para evitar accidentes. El proceso de colado se evidencia en las figuras 36 y 37.



Figura 34: Colado de aluminio en caldero

Luego se procedió a realizar un proceso de escoriación para retirar toda la escoria presente en la superficie de la colada, esto se lo realizó mediante un proceso de

decantación de la escoria presente para luego ser retirada mediante un proceso llamado “skimming”, el cual consiste en retirar la escoria de la superficie con una especie de cucharón, normalmente de acero.



Figura 35: Vaciado de aluminio fundido en molde

El colado del aluminio fundido se lo realizó en la entrada del molde cuidando tener un flujo constante para permitir un buen llenado del molde [44].

3.2.3.3 Actividad 3: Extracción de las piezas fundidas de los moldes.

Luego de 1 hora después del colado, la pieza se encuentra a una temperatura adecuada para retirarla del molde y realizar una inspección visual de los resultados. La pieza fundida dentro del molde se observa en la figura 38.



Figura 36: Herramientas utilizadas para extracción de pieza de molde

Para poder retirar la pieza del molde se utilizó guantes de cuero, combo y cincel, esto debido a que la dureza del molde es muy alta para poder abrirlo solo con las manos.



Figura 37: Extracción de la pieza fundida de molde

3.2.3.4 Actividad 4: Limpieza y postprocesado de las piezas fundidas.

Una vez retirada la pieza del molde se procedió a realizar una limpieza para poder observar toda la superficie de la pieza.



Figura 38: Limpieza de pieza fundida

A la superficie de la pieza se adhirió parte del material del molde, este fue retirado con agua caliente debido a que la base del material del molde es yeso.



Figura 39: Superficie de pieza fundida

3.2.3.5 Actividad 5: Determinación de las propiedades superficiales de las piezas.

Luego de la limpieza de la pieza se pudo determinar el resultado del proceso de fundición.

Para poder determinar las propiedades de la pieza se utilizó una cámara endoscópica para poder alcanzar los lugares más ocultos de la pieza.

Capítulo IV

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de toda la metodología aplicada desglosados por secciones al igual que en el anterior capítulo.

4.1 Diseño del modelo patrón

La pieza seleccionada para el diseño fue sometida a simulaciones de llenado en el software SolidWorks con su complemento Solid Plastics.

Debido a que este software no permite la adición del molde a la pieza en conjunto, la simulación se la llevó a cabo con el diseño de la pieza final.

Se estableció como punto de entrada del material una arista del eje central del modelo, así se permite el llenado desde el centro de la pieza hacia las aletas exteriores del mismo, el mismo concepto se usa en todo tipo de llenado de moldes.

Las presiones ejercidas dentro del molde se las ajusta de acuerdo a las presiones nominales del aluminio fundido que viene preconfiguradas en el software, la velocidad también se usa la preestablecida en el software.

Los resultados obtenidos se evidencian en la figura 42, se puede observar que en toda la pieza se obtiene un llenado uniforme, denominado por el color azul de la simulación, en las bases de las aletas se presenta pequeñas complicaciones al ser llenado, pero no son significantes debido a que no superan el umbral de porosidad determinado por el rango de color de la simulación, se obtiene un color verde azulado en estas secciones con lo cual no presenta mayor riesgo.

El punto de entrada del material se diferencia por el color rojo presente en la simulación, esto no quiere decir que vaya a haber problemas en ese punto, de hecho, lo que indica la simulación en ese punto es una concentración de material muy alta, esto es debido al flujo del material en esa zona.

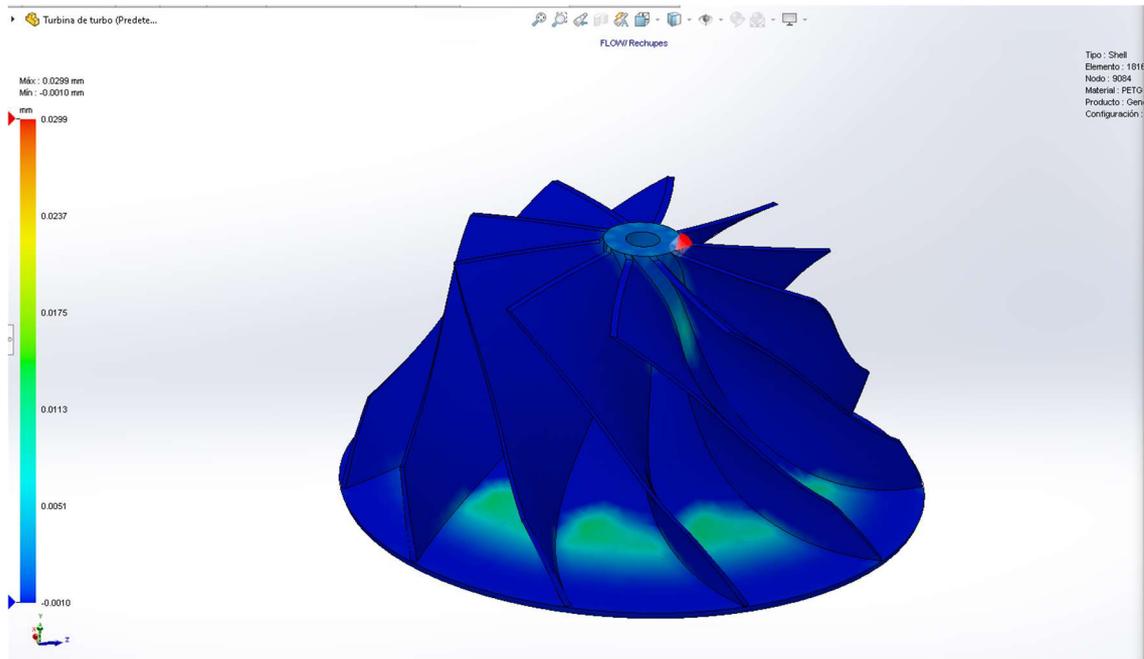


Figura 40: Simulación de llenado de pieza en software SolidWorks

Dando una correcta simulación de llenado del molde, lo que permite asegurar que el proceso de colado de la pieza permitirá un llenado total [45].

Sin embargo, lo que no toma en cuenta la simulación es el residuo sobrante de la eliminación del PLA, ya que esto no se puede simular debido a la complejidad del estudio en cuestión. Aun así, la simulación indicó que se puede proseguir con la fabricación del molde en la geometría especificada.

4.2 Impresión de modelo

Para el proceso de impresión se encontró que existen diferencias entre los softwares para el control y la creación del código G de las impresiones, el software utilizado fue Ultimaker Cura ya que cuenta con compatibilidad directa con la impresora Ender 3 Pro utilizada en la fabricación.

Además, la velocidad de impresión debe ser el principal parámetro por tratar ya que al aumentar la velocidad se puede imprimir capas en voladizo con mayor peralte sin necesidad de soportes adicionales.

Otro parámetro de mayor importancia en este proceso es el de relleno. Ya que las piezas no están destinadas a recibir cargas de ningún tipo, no es necesario que la

resistencia mecánica de las piezas sea excesiva, al contrario, es necesario que el relleno sea lo menor posible para tener menor cantidad de material a retirar en el proceso de quemado del molde.

4.3 Postprocesado de pieza

Si bien es cierto con una correcta calibración de la impresora se puede conseguir una superficie de paredes mucho más lisa, esto no es suficiente para poder obtener un buen resultado en este proceso estudiado, es por ello por lo que añadir un tratamiento a toda la superficie de la pieza es esencial.

El retiro de material excesivo con ayuda de lijas permite tener una superficie homogénea pero también si es demasiado brusco el tratamiento, puede ocasionar que la pieza adquiera agujeros creados por la baja densidad de relleno aplicada en la impresión. Esto puede cambiar con el uso progresivo de diversas lijas de diferente numeración, así se puede controlar de mejor manera el proceso de pulido.

La utilización de agentes solventes en la pieza ayuda a obtener un acabado casi semejante a la madera. Si la utilización de estos agentes solventes, tales como el tetrahidrofurano (THF), es mucho más extenuante puede provocar irregularidades en la superficie al penetrar en mayor medida por las capas de PLA [46].

4.4 Creación del material del molde

La mezcla creada para la fabricación del molde a partir de yeso, arena sílice y alúmina con un porcentaje de 30% de humedad obtuvo grandes características térmicas y mecánicas.

La dureza del molde luego del fraguado fue extremadamente alta, esto provoca que la presión ejercida en el interior del molde por la colada no dañe el molde mismo ni tampoco cambie la geometría de la pieza a fundir.

La granulometría de la mezcla se puede evaluar en una curva granulométrica de escala Atterberg.

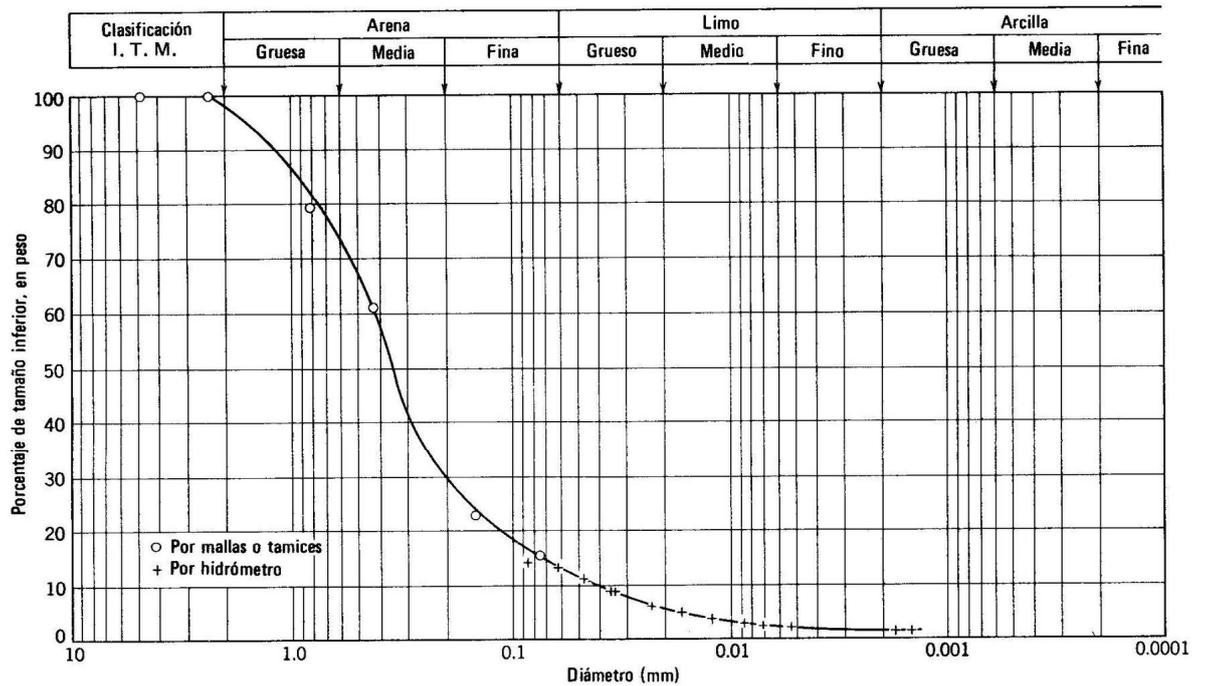


Figura 41: Curva de granulometría según escala de Atterberg [47]

La mezcla elaborada se encuentra en el rango de cambio entre limo y arcilla, por lo que se puede decir que la mezcla es tan fina que permite obtener un detalle mínimo en las piezas fundidas.

4.5 Curado de molde

En la etapa del curado del molde, el tiempo es el principal aspecto para tratar, ya que un buen secado del molde conlleva varios días, y se obtienen mejores resultados al combinar métodos de secado.

En la primera etapa del curado se usó ventilación natural dejando al molde al aire libre durante dos días, después de este período el molde presentaba una superficie seca de alrededor de 2mm de profundidad, pero el resto del molde seguía con humedad en su interior.

La siguiente etapa del curado se lo realizó en un horno mufla por 8 horas seguidas aumentando la temperatura gradualmente cada media hora hasta alcanzar los 400 °C, luego de este tiempo dentro del horno el molde estaba completamente seco y no

presentaba resquebrajamiento en su superficie, lo que indica que el proceso de curado fue hecho de manera adecuada al no presentar choques térmicos excesivos que puedan dañar el molde.

4.6 Quemado de PLA

Esta etapa es la que presenta una mayor dificultad para obtener un proceso adecuado, ya que si el PLA no puede ser evacuado completamente del molde creará poros e imperfecciones en la pieza.

El rango de temperaturas utilizado para el quemado del PLA fue de 100°C a 800°C durante 8 horas seguidas [48].

En una primera prueba se evidenció que el PLA de la superficie del molde si se derritió completamente, se evidencia en la imagen 1.



Figura 42: Molde con cavidades de respiros de molde

4.7 Fundición de Aluminio

En la etapa de la fundición del aluminio se utilizó un horno tipo Venturi con capacidad de 200kg alimentado por aceite y gas.

En esta etapa los aspectos a tomar en cuenta es la calidad de la chatarra de aluminio, ya que si esta tiene mayor cantidad de aleaciones terminan afectando al material final.

Además, hay que tener mayor consideración en la desgasificación de la colada, los gases presentes en la colada pueden añadir impurezas extras a la colada lo que dañaría

el producto final. La adición de pastillas desgasificantes a base de cloro ayuda en gran medida a este proceso, permite que el resto de los gases dentro de la colada se conviertan en escoria y por medio de un proceso de decantación al ser esta escoria menos densa que la colada termine flotando en la superficie y pueda ser fácilmente retirada [49], [50].



Figura 43: Proceso de escoriado de colada de aluminio

4.8 Colado del molde

Durante el colado del aluminio en el molde es necesario que una persona con experiencia sea la encargada del proceso, ya que el flujo de entrada del material debe ser constante y no debe haber cortes de chorro, estos cortes provocan bolsas de aire dentro del molde y dañan la pieza.

La velocidad de colado depende de cómo reacciona el molde a la entrada del material, si los respiraderos empiezan a burbujear es porque el colado está siendo muy lento y está entrando aire junto con la colada [51].



Figura 44: Colado de aluminio fundido

4.9 Limpieza de la pieza

Luego de que la pieza solidificase se la puede retirar del molde. El tipo de molde realizado alcanzó una dureza muy elevada, lo que va a dificultar un poco el proceso de limpieza, pero con ayuda de herramientas se la puede liberar fácilmente. Además, como el material principal es el yeso, se puede introducir la pieza en agua caliente y se limpiará de los residuos restantes.



Figura 45: Pieza presta a extracción y limpieza

4.10 Validación de procesos

En esta etapa se caracterizó los resultados de todo el proceso aplicado empezando por la pieza luego de la limpieza efectuada.

A simple vista se puede observar que la primera prueba realizada presentó problemas en el quemado del PLA dentro del molde, ya que la presencia de poros en la pieza es muy evidente.



Figura 46: Primera prueba realizada con poros a simple vista

Con la cantidad de poros obtenida en la primera prueba es necesario descartar y realizar una segunda prueba cambiando los parámetros de quemado del PLA.

En la segunda prueba, los parámetros usados en la quema del PLA fueron los siguientes:

- Tiempo de quemado: 8 horas
- Temperatura inicial de quemado: 100°C
- Rango de aumento de temperatura: 150°C/hora
- Temperatura final alcanzada: 1150°C

En la segunda prueba realizada se obtuvo menor cantidad de poros, pero aun así la pieza debe ser descartada.



Figura 47: Segunda prueba realizada con poro de menor tamaño visible

En una tercera prueba realizada se modificó los siguientes parámetros de quemado:

- Tiempo de quemado: 8 horas
- Temperatura inicial de quemado: 0°C
- Rango de aumento de temperatura: 200°C/hora
- Temperatura final alcanzada: 800°C

En esta tercera prueba se probó mantener una temperatura elevada constante durante más tiempo, la temperatura mantenida fue de 800 °C durante 5 horas seguidas los resultados fueron los siguientes.



Figura 48: Tercera prueba realizada de pieza fundida

La siguiente tabla compara las pruebas realizadas con los resultados obtenidos en cada una de ellas.

Número de Prueba	Temperatura Aplicada	Duración de Quemado	Densidad de poros presentes	Tamaño de poros obtenidos
1	Intervalos de 100 °C cada hora hasta 800 °C	8 horas	Gran cantidad de poros en pieza	Tamaños grandes hasta 20 mm de diámetro
2	Intervalos de 150°C hasta 1150°C	8 horas	Menor cantidad, pero todavía demasiados poros	Tamaños medios hasta 10 mm de diámetro

3	Intervalos de 200 °C cada hora hasta 800 °C	8 horas	Igual cantidad de poros presentes	Tamaños variables de entre 5 a 10 mm de diámetro
----------	---	---------	-----------------------------------	--

Tabla 11: Comparativa entre pruebas realizadas VS porosidad obtenida

Pese a que en la tercera prueba se obtuvo un buen llenado de la pieza, los poros siguen estando presentes. Además, los poros obtenidos en las 3 pruebas presentan similitudes tal como:

- Estructura laminar en los bordes
- Geometrías en formas esféricas
- Profundidades variables

Estas características nos pueden hacer pensar que el quemado del PLA no es completo y quedan residuos dentro del molde.

Ya que en las pruebas realizadas no se logró retirar completamente el PLA del interior del molde y con base a información obtenida [52], se puede determinar que el PLA no tiene punto de evaporación completa o que no es alcanzable dentro del molde de fundición estudiado. La temperatura no puede seguir elevándose para conseguir forzar la evaporación debido a que el molde a partir de los 1200 °C empieza a presentar agrietamiento profundo por lo que pierde resistencia y en la fundición puede presentar fugas o estallar debido a la presión generada.

Capítulo V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego del desarrollo del trabajo realizado.

5.1 CONCLUSIONES

- La pieza diseñada bajo estándares de la norma ecuatoriana NTE INEN-IEC 61366-6 cumple con los requisitos establecidos, tales como tamaño, geometría y proceso de fabricación, como punto base del proceso estudiado en este trabajo de investigación, no se toma en cuenta la eficacia del diseño para trabajo mecánico en una turbina, más bien el estudio se centró en el método de fabricación de piezas con características similares.
- La impresión 3D puede ayudar a crear piezas de características y geometrías complejas que sería muy complicado de obtener con otros procesos de fabricación, siempre y cuando los parámetros de impresión utilizados sean los adecuados las piezas obtenidas tendrán un buen acabado que reducirá la necesidad de implementar procesos de postprocesado y limpieza. Los parámetros adecuados de impresión para realizar este proceso se reducen principalmente a la densidad de relleno menor al 10% y a una cantidad de capas exteriores no mayores a 3 por cada lado.
- Una adecuada temperatura en la colada de aluminio, entre el rango de 600 – 800 grados centígrados, permite una correcta entrada del material fundido al molde, lo que garantiza un llenado adecuado de la pieza a fabricar, además la temperatura ideal del molde depende del material a colar, siendo esta una variable fundamental a controlar en los procesos de fundido. Estas temperaturas deberán ser estudiadas respecto al material a fundir y a la aleación necesaria para la pieza a fabricar.
- La aplicación de procesos de pulido a las piezas impresas en 3D mejoran notablemente las características superficiales de las piezas, obteniendo un mejor copiado de las caras de las piezas al molde y por consiguiente a la pieza final, la pieza luego de ser aplicados estos procesos presenta una superficie lisa

al tacto sin notar la diferencia de capas que usualmente presentan las impresiones 3D. Estos procesos pueden ser un tanto tediosos o conllevar mayor tiempo de fabricación, pero para fines completamente necesarios en los que las cualidades superficiales de la pieza son elementales debería ser obligatorio realizar un tratamiento de postprocesado a las piezas.

- El punto de ebullición del PLA se alcanza a partir de los 230 °C, sin embargo, no es un proceso eficiente debido a que libera residuos que no terminan de evaporarse, estos residuos quedan como escoria dentro del molde y son los causantes de los poros obtenidos en la pieza final, esto indica que el proceso no es el más efectivo para la realización de piezas fundidas.

5.2 RECOMENDACIONES

- El estudio previo a los procesos de manufactura debe ser esencial en una futura aplicación de los resultados obtenidos, el desconocimiento de estos puede causar fallas en la fabricación o provocar accidentes en un personal no instruido.
- Pese a que el proceso presentó fallas en la obtención de la pieza con las características requeridas, es esencial el estudio de otras técnicas parecidas para la implementación en los procesos de manufactura actuales. Estas nuevas técnicas de manufactura pueden proveer de grandes soluciones a la industria de fabricación de piezas.
- Se recomienda la continuación del estudio de este proceso añadiendo actividades extras, tales como la obtención de copias en cera de la pieza impresa en 3D, la cera tiene un punto de fusión parecido al del PLA, pero su material base es el agua, esto puede tener diferentes resultados en la purificación del molde.
- El filamento utilizado en este estudio fue el PLA, pero presenta problemas para el postprocesado debido a su composición química, por lo tanto, una posible modificación al proceso es el cambio de filamento a otro que tenga procesos de pulido más factibles, un filamento ideal para este proceso puede ser

PolyCast o PolySmooth, estos filamentos son a base de polímeros fácilmente deformables con alcohol isopropílico.

- El estudio de materiales cerámicos para la fabricación de moldes es esencial si los metales a fundir son de puntos de fusión más elevados, tales como el hierro o aleaciones de acero, incluso si los materiales a fundir son materiales no ferrosos se debería estudiar las reacciones generadas entre el molde y estos metales no ferrosos como el aluminio, latón o plomo.

6 REFERENCIAS

- [1] Fedimetal, “FEDIMETAL”, *Estadísticas - Fedimetal*, 2020.
- [2] alacero, “Congreso Latinoamericano del Acero - 58”, 2017.
- [3] D. A. N. D. M. C. Pérez Conesa Itahisa AND Díaz Alemán, “Implementación del proyecto de innovación docente: ‘Lost PLA Castings; Las tecnologías 3D en los procesos de Fundición Artística con cascarilla cerámica’”. 2020.
- [4] C. Bustos, “Estudio de la colabilidad del aluminio con moldes realizados en PLA por impresión 3D”, 2016.
- [5] P. Forja, “Análisis del proceso de fundición de aluminio y propuestas de mejoras en la eficiencia de producción de bases dentadas en la empresa PRESS FORJA S.A.”, 2018.
- [6] J. Peterson, “Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida (FDM)”, 2020.
- [7] G. Carrillo, C. Nuila, y J. Laínez, “Prototipado rápido en la fabricación de moldes impresos en 3D para soplado de plástico”, *Ingenius*, núm. 24, pp. 28–35, jun. 2020, doi: 10.17163/ings.n24.2020.03.
- [8] V. Karen, “Diseño y simulación de la fabricación por manufactura sustractiva de un elemento mecánico: engranaje de dientes rectos”, 2020, Consultado: el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50372>
- [9] N. Zamora, “La manufactura aditiva como potenciador de los sistemas productivos”, 2020, Consultado: el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2336>
- [10] J. L. Martín Morlanes, “Optimización de los procesos de impresión 3D”, 2020.
- [11] A. Tipan, “Diseño Mecatrónico para la fabricación de una impresora 3D”, 2020, Consultado: el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1423>
- [12] M. León, Á. Marcos-Fernández, y J. Rodríguez-Hernández, “Impresión 3D con materiales elástoméricos”. 2019.
- [13] V. García, “Diseño de un producto industrial mediante técnicas de impresión 3D y nuevos materiales”, 2021, Consultado: el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/150763>

- [14] D. Villa Restrepo, “Fundamentación teórica de la recuperación de residuos de (PLA), generados en impresión 3D”, 2022.
- [15] M. F. Montoya Vallejo y C. Hernandez Acevedo, “Caracterización mecánica a tensión de impresiones 3D de PLA y ABS modeladas por deposición fundida”, 2019.
- [16] D. Stechina, S. M. Mendoza, H. D. Martín, C. N. Maggi, y M. T. Piovan, “Determinación de propiedades elásticas de piezas poliméricas construidas por impresión 3D, sometidas a flexión”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 25, núm. 2, 2020, doi: 10.1590/s1517-707620200002.1017.
- [17] C. E. Borja Soto, J. F. Montiel Hernández, D. E. Luqueño de la Rosa, y V. A. Jimenez de la Paz, “Proceso de fundición en molde de arena: diseño, simulación e impresión 3D”, *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 7, núm. 14, pp. 47–51, jul. 2020, doi: 10.29057/escs.v7i14.5555.
- [18] M. Alemán, C. Meier, I. Pérez-Conesa, y J. Saorín, “Fundición artística de objetos complejos impresos en 3D con PLA (ácido poliláctico) como alternativa al modelo de cera”, *Arte, Individuo y Sociedad*, vol. 31, pp. 543–566, nov. 2019, doi: 10.5209/aris.60906.
- [19] R. Intelángelo, “Fundición y Moldeo”, 2019.
- [20] E. San José Alcón Tutor y Ó. Martín Llorente, “Evolución histórica de la colada continua en la fabricación de acero”, 2020. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/40893>
- [21] E. Ruiz Miguel Alejandro Tutor Moreano Martínez Edwin Homero, “MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN PARA EL ZINC Y ALUMINIO”, 2021. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8196>
- [22] G. Alencastro Byron Stalin, “MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO APLICANDO LA NORMA ASTM B-108”, 2018.
- [23] F. Medina Ortiz, “Optimización del proceso de fundición de aluminio 356 en molde permanente vaciado por gravedad”, 2018. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/17947>
- [24] F. Rubén y R. Guerrero, “SELECCIÓN DE LA MEZCLA DE MOLDEO ÓPTIMA PARA FUNDICIÓN DE ALUMINIO CON EL USO DE MODELOS GASIFICABLES.”, 2011. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4405>

- [25] L. Martínez Cabornero y F. Martínez Mercadé, “Efecto de los elementos microaleantes en las aleaciones de aluminio para fundición”, 2019, Consultado: el 7 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.recercat.cat/handle/2072/368364>
- [26] J. Padilla y C. Maldonado, “Influencia del vidrio, azufre y sales de metales alcalinos en la porosidad del aluminio reciclado”, *Portal de la Ciencia*, vol. 10, p. 76, nov. 2016, doi: 10.5377/pc.v10i0.3011.
- [27] A. Dña Laura Val Lacarta Director Dña Ana Cristina Majarena Bello, “Analysis of feeding systems and simulation by QuikCAST of the gravity casting process of an aluminum piece”, 2018. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/78602/files/TAZ-TFG-2018-4564.pdf?version=1>
- [28] J. Lòpez, “Fundamentos de Conformaci´on por Fusión de Metales”, *Universidad Politécnica de Cartagena*, 2011.
- [29] D. Lisseth, H. Enríquez, D. Angelica, y V. Nieve, “Optimización del proceso de fundición de aluminio para reducir los defectos en piezas artesanales mediante la sustitución de la arena de moldeo e implementación de desgasificante en la colada”, 2021. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52054>
- [30] A. Santiago y R. Romo, “Diseño de un método de extracción del modelo polimérico en moldes de arena que permita optimizar el tiempo y acabado superficial en fundiciones de aluminio”, 2021. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14662>
- [31] ROTH, “Parafina , Granopent® ‘P’ in pellets Properties”, *Department Health, Safety and Environment*, 2017.
- [32] M. D. Díaz-Alemán, C. Meier, I. Pérez-Conesa, y J. L. Saorín, “Fundición artística de objetos complejos impresos en 3D con PLA (ácido poliláctico) como alternativa al modelo de cera”, *Arte, Individuo y Sociedad*, vol. 31, núm. 3, pp. 543–566, jul. 2019, doi: 10.5209/aris.60906.
- [33] L. Pino Rivero, “Mezcla de moldeo con silicato de sodio y esquistos carbonosos micáceos”. noviembre de 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.4955.7926.
- [34] J. Arias, “Diseño y metodología de la investigación”, 2021, Consultado: el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>
- [35] A. Gómez, “Construcción de un modelo para la fundición de un impulsor utilizando la tecnología de manufactura aditiva FDM (impresión 3D)”, *ESPOL. FIMCP*, 2019.

- [36] INEN, “NTE INEN-IEC 61366-6”, 2014
- [37] IEC, “IEC 61366-6:1998”, 1998
- [38] A. Gallego, “USO DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE GEOMETRÍA COMPLEJA MEDIANTE FUNDICIÓN A LA CERA PERDIDA.”, 2020. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/156914/Gallego%20-%20Uso%20de%20la%20impresi%C3%B3n%203d%20en%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20piezas%20de%20geometr%C3%ADa%20compleja%20mediante%20fundi....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [39] F. Ramos González, “Determinación de la influencia de los parámetros de proceso sobre las características dimensionales de las piezas fabricadas por impresión 3D”, 2022.
- [40] B. González Felipe, “Aplicación de la impresión 3D en la fabricación de un molde para fundición en arena”, 2020. Consultado: el 6 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11531/41266>
- [41] C. Pila, “Estudio de las reacciones en la intercara cera-cerámico y su influencia en los acabados en las piezas en bronce obtenidas por el método a la cera perdida y, obtención de la imagen de la mascota de la Ingeniería Mecánica en bronce por el mismo método”, *QUITO/EPN/2010*, 2010.
- [42] M. Rodríguez, “Proceso de fundición en aluminio aplicado a la escultura en la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador: Equipamiento, materiales, herramientas y moldes de arena refractaria”, *Quito: UCE*, 2015.
- [43] C. Soto, J. Hernández, D. Rosa, y V. Paz, “Proceso de fundición en molde de arena: diseño, simulación e impresión 3D”, *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 7, pp. 47–51, nov. 2020, doi: 10.29057/escs.v7i14.5555.
- [44] B. Moskal Opryshko, “Estudio reológico de aleaciones de fundición de aluminio para impresión 3D”, *Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Ciència i Enginyeria de Materials*, 2022.
- [45] M. Escobar, “Modelación y simulación del proceso de fundición para el zinc y aluminio.”, *Universidad Técnica de Cotopaxi*, nov. 2021.
- [46] J. L. SAORIN PEREZ, M. DRAGO DIAZ, C. MEIER, y I. PEREZ CONESA, “INTRODUCTION OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND 3D PRINTERS IN THE ART CASTING INDUSTRY”, *Dyna (Medellin)*, vol. 95, núm. 1, pp. 380–383, jul. 2020, doi: 10.6036/9567.
- [47] J. Cañas, “ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75 µm) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO”,

- [48] E. Abarca y J. Caicedo, “RESEARCH ON POLYMERIC EXTRACTION METHOD IN SAND MOLDS TO OPTIMIZE TIME AND SURFACE FINISH ON ALUMINUM CASTINGS ”, *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 2023.
- [49] L. Suarez y N. Coello Machado, “Characterization of a molding mixture with refractory elements”, nov. 2021.
- [50] A. Yercko, “Aleaciones de aluminio reciclado procesados por pulvimetalurgia como muestra para su posterior uso en manufactura aditiva (impresión 3D)”, *Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería*, 2022.
- [51] M. Barrio Martín, “Diseño, fabricación y validación de modelos desechables obtenidos mediante impresión 3D para su uso en procesos de moldeo en arena”, 2022, Consultado: el 4 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/53581>
- [52] D. Perez, G. Abate, D. Krahmer, M. Cagnoli, y G. Tamarit, “ANÁLISIS DE DEFECTOS POR SOLIDIFICACIÓN EN UNA PIEZA FUNDIDA DE ALUMINIO, EMPLEANDO RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL”, nov. 2016.

EL ALUMINIO



PROPIEDADES

PROPIEDADES

El aluminio es un metal plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815, tiene un punto de fusión de 660°C y un punto de ebullición de 2.467°C, y una densidad relativa a 2,7 kg/m³. Es un metal muy electropositivo y extremadamente reactivo.

Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que lo protege de la corrosión.

Nombre	Aluminio
Nº atómico	13
Valencia	3
Electronegatividad	1,5
Radio covalente (Å) Estado de oxidación	0,50 (+3)
Radio atómico (Å)	1,43/1,82
Configuración electrónica	[Ne]3s23p1
Primer potencial de ionización (eV)	6,00
Masa atómica (g/mole)	26,9815
Densidad	2,7
Punto de ebullición (°C)	2467
Punto de fusión (°C)	660
Radio iónico	0,535 Å
Volumen atómico	10 cm ³ /mole
Orbitario que llena	3p
Nº de electrones	(sin carga) 13
Nº de protones	13
Estado de la oxidación	3
Electrones de Valance	3 s2p1
Equivalencia electroquímico	0,33556g/amp-hr
Función del trabajo del electrón.	4,28 eV
Electronegatividad (Pauling)	1,61
Calor de fusión	10,79kJ/mole
Potencial del electrón de Valance	(-eV) 80,7
Módulo elástico: bulto	76/GPa
Módulo elástico: rigidez	26/GPa
Módulo elástico: youngs	70/GPa
Entalpia de atomización	322,2kJ/mole@25°C
Entalpia de fusión	10,67 kJ/mole
Entalpia de la vaporización	293,7 kJ/mole
Reflectividad optica	71%
Volumen molar	9,99 cm.3/topo
Calor específico	0,9J/gk
Presión del vapor	2,4E-06Pa@660.25°C
Conductividad eléctrica	0,377 106/cm
Conductividad termal	2,37 W/cmK

10

Especificaciones Técnicas

Tecnología de modelado: FDM	Software: Cura/Repetier-Host/Simplify3D
Tamaño de impresión: 220×220×250 mm	Fuente de alimentación: CA 100-120V 60Hz a CD 24V 270W
Velocidad de impresión: 30-60 mm/s	Filamento: PLA, ABS, TPU, madera, cobre, etc.
Precisión de impresión: ±0.1 mm	Peso de la máquina: 6.98 Kg
Diámetro de la boquilla: 0.4 mm/0.3 mm/0.2 mm	G.W.: 9 Kg
Temperatura de la cama: ≤100°	Tamaño de la impresora: 440×420×465 mm
Transferencia de archivos: Tarjeta SD	Tamaño del empaque: 600×505×465 mm
Formato de archivos: STL, OBJ, AMF	Reanudación de impresión: Sí

Resumen de las características de la Ender-3 Pro



Montaje de bricolaje



Estructura integrada



Impresión de alta precisión



Fuente de alimentación estable



Extrusor de calidad



Sistema de polea lineal



Reanudar la impresión



Cama de impresión magnética



Tuercas niveladoras grandes

ENDER-3-PRO IMPRESORA 3D ENDER 3 PRO



Descripción

Impresora Ender 3 Pro de Creality con volumen de impresión de 220×220×250 mm, equipada con soportes anchos en el eje Y, cama magnética, modo de restablecimiento de energía y función de protección térmica contra fugas. Esta impresora es apta para el trabajo con materiales flexibles. Ideal para uso doméstico.

Características

- **Fuente de alimentación:** Fuente de alimentación especializada que garantiza un calentamiento más seguro. Está protegida contra picos de voltaje y cortes de energía.
- **Extrusor MK-8:** El diseño avanzado de la extrusora MK-8 reduce en gran medida el riesgo de obstrucciones y extrusión desigual. Las ruedas con cojinetes de bolas de alta precisión fabricadas con termoplástico de ingeniería Delrin/POM brindan alta rigidez, baja fricción y una excelente estabilidad dimensional, lo que ayuda a reducir en gran medida los niveles de ruido.
- **Calentamiento rápido:** La Ender-3 Pro alcanza los 110° C en tan solo 5 minutos.
- **Cama magnética C-MAG:** La superficie texturizada se adhiere a todo tipo de filamentos evitando el uso de cintas adhesivas o pegamentos. Una vez que el modelo haya terminado de imprimirse, retire la parte superior magnética de la parte inferior y doble o flexione la superficie de impresión para desprender el modelo sin esfuerzo.
- **Eje Y de aluminio:** Perfil de aluminio de 40x40 mm que proporciona una estabilidad sin precedentes para la superficie de impresión, lo que resulta en una calidad de impresión mejorada.
- **Impresión de alta precisión:** Tecnología y calidad que aseguran impresiones con precisión de hasta ±0.1 mm.
- **Perfil en V:** Alta resistencia al desgaste y vida útil más larga.

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH)



Tetrahidrofurano ROTISOLV® HPLC, No estabilizada

número de artículo: 7344

Protección respiratoria



Protección respiratoria es necesaria para: Formación de aerosol y niebla. Tipo: A (contra gases y vapores orgánicos con un punto de ebullición de > 65°C, código de color: marrón).

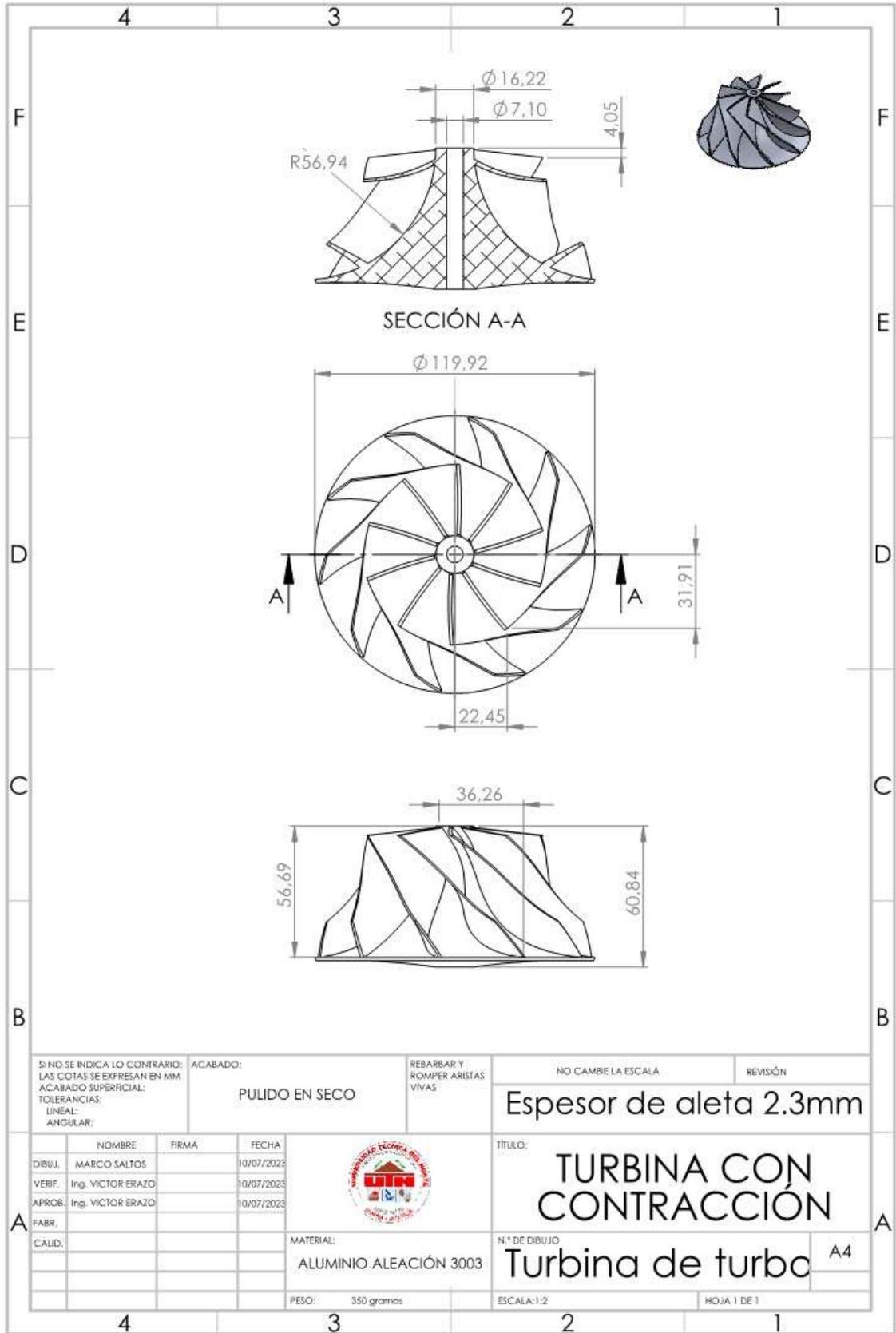
Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

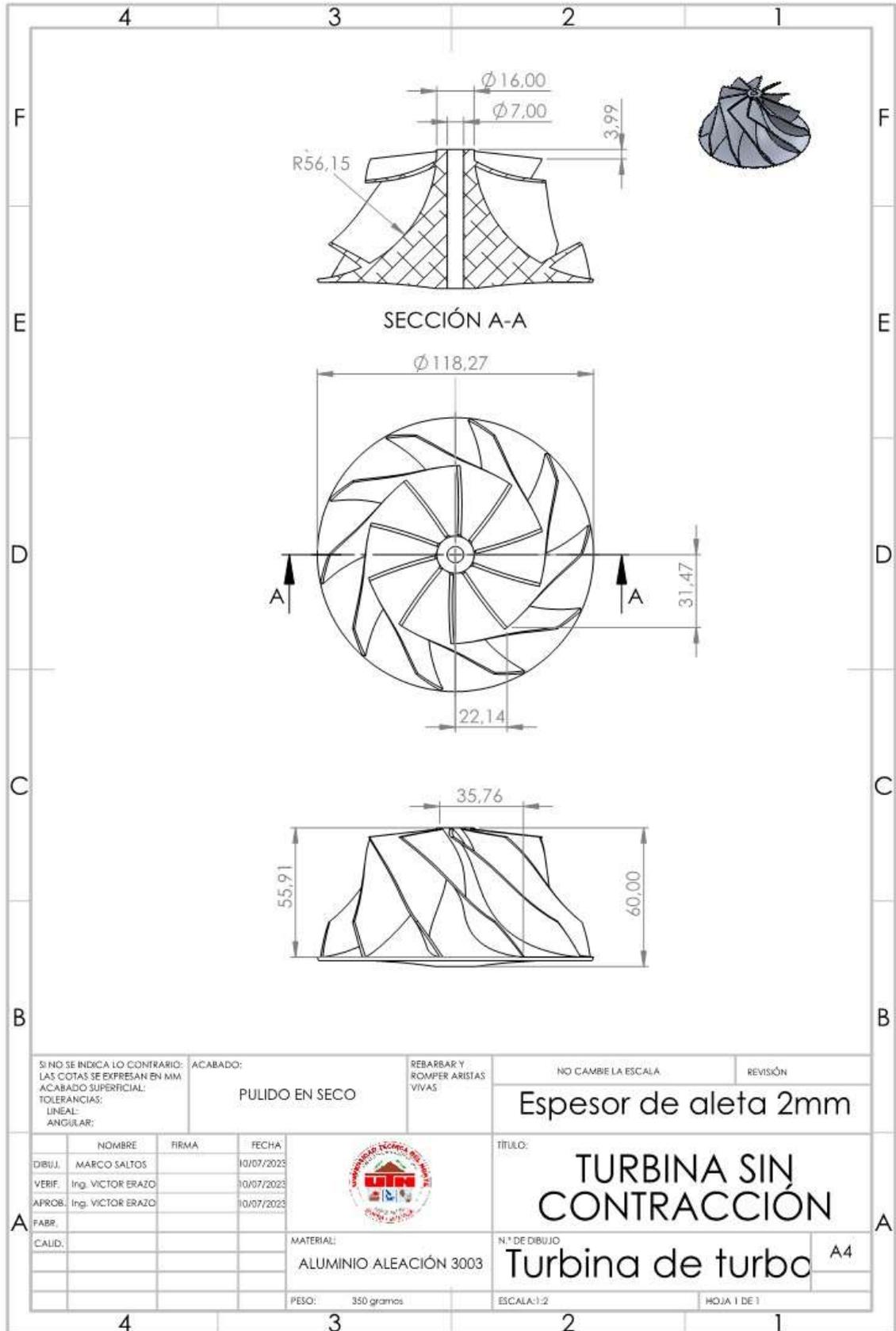
SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico	líquido
Color	incolor
Olor	como a éter
Punto de fusión/punto de congelación	-108,5 °C
Punto de ebullición o punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	65 °C a 1.013 hPa (ECHA)
Inflamabilidad	líquido inflamable conforme con los criterios del SGA
Límite superior e inferior de explosividad	1,5 % vol (LIE) - 12,4 % vol (LSE)
Punto de inflamación	-21,2 °C a 1.013 hPa (ECHA)
Temperatura de auto-inflamación	215 °C (DIN 51794)
Temperatura de descomposición	no relevantes
pH (valor)	7 - 8 (20 °C)
Viscosidad cinemática	no determinado
Viscosidad dinámica	0,48 mPa s a 20 °C
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	miscible en cualquier proporción
<u>Coefficiente de reparto</u>	
Coefficiente de reparto n-octanol/agua (valor logarítmico):	0,45 (pH valor: 7, 25 °C) (ECHA)
Presión de vapor	170 hPa a 20 °C
<u>Densidad y/o densidad relativa</u>	
Densidad	0,883 g/cm ³ a 25 °C (ECHA)
Densidad de vapor	2,49 (aire = 1)



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: PULIDO EN SECO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN																							
				Espesor de aleta 2.3mm																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>MARCO SALTOS</td> <td></td> <td>10/07/2023</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>Ing. VICTOR ERAZO</td> <td></td> <td>10/07/2023</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td>Ing. VICTOR ERAZO</td> <td></td> <td>10/07/2023</td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAUID.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ.	MARCO SALTOS		10/07/2023	VERIF.	Ing. VICTOR ERAZO		10/07/2023	APROB.	Ing. VICTOR ERAZO		10/07/2023	FABR.				CAUID.					
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																									
DIBUJ.	MARCO SALTOS		10/07/2023																									
VERIF.	Ing. VICTOR ERAZO		10/07/2023																									
APROB.	Ing. VICTOR ERAZO		10/07/2023																									
FABR.																												
CAUID.																												
			TÍTULO: TURBINA CON CONTRACCIÓN																									
			N.º DE DIBUJO Turbina de turbo																									
			MATERIAL: ALUMINIO ALEACIÓN 3003																									
			PESO: 350 gramos																									
			ESCALA: 1:2																									
			HOJA: 1 DE 1																									



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: PULIDO EN SECO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				Espesor de aleta 2mm	
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	MARCO SALTOS		10/07/2023	TURBINA SIN CONTRACCIÓN	
VERIF.	Ing. VICTOR ERAZO		10/07/2023		
APROB.	Ing. VICTOR ERAZO		10/07/2023		
FABR.				N.º DE DIBUJO	
CALID.				Turbina de turba A4	
MATERIAL:			PESO:		
ALUMINIO ALEACIÓN 3003			350 gramos		
				ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1