

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE
IMPRESIÓN 3D EN METALES PARA PROGRAMA DE
FORMACIÓN EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ
EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ
GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA
ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL :

Lic. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

Arq. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE
IMPRESIÓN 3D EN METALES PARA PROGRAMA DE
FORMACIÓN EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Presentado por :

**EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ
EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ
GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA
ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

San Salvador, febrero de 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

Tribunal Calificador:

F. _____
Ing. Alberto Antonio Rosa Lue
Docente Asesor

F. _____
Ing. Francisco Alfredo De León Torres

F. _____
Ing. José Francisco Zuleta Morataya

AGRADECIMIENTOS:

Quiero dedicar unas palabras muy especiales a mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo en cada etapa de este viaje. Mamá, papá, su amor incondicional, paciencia y dedicación han sido la base sobre la que he construido mis sueños. Han creído en mí incluso en los momentos en los que yo dudaba, y me han brindado el valor para seguir adelante. Su ejemplo de esfuerzo, sacrificio y cariño me ha enseñado más de lo que cualquier libro o experiencia podría ofrecerme. No habría podido llegar hasta aquí sin ustedes, y este logro es tanto mío como suyo. Les agradezco desde lo más profundo de mi corazón por estar siempre a mi lado.

A mis queridos tíos, les agradezco profundamente por su constante apoyo y cariño a lo largo de este proceso. Siempre han estado presentes, brindándome palabras de aliento y ayudándome a mantenerme enfocado en mis metas. Sus consejos y sabiduría me han sido de gran ayuda, y su confianza en mí ha sido una fuente de motivación. Estoy inmensamente agradecido por cada gesto de apoyo y por ser una parte tan importante en mi vida. Este logro también les pertenece a ustedes.

Iliana Marina Rivas Espinoza

AGRADECIMIENTOS:

A Dios principalmente, por ser quien abrió puertas en mi vida para que yo pudiera estudiar la carrera que me gustaba al momento de inscribirme en esta alma mater. Aun existiendo altibajos durante el desarrollo de esta formación profesional, Él fue quien sostuvo mi vida y me brindó fuerzas para poder seguir adelante.

A mis padres, por ser la fortaleza e inspiración para poder superarme en esta vida y en retribución compartir este logro y orgullo como mérito para ellos y para mí. Junto a mis hermanas, ellos fueron el motivo por el cual decidí no rendirme en cada proceso y dificultad que se me presentó en la carrera para poder llenar su corazón de orgullo.

A mis amigos y allegados quienes de muchas formas contribuyeron para que yo pudiese desarrollarme como profesional en mi vida y así poder este día culminar con mi formación profesional en la Universidad de El Salvador. A su vez, a cada persona que pude conocer a lo largo de mi carrera quienes lograron poder aliviar la carga y demanda de la carrera con su amistad y su apoyo en las asignaturas.

Gerson Fernando Palacios Orellana

AGRADECIMIENTOS:

A mi mamá, te agradezco con todo mi corazón por ser mi mayor apoyo y guía en cada paso de este camino. Tu amor incondicional, tu paciencia infinita y tu fe en mí me han dado la fuerza para seguir adelante, incluso cuando las cosas se ponían difíciles. Has sido mi ejemplo de perseverancia, valentía y dedicación, y todo lo que he logrado es gracias a ti. Este logro no es solo mío, es también tuyo, por cada sacrificio que hiciste para que yo pudiera cumplir mis sueños. Te dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud.

A mis queridas tías, les agradezco profundamente por su apoyo constante y por estar siempre presentes en mi vida. Sus palabras de aliento, sus consejos y el cariño que me han brindado han sido un pilar importante en mi formación. Me han mostrado, con su ejemplo, el valor de la unidad familiar y del esfuerzo compartido. Estoy muy agradecido por todo lo que han hecho por mí, y este logro también es un reconocimiento a la ayuda y el apoyo que me han brindado a lo largo de este proceso.

Edgar Baltazar Mendoza Sanchez

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres, quienes son mi mayor inspiración y mi pilar fundamental, les expreso mi más sincero agradecimiento. Su amor, paciencia y el esfuerzo constante que han puesto en mi crecimiento han sido esenciales para que pudiera alcanzar este logro. Este trabajo es un reflejo del sacrificio y dedicación que siempre han tenido conmigo, y por eso les ofrezco todo mi cariño y respeto.

Agradezco también a mis profesores, quienes con entrega y pasión me guiaron en este proceso. Valoro profundamente su dedicación al compartir su conocimiento y experiencia, así como su apoyo en los momentos difíciles. Sus enseñanzas no solo me hicieron crecer como profesional, sino también como persona, y siempre llevaré conmigo lo que me han inculcado.

Finalmente, quiero reconocer a mis compañeros y amigos, quienes, con su apoyo, camaradería y generosidad, hicieron este recorrido más llevadero. Juntos superamos desafíos y compartimos triunfos, forjando recuerdos y aprendizajes que perdurarán a lo largo de mi vida.

Edwin Ernesto Medrano Hernández

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	i
ANTECEDENTES	ii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	iii
OBJETIVOS	iv
OBJETIVO GENERAL.....	iv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	iv
ALCANCES	v
LIMITACIONES	vii
JUSTIFICACIONES.....	viii
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	9
1.1 CRONOLOGÍA HISTÓRICA	9
1.1.1 PRIMERAS MÁQUINAS COMERCIALES DE IMPRESIÓN 3D	11
1.1.2 DIVERSIFICACIÓN DE LA IMPRESIÓN EN 3D.....	12

1.1.3 CONSUMO Y SALTO MASIVO AL MERCADO.....	14
1.2 TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D.	16
1.2.1 EXTRUSIÓN DE MATERIAL:.....	16
1.2.2 SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER	19
1.2.3 INYECCIÓN DE MATERIAL.....	21
1.2.4 FUSIÓN DE LECHO EN POLVO	23
1.2.5 FUSIÓN O SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER.....	25
1.2.6 FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES	27
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS, APLICACIONES Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA 3D PARA IMPRESIÓN EN METALES.....	30
2.1 TECNOLOGÍA DE LA IMPRESIÓN 3D.....	30
2.1.1 APLICACIONES MÁS ADECUADAS A IMPRESIÓN 3D EN SLM.	30
2.1.2. TIPOS DE IMPRESORAS SLM.	33
2.1.3. VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA SLM.	35

2.1.4. DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA SLM.....	35
2.1.5. TIPOS DE POST PROCESADO.....	36
2.1.6. TRATAMIENTOS TÉRMICOS UTILIZADOS.....	38
2.1.7. MATERIALES COMÚNMENTE UTILIZADOS EN SLM.	40
2.1.8. EJEMPLOS DE IMPRESORAS QUE UTILIZAN SLM.	43
2.2 TECNOLOGÍA DE LA IMPRESIÓN 3D DMLS.....	48
2.2.1 FUNCIONAMIENTO DE SINTERIZADO DE METAL POR LASER.....	49
2.2.2 APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D DMLS	51
2.2.3 IMPRESORAS DMLS	51
2.2.4 MATERIALES UTILIZADOS.....	56
2.3 TECNOLOGÍA SLM EN COMPARACIÓN CON DMLS.....	60
2.4 PRECIOS APROXIMADOS DE IMPRESORAS 3D UTILIZADAS PARA MATERIALES METÁLICOS.....	64
2.5. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA 3D PARA IMPRESIÓN EN METALES.....	66

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL ESPACIO PARA EL LABORATORIO	72
3.1 IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS ADECUADOS	72
3.1.1. EVALUACIÓN DEL ESPACIO DISPONIBLE	72
3.1.2. REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL LABORATORIO	73
3.1.3. PLAN DE ADECUACIÓN Y MEJORAS.....	74
3.2 SELECCIÓN DE ESPACIOS ADECUADOS: EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA Y REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN	75
3.2.1 EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA	76
3.2.2 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN	77
3.2.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES:	82
3.3 DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO Y UBICACIÓN DE EQUIPOS	83
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS GENERALES	85
4.1 COTIZACIONES DE UNA IMPRESORA 3D.....	85
4.1.1 COSTO DE IMPRESORA A SELECCIONAR.....	85

4.1.2 COSTO DE MATERIALES CONSUMIBLES.....	87
4.2 COSTO DE LA CONSTRUCCION O ADECUACION DE UN SALON PARA EL LABORATORIO DE IMPRESIÓN 3D.....	90
CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO Y MANTENIMIENTO PARA IMPRESORA.....	
5.1 PREREQUISITOS PARA OPTAR POR ESTE PROGRAMA DE FORMACIÓN EN IMPRESIÓN 3D EN METALES	97
5.1.1 CONOCIMIENTO DE MODELADO CAD	97
5.1.2 FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES, ACEROS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS METALES.....	102
5.2 DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA IMPRESIÓN 3D EN METALES	105
5.2.1 MODELADO CAD DE PIEZA A FABRICAR	105
5.2.2 EXPORTACIÓN DE ARCHIVO CAD A STL	107
5.2.3 PRE-PROCESADO DEL COMPONENTE	111
5.2.4. POST-PROCESADO: APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	118
5.3 PROGRAMA DEL CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES ..	121

5.3.1 AUTO EVALUACIONES PARA EL ESTUDIANTE.....	125
5.4 MANTENIMIENTO GENERAL DE IMPRESORAS 3D	126
CONCLUSIONES.....	129
RECOMENDACIONES:.....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
ANEXOS.....	134
1. FRAGMENTOS DE SESIONES DE LABORATORIO EN DEM-215.	134
2. PROGRAMA DEL CURSO DE IMPRESIÓN 3D.....	143
3. AUTOEVALUACIÓN DE PRERREQUISITOS DEL CURSO.....	146
4. GUIONES DE CLASE	151
4.1 UNIDAD 1: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD.....	151
4.2 UNIDAD II: GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D	163
4.3 UNIDAD III: PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS ACEROS.....	176

4.4 UNIDAD IV: DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES	188
---	-----

5. PLAN DE TRABAJO	202
--------------------------	-----

6. RUTA DE APRENDIZAJE	206
------------------------------	-----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos Técnicos EOS M290.....	52
--------------------------------------	----

Tabla 2 Datos Técnicos DMP Factory 500	54
--	----

Tabla 3 Datos Técnicos	55
------------------------------	----

Tabla 4 Cuadro Comparativo de precios	65
---	----

Tabla 5 Especificaciones de una computadora	77
---	----

Tabla 6 Sistema electrico.	79
---------------------------------	----

Tabla 7 Calculo Final de Costo de Maquinaria	86
--	----

Tabla 8 Costos de Tamaño de partícula	88
---	----

Tabla 9 Costo de insumos no relacionados a la producción de piezas ..	89
---	----

Tabla 100 Tabla de Materiales calculados.....	93
---	----

Tabla 11 Tabla de materiales calculados	96
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estetoscopio.....	9
Figura 2 Dr Hideo Kodama 1.....	10
Figura 3 Patente de impresión 3D present 1.....	11
Figura 4 Impresora SLA 1	12
Figura 5 Prototipo de impresora 3D 1	13
Figura 6 Grafica de Interés vs Tiempo de 1	14
Figura 7 Diagrama presentados por Chuck 1.....	15
Figura 8 demostrativa de extrusió 1	16
Figura 9 Fusión selectiva por Laser 1	19
Figura 10 Inyección de material 1	21
Figura 11 Ejemplo de fusión lecho en polvo.....	23
Figura 12 Impresora SLM de un solo laser 1	33
Figura 13 Impresora SLM de dos láseres 1	34
Figura 14 Impresora 3D SLM EOS GmbH 1.....	43

Figura 15 Impresora 3D SLM Solutions Gro 1	44
Figura 16 Impresora 3D SLM Systems 1	45
Figura 17 Impresora 3D SLM RENISHAW PLC 1	46
Figura 18 Impresora 3D SLM HP Inc 1	47
Figura 19 Proceso de fabricación directa 1	49
Figura 20 Impresora 3D EOS M 290 1	52
Figura 21 Impresora EOS M 400-4 Series 1	53
Figura 22 Impresora DMP Factory 1	54
Figura 23 Impresora Share Hot Metal One 1	55
Figura 24 Material de impresión 3D, Acer 1	57
Figura 25 Material de Impresión 3D, Tita 1	58
Figura 26 Material de Impresión 3D, Alum 1	60
Figura 27 Flujograma de desarrollo de Tesis	70
Figura 28. Plano de Distribución de la E 1	84

Figura 29 Selección de Área de Laboratorio 1	91
Figura 30 Pagina 141 de Libro El Dibujo 1	98
Figura 31 Pestaña de diseño de bocetos 1	99
Figura 32 Pestaña de modelado de impresión 1	100
Figura 33 Programa de laboratorios.....	101
Figura 34 Redes Cristalinas en los metal 1.....	103
Figura 35 Diagrama de Hierro.....	104
Figura 36 Planos de Buje guía de Tope de 1	106
Figura 37 Buje Guía de Tope paletizadora 1	106
Figura 38 Selección de Archivo de Autode 1.....	108
Figura 39 Exportación de Archivo a fabricacioni 1	109
Figura 40 Guardar Archivo en formato STL 1.....	110
Figura 41 interfaz del programa Cura Ult 1	112
Figura 42 Importación de archivos STL 1.....	113

Figura 43 Importación de Archivo STL 1	113
Figura 44 Interfaz de procesado 1	114
Figura 45 Densidad de relleno cubica 1	116
Figura 46 Exportación a GCODE 1	117
Figura 47 Tabla de propiedades mecánica 1.....	120
Figura 48 Programa del curso de impresión 1	121
Figura 49 Continuación del programa de i 1	122
Figura 50 Continuación del programa de l 1	123
Figura 51 Diagrama de flujo del programa 1	124
Figura 52 Autoevaluaciones para el estudio 1.....	125
Figura 53 Autoevaluación para el estudio 2	126

INTRODUCCIÓN

En la era de la revolución digital y la innovación tecnológica, la impresión 3D en metales emerge como una tecnología disruptiva con el potencial de transformar la industria manufacturera y la ingeniería en general. La capacidad de fabricar piezas metálicas complejas con geometrías precisas y personalizadas abre nuevas posibilidades en sectores como la aeroespacial, la automotriz, la biomédica y la energética, entre otros. En este contexto, la formación y capacitación en el uso de esta tecnología se vuelve crucial para preparar a los ingenieros del futuro y fomentar la innovación y el desarrollo tecnológico en el país.

La Universidad de El Salvador, como institución educativa comprometida con la excelencia académica y el progreso tecnológico, reconoce la importancia de integrar la impresión 3D en metales en su currículo académico y proporcionar a sus estudiantes las habilidades necesarias para enfrentar los desafíos del mundo moderno. En particular, la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura se encuentra en una posición única para liderar este esfuerzo, dada su experiencia en ingeniería de materiales, procesos de fabricación y diseño mecánico.

Esta tesis propone la implementación de un Programa de Formación y Capacitación en Impresión 3D en Metales a través de un Laboratorio Didáctico en la Escuela de Ingeniería Mecánica, con el objetivo de proporcionar a los estudiantes las habilidades prácticas y el conocimiento teórico necesarios para utilizar esta tecnología de manera efectiva. El programa estará orientado para integrarse en el plan de estudios existente y complementar las asignaturas relacionadas con la fabricación, el diseño y los materiales, ofreciendo a los estudiantes una experiencia educativa enriquecedora y relevante para el mercado laboral actual.

ANTECEDENTES

La impresión tridimensional (3D) en metales ha ganado prominencia en sectores como la ingeniería mecánica, ofreciendo ventajas como la fabricación de componentes complejos y la reducción de costos. Sin embargo, la capacitación y el acceso a equipos especializados son desafíos que se deben superar en nuestra realidad. Este estudio aborda la necesidad de un programa de formación en impresión 3D en metales, enfocado en ingeniería mecánica. Investigaciones previas resaltan la creciente demanda de profesionales capacitados en esta área y la importancia de integrar esta tecnología en los currículos educativos.

Por ende, esta tesis busca proponer el desarrollo de un laboratorio didáctico especializado en impresión 3D en metales para satisfacer estas necesidades identificadas y dar un valor agregado a la formación en ingeniería mecánica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La impresión 3D en metales es una tecnología de vanguardia con aplicaciones prometedoras en diversas industrias. Sin embargo, en el ámbito local de El Salvador, la falta de formación especializada en este campo genera un vacío en la educación técnica y académica del país. La carencia de un programa específico en la Universidad de El Salvador limita la preparación de los estudiantes y profesionales para aprovechar plenamente las ventajas de esta tecnología.

La implementación propuesta de un programa de formación en impresión 3D en metales busca abordar este problema. Este programa, compuesto por cursos teórico-prácticos, abarcará aspectos clave de la impresión 3D en metales, desde el diseño asistido por computadora hasta el control de calidad. Aunque la intención es clara, la falta actual de un enfoque especializado en este campo particular en la Universidad de El Salvador destaca una brecha educativa crítica.

El laboratorio propuesto, que contará con tecnología de punta, se presenta como una respuesta directa a la falta actual de recursos especializados en impresión 3D en metales. Sin embargo, la carencia de un espacio dedicado y un plan estructurado hasta el momento plantea un obstáculo concreto para la preparación efectiva de los estudiantes y profesionales locales. Esta limitación afecta directamente su capacidad para abordar los desafíos tecnológicos específicos y aprovechar las oportunidades de investigación aplicada en este ámbito.

La falta de formación específica no solo afecta la calidad de la educación universitaria, sino que también nos mantiene al margen de la revolución tecnológica en curso. Al implementar este programa y el laboratorio, no solo abordamos este problema evidente, sino que también fortalecemos concretamente las habilidades del país para liderar investigaciones prácticas y colaborar en este campo innovador.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un programa de formación y capacitación en impresión 3D en metales a través de un laboratorio didáctico para la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, con el fin de proporcionar a los estudiantes las habilidades y conocimientos necesarios para utilizar esta tecnología en aplicaciones específicas e investigación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar la tecnología de impresión 3D que mejor se adapte a las condiciones y necesidades específicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Proponer un contenido de estudio que abarque aspectos teóricos y prácticos de la impresión 3D en metales, adaptado a las necesidades y recursos de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Elaborar una propuesta de material didáctico para respaldar la enseñanza y aprendizaje efectivo de la impresión 3D en metales.
- Proponer manuales de usuario claros y comprensibles que acompañen a los equipos de impresión 3D en metales.
- Documentar planes de mantenimiento personalizados para las impresoras 3D en metales, para asegurar su funcionamiento óptimo en el tiempo.

ALCANCES

El alcance de este proyecto abarca todas las etapas necesarias para la creación e implementación exitosa de un programa integral de formación y capacitación en impresión 3D en metales, así como el establecimiento de un laboratorio didáctico especializado para respaldar dicho programa. A continuación, se detallan los principales componentes del alcance:

- Análisis de necesidades: Se llevará a cabo una estimación de las necesidades educativas y profesionales en el área de impresión 3D en metales en el contexto de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. La identificación de los recursos disponibles y las limitaciones existentes.
- Propuesta del programa de formación: Se desarrollará una propuesta para el programa de formación y capacitación en impresión 3D en metales, que incluirá una combinación equilibrada de cursos teóricos y prácticos, adaptadas a las necesidades y recursos específicos de la institución.
- Selección de equipos y recursos: Se seleccionará el equipo y se hará la propuesta de la impresora a utilizar además de un listado de los recursos que se necesitaran en caso de que se lleve a la realidad el laboratorio 3D en metales.
- Propuesta de adecuación del espacio: Se realizará la propuesta de adecuación de las instalaciones físicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica para albergar el laboratorio didáctico de impresión 3D en metales.
- Desarrollo de contenidos y materiales educativos: Se elaborarán materiales didácticos y recursos de aprendizaje complementarios, como guías de estudio, manuales de usuario, tutoriales en línea y

casos prácticos, para apoyar la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos y técnicas relacionadas con la impresión 3D en metales. Estos materiales se elaborarán con un enfoque práctico y orientado a la resolución de problemas reales.

LIMITACIONES

1. Recursos financieros limitados: Las universidades públicas a menudo tienen presupuestos ajustados, lo que puede dificultar la adquisición de equipos costosos necesarios para la impresión 3D en metales, así como la capacitación del personal y el desarrollo de materiales didácticos.
2. Disponibilidad de tecnología avanzada: La disponibilidad de tecnología avanzada para la impresión 3D en metales puede ser limitada en entornos académicos de países en desarrollo como El Salvador. Esto podría requerir colaboraciones con instituciones externas o la búsqueda de alternativas más económicas.
3. Falta de acceso a materiales y suministros: La disponibilidad de materiales y suministros específicos para la impresión 3D en metales puede ser limitada en El Salvador, lo que podría dificultar la realización de prácticas demostrativas al momento de presentar la funcionalidad del proyecto.
4. Regulaciones y normativas: Pueden existir regulaciones y normativas específicas relacionadas con la importación de equipos de impresión 3D en metales, el manejo de materiales delicados o frágiles y la seguridad laboral que deben cumplirse para establecer el laboratorio didáctico.
5. Contacto directo con proveedores: Muchos de los proveedores de equipos de impresión 3D en metales se reservan del envío de información y cotizaciones a correos no institucionales, esto dificulta la labor de justificación de costos y la realización de guías de mantenimiento especializadas para la implementación del equipo.

JUSTIFICACIONES

1. Relevancia del campo de la impresión 3D en metales: La impresión 3D en metales es una tecnología emergente con aplicaciones prometedoras en diversas industrias, incluyendo la aeroespacial, la automotriz, la médica y la manufacturera. Capacitar a los estudiantes en esta área les proporcionaría habilidades pertinentes y demandadas en el mercado laboral actual.
2. Necesidad de capacitación en tecnologías avanzadas: En un mundo cada vez más tecnológico, es importante que las universidades brinden a sus estudiantes acceso y capacitación en tecnologías avanzadas como la impresión 3D en metales. Esto les permitirá estar a la vanguardia de la innovación y ser más competitivos en el campo laboral.
3. Integración interdisciplinaria: La impresión 3D en metales es un campo que abarca varios aspectos de la ingeniería, como la mecánica, la ciencia de los materiales, la electrónica y la informática. Un programa de formación en este tema podría fomentar la colaboración y la integración interdisciplinaria entre diferentes áreas de estudio dentro de la universidad.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 CRONOLOGÍA HISTÓRICA

Con el paso del tiempo, la impresión 3D ha experimentado una notable evolución, generando innovaciones que han revolucionado la manera en que concebimos la fabricación de componentes. Desde sus inicios en la década de 1980 hasta los avances revolucionarios actuales, esta tecnología ha dejado una marca significativa en varias industrias. A lo largo de los años, figuras destacadas como Hideo Kodama y Charles W. Hull, entre otros, han desempeñado roles clave en la evolución de la impresión 3D. Desde la introducción de la estereolitografía hasta el desarrollo de la bioimpresión de órganos, este ámbito nos ofrece una visión única de cómo la impresión 3D ha trascendido los límites de lo imaginable y ha creado un universo de posibilidades sin límites.

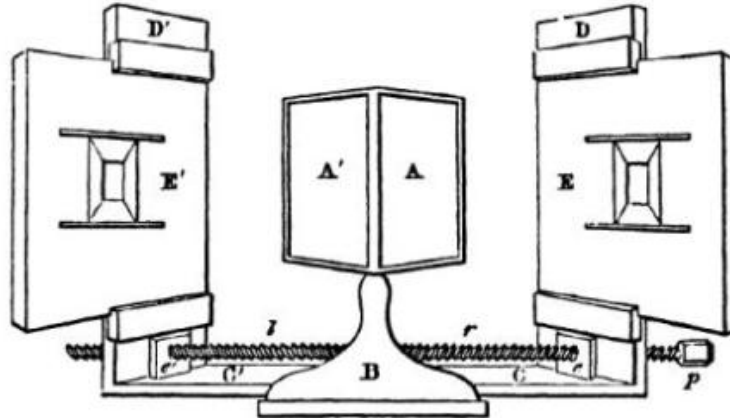


Figura 1 Estetoscopio

En 1981, se dio inicio a la primera impresora 3D cuando el japonés Hideo Kodama desarrolló una máquina de prototipado rápido que construía piezas de forma gradual, capa por capa. Este dispositivo empleaba luces ultravioletas para

solidificar polímeros y dar forma a objetos sólidos, representando así un paso inicial hacia la estereolitografía (SLA).



Figura 2 Dr Hideo Kodama 1

En 1983, Charles W. Hull, también conocido como Chuck Hull, fue pionero en la creación de la primera pieza impresa en 3D mediante un proceso llamado estereolitografía (SLA). Este hito revolucionario transformó por completo el mercado de la impresión al introducir la primera tecnología comercial de impresión 3D.

Chuck Hull patentó la estereolitografía como un método para fabricar objetos tridimensionales mediante la deposición sucesiva de capas delgadas de material curable por luz ultravioleta, desde la base hasta la parte superior. La patente de Hull describe un haz focalizado de luz ultravioleta dirigido hacia la superficie de un recipiente lleno de un fotorpolímero líquido. Este haz incide sobre la superficie del fotorpolímero líquido, creando cada capa del objeto tridimensional deseado mediante un proceso de reticulación, que consiste en la formación de enlaces intermoleculares en los polímeros. Este invento se concibió con la finalidad de proporcionar a los ingenieros una forma más eficiente de prototipar sus diseños. Tras la concesión de la patente en 1986, Hull cofundó la primera empresa de impresión 3D del mundo, 3D Systems, para llevar esta tecnología al mercado comercial.

United States Patent [19]
Hull

[11] **Patent Number:** 4,575,330
[45] **Date of Patent:** Mar. 11, 1986

[54] **APPARATUS FOR PRODUCTION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREO LITHOGRAPHY**
[75] **Inventor:** Charles W. Hull, Arcadia, Calif.
[73] **Assignee:** UVP, Inc., San Gabriel, Calif.
[21] **Appl. No.:** 638,905
[22] **Filed:** Aug. 8, 1984
[51] **Int. Cl.⁴** B29D 11/00; G03C 00/00
[52] **U.S. Cl.** 425/174.4; 425/174; 425/162; 264/22; 430/269; 156/58; 365/119; 365/120
[58] **Field of Search** 425/162, 174, 174.4, 425/425; 264/22, 183, 40.1; 430/269; 156/38, 58, 275.5; 365/107, 119, 127

[56] **References Cited**
U.S. PATENT DOCUMENTS
2,708,617 5/1955 Magat et al. 264/183 X
2,908,545 10/1959 Teja 264/22 X
3,306,835 2/1967 Magnus 425/174.4 X
3,635,625 1/1972 Voss 425/162 X
3,775,036 11/1973 Winning 425/174.4 X
3,974,248 8/1976 Atkinson 425/162 X
4,041,476 8/1977 Swainson 365/119
4,078,229 3/1978 Swainson et al. 365/107
4,081,276 3/1978 Crivello 430/269
4,238,840 12/1980 Swainson 365/119

4,252,514 2/1981 Gates 425/162
4,288,861 9/1981 Swainson et al. 365/127
4,292,015 9/1981 Hritz 425/162 X
4,329,135 5/1982 Beck 425/174
4,333,165 6/1982 Swainson et al. 365/127 X
4,374,077 2/1983 Kerfeld 264/22
4,466,080 8/1984 Swainson et al. 365/127 X
4,471,470 9/1984 Swainson et al. 365/127

Primary Examiner—J. Howard Flint, Jr.
Attorney, Agent, or Firm—Fulwider, Patton, Rieber, Lee & Utecht

[57] **ABSTRACT**
A system for generating three-dimensional objects by creating a cross-sectional pattern of the object to be formed at a selected surface of a fluid medium capable of altering its physical state in response to appropriate synergistic stimulation by impinging radiation, particle bombardment or chemical reaction, successive adjacent laminae, representing corresponding successive adjacent cross-sections of the object, being automatically formed and integrated together to provide a step-wise laminar buildup of the desired object, whereby a three-dimensional object is formed and drawn from a substantially planar surface of the fluid medium during the forming process.

47 Claims, 8 Drawing Figures

Figura 3 Patente de impresión 3D present 1

1.1.1 PRIMERAS MÁQUINAS COMERCIALES DE IMPRESIÓN 3D

Durante la década de 1990, la industria de la impresión 3D experimentó un notable crecimiento inicial, marcado por el surgimiento de nuevas empresas y la exploración de tecnologías de fabricación aditiva innovadoras. En 1992, de la mano de 3D Systems, se introdujeron en el mercado las primeras impresoras SLA o estereolitográficas. Aunque estas impresoras presentaban algunos defectos e imperfecciones, tenían la capacidad de fabricar objetos finales de manera progresiva, capa por capa.

Durante ese período, un rayo ultravioleta solidificaba un tipo de fotopolímero, que se encontraba en estado líquido viscoso, para construir el objeto. Esto se lograba superponiendo capas sobre capas siguiendo el diseño 3D enviado. En aquella época, las impresoras 3D ya tenían la capacidad de fabricar, en una sola noche, piezas bastante complejas tanto en términos de estructura como de fabricación.



Figura 4 Impresora SLA 1

1.1.2 DIVERSIFICACIÓN DE LA IMPRESIÓN EN 3D.

En 1999, la impresión 3D empezó a desempeñar un papel crucial en el ámbito de la medicina, particularmente en la posibilidad de utilizar recubrimientos sintéticos, derivados de las propias células del paciente, para abordar problemas en órganos específicos, como la vejiga. El primer órgano creado mediante esta tecnología fue una vejiga desarrollada por un equipo de investigación en Wake Forest. Un año después, el Dr. Antony Atala, líder de esta investigación, llevó a cabo los primeros intentos de implante en seres humanos, como detalla en su charla TED. Sin embargo, en ese momento, el diseño de los órganos bioimpresos aún no estaba lo suficientemente avanzado y se produjeron fallos en los implantes.

Para el año 2002, la posibilidad de imprimir un órgano completo en 3D se convirtió en una realidad, concretamente, se logró imprimir un riñón en miniatura. Este avance significativo impulsó la investigación y el desarrollo de soluciones médicas a otro nivel, dando lugar al surgimiento de la Medicina Regenerativa.

Impresión 3D Open Source

En el año 2004, surgió la iniciativa RepRap (Replicating Rapid-Prototypers), un proyecto de código abierto liderado por Adrian Bowyer, profesor de la Universidad de Bath en el Reino Unido. Para 2005, este proyecto hacía posible hacer realidad el sueño de democratizar la impresión 3D para que estuviera al alcance de todo el mundo. La meta principal era desarrollar una máquina de impresión 3D en la que la mayoría de sus componentes pudieran ser impresos en 3D, lo que llevó a la popularización del concepto de "máquinas auto replicantes". En 2006, se hizo realidad la primera máquina SLS (Selective Laser Sintering, Sinterización Láser Selectiva), que permitía fundir materiales durante el proceso de impresión. Este avance significativo abrió la puerta a la fabricación de prótesis y piezas industriales utilizando una amplia variedad de materiales.

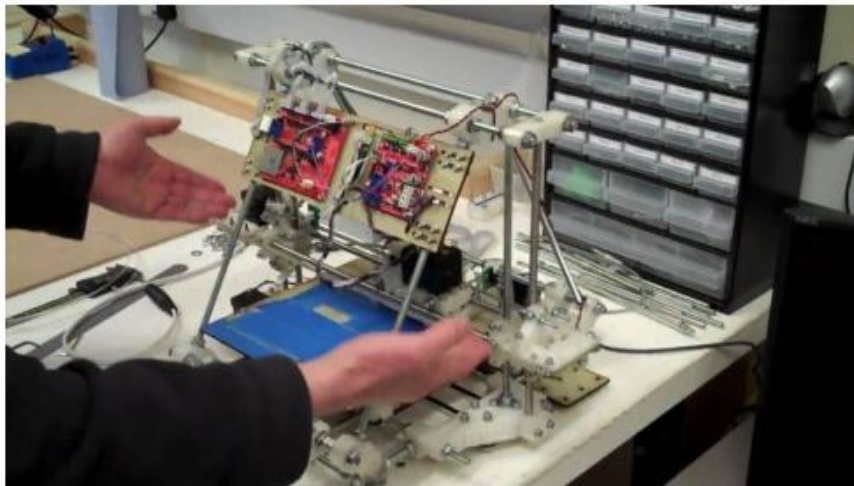


Figura 5 Prototipo de impresora 3D 1

1.1.3 CONSUMO Y SALTO MASIVO AL MERCADO

A partir de 2008, el uso de las impresoras 3D experimentó un crecimiento exponencial. El proyecto RepRap logró desarrollar una impresora capaz de imprimir la gran mayoría de sus propios componentes, lo que permitió la fabricación de piezas de reparación tanto para la propia máquina como para otros sectores. Durante ese mismo año, se registraron avances significativos en el campo de las prótesis. Se conoció el caso de la primera persona capaz de caminar con una prótesis impresa en 3D, la cual incluía todas sus partes correspondientes sin necesidad de montaje adicional. Para el año 2011, la impresión 3D se había extendido a prácticamente todas las industrias, alcanzando niveles sin precedentes tanto en investigación como en producción a gran escala y consumo.

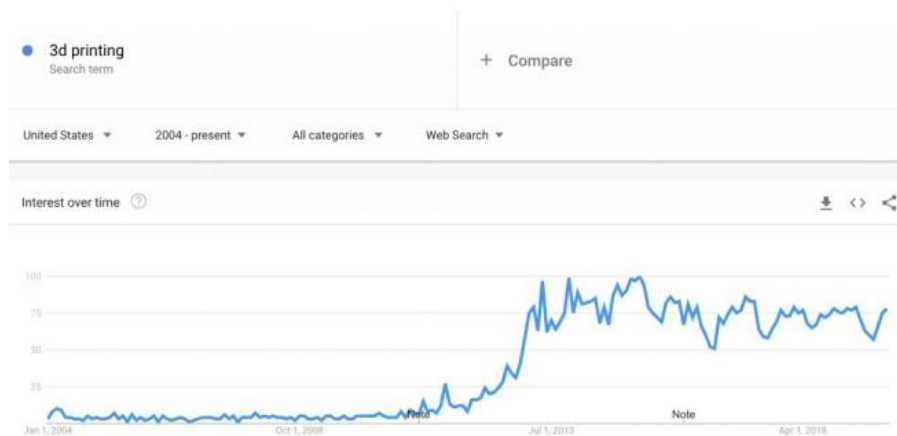


Figura 6 Grafica de Interés vs Tiempo de 1

En 2011, se logró un hito importante con la fabricación del primer avión impreso en 3D. Este avión, un dron no tripulado, fue construido en tan solo 7 días y tuvo un costo aproximado de 7.000€. Además, la impresión 3D se extendió a otros sectores, como la joyería, donde se comenzaron a imprimir joyas en oro y plata, lo que ayudó a reducir los costos de producción en el mercado de la bisutería. En

2012, se alcanzó otro logro significativo con la impresión de una prótesis de mandíbula completamente personalizada. Desde entonces, prácticamente todos los años han traído novedades sorprendentes en este campo, con continuas mejoras y avances tecnológicos. La evolución de la impresión 3D ha revolucionado la forma en que diseñamos, fabricamos y consumimos objetos. Su impacto seguirá creciendo a medida que se desarrollen nuevas aplicaciones y se mejore la tecnología en este campo.

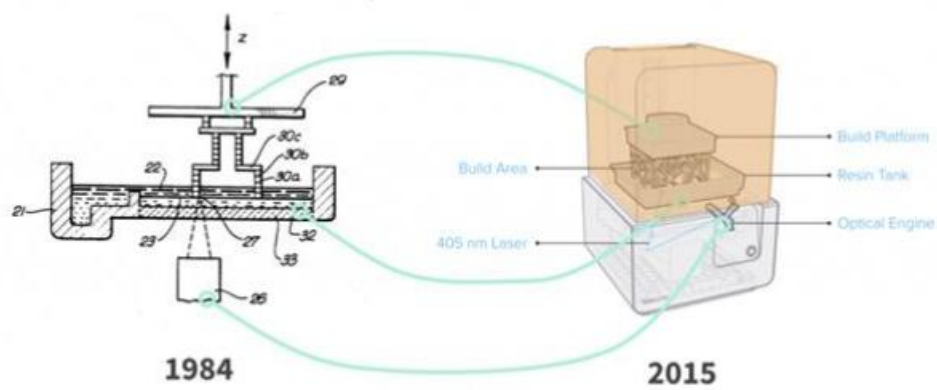


Figura 7 Diagrama presentados por Chuck 1

1.2 TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D.

1.2.1 EXTRUSIÓN DE MATERIAL:

Extrusión de material (FFF/FDM):

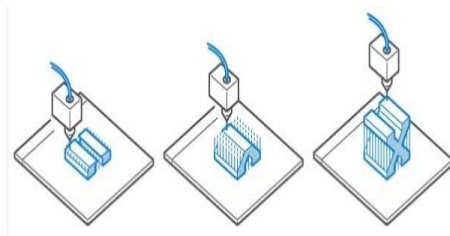


Figura 8 demostrativa de extrusión 1

Fundamentos de la Extrusión en Impresión 3D

La extrusión es uno de los procesos más comunes utilizados en la impresión 3D, especialmente en tecnologías como la Fused Deposition Modeling (FDM) o Modelado por Deposición Fundida. En este proceso, un filamento de material termoplástico se funde y se extruye a través de una boquilla calentada, depositando capas sucesivas de material para construir el objeto tridimensional.

Parámetros de la Extrusión.

La calidad y precisión de las impresiones 3D mediante extrusión dependen de varios parámetros, incluyendo la temperatura de extrusión, la velocidad de impresión, el grosor de la capa, la velocidad de enfriamiento y la adhesión entre capas.

Temperatura de Extrusión.

La temperatura de extrusión es crítica para asegurar una fusión adecuada del material y una adhesión sólida entre capas. La temperatura óptima varía según el tipo de material utilizado y puede influir en la calidad superficial y la resistencia mecánica del objeto impreso.

Velocidad de Impresión.

La velocidad de impresión determina la rapidez con la que se deposita el material y puede afectar la precisión y la resolución de la impresión. Una velocidad de impresión demasiado alta puede provocar defectos superficiales, mientras que una velocidad demasiado baja puede aumentar el tiempo de fabricación.

Grosor de la Capa.

El grosor de la capa se refiere a la altura de cada capa depositada durante el proceso de impresión. Un grosor de capa más fino puede mejorar la resolución y el detalle del objeto impreso, pero también aumenta el tiempo de impresión.

Velocidad de Enfriamiento.

El control de la velocidad de enfriamiento es crucial para evitar deformaciones y warping (deformación por contracción) durante la impresión. El enfriamiento rápido puede ayudar a solidificar el material y mantener la forma del objeto impreso.

Adhesión entre Capas.

La adhesión entre capas es fundamental para garantizar la integridad estructural del objeto impreso. Los parámetros de impresión deben ajustarse para promover una fusión adecuada entre capas y prevenir la delaminación.

Avances Tecnológicos y Desafíos

La extrusión de materiales en impresión 3D ha experimentado avances significativos en términos de velocidad, precisión y variedad de materiales compatibles. Sin embargo, aún existen desafíos relacionados con la optimización de parámetros de impresión, la compatibilidad de materiales y la resolución superficial, que requieren investigación adicional para mejorar la calidad y versatilidad de esta técnica.

Aplicaciones y Futuras Direcciones.

La extrusión de materiales en impresión 3D se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo prototipado rápido, fabricación de piezas personalizadas, herramientas y accesorios, así como en la industria médica, arquitectura y diseño. Se espera que futuros avances tecnológicos y la expansión de materiales compatibles impulsen aún más la adopción de esta técnica en diversos campos, ofreciendo nuevas oportunidades para la innovación y la fabricación avanzada.

1.2.2 SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER

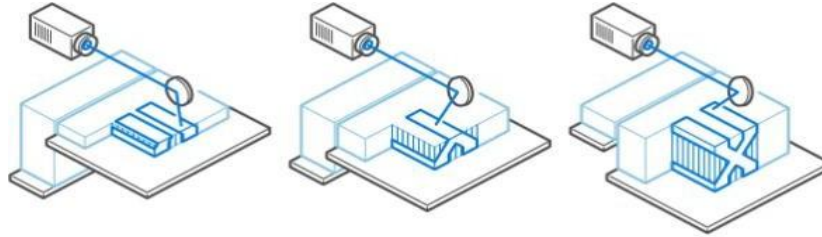


Figura 9 Fusión selectiva por Laser 1

Introducción al Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).

El Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) es una técnica avanzada de fabricación aditiva que utiliza un láser para fusionar partículas de polvo de material, capa por capa, para construir objetos tridimensionales. Esta técnica se ha convertido en una opción popular en la industria de la impresión 3D debido a su capacidad para producir piezas de alta calidad con una amplia variedad de materiales, incluyendo polímeros, metales y cerámicas.

Principios de Funcionamiento del SLS.

En el proceso de SLS, una capa delgada de polvo de material se distribuye uniformemente sobre la plataforma de construcción. Luego, un láser de alta potencia escanea selectivamente las áreas correspondientes a la sección transversal de la pieza, fundiendo y fusionando las partículas de polvo para formar la capa deseada. Una vez completada una capa, la plataforma de construcción desciende ligeramente

y se aplica una nueva capa de polvo, repitiendo el proceso hasta que se completa el objeto.

Parámetros y Variables en el SLS.

Los parámetros clave en el proceso de SLS incluyen la potencia y el diámetro del láser, la velocidad de escaneo, la temperatura de la cama de polvo y la densidad y tamaño de las partículas de polvo. Estos parámetros afectan la calidad, precisión y resistencia mecánica de las piezas impresas, y deben ser cuidadosamente controlados y optimizados para cada material y aplicación específicos.

Ventajas y Desafíos del SLS.

El SLS ofrece varias ventajas sobre otras técnicas de impresión 3D, incluyendo la capacidad para imprimir piezas complejas sin necesidad de soportes, la eliminación de restricciones de diseño y la posibilidad de utilizar una amplia gama de materiales. Sin embargo, el proceso de SLS también presenta desafíos, como la necesidad de equipos costosos y especializados, la dificultad para lograr acabados superficiales de alta calidad y la generación de tensiones residuales en las piezas impresas.

Aplicaciones y Perspectivas Futuras.

El Sinterizado Selectivo por Láser se utiliza en una variedad de aplicaciones, que van desde la fabricación de prototipos y piezas personalizadas hasta la producción en masa de componentes industriales y biomédicos. Se espera que futuros avances en tecnología de láser, materiales y procesos de post-procesamiento amplíen aún más las capacidades y aplicaciones del SLS,

consolidando su posición como una técnica de fabricación aditiva versátil y de alto rendimiento.

1.2.3 INYECCIÓN DE MATERIAL

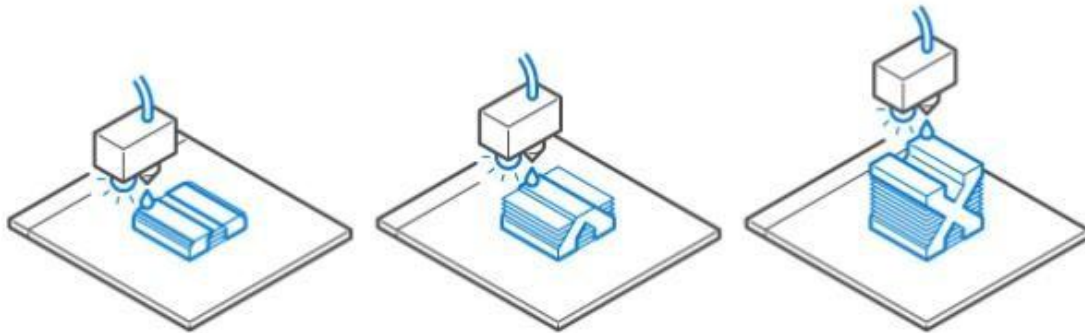


Figura 10 Inyección de material 1

Introducción a la Inyección de Material.

La Inyección de Material es una técnica innovadora de fabricación aditiva que permite la creación de objetos tridimensionales mediante la deposición de material fundido capa por capa. A diferencia de otras técnicas de impresión 3D que utilizan polvo o resina, la Inyección de Material utiliza filamentos de plástico o metal que se calientan hasta su estado líquido y se extruyen a través de una boquilla para formar la estructura deseada.

Principios de Funcionamiento de la Inyección de Material.

En el proceso de Inyección de Material, un filamento de material termoplástico o termoestable se alimenta a través de un extrusor, donde se calienta y se funde. El material fundido se extruye a través de una boquilla y se deposita capa por capa sobre la plataforma de construcción, solidificándose rápidamente para formar la pieza deseada. Este proceso se repite hasta que se completa el objeto.

Parámetros y Variables en la Inyección de Material.

Los parámetros clave en la Inyección de Material incluyen la temperatura y velocidad de extrusión, la temperatura de la cama de construcción, el grosor de la capa y el tipo de material utilizado. Estos parámetros influyen en la calidad superficial, la precisión dimensional y la resistencia mecánica de las piezas impresas, y deben ser ajustados y optimizados según las especificaciones del diseño y las propiedades del material.

Ventajas y Desafíos de la Inyección de Material.

La Inyección de Material ofrece varias ventajas sobre otras técnicas de impresión 3D, como la capacidad para imprimir piezas de gran tamaño con alta precisión y resistencia, la compatibilidad con una amplia gama de materiales termoplásticos y termoestables, y la posibilidad de integrar insertos metálicos o componentes electrónicos durante el proceso de impresión. Sin embargo, la Inyección de Material también enfrenta desafíos, como la necesidad de equipos especializados y costosos, la limitación en la geometría de las piezas impresas y la generación de tensiones residuales debido al proceso de enfriamiento.

Aplicaciones y Perspectivas Futuras.

La Inyección de Material se utiliza en una variedad de aplicaciones, que van desde la fabricación de prototipos y piezas funcionales hasta la producción en masa de componentes automotrices, aeroespaciales y médicos. Se espera que futuros avances en tecnología de extrusión, materiales compuestos y software de diseño

amplíen aún más las capacidades y aplicaciones de la Inyección de Material, impulsando su adopción en una variedad de industrias y sectores.

1.2.4 FUSIÓN DE LECHO EN POLVO

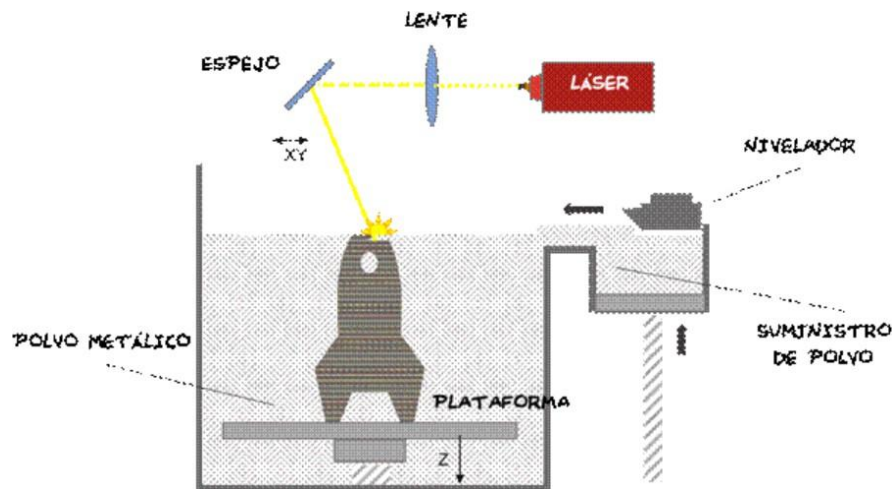


Figura 11 Ejemplo de fusión lecho en polvo

Introducción a la Fusión de Lecho en Polvo.

La Fusión de Lecho en Polvo (también conocida como Powder Bed Fusion, PBF) es una técnica avanzada de fabricación aditiva que permite la creación de objetos tridimensionales mediante la fusión selectiva de polvos de metal, plástico o cerámica. En este proceso, una capa delgada de polvo se extiende sobre una plataforma de construcción y se funde localmente mediante un láser o una fuente de energía similar, solidificándose para formar la estructura deseada.

Principios de Funcionamiento de la Fusión de Lecho en Polvo.

El proceso de Fusión de Lecho en Polvo comienza con la preparación de una capa uniforme de polvo sobre la plataforma de construcción. Luego, un láser o una fuente de energía similar se utiliza para fundir selectivamente las áreas del polvo correspondientes a la sección transversal de la pieza a imprimir. Una vez que se completa una capa, la plataforma se baja ligeramente y se aplica una nueva capa de polvo sobre la capa fundida anterior. Este proceso se repite capa por capa hasta que se completa la pieza.

Parámetros y Variables en la Fusión de Lecho en Polvo.

Los parámetros clave en la Fusión de Lecho en Polvo incluyen la potencia y el perfil del láser, la velocidad de escaneo, la temperatura de la plataforma de construcción, el tamaño y la distribución del polvo, y el tipo de gas de protección utilizado. Estos parámetros afectan la calidad superficial, la densidad y las propiedades mecánicas de las piezas impresas, y deben ser controlados y ajustados cuidadosamente para garantizar resultados óptimos.

Ventajas y Desafíos de la Fusión de Lecho en Polvo.

La Fusión de Lecho en Polvo ofrece varias ventajas sobre otras técnicas de impresión 3D, como la capacidad para producir piezas de alta precisión y complejidad geométrica, la posibilidad de utilizar una amplia gama de materiales, incluidos metales y cerámicas, y la capacidad para fabricar piezas con propiedades mecánicas y funcionales superiores. Sin embargo, la Fusión de Lecho en Polvo también enfrenta desafíos, como el alto costo de los equipos y materiales, la necesidad de procesos de posprocesamiento para eliminar el polvo residual y

mejorar la calidad superficial, y las limitaciones en el tamaño y la velocidad de fabricación de las piezas impresas.

Aplicaciones y Perspectivas Futuras.

La Fusión de Lecho en Polvo se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, que van desde la fabricación de componentes aeroespaciales y médicos hasta la producción de herramientas y moldes personalizados. Se espera que futuros avances en tecnología de láser, materiales en polvo y software de control de procesos impulsen aún más las capacidades y aplicaciones de la Fusión de Lecho en Polvo, lo que la convierte en una opción atractiva para la fabricación de componentes de alto rendimiento en una variedad de industrias y sectores.

1.2.5 FUSIÓN O SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER

Introducción a la Fusión o Sinterización Selectiva por Láser.

La Fusión o Sinterización Selectiva por Láser (Selective Laser Melting/Selective Laser Sintering, SLM/DMLS) es una técnica avanzada de fabricación aditiva que permite la creación de objetos tridimensionales mediante la fusión selectiva de polvos de metal, plástico o cerámica utilizando un láser de alta potencia. Esta técnica se ha convertido en una herramienta invaluable en diversas industrias debido a su capacidad para producir componentes complejos y funcionales con geometrías difíciles o imposibles de lograr con métodos de fabricación tradicionales.

Principios de Funcionamiento de la Fusión o Sinterización Selectiva por Láser.

En la Fusión o Sinterización Selectiva por Láser, el proceso comienza con la dispersión uniforme de una capa delgada de polvo sobre una plataforma de construcción. Luego, un láser de alta potencia escanea selectivamente las áreas correspondientes a la sección transversal de la pieza a fabricar, fundiendo o sinterizando el polvo para formar una capa sólida. Una vez completada una capa, la plataforma de construcción se mueve hacia abajo y se aplica una nueva capa de polvo sobre la capa recién formada. Este proceso se repite capa por capa hasta que se completa la pieza deseada.

Parámetros y Variables en la Fusión o Sinterización Selectiva por Láser.

La calidad y las propiedades de las piezas fabricadas mediante SLM/DMLS están influenciadas por una variedad de parámetros, como la potencia y el perfil del láser, la velocidad de escaneo, la temperatura de la plataforma de construcción, la densidad y distribución del polvo, y la atmósfera de procesamiento. Estos parámetros deben ser cuidadosamente controlados y ajustados para garantizar resultados óptimos en términos de precisión dimensional, densidad, integridad estructural y calidad superficial.

Ventajas y Desafíos de la Fusión o Sinterización Selectiva por Láser.

La Fusión o Sinterización Selectiva por Láser ofrece varias ventajas significativas, como la capacidad para fabricar piezas de alta precisión y complejidad geométrica, la producción de componentes totalmente funcionales sin necesidad de herramientas o moldes adicionales, y la posibilidad de utilizar una amplia gama de materiales, incluidos metales, polímeros y cerámicas. Sin embargo, esta técnica también enfrenta desafíos, como el alto costo de los equipos y materiales, la

necesidad de optimizar los parámetros de proceso para cada material específico, y las limitaciones en el tamaño y la velocidad de fabricación de las piezas impresas.

Aplicaciones y Perspectivas Futuras.

La Fusión o Sinterización Selectiva por Láser se utiliza en una variedad de aplicaciones, que van desde la fabricación de componentes aeroespaciales y médicos hasta la producción de herramientas, moldes y piezas de repuesto personalizadas. Se espera que futuros avances en tecnología de láser, materiales en polvo y software de control de procesos impulsen aún más las capacidades y aplicaciones de SLM/DMLS, lo que la convierte en una opción atractiva para la fabricación de componentes de alto rendimiento en una variedad de industrias y sectores.

1.2.6 FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES

Introducción a la Fusión por Haz de Electrones (EBM).

La Fusión por Haz de Electrones (Electron Beam Melting, EBM) es una técnica avanzada de fabricación aditiva que utiliza un haz de electrones para fundir selectivamente polvos metálicos, permitiendo la creación de objetos tridimensionales con alta precisión y complejidad geométrica. Esta tecnología ha ganado reconocimiento en diversas industrias debido a su capacidad para producir componentes con propiedades mecánicas superiores y una calidad superficial excepcional.

Principios de Funcionamiento de la Fusión por Haz de Electrones.

En la Fusión por Haz de Electrones, el proceso comienza con la dispersión uniforme de una capa delgada de polvo metálico sobre una plataforma de construcción. Luego, un haz de electrones altamente energético se dirige hacia el polvo, generando suficiente calor para fundir selectivamente las partículas y fusionarlas entre sí. A medida que se completa una capa, la plataforma de construcción se mueve hacia abajo y se aplica una nueva capa de polvo, repitiendo el proceso capa por capa hasta que se complete la pieza deseada.

Parámetros y Variables en la Fusión por Haz de Electrones.

La calidad y las propiedades de las piezas fabricadas mediante EBM están influenciadas por una variedad de parámetros, como la energía y el enfoque del haz de electrones, la velocidad de barrido, la densidad y distribución del polvo, la temperatura del sustrato y la atmósfera de procesamiento. Estos parámetros deben ser cuidadosamente controlados y optimizados para garantizar resultados consistentes y reproducibles en términos de densidad, integridad estructural y precisión dimensional.

Ventajas y Desafíos de la Fusión por Haz de Electrones.

La Fusión por Haz de Electrones ofrece varias ventajas significativas, como la capacidad para fabricar piezas de alta calidad con propiedades mecánicas excepcionales, la posibilidad de trabajar con una amplia gama de aleaciones metálicas, incluidos materiales difíciles de mecanizar, y la capacidad para producir componentes de gran tamaño con tiempos de producción reducidos. Sin embargo, esta técnica también enfrenta desafíos, como el alto costo de los equipos y materiales, la necesidad de mantener condiciones de vacío durante el proceso de

fabricación, y la limitación en la resolución superficial debido al efecto de dispersión de electrones.

Aplicaciones y Perspectivas Futuras. La Fusión por Haz de Electrones se utiliza en una variedad de aplicaciones, que van desde la fabricación de componentes aeroespaciales y biomédicos hasta la producción de herramientas, moldes y piezas de alto rendimiento para la industria automotriz. Se espera que futuros avances en tecnología de electrones, materiales en polvo y software de control de procesos impulsen aún más las capacidades y aplicaciones de EBM, lo que la convierte en una opción atractiva para la fabricación de componentes críticos en una variedad de industrias y sectores.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS, APLICACIONES Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA 3D PARA IMPRESIÓN EN METALES.

2.1 TECNOLOGÍA DE LA IMPRESIÓN 3D

2.1.1 APLICACIONES MÁS ADECUADAS A IMPRESIÓN 3D EN SLM.

En términos generales, la técnica de impresión "SLM" (Selective Laser Melting - fusión selectiva mediante láser) es un proceso de fabricación aditiva especialmente diseñado para la producción en 3D de aleaciones metálicas. Construye componentes añadiendo material a través de la fusión de partículas de polvo metálico en un proceso de fusión completa.

A diferencia del DMLS, el SLM funde completamente el polvo, lo que requiere alcanzar temperaturas más elevadas que este otro método de impresión 3D de metal. La cámara de construcción se llena con un gas inerte (como argón o nitrógeno, con niveles de oxígeno inferiores a 500 partes por millón) para crear condiciones ideales para la fusión.

El proceso de fusión completa permite que el metal forme una masa homogénea con una buena resistencia. Es especialmente adecuado para metales puros como el titanio o el aluminio. Debido a la necesidad de alcanzar temperaturas más altas para fundir completamente el material, se utiliza un láser de hasta 500W para fundir partículas de polvo de titanio, acero, aluminio y otras aleaciones. El tiempo de enfriamiento será mayor que en el caso del DMLS.

El proceso selectivo de fusión por láser utiliza soportes para reforzar ángulos pequeños y resaltes en las piezas, así como para fijar el diseño a la bandeja de

trabajo. Estos soportes se eliminan manualmente una vez que la pieza ha enfriado. Después de la impresión, se emplean diversas técnicas de acabado, como el fresado, el tratamiento térmico o el recocido, para satisfacer los requisitos funcionales de la pieza.

Esta tecnología de impresión 3D de metal permite la creación de objetos con paredes delgadas y geometrías complejas, lo que resulta en diseños ligeros. Proporciona acceso a materiales con excelentes propiedades mecánicas, lo que facilita la manipulación y la resistencia a las tensiones de las piezas.

Aplicaciones

La impresión 3D SLM (Selective Laser Melting o Fusión Selectiva por Láser) es una tecnología de impresión 3D de alta precisión que utiliza un láser de alta potencia para fundir capas finas de polvo metálico, creando piezas tridimensionales complejas y de alta calidad. Debido a sus características únicas, la impresión 3D SLM es ideal para una amplia gama de aplicaciones, que incluyen:

Industria aeroespacial:

- Piezas livianas y resistentes para aviones y naves espaciales, como carcasas de motores, turbinas y componentes estructurales.
- Prototipos funcionales y piezas de prueba para desarrollo y pruebas rápidas.
- Piezas personalizadas y de bajo volumen para reparación y mantenimiento.

Industria automotriz:

- Componentes livianos y de alto rendimiento para vehículos, como bielas, pistones y colectores de admisión.

- Piezas personalizadas y de bajo volumen para personalización y vehículos de edición limitada.
- Prototipos funcionales y piezas de prueba para desarrollo y pruebas rápidas.

Industria médica:

- Implantes personalizados y prótesis para cirugías ortopédicas, dentales y maxilofaciales.
- Instrumentos médicos y dispositivos quirúrgicos a medida.
- Modelos anatómicos y educativos para planificación quirúrgica y formación médica.

Joyería y bienes de consumo:

- Piezas de joyería personalizadas y únicas, como anillos, collares y pendientes.
- Piezas de decoración y artículos de lujo a medida.
- Prototipos funcionales y piezas de prueba para desarrollo y diseño de productos.

Otras aplicaciones:

- Moldes y herramientas para producción de bajo volumen.
- Piezas de repuesto y componentes personalizados para maquinaria industrial.
- Equipos de investigación y desarrollo para diversos campos científicos y de ingeniería.

2.1.2. TIPOS DE IMPRESORAS SLM.

Existen dos tipos principales de impresoras SLM:

1. Impresoras SLM de un solo láser:

Las impresoras SLM de un solo láser utilizan un único láser de alta potencia para fundir el polvo metálico. Este es el tipo más común de impresora SLM y ofrece una buena relación entre calidad de impresión, velocidad y costo.



Figura 12 Impresora SLM de un solo laser 1

2. Impresoras SLM de dos láseres:

Las impresoras SLM de dos láseres utilizan dos láseres de alta potencia para fundir el polvo metálico. Esto permite una mayor velocidad de impresión y una mejor calidad de impresión, especialmente para piezas grandes y complejas.



Figura 13 Impresora SLM de dos láseres 1

Los dos tipos de impresoras SLM también se pueden clasificar según la tecnología de escaneo que utilizan. Las dos tecnologías de escaneo más comunes son:

1. Escaneo de galvo:

El escaneo de galvo utiliza espejos giratorios para dirigir el láser sobre el lecho de polvo. Este es un método de escaneo rápido y preciso, pero puede tener limitaciones en cuanto al tamaño del área de impresión.

2. Escaneo de trama:

El escaneo de trama utiliza un conjunto de espejos móviles para dirigir el láser sobre el lecho de polvo. Este método de escaneo puede crear piezas más grandes, pero puede ser más lento que el escaneo de galvo.

El tipo de impresora SLM más adecuado para una aplicación particular dependerá de una serie de factores, como el tamaño y la complejidad de las piezas que se van

a imprimir, los requisitos de calidad de impresión, el presupuesto y las preferencias del usuario.

2.1.3. VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA SLM.

- A diferencia de la fusión mediante haz de electrones, la fusión por láser (SLM) permite eliminar el polvo fresco sin fundir de canales internos de la pieza sin que estos queden ocluidos por el polvo.
- Posibilidad de hibridar la impresión 3D metálica sobre un taco mecanizado para reducir costes.
- Parámetros de máquina abiertos para poder desarrollar más materiales.
- Permite crear piezas con geometrías complejas y canales internos que no se pueden fabricar con otros métodos.
- Reduce el desperdicio de material y los costes de montaje al consolidar piezas.
- Ofrece alta resistencia y calidad de las piezas metálicas para aplicaciones en ingeniería mecánica y química.
- Tiene parámetros de máquina abiertos para poder desarrollar más materiales.

2.1.4. DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA SLM

- Requiere una alta inversión inicial en equipos y mantenimiento.
- Tiene limitaciones de tamaño y forma de las piezas que se pueden imprimir.
- Genera tensiones residuales y deformaciones en las piezas que pueden afectar su calidad y durabilidad.
- Necesita un post-procesado para eliminar el exceso de polvo y mejorar el acabado superficial.
- Falsificaciones e infracciones de derechos de autor
- Eliminación de mano de obra
- Disponibilidad de materiales

2.1.5. TIPOS DE POST PROCESADO.

La impresión 3D SLM (Selective Laser Melting o Fusión Selectiva por Láser) produce piezas de alta calidad con geometrías complejas y tolerancias dimensionales estrechas. Sin embargo, las piezas SLM recién impresas pueden requerir un post procesamiento adicional para eliminar las estructuras de soporte, mejorar la calidad de la superficie y optimizar las propiedades mecánicas.

Los tipos más comunes de post-procesamiento en impresión 3D de metales SLM incluyen:

1. Eliminación de soportes:

Las estructuras de soporte se utilizan durante el proceso de impresión 3D SLM para sostener voladizos y geometrías complejas. Una vez finalizada la impresión, estas estructuras de soporte deben eliminarse cuidadosamente. Los métodos comunes para eliminar soportes incluyen:

- **Corte manual:** Las estructuras de soporte se eliminan manualmente con herramientas de corte como cuchillas, sierras y pinzas. Este método es adecuado para piezas pequeñas y simples.
- **Mecanizado CNC:** Las estructuras de soporte se eliminan con una máquina CNC (Computer Numerical Control). Este método es más preciso y eficiente que el corte manual, y es adecuado para piezas más grandes y complejas.
- **Disolución química:** Las estructuras de soporte se disuelven en un baño químico. Este método es adecuado para materiales solubles, como el PVA (alcohol polivinílico).

2. Tratamiento de la superficie:

Las superficies de las piezas SLM recién impresas pueden ser rugosas y tener marcas de construcción. El tratamiento de la superficie puede mejorar la apariencia, la textura y la funcionalidad de la pieza. Los métodos comunes de tratamiento de superficies incluyen:

- **Granallado:** Las piezas se bombardean con pequeñas esferas metálicas o abrasivos para suavizar la superficie y eliminar las imperfecciones.
- **Pulido:** Las piezas se pulen con abrasivos cada vez más finos para lograr un acabado liso y brillante.
- **Recubrimiento:** Las piezas se recubren con una capa protectora, como pintura o anodizado, para mejorar la resistencia a la corrosión, el desgaste y otros factores ambientales.

3. Tratamiento térmico:

El tratamiento térmico implica calentar y enfriar la pieza a temperaturas específicas para modificar sus propiedades mecánicas, como la resistencia, la ductilidad y la tenacidad. Los métodos comunes de tratamiento térmico incluyen:

- **Recocido:** La pieza se calienta a una temperatura por debajo de su punto de fusión y luego se enfría lentamente para eliminar los esfuerzos internos y mejorar la ductilidad.
- **Temple:** La pieza se calienta por encima de su punto de transformación crítica y luego se enfría rápidamente para aumentar la dureza y la resistencia.
- **Revenido:** La pieza se calienta a una temperatura por debajo de su punto de transformación crítica y luego se enfría lentamente para reducir la fragilidad y mejorar la tenacidad.

La selección de los métodos de post-procesamiento adecuados dependerá del material de la pieza, la geometría de la pieza, los requisitos de rendimiento y la aplicación prevista. Es importante consultar con un especialista en impresión 3D de metales para determinar el plan de post-procesamiento adecuado para cada pieza.

2.1.6. TRATAMIENTOS TÉRMICOS UTILIZADOS.

Los tratamientos térmicos son un paso crucial en el post-procesamiento de piezas impresas en 3D mediante tecnología SLM (Selective Laser Melting o Fusión Selectiva por Láser). Estos procesos involucran calentar y enfriar la pieza a temperaturas específicas con el objetivo de modificar su microestructura y, en consecuencia, sus propiedades mecánicas.

1. Recocido: Aliviando Tensiones y Mejorando Ductilidad

El recocido es un tratamiento térmico fundamental en la impresión 3D SLM. Consiste en calentar la pieza a una temperatura por debajo de su punto de fusión (típicamente entre 0.5 y 0.7 veces el punto de fusión) y luego enfriarla lentamente, generalmente en un horno. Este proceso tiene como objetivo principal **eliminar los esfuerzos residuales** inducidos durante el proceso de impresión, los cuales pueden generar distorsiones y fragilidades en la pieza. Además, el recocido **mejora la ductilidad y tenacidad** del material, haciéndolo más flexible y resistente a la rotura.

Debido a sus beneficios, el recocido es ampliamente utilizado para la mayoría de las aleaciones metálicas impresas en 3D SLM, como **acero inoxidable, titanio y aluminio**. Es un tratamiento previo esencial para optimizar las propiedades mecánicas de estas piezas y prepararlas para su uso final en diversas aplicaciones.

2. Temple y Revenido: Endureciendo y Equilibrando Propiedades

El temple y el revenido son dos tratamientos térmicos complementarios que se utilizan principalmente para aleaciones de acero que requieren alta resistencia y dureza.

- **Temple:** El temple implica calentar la pieza por encima de su punto de transformación crítica (Ac para aceros) y luego enfriarla rápidamente, típicamente en un baño de aceite o agua. Este proceso genera una microestructura martensítica, lo que se traduce en un **aumento significativo de la dureza y la resistencia** de la pieza.
- **Revenido:** Tras el temple, la pieza se somete a un revenido, calentándola a una temperatura por debajo del punto de transformación crítica (entre 0.2 y 0.3 veces el punto de fusión) y enfriándola lentamente. Este proceso **reduce la fragilidad** de la pieza y **mejora su tenacidad**, sin sacrificar significativamente la dureza obtenida durante el temple.

La combinación de temple y revenido permite **optimizar el equilibrio entre dureza, resistencia y tenacidad** en aleaciones de acero, haciéndolas ideales para aplicaciones que demandan alta confiabilidad y rendimiento mecánico, como **herramientas de corte, componentes estructurales y piezas de maquinaria**.

3. Solución y Envejecimiento: Mejorando Formabilidad y Propiedades Mecánicas en Aleaciones de Aluminio

La solución y el envejecimiento son tratamientos térmicos específicos para aleaciones de aluminio que contienen precipitados, como Al 6061 y Al 7075.

- **Solución:** La solución implica calentar la pieza a una temperatura por encima de su punto de solubilización y luego enfriarla lentamente. Este proceso **homogeniza la microestructura** de la aleación, **reduce la segregación de elementos de aleación** y **mejora la ductilidad**, haciéndola más maleable y trabajable.

- **Envejecimiento:** Tras la solución, la pieza se mantiene a una temperatura específica por debajo del punto de solubilización durante un tiempo determinado. Este proceso induce la **precipitación de fases secundarias** dentro de la microestructura, lo que **mejora la resistencia y la dureza** de la aleación.

La combinación de solución y envejecimiento permite **optimizar las propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio** impresas en 3D SLM, haciéndolas ideales para aplicaciones que demandan **buena Formabilidad, alta resistencia y peso ligero**, como **componentes aeroespaciales, estructuras automotrices y piezas de precisión**.

2.1.7. MATERIALES COMÚNMENTE UTILIZADOS EN SLM.

La impresión 3D SLM (Selective Laser Melting o Fusión Selectiva por Láser) utiliza una amplia gama de materiales metálicos para crear piezas complejas y de alta calidad. La elección del material adecuado depende de la aplicación específica y los requisitos de rendimiento deseados. Entre los materiales más comunes utilizados en SLM se encuentran:

1. Acero Inoxidable:

- **Tipos:** 316L, 17-4PH, Maraging Steel
- **Propiedades:** Alta resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas, buena ductilidad y tenacidad.
- **Aplicaciones:** Implantes médicos, herramientas de corte, componentes aeroespaciales, piezas de maquinaria industrial.

2. Titanio:

- **Tipos:** Ti6Al4V, Ti5Al2.5Sn

- **Propiedades:** Baja densidad, alta resistencia, excelente biocompatibilidad, buena resistencia a la corrosión.
- **Aplicaciones:** Implantes médicos, prótesis ortopédicas, componentes aeroespaciales, piezas de automoción de alto rendimiento.

3. Aluminio:

- **Tipos:** AlSi10Mg, AlSiMg2
- **Propiedades:** Baja densidad, alta resistencia-peso, buena ductilidad y maquinabilidad.
- **Aplicaciones:** Componentes aeroespaciales, estructuras automotrices, piezas de electrónica, carcasas de dispositivos portátiles.

4. Aleaciones de Níquel:

- **Tipos:** Inconel 625, Inconel 750
- **Propiedades:** Alta resistencia a la temperatura, alta resistencia a la corrosión, buena ductilidad y tenacidad.
- **Aplicaciones:** Turbinas de gas, componentes aeroespaciales, equipos de procesamiento químico, piezas de alta temperatura.

5. Cobalto-Cromo:

- **Tipos:** CoCrMo, CoCrW
- **Propiedades:** Alta resistencia al desgaste, excelente biocompatibilidad, alta resistencia a la corrosión.
- **Aplicaciones:** Implantes médicos, prótesis articulares, herramientas de corte, componentes de maquinaria industrial.

Otros materiales:

- **Acero para herramientas:** H13, D2
- **Cobre:** C1000, C1100
- **Bronce:** CuSn8, CuZn37

Es importante destacar que la investigación y el desarrollo en materiales para impresión 3D SLM están en constante avance, lo que permite la introducción de nuevos materiales con propiedades y características mejoradas para ampliar aún más las posibilidades de esta tecnología.

Selección del Material Adecuado para SLM:

La elección del material adecuado para una aplicación específica en SLM implica considerar diversos factores, como:

- **Propiedades mecánicas:** Resistencia, ductilidad, tenacidad, resistencia a la fatiga, etc.
- **Propiedades físicas:** Densidad, conductividad térmica y eléctrica, coeficiente de expansión térmica.
- **Resistencia a la corrosión:** Exposición a entornos agresivos, químicos, líquidos.
- **Biocompatibilidad:** Implantes médicos, prótesis.
- **Costo:** Disponibilidad del material, complejidad del proceso de impresión.

2.1.8. EJEMPLOS DE IMPRESORAS QUE UTILIZAN SLM.

Impresoras 3D SLM Destacadas con Imágenes y Especificaciones:

1. EOS GmbH:

Imagen:



Figura 14 Impresora 3D SLM EOS GmbH 1

Especificaciones técnicas:

- **Tamaño de construcción:** Varía según el modelo, desde 200 x 200 x 200 mm hasta 800 x 800 x 500 mm.
- **Potencia del láser:** Varía según el modelo, desde 200 W hasta 1000 W.
- **Materiales compatibles:** Acero inoxidable, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, cobalto-cromo.
- **Precisión:** Hasta 20 micrones.
- **Velocidad de construcción:** Varía según el modelo y la geometría de la pieza.

2. SLM Solutions Group AG:

Imagen:



Figura 15 Impresora 3D SLM Solutions Gro 1

Especificaciones técnicas:

- **Tamaño de construcción:** Varía según el modelo, desde 300 x 300 x 300 mm hasta 1000 x 1000 x 800 mm.
- **Potencia del láser:** Varía según el modelo, desde 400 W hasta 1000 W.
- **Materiales compatibles:** Acero inoxidable, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, cobalto-cromo, materiales reactivos.
- **Precisión:** Hasta 20 micrones.
- **Velocidad de construcción:** Varía según el modelo y la geometría de la pieza.

3. 3D Systems:

Imagen:



Figura 16 Impresora 3D SLM Systems 1

Especificaciones técnicas:

- **Tamaño de construcción:** Varía según el modelo, desde 100 x 100 x 80 mm hasta 500 x 500 x 300 mm.
- **Potencia del láser:** Varía según el modelo, desde 200 W hasta 1000 W.
- **Materiales compatibles:** Acero inoxidable, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, cobalto-cromo, materiales reactivos.
- **Precisión:** Hasta 30 micrones.
- **Velocidad de construcción:** Varía según el modelo y la geometría de la pieza.

4. Renishaw plc:

Imagen:



Figura 17 Impresora 3D SLM RENISHAW PLC 1

Especificaciones técnicas:

- **Tamaño de construcción:** Varía según el modelo, desde 250 x 250 x 300 mm hasta 500 x 500 x 400 mm.
- **Potencia del láser:** Varía según el modelo, desde 200 W hasta 500 W.
- **Materiales compatibles:** Acero inoxidable, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, cobalto-cromo, materiales reactivos.
- **Precisión:** Hasta 5 micrones.
- **Velocidad de construcción:** Varía según el modelo y la geometría de la pieza.

5. Arcam AB:

Especificaciones técnicas:

- **Tamaño de construcción:** Varía según el modelo, desde 200 x 200 x 200 mm hasta 400 x 400 x 400 mm.
- **Potencia del láser:** Varía según el modelo, desde 200 W hasta 1000 W.
- **Materiales compatibles:** Acero inoxidable, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, cobalto-cromo, materiales reactivos.
- **Precisión:** Hasta 10 micrones.
- **Velocidad de construcción:** Varía según el modelo y la geometría de la pieza.

6. HP Inc.:



Figura 18 Impresora 3D SLM HP Inc 1

Especificaciones técnicas:

- **Tamaño de construcción:** 380 x 280 x 600 mm.
- **Potencia del láser:** 250 W.

- **Materiales compatibles:** Acero inoxidable, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, cobalto-cromo, materiales reactivos.
- **Precisión:** Hasta 50 micrones.
- **Velocidad de construcción:** Hasta 100 mm/s.

2.2 TECNOLOGÍA DE LA IMPRESIÓN 3D DMLS

La sinterización directa de metales por láser (DMLS por sus siglas en inglés) pertenece a la categoría de fusión de lechos de polvo (PBF) de la impresión 3D y es similar a la tecnología SLS. Solo que en DMLS se utilizan polvos metálicos en lugar de polvos de plástico para crear piezas metálicas que pueden utilizarse tanto para prototipos funcionales como para piezas de producción.

Esta tecnología de fabricación aditiva produce piezas de metal complejas y de gran calidad a partir de datos CAD 3D. En la máquina, se dirige un láser de gran precisión hacia partículas de polvo metálico para acumular, de forma selectiva, capas finas horizontales de metal, una tras otra. Esta tecnología puntera permite producir piezas de metal con geometrías difíciles que no sería posible elaborar con tecnologías de fundición o sustractivas tradicionales. Hay disponible una gran diversidad de metales funcionales para imprimir todo tipo de diseños, desde prototipos hasta series de producción de hasta 20 000 unidades.

Normalmente, el tamaño de fabricación de las partículas metálicas es de 20 a 40 micrómetros. El tamaño y la forma de las partículas limitan la resolución detallada de la pieza final. Cuanto más pequeño sea el tamaño de partícula de metal y menor sea su variación en dispersión de tamaños, mejor resolución obtendrá la pieza. Otros puntos que mejoran resolución con esta tecnología son la altura de la capa y el tamaño del punto láser. Al igual que otros procesos de impresión 3D, el modelo se divide en muchas capas finas, que luego se imprimen una por una para

construir la pieza final. Las alturas de las capas imprimibles son aproximadamente el tamaño máximo del polvo metálico utilizado.

2.2.1 FUNCIONAMIENTO DE SINTERIZADO DE METAL POR LASER

En una impresora 3D DMLS, encontramos una tolva donde se llena el polvo metálico deseado. Unos calentadores que consiguen llevar el polvo a una temperatura cercana al rango de sinterización de la aleación. Además, la impresora utiliza un gas inerte Ar o N, que protege el polvo calentado y la pieza a medida que se construye.

La fabricación comienza con la aplicación de una fina capa de polvo metálico sobre la plataforma de construcción. Luego, el láser comienza a trabajar capa a capa, sinterizando selectivamente el polvo en un sólido. La secuencia de dispensación de una capa y sinterización continúa hasta completar la pieza. Una vez que la pieza se deja enfriar, el polvo metálico suelto circundante se retira de la impresora. Los últimos pasos incluyen la eliminación del soporte, así como cualquier post procesamiento necesario.

El proceso de sinterización directa de metales por láser se puede comprender en seis pasos básicos:

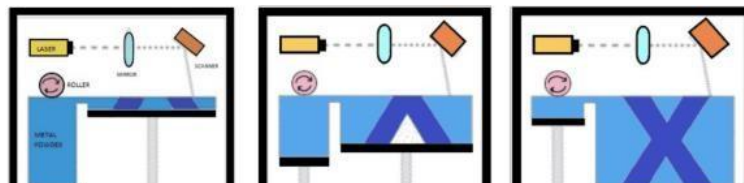


Figura 19 Proceso de fabricación directa 1

Paso 1: El proceso DMLS comienza seccionando los datos del archivo CAD de diseño 3D en capas individuales extremadamente finas, generando un modelo 2D para cada capa.

Paso 2: La máquina utiliza un láser óptico de alta potencia, dentro del área de la cámara de construcción que contiene gas inerte.

Paso 3: Hay una plataforma dispensadora de material y una plataforma de construcción junto con un rodillo que se utiliza para mover el nuevo polvo sobre la plataforma de construcción capa por capa.

Paso 4: Al colocar el polvo en la plataforma de construcción, el láser comienza su recorrido para esta capa, sinterizando selectivamente el polvo en un sólido. La secuencia de adición de capas de polvo y sinterización continúa hasta que la pieza completa está terminada.

Paso 5: Tras el enfriamiento, se retira de la impresora el polvo metálico suelto que la rodea. Los últimos pasos incluyen la eliminación de la estructura de soporte y otros procesos posteriores.

Paso 6: Las piezas de DMLS pueden ser tratadas como las piezas metálicas producidas por el trabajo convencional del metal para su posterior procesamiento. Esto puede incluir el mecanizado, el tratamiento térmico o el acabado de la superficie.

2.2.2 APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D DMLS

- Producción de piezas complejas que no se pueden fabricar mediante métodos tradicionales.
- Canales de enfriamiento de conformación y estructuras reticuladas
- Flujo de fluidos mejorado.
- Producción directa sin herramientas de insertos y núcleos de moldeado por inyección.
- Personalización masiva de piezas ortopédicas, dentales y de otro tipo. Piezas con cavidades, rebajados y ángulos de delineación
- Diseños más livianos y ligeros
- Investigación y desarrollo
- Ensamblajes sencillos y consolidación de piezas
- Producción de piezas pequeñas y precisas
- Optimización de topologías manteniendo la integridad estructural.
-

2.2.3 IMPRESORAS DMLS

Una de las compañías líderes en la tecnología de impresión 3D es EOS, es un fabricante alemán que se destaca por su línea de productos EOS M. Estas máquinas están diseñadas para fabricar piezas completas para diversas industrias. En 2013, 3D Systems destacó después de unirse con Phenix Systems, una empresa francesa que ya tenía experiencia en la creación de impresoras DMLS.

EOS M 290

La EOS M 290 es una impresora 3D de tamaño mediano de alta calidad diseñada específicamente para la fabricación aditiva de metales. Ofrece una amplia

variedad de materiales metálicos y es ideal para la producción de piezas de alta calidad, especialmente en aplicaciones médicas y otras que requieren componentes metálicos delicados.



Figura 20 Impresora 3D EOS M 290 1

Tabla 1 Datos Técnicos EOS M290

Datos técnicos EOS M290	
Volumen de construcción	250 x 250 x 325 mm (9,85 x 9,85 x 12,8 pulgadas) (altura incluida la placa de construcción)
Velocidad de escaneo	hasta 7,0 m/s (23 pies/seg)
Diámetro de enfoque	100 µm (0,004 pulgadas)
Fuente de alimentación	32A / 400 V

EOS M 400-4 Series The Ultra-Fast Four-Laser System.

La EOS M 400-4 está diseñada para la producción eficiente de piezas metálicas de gran tamaño y la fabricación en serie de alta calidad.



Figura 21 Impresora EOS M 400-4 Series 1

Datos técnicos EOS M 400-4

Volumen de construcción	400 x 400 x 400 mm (15,8 x 15,8 x 15,8 pulgadas) (altura incluida la placa de construcción)
Velocidad de escaneo	Hasta 7,0 m/s (23 pies/s)
Diámetro de enfoque	Aprox. 100 µm (0,004 pulgadas)
Fuente de alimentación	3x50A
El consumo de energía	máx. 45 kW / típico 22 kW
Dimensiones de la máquina (An x Pr x Al)	4.181 x 1.613 x 2.355 mm (164,6 x 63,5 x 92,7 pulgadas)

3D SYSTEMS DMP Factory 500

La impresora 3D DMP Factory 500 es una solución de fabricación escalable con módulos especializados para imprimir piezas metálicas de alta calidad. Permite la producción continua, incluso de piezas grandes, gracias a su diseño modular y control preciso del entorno de impresión. Esto reduce costos y aumenta la productividad, haciendo que la impresión en 3D de metal sea más eficiente y asequible.



Figura 22 Impresora DMP Factory 1

Tabla 2 Datos Técnicos DMP Factory 500

Datos técnicos DMP Factory 500	
Volumen de construcción	500 x 500 x 500 milímetros
Mín. grosor de la capa	0,005 milímetros
Precisión XY	0,075 milímetros
Materiales	Aluminio, Níquel, Titanio
Formato de materia prima	Polvo

Share Bot Metal One.

La impresora Share Bot Metal One utiliza la tecnología DMLS para construir piezas metálicas capa a capa. Está diseñada para centros de investigación y empresas que necesitan fabricar piezas metálicas pequeñas y medianas con alta calidad y control. Con solo 800 g de polvo metálico, puede producir piezas detalladas y experimentar con diferentes materiales. También es compatible con gases como el nitrógeno o argón para trabajar con diversos metales. Es completamente personalizable por el usuario en términos de parámetros de impresión y puede utilizarse en sectores como la odontología, la industria y la joyería.



Figura 23 Impresora Share Hot Metal One 1

Tabla 3 Datos

Técnicos

Datos técnicos Sharebot MetalOne	
Modelo	MetalOne
Tecnología	DMLS
Volumen de impresión	65 x 65 x 100 mm
Resolución de posicionamiento (Z)	<1 µm
Velocidad máxima	5 m/s
Altura de capa	- 200µm

2.2.4 MATERIALES UTILIZADOS

Acero inoxidable 316L

El Inox 316L es un material de impresión 3D que consiste en polvo metálico, principalmente compuesto de hierro, cromo, níquel y molibdeno. Se utiliza en diversas aplicaciones, como medicina, aeroespacial, automotriz y joyería debido a su resistencia a la corrosión y ductilidad. La impresión en Inox 316L es precisa, con capas de entre 30 y 40 μm y un láser de alta precisión.

Para mejorar los acabados superficiales y optimizar las propiedades estéticas y funcionales de las piezas, se pueden aplicar los siguientes procesos:

- **Pulido mecánico:** Elimina imperfecciones superficiales y reduce la rugosidad, logrando una textura más suave. Es ideal para componentes que requieren un acabado estético, como instrumentos médicos o piezas decorativas.
- **Pulido electrolítico:** Utilizado para lograr una superficie más homogénea y brillante, reduciendo microfisuras que puedan favorecer la corrosión. Este proceso es común en aplicaciones médicas y alimentarias.
- **Granallado o arenado:** Mejora el acabado superficial y elimina restos de polvo adherido al material después de la impresión, proporcionando un acabado uniforme y mate.
- **Inspección no destructiva:** Métodos como líquidos penetrantes o ultrasonido son esenciales para garantizar la integridad estructural de las piezas. Esto es particularmente relevante en aplicaciones críticas, como componentes aeroespaciales o quirúrgicos.



Figura 24 Material de impresión 3D, Acer 1

Titanio 6Al-4V

El Titanio 6Al-4V es una aleación con alto contenido de titanio, aluminio y vanadio. Este material es duradero, resistente a la corrosión y tiene un punto de fusión muy alto. El Titanio 6Al-4V se utiliza en aplicaciones aeroespaciales, automotrices, militares y para la fabricación de piezas complejas, moldes y utillaje. Requiere un conocimiento técnico profundo debido a su alto punto de fusión. La impresión 3D es ventajosa para diseños complejos, reducción de tiempo de ensamblaje, ligereza, tiradas pequeñas, personalización y producción a distancia.

Dado su uso en aplicaciones de alta exigencia como implantes médicos o componentes aeroespaciales, los acabados superficiales son cruciales para el rendimiento final.

- Pulido químico o electropulido: Se emplea para obtener superficies extremadamente lisas y biocompatibles, particularmente útiles en implantes médicos para reducir el riesgo de infecciones o reacciones adversas.

- Mecanizado de precisión: Se utiliza para ajustar tolerancias dimensionales y lograr superficies críticas en piezas como moldes o componentes estructurales.
- Recubrimientos especializados: Como óxidos protectores o películas cerámicas, se pueden aplicar para mejorar la resistencia a la corrosión, desgaste o para cumplir con requisitos específicos en la industria aeroespacial



Figura 25 Material de Impresión 3D, Tita 1

ALUMINIO ALSI10MG

El AlSi10Mg es una aleación ideal para el moldeo de piezas con paredes delgadas y geometrías complejas. Ofrece resistencia, dureza y propiedades dinámicas, siendo adecuado para aplicaciones de alta carga. Estas piezas son ideales cuando se requieren buenas propiedades térmicas y peso ligero.

Además, se pueden someter a procesos como mecanizado, soldadura, micro granallado, pulido y revestimiento según sea necesario. El AlSi10Mg es una excelente opción para piezas ligeras con buenas propiedades térmicas y puede utilizarse como reemplazo de piezas fundidas.

El AlSi10Mg tiene un acabado inicial con rugosidad moderada, típico del proceso de impresión 3D. Sin embargo, su facilidad para el post-procesamiento lo convierte en una opción versátil para múltiples aplicaciones.

- **Micro granallado o arenado fino:** Proporciona una textura uniforme y mejora la estética sin comprometer las propiedades mecánicas.
- **Pulido mecánico o químico:** Mejora las propiedades térmicas al reducir la resistencia al flujo de calor, ideal para componentes sometidos a altas temperaturas.
- **Revestimientos protectores:** Como anodización o pintura electrostática, son útiles para proteger la superficie de la corrosión o aumentar la resistencia al desgaste en aplicaciones automotrices.
- **Mecanizado posterior:** Permite ajustar tolerancias críticas en piezas delgadas o geometrías complejas, especialmente para piezas dinámicas o sujetas a carga.



Figura 26 Material de Impresión 3D, Alum 1

2.3 TECNOLOGÍA SLM EN COMPARACIÓN CON DMLS

La impresión 3D Selective Laser Melting (SLM) y Direct Metal Laser Sintering (DMLS) son dos tecnologías de fabricación aditiva que se utilizan principalmente para imprimir objetos metálicos. Aunque ambas utilizan un láser para fundir polvo metálico capa por capa, existen algunas diferencias importantes entre ellas:

- **Proceso de Fabricación:**

SLM: En SLM, se funde completamente el polvo metálico en cada capa para formar el objeto deseado. El proceso de fusión total garantiza una mayor densidad y resistencia en las piezas finales.

DMLS: En DMLS, el láser solo calienta el polvo metálico por debajo del punto de fusión, lo que permite que las partículas se unan, pero sin fundirse por completo. Esto puede resultar en piezas con porosidad variable y menor densidad en comparación con SLM.

- Control de Porosidad:

SLM: Debido a la fusión completa del polvo en SLM, las piezas tienden a tener una menor porosidad y una mayor densidad, lo que puede ser ventajoso para aplicaciones que requieren alta resistencia mecánica.

DMLS: La porosidad en las piezas fabricadas con DMLS puede variar dependiendo de varios factores, como la geometría de la pieza, los parámetros de proceso y el material utilizado.

- Precisión y Calidad Superficial:

SLM: Debido a la fusión completa del polvo y el control preciso de la energía del láser, SLM tiende a ofrecer una mayor precisión dimensional y una mejor calidad superficial en comparación con DMLS.

DMLS: Aunque la calidad superficial puede ser adecuada para muchas aplicaciones, la precisión dimensional puede ser ligeramente inferior a la obtenida con SLM.

- Selección de Materiales:

SLM: Algunos materiales pueden ser más adecuados para SLM debido a la fusión completa del polvo. Sin embargo, la selección de materiales puede ser más limitada en comparación con DMLS.

DMLS: DMLS puede ser más versátil en términos de materiales, ya que el proceso de fusión parcial permite la utilización de una gama más amplia de aleaciones metálicas.

- Aplicaciones y Costos:

SLM: Debido a su capacidad para producir piezas con alta densidad y resistencia, SLM es comúnmente utilizado en aplicaciones que requieren componentes de alta calidad y rendimiento, como en la industria aeroespacial y médica. Sin embargo, los equipos de SLM tienden a ser más costosos en comparación con DMLS.

DMLS: DMLS puede ser más adecuado para aplicaciones donde la porosidad controlada no sea un problema y la versatilidad de los materiales sea prioritaria. Además, los equipos de DMLS pueden ser más accesibles en términos de costos de adquisición.

En resumen, aunque SLM y DMLS comparten similitudes en términos de utilizar un láser para fundir polvo metálico en capas sucesivas, las diferencias en los procesos de fusión, control de porosidad, precisión, selección de materiales y aplicaciones pueden influir en la elección entre estas dos tecnologías de impresión 3D.

Comparando DMLS y SLM, ambos utilizan polvos metálicos y láseres para imprimir piezas, ya que son tecnologías relacionadas que se basan en la fusión selectiva por láser. La principal diferencia entre estos dos procesos radica en la temperatura utilizada para fundir el polvo metálico.

En el SLM, se calienta el polvo de metal hasta que se derrite por completo, convirtiéndolo en un líquido. En cambio, en el DMLS, el polvo metálico no se funde completamente; en su lugar, se calienta lo suficiente como para que las partículas se adhieran entre sí, pero sin llegar a un estado líquido. Esto significa que el DMLS requiere menos energía en comparación con el SLM. Otra diferencia importante es

que el DMLS funciona bien con aleaciones de metales, que son mezclas de diferentes metales, mientras que el SLM se adapta mejor a metales puros, es decir, metales sin mezclar.

A continuación, se enumeran algunas ventajas clave de SLM frente a DMLS:

SLM puede variar el tamaño de su láser para optimizar la resolución o la velocidad de impresión.

SLM utiliza múltiples láseres de alta potencia para mejorar drásticamente la velocidad de impresión. Las máquinas DMLS de primera calidad utilizan solo 4 láseres, mientras que las de SLM emplean hasta 12.

A continuación, se enumeran algunas desventajas clave de SLM frente a DMLS:

Debido a que SLM es un proceso de mayor temperatura, las piezas impresas a menudo presentan tensiones internas.

Las máquinas SLM están diseñadas para un uso industrial de alto volumen, por lo que son extremadamente caras.

2.4 PRECIOS APROXIMADOS DE IMPRESORAS 3D UTILIZADAS PARA MATERIALES METÁLICOS

Una idea general de los rangos de precios aproximados:

Impresoras de nivel de entrada o de escritorio:

Estas son impresoras 3D más pequeñas, generalmente adecuadas para prototipado rápido y aplicaciones de baja producción.

Precio aproximado: Entre \$10,000 y \$50,000 USD.

Impresoras industriales de tamaño medio:

Estas impresoras son más grandes y pueden manejar volúmenes de producción más grandes que las impresoras de nivel de entrada.

Precio aproximado: Entre \$100,000 y \$500,000 USD.

Impresoras industriales de alta gama:

Estas son impresoras 3D de alta precisión y capacidad de producción, adecuadas para aplicaciones de alta demanda y producción en masa.

Precio aproximado: Pueden superar los \$1 millón de USD, dependiendo de la marca y las características específicas.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de precios:

Tabla 4 Cuadro Comparativo de precios

Impresora 3D de metal	Tecnología	Espacio construcción (mm)	Materia prima	Precio (aprox.)
MPrint+ de One Click Metal	SLM/ DMLS	150 x 150 x 150	polvo metálico	\$ 93,830.00
XM200G Printer de Xact Metal	SLM/ DMLS	150 x 150 x 150	polvo metálico	\$ 95,920.00
EP-M150 de Eplus3D	SLM/ DMLS /EBM	153 x 153 x 120	polvo metálico	\$ 135,520.00
M 290 de EOS	DMLS	250 x 250 x 325	polvo metálico	\$ 407,000.00
SLM 125 de SLM Solutions	SLM	125 x 125 x 125	polvo metálico	\$ 416,900.00
Sapphire de Velo3D	SLM	315 x 315 x 1000	polvo metálico	\$ 521,400.00
3D EBM Spectra H	EBM	250 x 430 x 350	polvo metálico	\$ 521,400.00
DMG Mori Lasertec 12 SLM	SLM	125 x 125 x 200	polvo metálico	\$ 521,400.00

2.5. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA 3D PARA IMPRESIÓN EN METALES.

La tecnología SLM (Selective Laser Melting) se perfila como una elección superior para el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador (UES) por las siguientes razones:

1. Calidad y precisión excepcionales:

- **Piezas de alta calidad:** La tecnología SLM produce piezas de metal con una densidad, resistencia y ductilidad excepcionales, lo que las hace ideales para aplicaciones exigentes en ingeniería mecánica.
- **Alta precisión dimensional:** La SLM ofrece una resolución de capa de hasta 20 micrones, permitiendo la creación de piezas con detalles intrincados y geometrías complejas.
- **Acabado superficial liso:** Las piezas SLM presentan un acabado superficial liso que requiere un mínimo de post-procesamiento, reduciendo el tiempo y el costo involucrados.

2. Potencial educativo inigualable:

- **Aprendizaje práctico:** La tecnología SLM permite a los estudiantes diseñar, fabricar y probar sus propios prototipos de metal, fomentando el aprendizaje experiencial y la comprensión profunda de conceptos teóricos.
- **Preparación para la industria:** La SLM es una tecnología ampliamente utilizada en la industria manufacturera, lo que significa que los estudiantes graduados estarán familiarizados con una herramienta valiosa para el mercado laboral.
- **Investigación y desarrollo:** La SLM abre nuevas posibilidades para la investigación y el desarrollo en ingeniería mecánica, permitiendo a los estudiantes y docentes explorar aplicaciones innovadoras.

3. Implementación estratégica:

- **Adquisición de una impresora SLM de gama media:** Se recomienda invertir en una impresora SLM de gama media que ofrezca un equilibrio entre costo, rendimiento y facilidad de uso.
- **Obtención de materiales metálicos de alta calidad:** Es fundamental contar con una variedad de materiales metálicos de alta calidad, como acero inoxidable 316L, Inconel 625 y titanio Ti6Al4V, para permitir a los estudiantes experimentar con diversas propiedades y aplicaciones.
- **Diseño de planes de estudio y laboratorios prácticos:** Se deben desarrollar planes de estudio y laboratorios prácticos que integren la tecnología SLM de manera efectiva, cubriendo los fundamentos de la impresión 3D en metales y aplicaciones específicas para la ingeniería mecánica.
- **Capacitación docente especializada:** Es crucial que el personal docente reciba capacitación especializada en la operación, aplicaciones y mantenimiento de la tecnología SLM, garantizando una guía adecuada para los estudiantes.

4. Recomendaciones para asegurar un retorno de inversión:

Dada la gran inversión inicial en tecnología SLM, es esencial contar con un plan para asegurar un retorno de inversión a corto y mediano plazo. A continuación, se presentan algunas estrategias clave para lograrlo:

- **Fabricación de piezas para otras facultades de la universidad:** Una forma de generar ingresos es ofreciendo servicios de fabricación de piezas específicas para otras facultades, como bisturís para la Facultad de Medicina, que pueden ser utilizados en prácticas quirúrgicas. Además, se podría fabricar implantes personalizados para la Facultad de Medicina, como prótesis o dispositivos médicos, que pueden ser utilizados en estudios o investigaciones.
- **Prototipos y piezas para empresas locales:** La universidad puede establecer alianzas con empresas locales para producir prototipos o piezas funcionales. Por ejemplo, se podrían fabricar piezas de repuesto para maquinaria o componentes personalizados para pequeñas empresas en sectores como la automotriz o la manufactura.
- **Investigación y desarrollo de nuevos productos:** La fabricación de piezas innovadoras para nuevos productos en áreas como la fabricación de

dispositivos médicos personalizados o herramientas de precisión para la industria también podría ser una fuente constante de ingresos.

- **Cursos y consultorías especializadas:** La universidad podría ofrecer cursos y programas de formación en impresión 3D metálica para profesionales y empresas del sector industrial. Esto no solo generaría ingresos adicionales, sino que también posicionaría a la universidad como un referente en la formación de profesionales altamente capacitados.

Beneficios adicionales de la tecnología SLM:

- **Fomento de la innovación:** La tecnología SLM permite a los estudiantes explorar ideas innovadoras y desarrollar prototipos funcionales de piezas complejas, impulsando la creatividad y el pensamiento crítico.
- **Competitividad global:** Al familiarizarse con la tecnología SLM, los estudiantes de la UES estarán mejor preparados para competir en un mercado global cada vez más exigente.
- **Prestigio institucional:** La implementación de la tecnología SLM posicionará a la Facultad de Ingeniería Mecánica como líder en innovación y educación de alta calidad, atrayendo a estudiantes talentosos y fortaleciendo su reputación

Ventajas de la Impresión 3D en Metales, comparada con procesos convencionales.

Reducción de Desperdicios de Material (vs. Mecanizado Convencional)

La fabricación aditiva usa únicamente el material necesario para la pieza, y el polvo metálico no utilizado puede ser reciclado, a diferencia del mecanizado, que elimina material en forma de virutas.

Personalización Rentable (vs. Moldeo por Inyección o Troquelado)

La impresión 3D mantiene costos constantes independientemente de la complejidad del diseño, ideal para prototipos únicos y piezas personalizadas, mientras que los métodos tradicionales requieren moldes o troqueles específicos, lo que incrementa el costo para diseños únicos.

Reducción de Tiempos de Desarrollo (vs. Fundición y Fresado CNC)

Ideal para prototipado rápido, ya que elimina la necesidad de desarrollar moldes o programar máquinas CNC, acortando los ciclos de desarrollo y prueba.

Sostenibilidad y Eficiencia Energética (vs. Mecanizado Convencional y Fundición)

Reduce el impacto ambiental al minimizar el desperdicio de material y requerir menor energía que procesos como el mecanizado o la fundición, que implican grandes volúmenes de material y altos consumos energéticos.

Producción en Sitio (vs. Importación de Componentes Mecanizados)

La impresión 3D permite fabricar piezas directamente en las instalaciones, evitando costos de transporte, aranceles y tiempos asociados a la importación de componentes mecanizados.

Compatibilidad con Materiales Avanzados (vs. Mecanizado y Fundición)

Trabaja eficientemente con materiales difíciles de mecanizar como aleaciones de titanio, aluminio y aceros inoxidables avanzados, ofreciendo propiedades superiores para aplicaciones exigentes.

Acceso a Innovaciones Tecnológicas (vs. Procesos Convencionales Genéricos)

Incorpora directamente avances en software CAD/CAM, simulación y optimización topológica, brindando una ventaja competitiva en innovación de producto.

Escalabilidad en Producción Limitada (vs. Producción en Serie por Moldeo o Troquelado)

Más rentable para producciones limitadas, como series pequeñas de piezas especializadas, donde métodos como el moldeo por inyección no son económicamente viables.

El flujograma presentado a continuación detalla las etapas que conformaron el desarrollo de esta investigación. Desde la identificación de la problemática hasta la propuesta final del diseño del laboratorio de impresión 3D en metales, el diagrama sintetiza los procesos metodológicos, las actividades clave y los resultados obtenidos en cada fase.

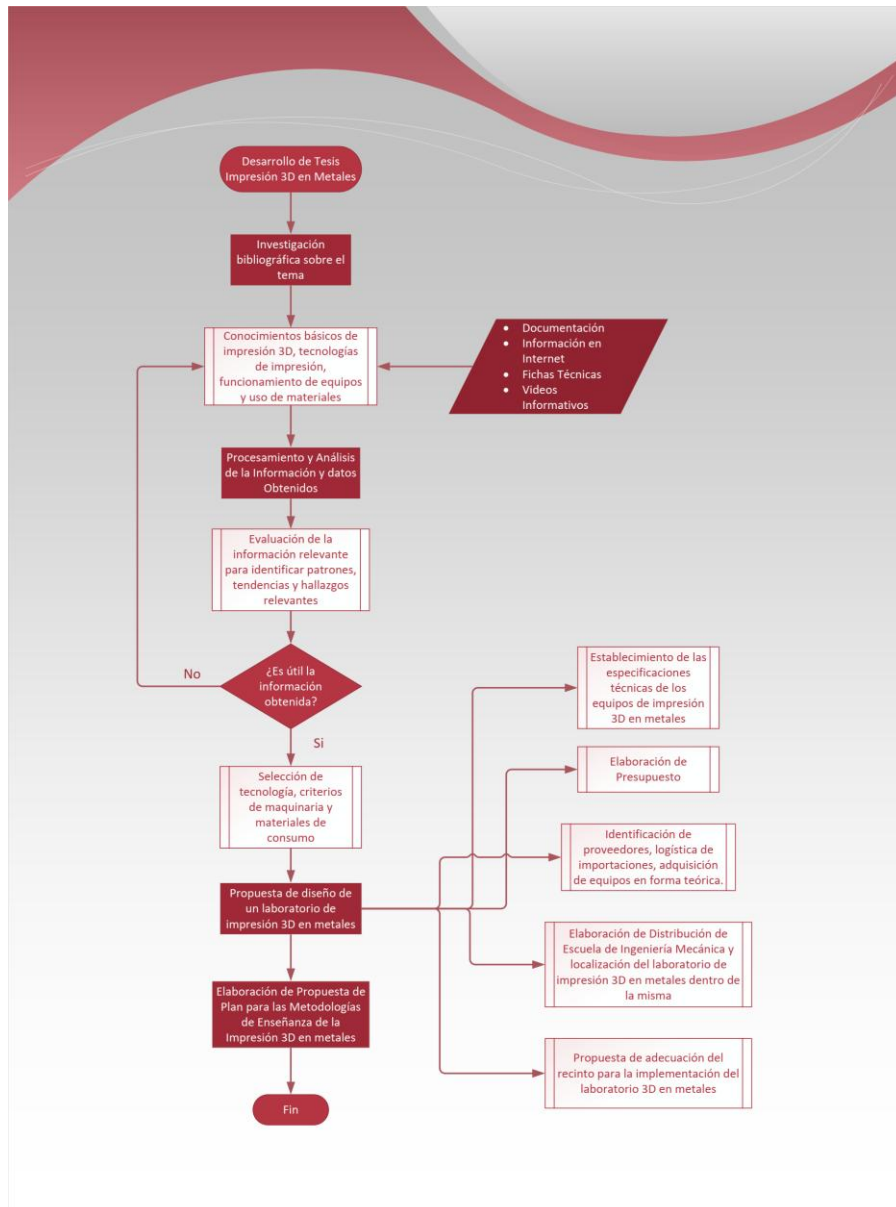


Figura 27 Flujograma de desarrollo de Tesis

El flujograma presentado no solo sintetiza de manera visual las fases de desarrollo de esta investigación, sino que también refleja la metodología y planificación que respaldaron la propuesta. Cada etapa, desde la identificación de la necesidad hasta la formulación del diseño del laboratorio, fue diseñada con un enfoque que permitió abordar las metas establecidas de manera eficiente y coherente.

Al mismo tiempo, esta representación visual ayuda a evidenciar que el proceso investigativo fue producto de una ejecución ordenada y fundamentada, sentando un precedente para futuras iniciativas de innovación educativa en la Universidad de El Salvador.

CAPÍTULO 3: SELECCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL ESPACIO PARA EL LABORATORIO

3.1 IDENTIFICACIÓN DE ESPACIOS ADECUADOS

La selección del espacio adecuado es fundamental para el éxito de un laboratorio de impresión 3D en metales. Este apartado examina los criterios y pasos necesarios para identificar y acondicionar un espacio óptimo dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica, considerando tanto las necesidades técnicas como las pedagógicas.

En la implementación de un programa de formación y capacitación en impresión 3D en metales en la Escuela de Ingeniería Mecánica es necesario identificar y acondicionar un espacio adecuado para el laboratorio didáctico. Se detallarán los criterios y pasos a seguir para la selección.

3.1.1. EVALUACIÓN DEL ESPACIO DISPONIBLE

Una evaluación del espacio disponible es el primer paso crucial en el establecimiento del laboratorio. Esta sección detalla el proceso de análisis de las instalaciones existentes, incluyendo dimensiones, estructura y condiciones actuales, para determinar su idoneidad y potencial de adaptación.

Revisión del Espacio Existente: Realizar un análisis del laboratorio actual en el edificio de ingeniería mecánica, identificando áreas potenciales que puedan ser adaptadas o utilizadas para la nueva función del laboratorio didáctico.

Dimensiones del Espacio: Medir las dimensiones actuales del laboratorio y verificar que sean suficientes para albergar el equipo de impresión 3D en metales, áreas de trabajo, y almacenamiento de materiales y herramientas.

Estructura y Diseño: Evaluar la estructura y diseño del espacio, considerando la disposición de puertas, ventanas, sistemas de ventilación.

Condiciones Actuales del Laboratorio:

Estado del Piso y Paredes: Verificar que el piso sea adecuado para soportar el peso de las impresoras 3D en metales y que las paredes sean resistentes y estén en buen estado para cualquier adaptación necesaria.

Instalaciones Eléctricas: Evaluar las instalaciones eléctricas existentes, asegurando que haya suficiente capacidad y distribución para el equipo de impresión 3D, con especial atención a las necesidades de voltaje y seguridad.

3.1.2. REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL LABORATORIO

El establecimiento de un laboratorio de impresión 3D en metales requiere atender una serie de requisitos específicos para asegurar su funcionalidad y seguridad. Esta sección aborda las necesidades particulares en términos de espacio para equipos, medidas de seguridad y accesibilidad, garantizando un entorno eficiente y seguro para todos los usuarios.

Espacio para Equipos:

El laboratorio de impresión 3D en metales tiene requerimientos únicos que deben ser atendidos para garantizar su funcionalidad y seguridad. Este apartado

explora las necesidades específicas en términos de espacio para equipos, medidas de seguridad y accesibilidad

Impresoras 3D en Metales: Proporcionar suficiente espacio para la instalación segura de las impresoras 3D en metales, incluyendo espacio para el movimiento y mantenimiento del equipo.

Áreas de Trabajo: Delimitar áreas de trabajo adecuadas para la manipulación de materiales, ensamblaje de piezas impresas, y otros procesos necesarios.

Seguridad y Salud Ocupacional:

Medidas de Seguridad: Implementar medidas de seguridad, como señalización adecuada, equipos de protección personal (EPP).

Accesibilidad:

Diseño Accesible: Asegurar que el diseño del laboratorio sea accesible para todos los usuarios, incluyendo personas con discapacidades.

3.1.3. PLAN DE ADECUACIÓN Y MEJORAS

Transformar el espacio seleccionado en un laboratorio funcional requiere un plan detallado y minucioso de adecuación. En esta sección se examinan las adaptaciones físicas necesarias, desde la renovación de infraestructuras hasta la instalación de equipos y la implementación de medidas de seguridad, para crear un entorno de aprendizaje óptimo y seguro.

Adaptaciones Físicas: La transformación del espacio seleccionado en un laboratorio funcional requiere un plan detallado de adecuación. Esta sección aborda las adaptaciones físicas necesarias, la instalación de equipos y la implementación de medidas de seguridad para crear un entorno de aprendizaje óptimo.

Renovación del Espacio: Realizar las renovaciones necesarias en el piso, paredes, y techos para preparar el laboratorio para su nueva función.

Instalación de Equipos: Planificar la instalación de equipos eléctricos y sistemas de ventilación adicionales, asegurando la integración con la infraestructura existente.

Implementación de Seguridad:

Equipamiento de Seguridad: Instalar equipos de seguridad, tales como sistemas de alarma, extintores de incendios, y kits de primeros auxilios.

Capacitación: Proporcionar capacitación en seguridad a los usuarios del laboratorio, enfocándose en la operación segura de las impresoras 3D y el manejo de materiales.

3.2 SELECCIÓN DE ESPACIOS ADECUADOS: EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA Y REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN

La selección final del espacio para el laboratorio debe considerar múltiples factores técnicos y logísticos. Este apartado se centra en las especificaciones concretas requeridas para la instalación de una impresora 3D de metal, con énfasis en la tecnología SLM.

Las especificaciones para un espacio adecuado para instalar una impresora 3D de metal en el edificio de Ingeniería Mecánica, tomando en cuenta la información del documento y enfocándonos en la tecnología SLM, serían:

3.2.1 EVALUACIÓN DE INFRAESTRUCTURA

- **Tamaño:** Las dimensiones de nuestra impresora modelo son de 1.1 m de largo por 1.9 m de ancho, siendo así el espacio necesario de 2.1 metros cuadrados.
- **Distribución:** Dentro del diseño de laboratorio se contempla un área de preparación de materiales, impresión, post-procesado y almacenamiento de las piezas fabricadas.
- **Capacidad:** La alimentación eléctrica del laboratorio debe contar con un suministro de 220 V, 60 Hz, con capacidad para proveer al menos 20 A de consumo, según las especificaciones del fabricante. Para garantizar la seguridad y operatividad del equipo, es indispensable incluir protección de impulsos, como supresores de picos y reguladores, junto con sistemas contra sobretensiones y cortocircuitos. Además, se deben instalar generadores de respaldo para asegurar continuidad en caso de cortes de energía y sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply) que eviten apagones súbitos que puedan dañar el equipo de impresión 3D.
- **Sistema de Ventilación y Extracción:** Es necesario contar con un sistema de dispersión de partículas y vapores potencialmente peligrosos que puedan resultar del proceso de impresión o de post procesado de las piezas fabricadas. El uso de filtros HEPA debe ser imprescindible para capturar partículas metálicas finas y otros contaminantes.
- **Equipos de Protección Personal:** Obligatorio para los operarios, incluyendo guantes, gafas, y mascarillas.

- **Extintores y Sistemas de Emergencia:** Se debe contar con extintores de emergencia, duchas de seguridad y estaciones de lavado de ojos.

3.2.2 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN

- **Equipamiento principal:** Se debe contar con el equipo de impresión 3D definido por el análisis de costos que se desarrollará más adelante. A su vez es necesario contar con computadoras que puedan ejecutar programas de diseño CAD sin problema alguno, entre ellos Autodesk Inventor o Fusion360.

Dentro de las especificaciones mínimas que debe poseer una computadora que ejecute con normalidad estos softwares de modelado 3D tenemos:

Tabla 5 Especificaciones de una computadora

CPU	GPU	RAM	Almacenamiento
2.4 GHz o más. Mínimo 4 núcleos 8 hilos. La CPU se encarga de agilizar los cálculos del modelo 3D.	2 GB o más. La GPU se encargará de procesar las animaciones y calidad del modelado 3D del objeto.	8 GB o más. La memoria RAM limita el número de incidencias (objetos) de un ensamblaje en el programa.	Disco de estado sólido. Esto agilizará los tiempos de carga del programa y mejorará el desempeño del mismo a la hora del diseño.

Cabe destacar que dichas computadoras deben poseer la misma versión del programa de Autodesk a utilizar, esto con la finalidad de preservar una colaboración

activa en la etapa del diseño sin presentar retrasos por incompatibilidades de versiones de archivo.

También se debe contar con hornos de tratamientos térmicos y equipos de pulido para dar un acabado superficial aceptable a los requerimientos de diseño de la pieza.

Dentro de este apartado recomendamos utilizar los hornos de tratamiento térmico que se encuentran ya disponibles en el área de Tratamientos Térmicos de la Escuela de Mecánica, así como le herramiental necesario para las labores de acabado superficial de las piezas impresas, ya sea lija, limas, esmeriladoras, entre otros.

- **Instrumentos de medición y metrología:** Se necesitarán instrumentos de medición y control de calidad como calibradores Vernier, micrómetros y comparadores de reloj para acompañar el proceso de diseño y fabricación.
- **Formación del personal y Manuales de Operación:** Uno de los objetivos de este proyecto es plasmar la documentación necesaria para la correcta ejecución del proceso de impresión 3D en metales, así como su mantenimiento y conocimientos básicos requeridos para la utilización responsable del equipo.
- **Componentes eléctricos:** El siguiente cuadro detalla los componentes eléctricos esenciales para el laboratorio de impresión 3D en metales, indicando la cantidad necesaria y las especificaciones técnicas clave. Estos elementos aseguran un funcionamiento seguro y eficiente de los equipos, optimizando la protección eléctrica del laboratorio.

Tabla 6 Sistema electrico.

Sistema Eléctrico	Equipo	Cantidad	Corriente (A)	Voltaje (V)	Descripción
Protección Eléctrica	Supresor de Sobretensión	4	10-20	120/240	Protección contra picos de voltaje.
	UPS	2	10-30	120/240	Suministro de energía de respaldo para impresoras 3D y PC's.
	Fusibles/Interruptores	6	10-50	120/240	Protección en cada circuito del laboratorio.
	Relés de Sobrecarga	4	5-15	120/240	Protección adicional para equipos de alta carga.

Distribución Eléctrica	Tablero Eléctrico	1	50-100	120/240	Distribución principal de energía del laboratorio.
	Tomas de Corriente	10	10-20	120/240	Provisión de energía para equipos y herramientas en diversas estaciones de trabajo.
	Cables de Alimentación	Variable	Variable	120/240	Cables dimensionados según la carga de cada circuito y equipo.

Sistemas de Conexión y Control	Contactores	3	10-50	120/240	Control de equipos como pulidoras y sistemas auxiliares.
	Power Meters	2	5-15	120/240	Monitoreo del consumo energético de sistemas críticos.
Iluminación de Trabajo	Luminarias LED	8	2-5	120/240	Iluminación eficiente en las áreas de trabajo y operación.

Sistema de Alarma y Detección	Detectores de Falla a Tierra	4	5-10	120/240	Protección para evitar daños a equipos y usuarios por fallas a tierra.
	Alarma de Sobrecarga	2	5-10	120/240	Sistema de alerta para sobrecargas en el laboratorio.

3.2.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES:

Ergonomía: Diseño del espacio de trabajo considerando la ergonomía para los usuarios, con mobiliario adecuado y espacio suficiente para la manipulación de piezas y equipos.

Limpieza: Superficies fáciles de limpiar para la eliminación del polvo metálico y mantener un ambiente de trabajo limpio y seguro. Esto garantizará una buena durabilidad del equipo de impresión 3D y sus agregados.

Recomendación importante: Consultar con el fabricante de la impresora SLM seleccionada para obtener las especificaciones técnicas detalladas del equipo y los requisitos de instalación específicos.

Un espacio bien planificado y equipado es esencial para el funcionamiento seguro y eficiente del laboratorio de impresión 3D en metales, permitiendo a los estudiantes aprovechar al máximo esta tecnología y desarrollar su potencial en la ingeniería mecánica.

3.3 DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO Y UBICACIÓN DE EQUIPOS

Dentro de la distribución de equipos y su respectiva ubicación se optó por utilizar la Escuela de Ingeniería Mecánica para albergar nuestro Laboratorio de Impresión 3D en Metales.

Como propuesta de instalación optamos por seleccionar el área de CNC ya que se adecúa a la temática de maquinado del laboratorio de impresión 3D en metales y a su vez puede optar por los requisitos mínimos previamente detallados en el apartado 3.2. A su vez, se recomienda un plan de acción para remodelar el recinto y expandir el largo del área en 3.5 metros hacia la derecha, en el cual se albergará la impresora 3D, 1 estante para las piezas fabricadas, 1 horno de tratamiento térmico y un escritorio con capacidad para 3 computadoras personales.

Mantenimiento Regular: Realizar mantenimiento regular y reemplazo de partes críticas según las recomendaciones del fabricante.

El siguiente plano se muestra una distribución aproximada de los salones de la Escuela y los respectivos equipos que ella posee:

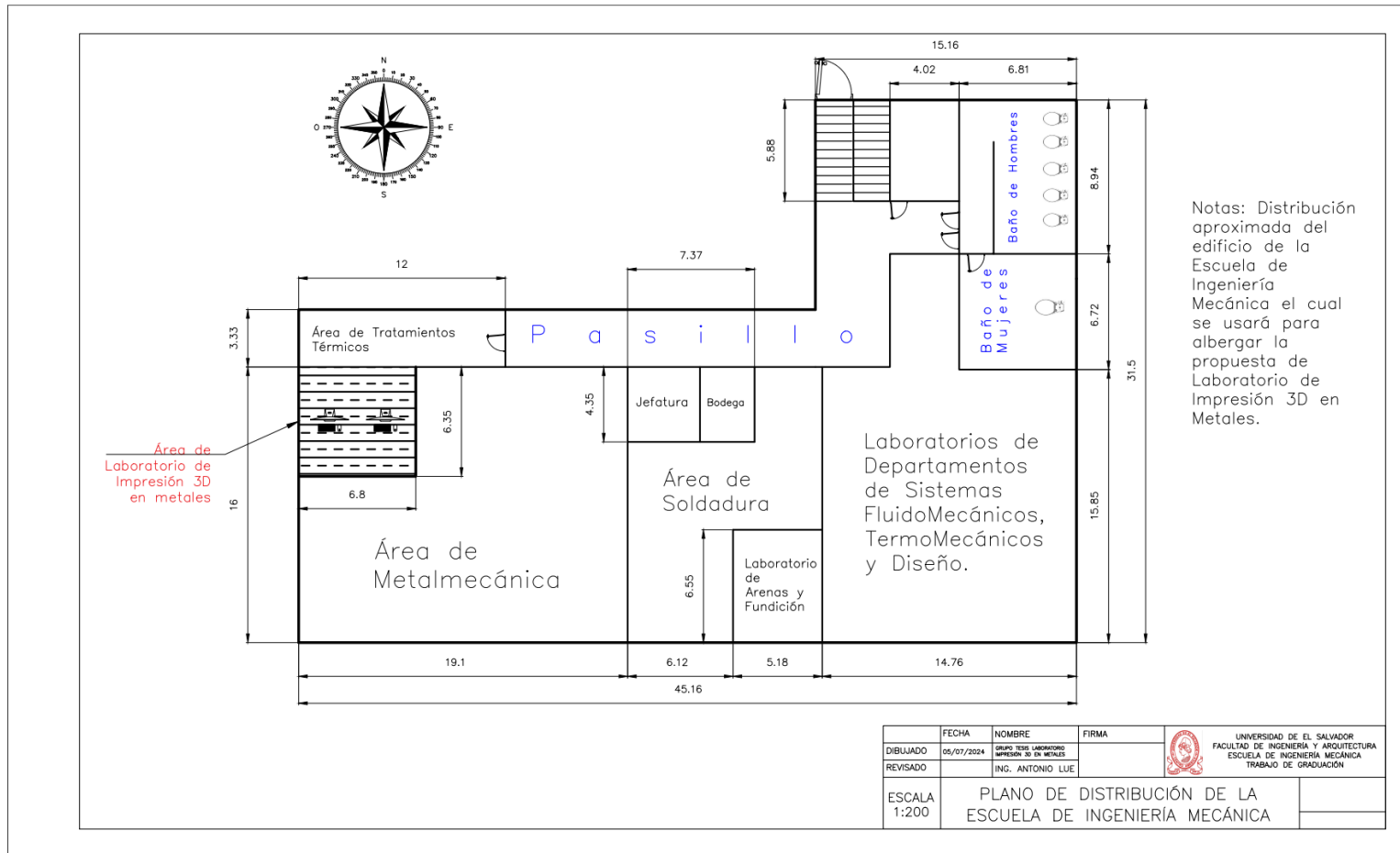


Figura 28. Plano de Distribución de la E 1

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS GENERALES

4.1 COTIZACIONES DE UNA IMPRESORA 3D

4.1.1 COSTO DE IMPRESORA A SELECCIONAR.

Para determinar el costo total de la impresora, es necesario considerar varios factores clave, comenzando con el precio base de la impresora y agregando los impuestos que se aplican al momento de ingresar la maquinaria al país. Entre los impuestos principales se encuentran:

Derechos Arancelarios a la Importación (DAI): Un impuesto que se aplica al valor de la impresora según las tarifas establecidas por el gobierno.

Impuesto al Valor Agregado (IVA): Un impuesto adicional que se calcula sobre el valor total de la impresora más los derechos arancelarios.

Cargos por Uso de Bodegas en Aduanas: Estos cargos se aplican al almacenamiento de la mercancía en las aduanas. En este caso, el costo es de \$0.50 por cada 100 kilogramos de peso.

A estos costos se suma el costo del flete de importación, que varía dependiendo de las dimensiones y el peso de la maquinaria, así como de las condiciones del mercado de transporte en el momento del envío. Considerando que el envío se realiza desde Alemania, y utilizando las tarifas actuales:

Flete Marítimo: Para un contenedor de 20 pies, el costo del flete desde Alemania a El Salvador puede oscilar entre \$4,000 y \$8,000 USD, dependiendo de la temporada y las tarifas de la naviera.

Flete Marítimo en Contenedor de 40 pies: Si se utiliza un contenedor de 40 pies, los costos pueden variar entre \$6,000 y \$10,000 USD.

Para este cálculo, se utilizarán los valores promedio de estas estimaciones, lo que permitirá obtener una cifra más cercana al costo real. Estos valores son fundamentales para proporcionar una estimación precisa del costo total de importación de la impresora.

Tomando estos datos aproximados, se realizara el cálculo final del costo de la maquinaria ya en El Salvador.

Tabla 7 Calculo Final de Costo de Maquinaria

Concepto	Monto (USD)
Costo Base de la Maquinaria	\$ 93300
Costo del Flete	\$ 6000
Subtotal (Maquinaria + Flete)	\$ 99300
DAI (5%)	\$ 4965
Subtotal + DAI	\$ 104265
IVA (13%)	\$ 13554.45
Total	\$ 117819.45

Se tendrá que el valor final de la maquinaria es por 117,819.45 USD.

4.1.2 COSTO DE MATERIALES CONSUMIBLES.

El polvo de aleación 316L es una superaleación de acero inoxidable utilizada en la impresión 3D, especialmente en aplicaciones que requieren alta resistencia a temperaturas extremas y a la corrosión. Este material es clave en industrias como la aeroespacial, energética, y automotriz debido a su capacidad para soportar condiciones severas y producir geometrías complejas.

La fabricación aditiva con 316L permite aprovechar beneficios como la flexibilidad de diseño, reducción de peso, creación rápida de prototipos, y eficiencia en el uso de materiales. Sin embargo, presenta desafíos como su mayor costo, necesidad de control estricto del proceso, y posibles problemas de agrietamiento y distorsión durante la impresión.

Los métodos de impresión 3D compatibles con 316L incluyen la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones (EBM). Ambos métodos requieren control preciso de los parámetros de proceso para garantizar las propiedades deseadas en las piezas impresas.

Razón para Incluir dos Tipos de Polvo

Se incluyeron dos tamaños de polvo para la impresión 3D (15-45 μ m y 20-60 μ m) porque son las opciones disponibles en el mercado y se usan en diferentes procesos de fabricación aditiva. La elección del tamaño de las partículas puede influir en la calidad final de la pieza impresa, ya que cada tamaño tiene propiedades específicas que pueden afectar el acabado superficial, la densidad de la pieza, y la precisión de las geometrías complejas.

Además, los precios para estos dos tamaños de polvo varían, lo que proporciona diferentes opciones de costo según las necesidades del proyecto. Por tanto, al calcular el costo del polvo para impresión 3D, se presentaron ambos tamaños para que se puedan evaluar las distintas opciones disponibles según el presupuesto y los requisitos técnicos del proyecto. Con un total de 80 Kilogramos de material consumible, teniendo en cuenta un uso del laboratorio de 40 Sesiones por año y un consumo por laboratorio de 2 kilogramos, se calcula que los se tienen reservas para un año. Estos materiales de consumo se producen en la Ciudad de Qingdao, Shandong, China y su importación puede realizarse a través de la plataforma de Alibaba. Como suele ser común, las empresas chinas calculan esos valores en el precio total de los productos.

Tabla 8 Costos de Tamaño de partícula

Tamaño de Partícula	Precio por KG (USD)	Cantidad (KG)	Precio Total (USD)
15-45µm	99.7	40	3988
20-60µm	98	40	3920
Total	197.7	80	7908

Haciendo una suma de todos los costos antes desarrollados más los costos de insumos no relacionados a la producción de piezas, se tiene la siguiente tabla.

En los procesos de impresión 3D de metales, especialmente con aleaciones como el acero inoxidable 316L, el uso de una atmósfera protectora de gas es esencial para evitar la oxidación y otras reacciones indeseadas durante la sinterización o fusión del material. El gas argón es comúnmente utilizado debido a su naturaleza inerte, lo que lo convierte en una elección ideal para proteger el entorno de impresión de la interacción con el oxígeno y otros gases reactivos presentes en el aire.

Atmosfera de protección: Este apartado detalla el consumo estimado de gas argón necesario para la impresión de 160 libras de material 316L a lo largo de un año. Se ha considerado el uso promedio de argón por libra de material y el precio estimado por litro del gas para calcular el costo total anual asociado al uso de esta atmósfera protectora. Estos datos son importantes para evaluar la viabilidad económica y los costos operativos en proyectos de impresión 3D a gran escala. Nota: Este consumo puede variar significativamente depender de los parámetros del proceso.

Concepto	Valor
Precio por litro de argón	\$1.00
Consumo de argón por libra	40 litros
Total, material (libras/año)	160 libras
Total, argón consumido (litros)	6,400 litros
Costo total de argón (anual)	\$6,400.00

Tabla 9 Costo de insumos no relacionados a la producción de piezas

Categoría	Elemento	Precio (USD)
Equipo Esencial	Impresora 3D SLM	117819.45
EPP	Guantes resistentes al calor	8.2
EPP	Gabacha	11.25
EPP	Gafas de seguridad	6.4
EPP	Máscara respiratoria	0.25
EPP	Protector auditivo	0.35
Informática	Computadora de alto rendimiento	1260
Software	Licencia de software CAD	1000
Materiales	Polvo metálico (80 KG)	7908
Herramientas	Calibrador/ Pie de rey	24.95
Limpieza	Limpiador	6.5
Limpieza	Escoba	2.25
	Total	128047.6

4.2 COSTO DE LA CONSTRUCCION O ADECUACION DE UN SALON PARA EL LABORATORIO DE IMPRESIÓN 3D.

La construcción o adecuación de un salón para un laboratorio es un proceso que involucra una planificación detallada y una inversión significativa. El costo de este proyecto puede variar considerablemente según diversos factores, como la ubicación, los materiales de construcción, la mano de obra, el equipamiento necesario.

En términos generales, el costo se puede desglosar en varias categorías principales:

- **Construcción o Adecuación del Espacio:** Aquí se consideran los costos de la construcción del salón desde cero o la adecuación de un espacio existente. Esto incluye trabajos de albañilería, instalación de sistemas eléctricos y de plomería, control de temperatura, ventilación, y sistemas de iluminación adecuados para un entorno de laboratorio.
- **Equipamiento y Mobiliario:** Un laboratorio requiere de equipo como mesas de trabajo, pupitres y estantes para colocar los materiales elaborados.

SUGERENCIAS

- Los laboratorios deben cumplir con estrictas normativas de seguridad, lo que implica la instalación de sistemas contra incendios, salidas de emergencia y otros equipos de seguridad. Además, es obligatorio el uso de lentes y visores certificados bajo la norma ANSI Z87.1 para protección ocular, así como guantes que cumplan con la Norma EN 388 para protección contra cortes y la Norma EN 407 para protección contra riesgos térmicos.

Planificar adecuadamente y considerar estos factores es crucial para asegurar que el proyecto se mantenga dentro del presupuesto y se complete según los requisitos necesarios para un funcionamiento seguro y eficiente.

ADECUACION

Tomando en cuenta los siguientes puntos hemos decidido adecuar el laboratorio en la Escuela de Ingeniería Mecánica para el laboratorio de impresiones 3D en metales.

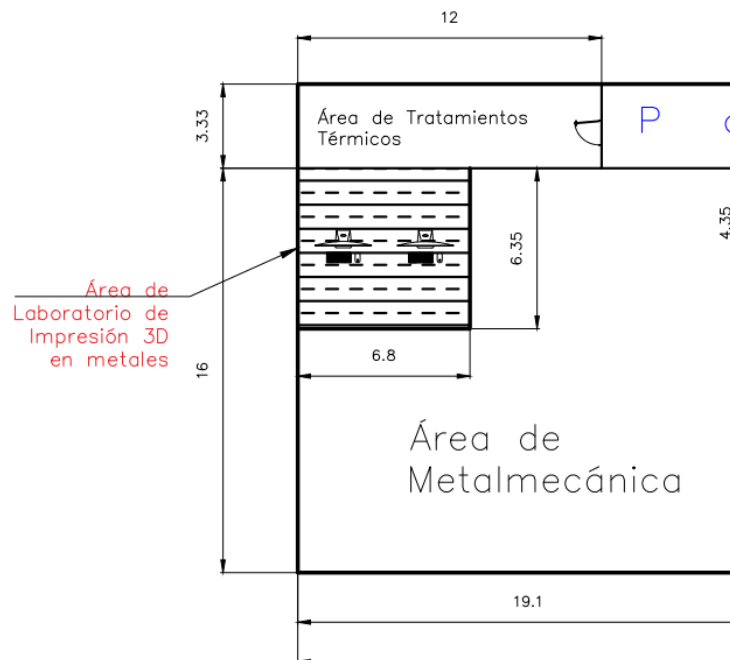
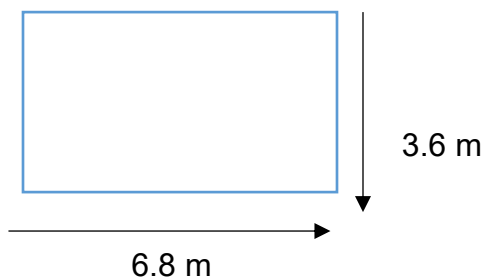


Figura 29 Selección de Área de Laboratorio 1

Como se observa en la imagen anterior tenemos un espacio que es el área de CNC que ya está diseñado con un área de 6 m x 7.13 m x 3 m. Pero debido a la estructura sería necesario colocar dos paredes nuevas a modo de acoplar la impresora y los estantes adecuadamente debido a eso hemos hecho los siguientes cálculos:

Tenemos las siguientes dimensiones para la pared de 7.13 m



$$\text{Área: } (6.8 \text{ m} * 3.6\text{m}) = 24.48 \text{ m}^2$$

$$\text{Tabla roca: } (1.22 \text{ m} * 2.44 \text{ m}) = 2.97 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Dividiendo tenemos para saber la cantidad de tablas roca tenemos:

$$\frac{\text{Area}}{\text{Tabla roca}} = \text{Cant de tablas rocas por Pared.}$$

$$\frac{24.48}{3} = 8.16 \approx 8.0 \text{ m}$$

La cantidad de postes para tabla roca se obtiene de la siguiente manera.

$8 \text{ tablas rocas} * 2 \text{ postes} = 16 \text{ Postes de lado Horizontal}$

Entonces tenemos:

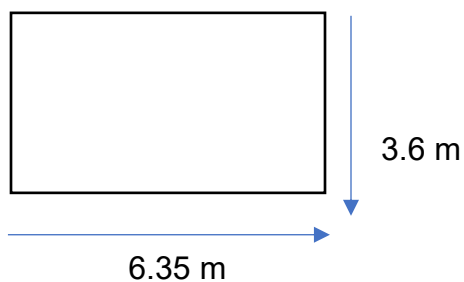
$16 \text{ horizontales} + 8 \text{ postes verticales} = 24 \text{ postes}$

Con estos datos obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 100 Tabla de Materiales calculados

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Tabla roca	9	\$ 10.75	\$ 96.75
Tornillos	100	\$ 0.02	\$ 2.00
Pasta para tabla Roca	1	\$ 10.25	\$ 10.25
Poste para tabla roca	24	\$ 2.20	\$ 52.80
Lijas	3	\$ 1.00	\$ 3.00
Espátula flexible	1	\$ 3.75	\$ 3.75
Pintura	2	\$ 29.90	\$ 59.80
		Sub Total	\$ 175.55

Tenemos las siguientes dimensiones para la pared de 6.35 m



Área: $(6.0 \text{ m} * 3.6\text{m}) = 22.86 \text{ m}^2$

Tabla roca: $(1.22 \text{ m} * 2.44 \text{ m}) = 2.97 \text{ m} \approx 3$

Dividiendo tenemos para saber la cantidad de tablas roca tenemos:

$$\frac{\text{Area}}{\text{Tabla roca}} = \text{Cant de tablas rocas por Pared.}$$

$$\frac{22.86}{3} = 7.62 \text{ m}$$

La cantidad de postes para tabla roca se obtiene de la siguiente manera.

$$8 \text{ tablas rocas} * 2 \text{ postes} = 65 \text{ Postes de lado Horizontal}$$

Entonces tenemos:

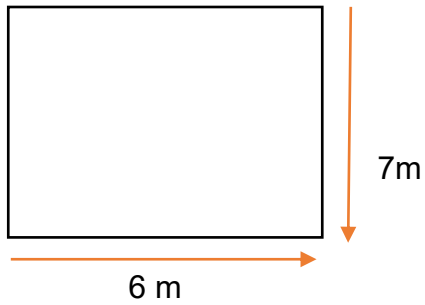
$$16 \text{ horizontales} + 8 \text{ postes verticales} = 24 \text{ postes}$$

Con estos datos obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 11 Tabla de materiales calculados

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Tabla roca	8	\$ 10.75	\$ 86.00
Tornillos	100	\$ 0.02	\$ 2.00
Pasta para tabla Roca	1	\$ 10.25	\$ 10.25
Poste para tabla roca	24	\$ 2.20	\$ 52.80
Lijas	3	\$ 1.00	\$ 3.00
Pintura	2	\$ 29.90	\$ 59.80
		Sub Total	\$ 213.85

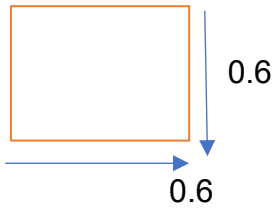
Cálculos para el Techo:



$$Area = (6m \times 7m)$$

$$Area = 42 m^2$$

Losetas



Cada loseta mide 60cm x 60 cm entonces:

$$Area = (0.6 \times 0.6) = 0.36 m^2$$

Cantidad de Losetas a utilizar:

$$Cant.L = \frac{42 m^2}{0.36 m^2}$$

$$\text{Cant de L} = 116.67 \text{ Loetas} \approx 120$$

Con estos datos obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 11 Tabla de materiales calculados

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Loseta para cielo falso	120	\$4.10	\$492.00
Crucero de cielo falso Blanco 2	70	\$0.38	\$26.60
Crucero de cielo falso Blanco 4	35	\$0.60	\$21.00
Tensor Galvanizado	30	\$2.20	\$66.00
Alambre Galvanizado	2	\$0.95	\$1.90
		Sub Total	\$607.50

CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO Y MANTENIMIENTO PARA IMPRESORA

5.1 PREREQUISITOS PARA OPTAR POR ESTE PROGRAMA DE FORMACIÓN EN IMPRESIÓN 3D EN METALES

5.1.1 CONOCIMIENTO DE MODELADO CAD

La implementación de un laboratorio de impresión 3D no sólo implica la adquisición del equipo, la adecuación del recinto y la aprobación de las autoridades competentes para llevar a cabo el proyecto, sino que se requiere conocimiento sólido en materia de modelado 3D asistido por computadora para sacar el máximo provecho a los recursos brindados en el laboratorio.

Dentro de estos conocimientos nos es necesario destacar lo siguiente:

- **Conceptos Básicos de Dibujo Técnico:** Dentro de este punto se contempla el conocimiento adquirido, por parte del alumnado de Ingeniería Mecánica, sobre la elaboración de planos de dibujo de elementos de máquina, desde identificar el sistema de vistas de un plano hasta desarrollar dibujos de ensambles mecánicos atendiendo a las respectivas normas de dibujo necesarias para llevarlo a cabo. Este requisito se solventa con el alumnado que ya ha cursado la cátedra de Dibujo Técnico en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

En la Figura 28 se logra apreciar así un fragmento de las normas UNI que establece el plegado normado de las hojas en sus distintos formatos de dibujo técnico desde el A0 hasta el A4, para representar así nuestras piezas y modelos según lo conveniente.

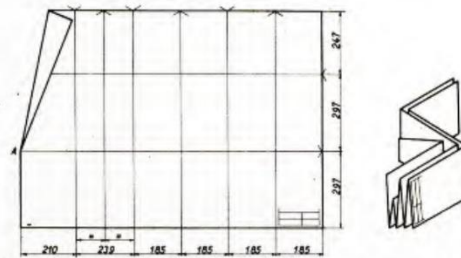


Fig. II, 46. Plegado unificado de un dibujo de formato A0.

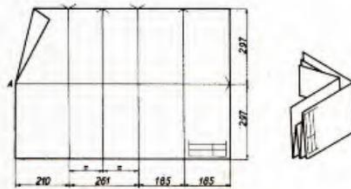


Fig. II, 47. Plegado unificado de un dibujo de formato A1.

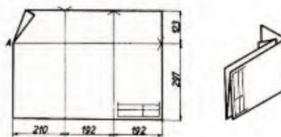


Fig. II, 48. Plegado unificado de un dibujo de formato A2.

adelante una parte triangular del lado izquierdo, como se ve en las figuras, para facilitar la encuadernación en fascículo.

Si no es necesario el margen de encuadernación, se efectúa el plegado a partir del lado derecho y del ángulo inferior, para formar cuadros de 210×297 (fig. II, 49). Se han previsto además el taladrado de

- Uso Básico de las Funciones de Modelado del Programa CAD:**
 Teniendo así los conceptos de dibujo técnico impregnados en los estudiantes, el mentor a cargo del laboratorio debe instruir a los estudiantes en las herramientas y funciones básicas del modelado 3D mecánico. Para caso de estudio se tiene el software de Autodesk

Inventor. En éste entorno se cuentan con las herramientas básicas, e incluso profesionales, que todo diseñador CAD puede necesitar. En la Figura 29 se logran visualizar las herramientas de diseño de bocetos que el programa nos brinda para elaborar los trazos que darán vida a nuestros modelos 3D.

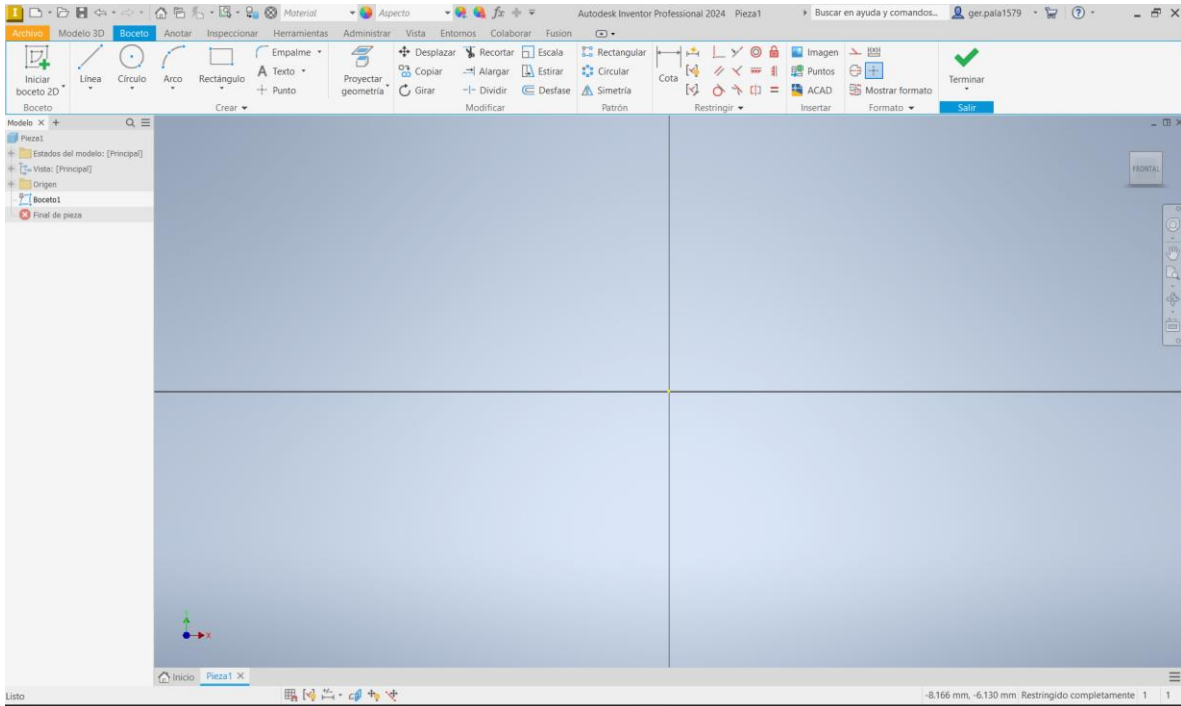


Figura 31 Pestaña de diseño de bocetos 1

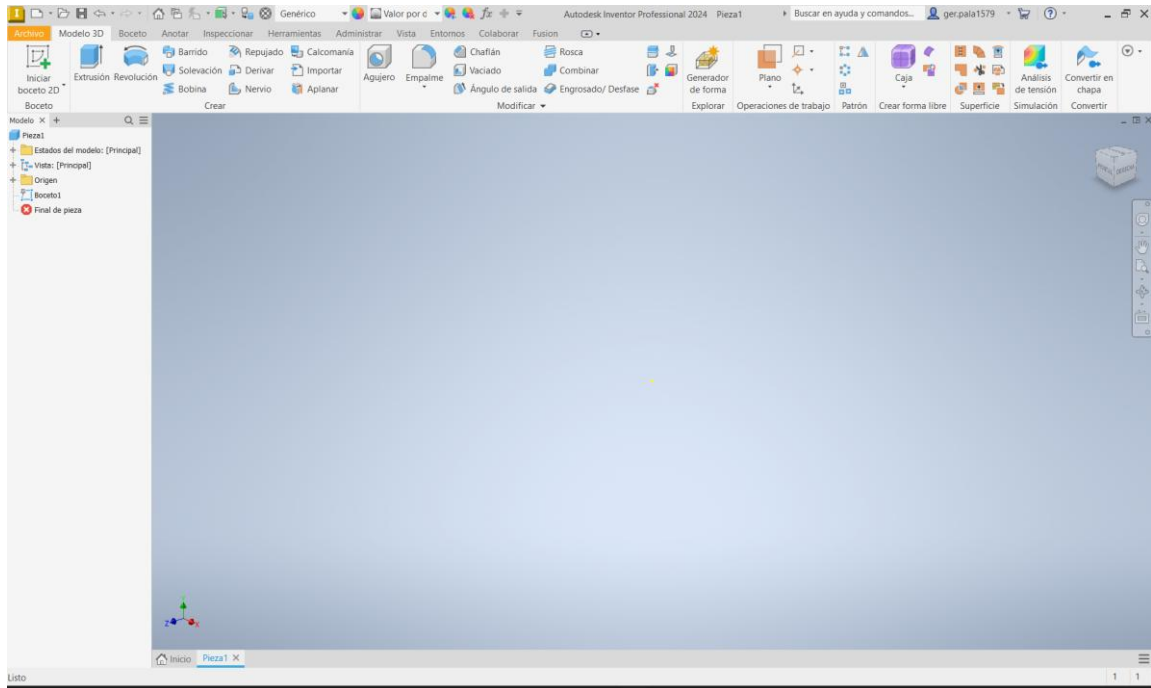


Figura 32 Pestaña de modelado de impresión 1

En la Figura 30 encontramos las distintas funciones de modelado que se basarán en nuestro boceto para crear sólidos, superficies y piezas según lo requerido en la labor de diseño.

Para ambos puntos antes mencionados hemos dispuesto como material didáctico prerequisite el programa de laboratorios de diseño asistido por computadora, el cual se imparte en simultáneo con la cátedra de Diseño de Elementos de Máquinas II. En él se contemplan los aspectos básicos y necesarios para poder elaborar modelos en 3D apoyándonos con el software de Autodesk Inventor. En la Figura 31 se aprecia el contenido que se abarcará en los laboratorios de diseño asistido por computadora donde se cubren todos los aspectos básicos para poder realizar modelos con precisión y éstos a su vez ser la base para el proceso de impresión 3D.



DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA PARA DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS II
Ciclo I – 2023

Software: Autodesk Inventor Professional 2018.

UNIDAD	CONTENIDO	SEMANA DEL CICLO
I. Piezas	1.1. Interfaz del programa 1.2. Intención del dibujo 1.3. Bocetos 1.4. Operaciones básicas: Extrusiones, agujeros, revolución y vaciado.	Piezas. Parte 1: Semana 2 (20 febrero – 24 de febrero) Piezas. Parte 2: Semana 4 (6 marzo – 10 marzo)
II. Ensamblés	2.1. Introducción a los archivos de ensamble 2.2. Relaciones de posición 2.3. Importación de piezas normadas desde centro de contenido	Ensamblés: Semana 6 (20 marzo – 24 marzo)
III. Dibujo	3.1. Repaso de dibujo técnico 3.2. Introducción a los archivos de dibujo 3.3. Edición de márgenes y cajetín 3.4. Inserción de vista frontal, cotas, vistas proyectadas, vistas auxiliares, vistas de detalle, vista seccionada.	Dibujo. Parte 1: Semana 9 (10 abril – 14 de abril) Dibujo. Parte 2: Semana 10 (17 abril – 21 de abril)

- Enlace de Autodesk Education & Students: [Autodesk Education & Student Access | Autodesk](#)
- Fecha de entrega proyecto de Laboratorio: Sábado 27 de mayo 2022.
- Ponderación de la Nota de Laboratorios: 20%.

Figura 33 Programa de laboratorios

Una de las ventajas del software en general de Autodesk es que la Universidad de El Salvador goza de acceso completo a los productos de Autodesk como AutoCAD o Autodesk Inventor Professional en sus últimas versiones, lo que garantiza al estudiante contar con herramientas de nivel profesional para su aprendizaje. Bastará con crear una cuenta educativa en la página de Autodesk usando el carnet estudiantil personal para obtener acceso completo a dichos programas.

5.1.2 FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES, ACEROS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS METALES

En este programa también se contempla que el estudiante tenga aprobadas las cátedras de Ciencia de Los Materiales I y II, ya que en ellas se sustentan los fundamentos de la microestructura de los metales, los distintos tipos de aceros que se pueden encontrar en el rubro industrial y los tratamientos térmicos que nos proporcionan mejoras en las propiedades mecánicas del metal tratado en cuestión.

Partiendo del conocimiento de ciencia de los materiales, es útil destacar que los átomos de los metales se pueden ordenar de 14 formas únicas tridimensionalmente, a las cuales se conocen como Redes de Bravais, o Sistemas cristalinos. Éstas 14 redes se agrupan en 7 sistemas cristalinos detallados a continuación:

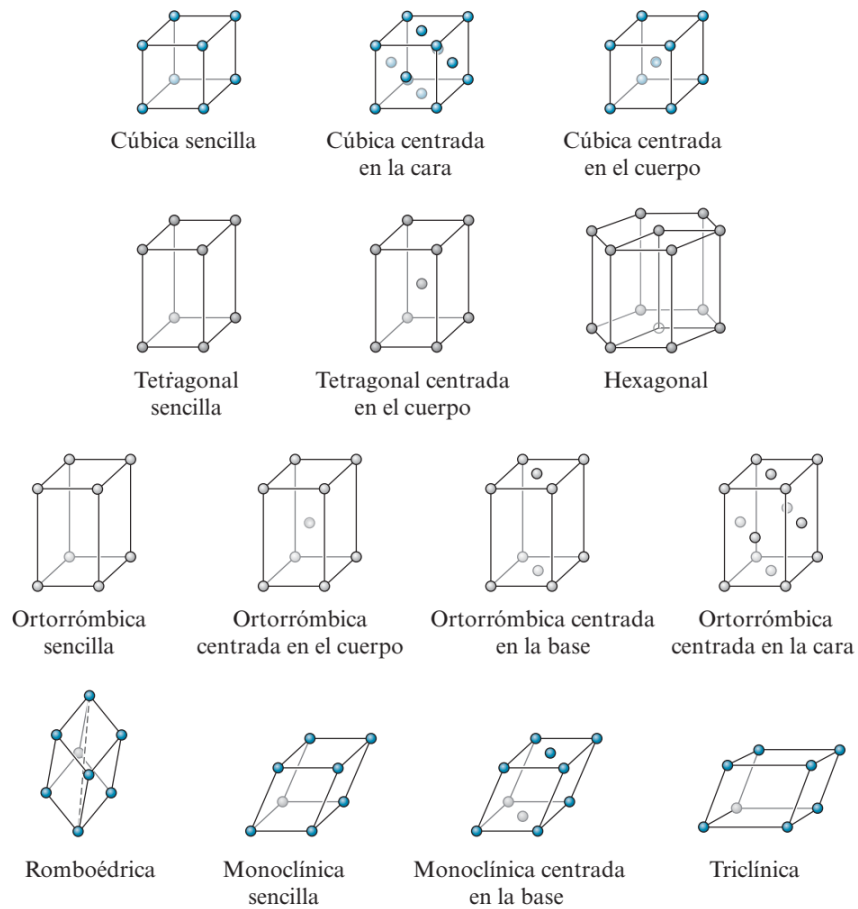


Figura 34 Redes Cristalinas en los metal 1.

En esencia, los sistemas cristalinos nos ayudarán a entender como las propiedades mecánicas de un material se ven afectadas por cada tipo de distribución atómica de éstos mismos.

Dentro del apartado del conocimiento sobre aceros y los efectos de los aleantes en los mismos, es importante conocer el diagrama de Hierro Carburo de

Hierro y el efecto del porcentaje de carbono en la estructura cristalina del hierro en sus distintas fases, como se muestra a continuación:

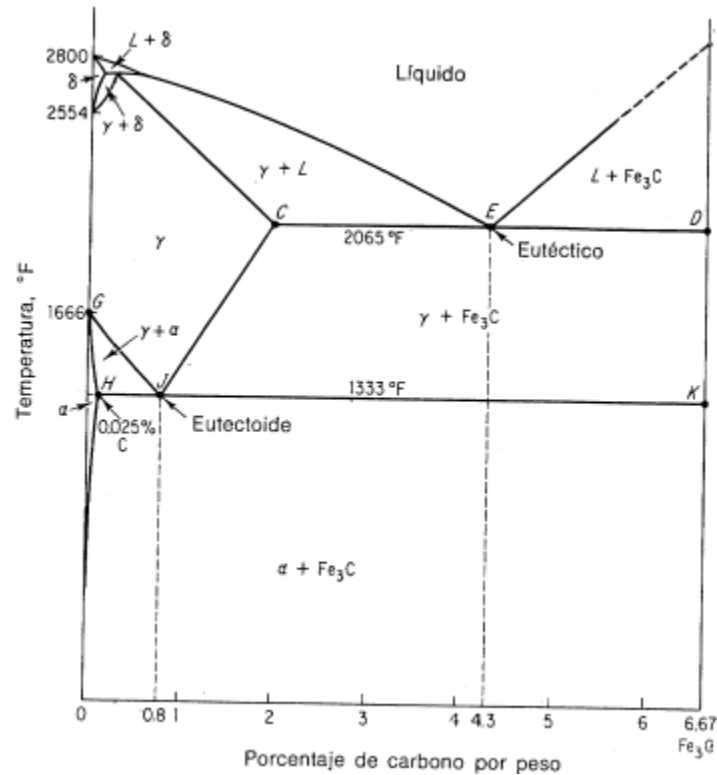


Figura 35 Diagrama de Hierro.

A su vez, es necesario que el estudiante comprenda los efectos del proceso de templado y revenido o del recocido según sea la necesidad de diseño, los cuales son los tratamientos térmicos de post procesado de metales más comunes en el ámbito industrial. Ésta teoría se sustenta en las literaturas de Ciencia de Los Materiales de Askeland e Introducción a la Metalurgia Física de Avner. Reiterando que dichos conocimientos se adquieren al haber cursado con éxito las cátedras de Ciencia de Los Materiales I y II de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

5.2 DESARROLLO DE GUÍAS DE LABORATORIO PARA IMPRESIÓN 3D EN METALES

Teniendo claros los prerrequisitos que el estudiante debe poseer para llevar a cabo con éxito este programa de formación propuesto, se puede definir el contenido que llevarán las guías de laboratorio de la siguiente forma:

- 1. Modelado CAD de Pieza a Fabricar**
- 2. Exportación de pieza a formato STEP**
- 3. Procesado de pieza en software de impresión 3D**
- 4. Post Procesado: Aplicación de Tratamientos Térmicos**

5.2.1 MODELADO CAD DE PIEZA A FABRICAR

En éste apartado se pretende que el estudiante desarrolle, según lo requiera el contexto del diseño mecánico, su pieza a fabricar en el entorno de Autodesk Inventor. Para esta sección basta con tener claros los conceptos del apartado 5.1.1, el cual contempla el prerrequisito de cursar las sesiones de laboratorio de la cátedra de Diseño de Elementos de Máquinas II. En la sección 1 de los Anexos se puede apreciar parte del contenido designado de dichos laboratorios.

5.2.2 EXPORTACIÓN DE ARCHIVO CAD A STL

El proceso de impresión 3D requiere que el archivo se encuentre en un formato estándar CAD compatible con la mayoría de programas de modelado y procesado 3D. Tal es el caso del formato de archivo CAD: STL.

El archivo STL es un componente fundamental en el proceso de impresión 3D, ya que actúa como un puente entre el diseño digital y la materialización física de un objeto tridimensional. Originado en el campo de la estereolitografía, el término «STL» proviene de las siglas en inglés «Stereolithography» o «Standard Tessellation Language».

En su esencia, un archivo STL representa la geometría de un objeto tridimensional mediante una malla de triángulos interconectados. Esta representación se logra mediante la segmentación del objeto en una serie de triángulos. Cada uno se define por sus coordenadas en el espacio tridimensional. Estos triángulos se unen entre sí para formar una estructura continua que describe la forma y la superficie del objeto de manera digital.

Para ello se procederá de la siguiente forma:

Nos dirigimos al apartado de Archivo de Autodesk Inventor situado en la esquina superior izquierda:

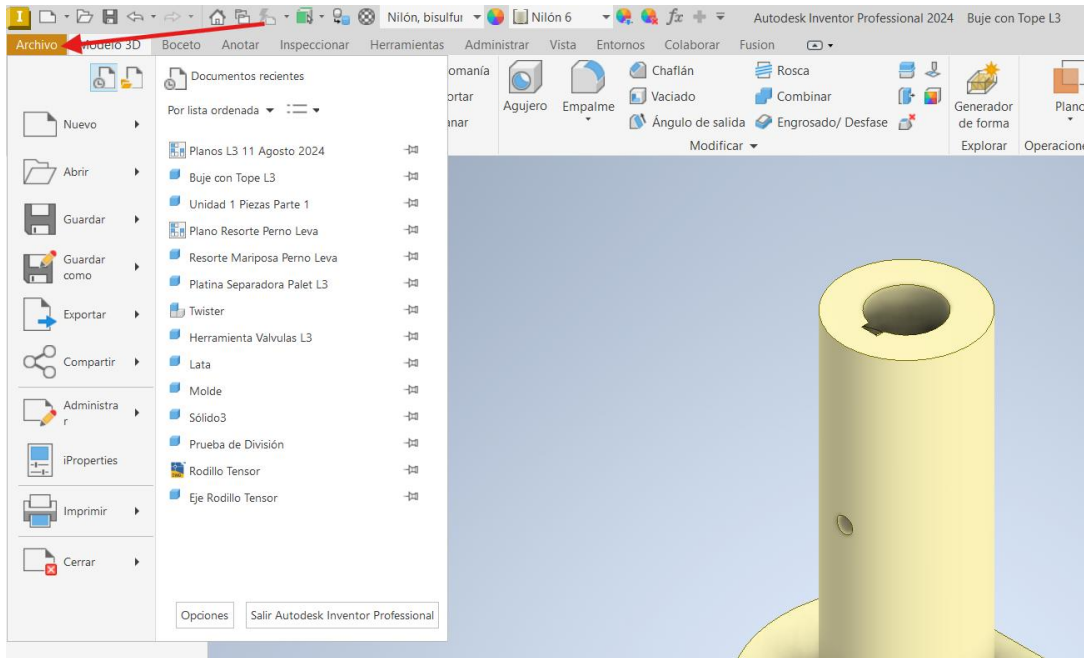


Figura 38 Selección de Archivo de Autode 1

Nos dirigimos hacia la pestaña de Exportar donde encontraremos distintas opciones de exportado de nuestro componente según sea la necesidad. Para nuestro caso exportaremos en Formato CAD:

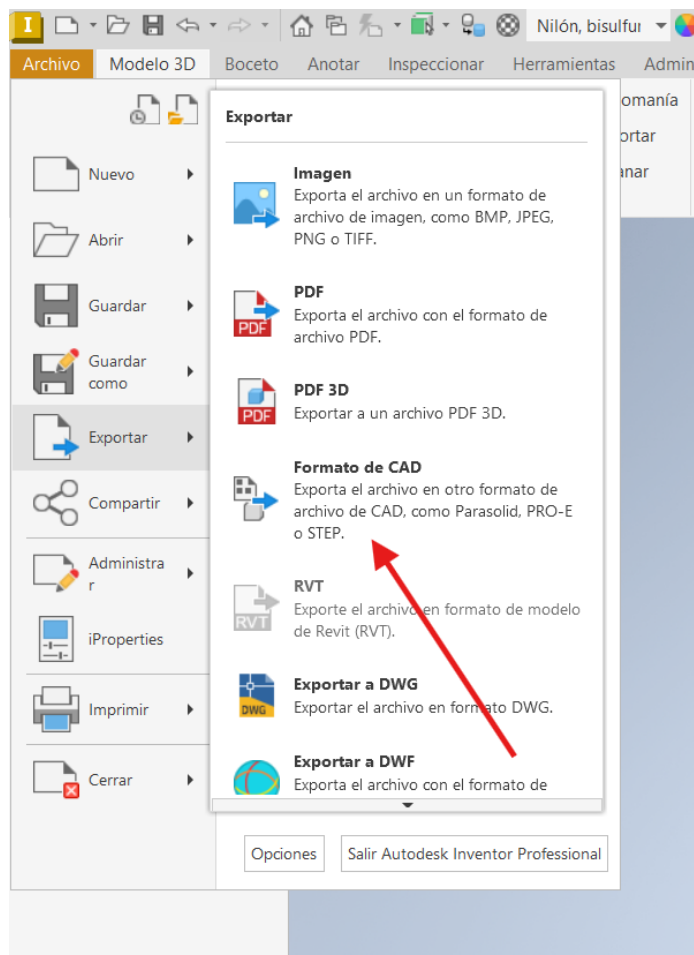


Figura 39 Exportación de Archivo a fabricacioni 1

Seleccionamos el formato STL en las opciones de guardado del archivo y damos Clic finalmente en Guardar Archivo:

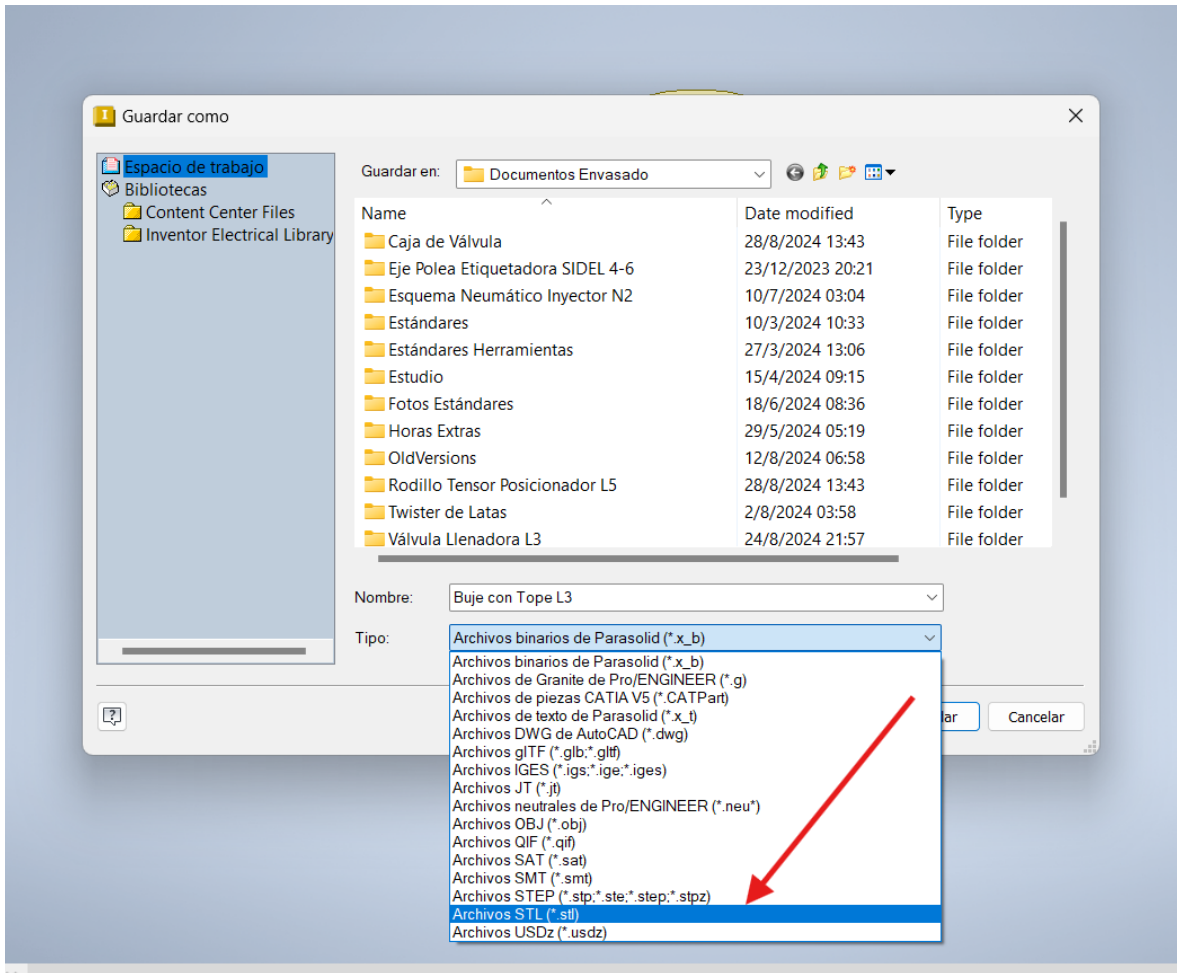


Figura 40 Guardar Archivo en formato STL 1

5.2.3 PRE-PROCESADO DEL COMPONENTE

Una vez exportado correctamente nuestro archivo CAD, se requiere de un software que nos permita generar el archivo que nuestra impresora interpretará para llevar a cabo, valga la redundancia, la labor de impresión de nuestro elemento.

Para ello nos valdremos del programa Cura Ultimaker, el software más común en el rubro de la impresión 3D. Éste programa nos permite ajustar una gran variedad de parámetros de impresión, como la altura de capa, la velocidad de impresión, la densidad de relleno, y muchos otros aspectos que afectan la calidad y el comportamiento de la impresión.

En primera instancia se deberá realizar la instalación del programa desde la página oficial de Ultimaker Cura: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura/>

En ella encontraremos el instalador del programa que nos permitirá realizar la labor de pre procesado de nuestra pieza.

Al tener el programa listo deberemos seleccionar la impresora o modelo de impresora que dispongamos para que Ultimaker Cura realice las configuraciones de material por defecto y demás valores necesarios para la impresión.

Antes de imprimir, Cura muestra una vista previa de cómo se verá la impresión capa por capa, lo que permite identificar posibles problemas y ajustar configuraciones antes de iniciar la impresión.

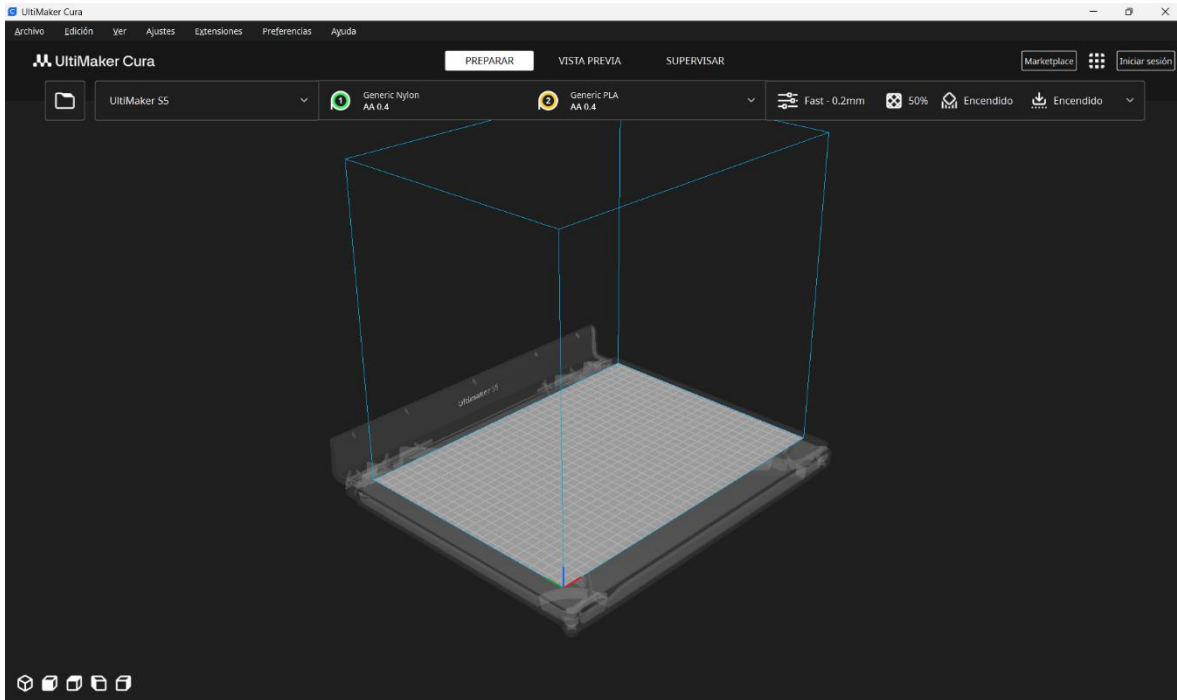


Figura 41 interfaz del programa Cura Ult 1

Para pre procesar nuestra pieza a imprimir importamos el archivo STL de la siguiente forma:

Clic en Archivo y clic en Abrir Archivos:

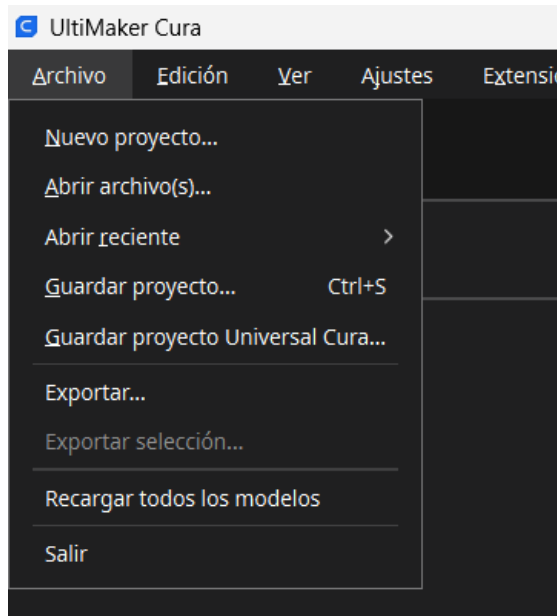


Figura 42 Importación de archivos STL 1

Damos clic en el archivo STL de nuestra pieza y Abrir:

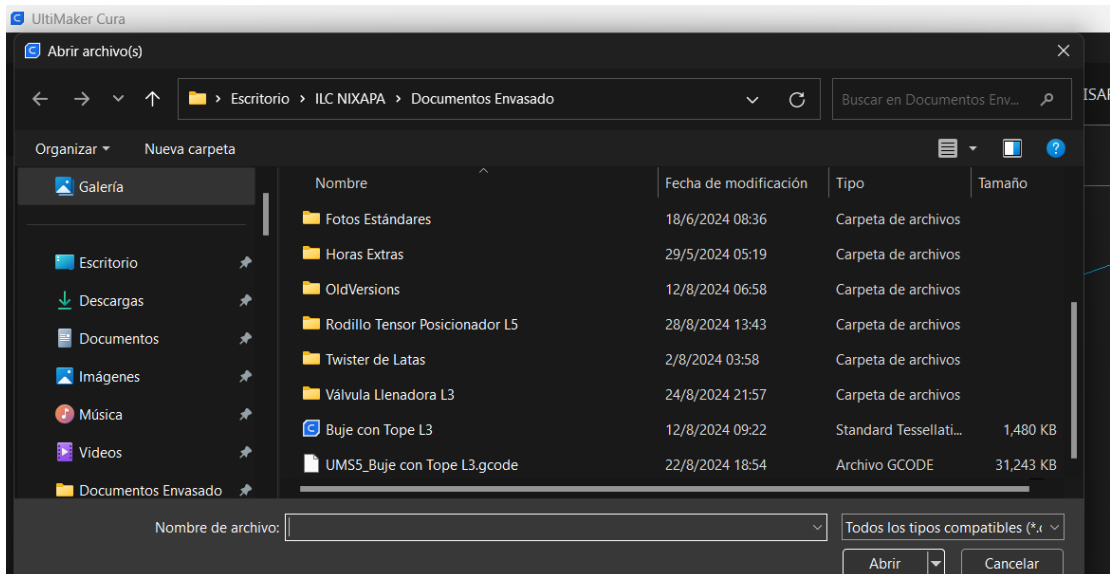


Figura 43 Importación de Archivo STL 1

Al abrir nuestro archivo, tendremos la siguiente ventana mostrándonos la pieza en cuestión:

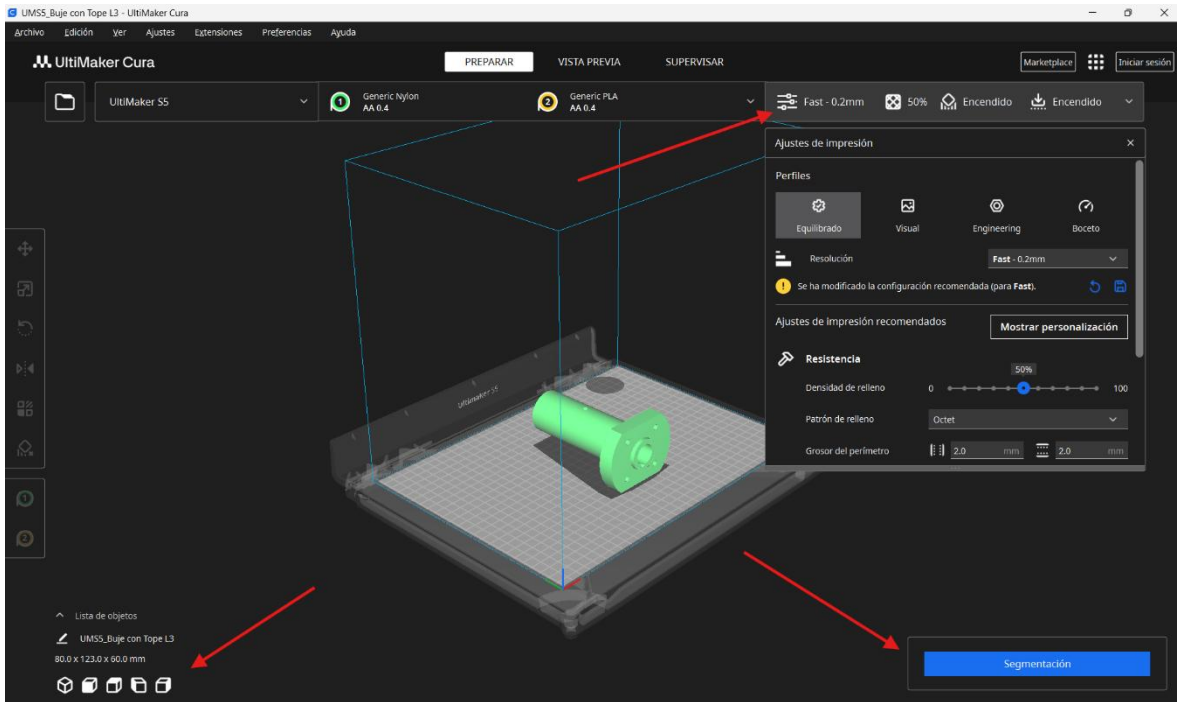


Figura 44 Interfaz de procesado 1

Por tanto, se pueden destacar las siguientes secciones señaladas:

1. **Ajustes de Impresión:** Dentro de los ajustes de impresión que observamos en el punto 1 de la Figura 43, se puede encontrar perfiles de impresión como ajustes predeterminados de velocidad de impresión, densidad de relleno, patrón de relleno y la creación de soportes para impresión de figuras complejas.

Es necesario destacar la importancia de la función de patrón de relleno y densidad de relleno ya que en ellas encontraremos distintos tipos geométricos de patrones con los cuales se formaran nuestros sólidos. La densidad de relleno incidirá

directamente en las propiedades mecánicas de nuestra pieza a fabricar. Esto se puede ejemplificar de forma analógica en la microestructura de los metales, en la cual, al haber mayor número de granos, se incrementa la dureza del material en cuestión y disminuye la ductilidad.

Respecto al patrón de relleno de nuestro sólido, éste se establece a criterio del diseñador según se observa en la Figura 44. Para fines educativos de este trabajo, disponemos de una figura cúbica en nuestro patrón de relleno, haciendo alusión a las estructuras cúbicas cristalinas de los metales que nos permiten poseer buenas propiedades mecánicas según lo requiera el diseño. Para asegurarnos de cumplir con los criterios de diseño, el diseñador en cuestión puede hacer uso de programas de análisis de elementos finitos para determinar el comportamiento del material ante las cargas de diseño aplicadas al componente.

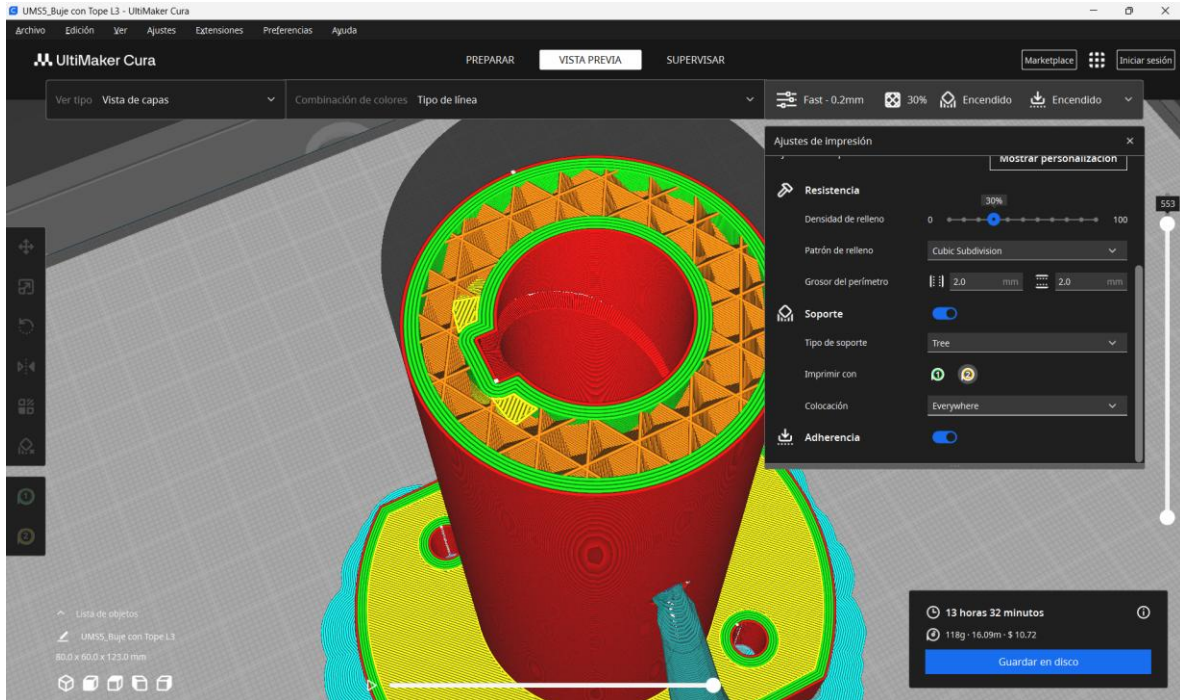


Figura 45 Densidad de relleno cubica 1

2. **Navegación de Vistas:** En el punto 2 de la Figura 43 se logra encontrar los distintos tipos de vistas isométricas en las que se puede previsualizar nuestro archivo de impresión.
3. **Segmentación:** Al hacer clic en el punto 3 de la Figura 43 procedemos a crear el archivo GCODE que nos servirá para enviarlo a nuestra impresora y proceder a la labor de impresión. En dicho apartado lograremos ver las capas que componen nuestro modelo como se aprecia en la Figura 45.

Teniendo claro cómo obtendremos la pieza a imprimir procedemos a dar clic en el botón de Guardar en Disco donde se nos abrirá el Explorador de Archivos. En

el deberemos cambiar el tipo de archivo a formato GCODE como se ejemplifica en la Figura 45.

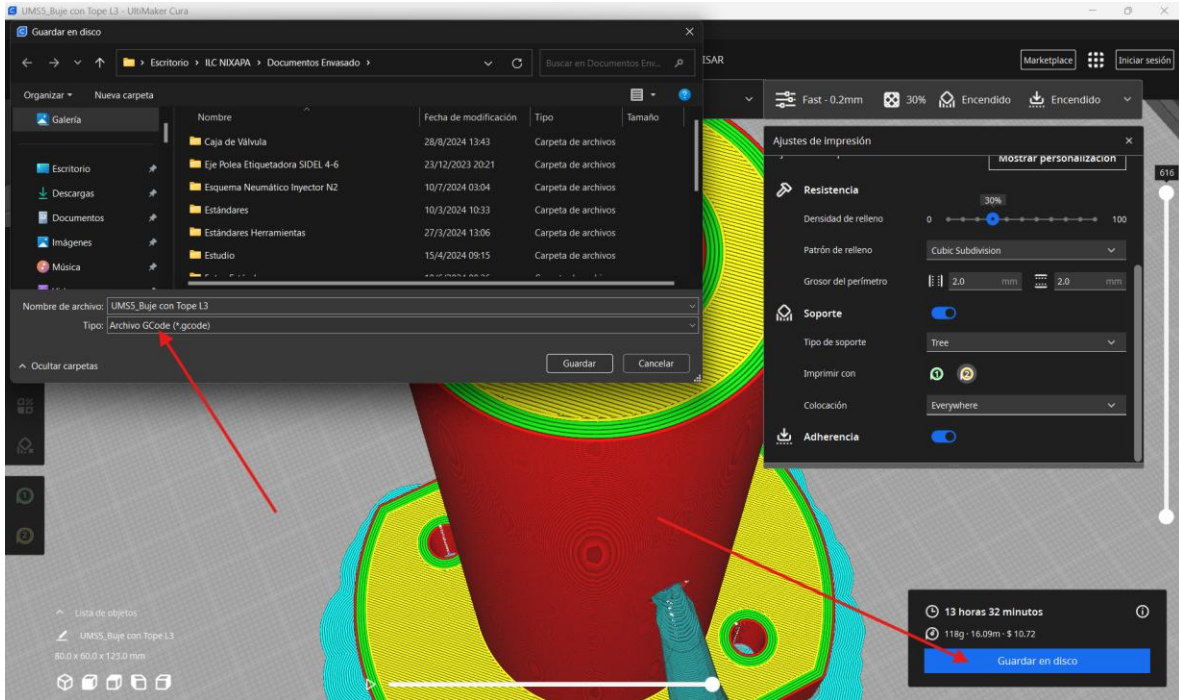


Figura 46 Exportación a GCODE 1

Es importante recalcar que este proceso es una ejemplificación de la preparación de piezas en la impresión 3D FDM. Para la tecnología SLM, dependerá del modelo de la impresora el tipo de archivo que se puede importar y exportar para la impresión. En la mayoría de casos, se utiliza el formato STEP.

Un archivo STEP (Estándar para el intercambio de datos de productos) es un estándar ISO 10303-21 desarrollado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que proporciona un formato independiente de la plataforma para intercambiar datos CAD entre diferentes sistemas.

El formato de archivo STEP se utiliza para modelos CAD 2D y 3D y puede representar cualquier tipo de objeto, desde componentes estructurales hasta ensamblajes completos.

El detalle de esta sección ejemplificada con tecnología FDM es parte de las limitantes de este documento debido a la ausencia de documentación específica de los proveedores de impresoras 3D SLM.

En conclusión, el pre procesado de piezas de la forma antes mencionada es totalmente aplicable tanto para FDM como para SLM, con la diferencia del tipo de archivo a utilizar.

5.2.4. POST-PROCESADO: APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Teniendo ya nuestra pieza fabricada por impresión 3D SLM como se muestra en la Figura 46, procedemos a pensar sobre los métodos de post procesado requeridos para garantizar excelentes propiedades mecánicas de nuestro componente.

Para fines de estudio seleccionaremos el acero inoxidable austenítico de bajo carbono 316L, el cual es comúnmente usado para impresión SLM. El contenido de carbono (0.03% máx.) de este acero es suficientemente bajo para reducir la precipitación de carburos intergranulares a un nivel seguro. Este tipo de aceros pueden mantenerse en un proceso de recocido entre las temperaturas de 420° y 815° C durante 2 horas y enfriarse lentamente sin el peligro de precipitación intergranular.

En la Figura 46 observamos los valores de máxima temperatura de recocido que admiten estos aceros para garantizar la solubilidad de los carburos en el acero.

Tabla XVI.3: Temperaturas recomendadas para tratamientos térmicos de aceros inoxidable austeníticos inestabilizados

Tipo	Temperatura (°C)
201, 202	1010 a 1120
301, 302, 302B, 303, 303Se	1010 a 1120
304, 305, 308	1010 a 1120
309, 309S	1040 a 1120
310, 310S	1040 a 1065
314	1040 a 1120
316	1040 a 1120
317	1065 a 1120

Estabilizados

309C	1065 a 1120
318	1040 a 1120
321	950 a 1065
347, 348	980 a 1065

Grados de extra bajo carbono

304L	1010 a 1120
316L, 317L	1040 a 1110

Figura 46. Tabla de temperaturas estándar de recocido de aceros inoxidable austeníticos.

Es necesario recalcar que el estudiante deberá también tener presentes las propiedades mecánicas del material consumible a elegir, ya que esto será el pilar fundamental para la labor de diseño teniendo en cuenta el esfuerzo de rotura, el módulo de Young y demás propiedades mecánicas del material.

Tal es el caso a continuación del acero inoxidable en sus distintas presentaciones:

Especificaciones técnicas

# AISI	AUSTENÍTICOS						Martensítico	FERRÍTICO
	303	304	304L	310	316	316L	416	430
COMPOSICION QUIMICA TIPICA (% en peso)								
Carbono	0.15 max.	0.08 max.	0.03 max.	0.25 max.	0.08 max.	0.03 max.	0.15 max.	0.12 max.
Cromo	17.0-19.0	18.0-20.0	18.0-20.0	24.0-26.0	16.0-18.0	16.0-18.0	12.0-14.0	14.0-18.0
Níquel	8.0-10.0	8.0-11.0	8.0-12.0	19.00-22.0	10.0-14.0	12.0-16.0		
Manganeso	2 max.	2 max.	2 max.	2.0 max.	2 max.	2.0-3.0	1.25 max.	1 max.
Silicio	1 max.	1 max.	0.75max	1.5 max.	1 max.	1 max.	1.00 max.	1 max.
Fósforo	0.20 max.	0.04max.	0.04 max.	0.045 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.06 max.	0.04 max.
Azufre	0.15 min.	0.03 max.	0.03 max.	0.030 max.	0.03 max.	0.03 max.	0.15 max.	0.03 max.
Otros Elementos	Mo. 0.6 max				Mo. 2-3	Mo. 2-3	Mo. 0.60	
	Se 0.07 min.							
PROPIEDADES FISICAS								
Densidad: g/cm ³	8.027	8.027	8.027	8.03	8.027	8.027	7.75	7.75
Punto de fusión: °C	1400-1420	1400-1450	1400-1450	1400-1455	1370-1400	1370-1400	1480-1530	1430-1510
Estructura	Austenítico	Austenítico	Austenítico	Austenítico	Austenítico	Austenítico	Martensítico	Ferrítico
CALOR ESPECIFICO Calorías / g °C (0/100°C)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11
CONDUCTIVIDAD TERMICA:								
Calorías / cm seg. °C(a 20°C)	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.055	0.06
COEFICIENTE DE LA EXPANSIÓN								
10-6mm °C(20°C a 100°C)	16.5	16.5	16.5	15.9	15.2	15.2	9.6	10
(20°C a 500°C)	18.5	18.5	18.5	17.1	19.0 a 800°	19.0 a 800°	11.4	11.2
RESIST. ELECTRICA ESPECIFICA A TEMP. BAJO TECHO								
Microhohmios-cm a 20°C	72	72	72	78	74	74	57	60
PERMEABILIDAD MAGNETICA								
A 200 H.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	Magnético	Magnético
PROPS. MECANICAS A TEMPERATURAS BAJO TECHO								
Alargamiento en 50.8mm%	60	60	60	55	55	55	20	30
Reducción de área%	60	70	70	70	70	70	60	55
Carga de rotura kg/mm ²	70.3	59.7	59.7	59.7	59.7	57.0	63.3	52.7
Dureza Brinell	160	150	145	170	165	150	180	155
Dureza Rockwell B	80	80	77	85	85	80	90	80

Figura 47 Tabla de propiedades mecánica 1.

Abarcando estos conceptos fundamentales, se logra tener material base para la generación del documento que servirá como guía de laboratorio de impresión 3D en metales.

5.3 PROGRAMA DEL CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES

Con la finalidad de ejemplificar la estructura de nuestro curso sobre este proceso de fabricación aditivo en metales se muestra a continuación el contenido mismo de propuesta:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DEL CURSO

I. GENERALIDADES

Fundamentos de Impresión 3D en Metales	
Código:	IMP115
Duración del curso en semanas:	12 semanas
Prerrequisito:	Ciencia de los Materiales II. Diseño de Elementos de Máquinas II. Proceso de fabricación I.

II. DESCRIPCIÓN

Este curso pretende impartir los conocimientos sobre el diseño asistido por computadora CAD y el proceso de fabricación aditivo de la impresión 3D orientada a los metales. Se abarcarán fundamentos de diseño de componentes mecánicos y a su vez de propiedades mecánicas requeridas bajo diseño del material a utilizar como insumo para la impresión 3D. Es de suma importancia que el alumno deba haber cursado con éxito las sesiones de laboratorio de la cátedra de DEM-115 y comprenda los conceptos básicos de tratamientos térmicos de los aceros, ya que serán la base para este programa de formación.

III. OBJETIVO GENERAL

Que el estudiante sea capaz de desarrollar sus propios componentes mecánicos según lo requiera la labor de diseño mediante la impresión 3D aplicada a los metales, siendo los fundamentos de esta asignatura el diseño CAD y la ciencia de los materiales aplicada a los metales.

Figura 48 Programa del curso de impresión 1

IV. METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA - APRENDIZAJE

El docente tutor tendrá las funciones de orientación, mediación y facilitación de las experiencias de aprendizaje a través de:

- Desarrollo de tutorías
- Sistema de comunicación sincrónica y asincrónica
- Exposición de los contenidos utilizando la plataforma virtual

El estudiante en el desarrollo de sus habilidades de aprendizaje independiente, autónomo y pensamiento crítico deberá realizar:

- Auto evaluaciones al final de cada contenido
- Discusiones en grupos
- Reflexiones sobre contenidos
- Aplicaciones prácticas
- Investigaciones

V. RECURSOS EDUCACIONALES

Materiales	Tecnología	Equipos
material impreso/digital: <ul style="list-style-type: none"> • libros • folletos • guías 	Recursos digitales Medios audiovisuales Medios informáticos Bibliotecas virtuales	Computadoras y dispositivos móviles Proyectores Equipos multifunciones Impresora 3D SLM

VI. CONTENIDO

UNIDAD	CONTENIDO	DURACIÓN EN SEMANAS
1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD	1.1. Repaso de conocimientos sobre dibujo técnico mecánico 1.2. Repaso de sesiones de laboratorio CAD de DEM-115 1.3. Modelado 3D de piezas y exportación de archivos	3
2. GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D	2.1 Fundamentos de la impresión 3D en FDM 2.2 Principios de la tecnología SLM en impresión 3D de metales	3
3. PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS	3.1 Fundamentos de los aceros y el diagrama de hierro carburo de hierro 3.2 Principios básicos de tratamientos térmicos en aceros hipo eutectoides e hiper eutectoides	3

Figura 49 Continuación del programa de i 1

4. DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES	4.1 Aplicaciones de diseño mecánico en impresión 3D usando tecnología SLM. 4.2 Pre procesado y post procesado de componentes impresos en 3D SLM.	4
--	---	---

VII. PROGRAMACIÓN DE EVALUACIONES

Evaluación	Ponderación
Evaluaciones parciales (3)	45%
Actividades en líneas	10%
Prácticas de laboratorios	25%
Tareas de resolución de problemas	20%
Total	100%

VIII. BIBLIOGRAFÍA

<ul style="list-style-type: none"> • Guía de Laboratorios de Diseño Asistido Por Computadora de la Cátedra de DEM-115 • Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Askeland. • Introducción a la Metalurgia Física, Avner • Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley 9na Ed.

Figura 50 Continuación del programa de I 1

En el siguiente flujograma se logra plasmar la estructura del programa de la propuesta del curso de formación con sus respectivas unidades:

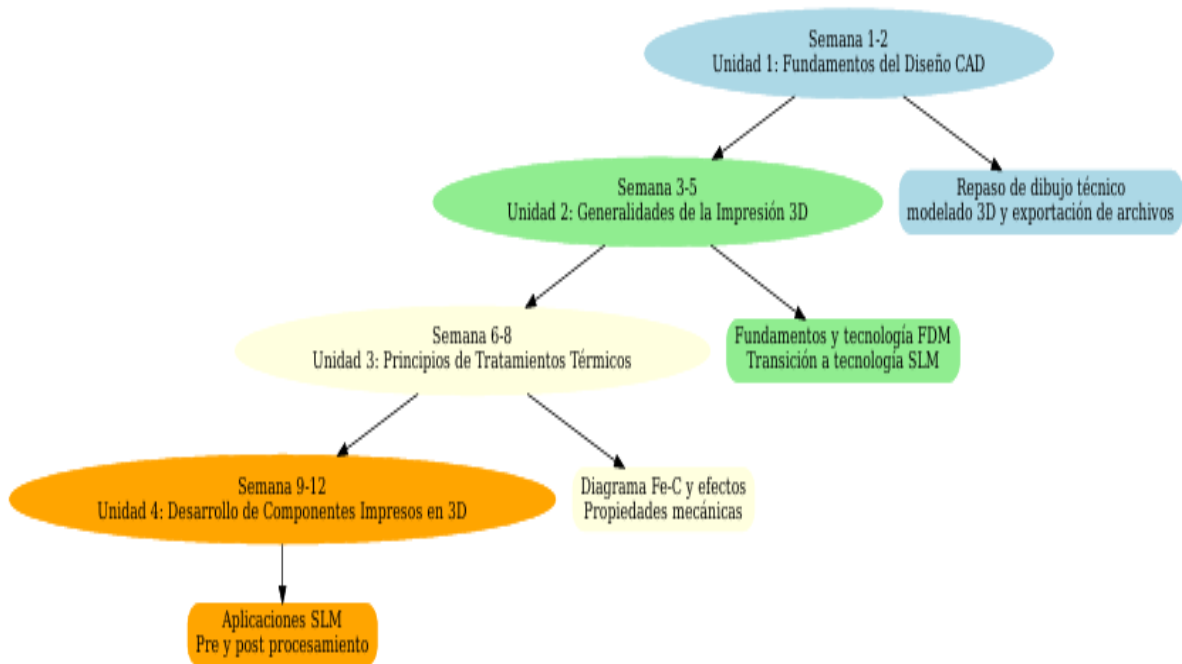


Figura 51 Diagrama de flujo del programa 1

Teniendo así, la estructura base de nuestra propuesta de curso de formación, que permitirá a los estudiantes adquirir conocimientos esenciales en el ámbito de estas nuevas tecnologías.

5.3.1 AUTO EVALUACIONES PARA EL ESTUDIANTE

Siguiendo la temática de nuestro trabajo se proporcionarán una serie de ejercicios y problemas prácticos que el estudiante llevará a cabo para poder re afirmar sus conocimientos de prerrequisitos para poder culminar con éxito el programa de formación.

Figura 52 Autoevaluaciones para el estudio 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

1

AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none"> Modelado CAD de Piezas en Autodesk Inventor

Problema 1: Teniendo en cuenta el siguiente plano, realizar el modelado CAD del sólido a continuación. Considerar el valor de la masa como criterio de validación del correcto modelado del sólido:

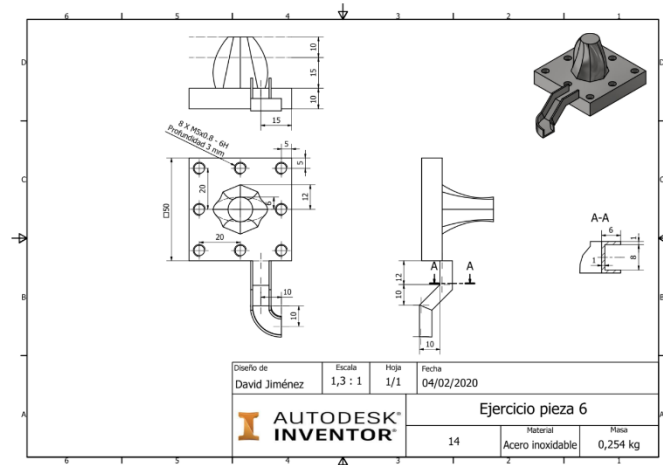


Figura 53 Autoevaluación para el estudio 2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

3

AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none">• Tratamientos Térmicos Comunes en los Aceros• Ciencia de Los Materiales

Problema 3: ¿Cómo se conoce al tipo de recocido aplicable para aceros con contenido de Carbono inferior al 0.25%? Indique el rango de temperaturas en el cual se puede aplicar este tratamiento térmico.

Las guías de laboratorio respectivas a cada unidad y demás material didáctico afín al programa de formación se detallarán en documentos adjuntos a la entrega de este documento. A su vez, servirá como anexos de sustentación a este trabajo de investigación realizado.

5.4 MANTENIMIENTO GENERAL DE IMPRESORAS 3D

Dentro del ámbito del mantenimiento de una máquina existen diversas técnicas y consideraciones a tomar en cuenta para tener una correcta preservación de la integridad de funciones de nuestro equipo, para poder garantizar un óptimo funcionamiento del sistema.

Este proceso es crucial para garantizar a su vez la calidad de las piezas fabricadas, la longevidad de la máquina y en consecuencia la seguridad del operador.

Debido a las altas temperaturas de fabricación por el sistema láser de impresión y los materiales metálicos involucrados, el mantenimiento requiere un cuidado especial y, en algunos casos, herramientas y conocimientos específicos.

Un mantenimiento adecuado asegura que las piezas impresas tengan una alta calidad, sin defectos como porosidad, sobrecalentamiento o deformaciones. Al prevenir la acumulación de residuos y el desgaste de componentes se prolonga la vida útil de la impresora. A su vez, un mantenimiento regular reduce el riesgo de accidentes causados por fallas en la máquina o por la exposición a materiales peligrosos.

Dentro de las tareas de mantenimiento rutinarias en una impresora 3D de metales se pueden destacar las siguientes:

1. **Limpieza:**

- i. **Cámara de construcción:** Se debe eliminar cualquier residuo de polvo, partículas metálicas o material de soporte que pueda afectar la calidad de las impresiones.
- ii. **Lentes y Espejos:** Se debe verificar que los lentes y espejos del láser estén limpios y libres de partículas de polvo. La acumulación de polvo puede afectar la precisión del láser.

2. **Inspección:**

- i. **Flujo de Gas Inerte:** Dependiendo del modelo de impresora a seleccionar, se debe verificar el flujo y la pureza del gas inerte (como argón o nitrógeno) que protege la zona de impresión. Cualquier interrupción en el flujo puede afectar la calidad de la impresión.

- ii. **Guías Lineales y Husillos:** Se deben inspeccionar las guías lineales y husillos para asegurarte de que estén libres de polvo y bien lubricados.
- iii. **Cables y Conexiones:** Validar los cables y conexiones eléctricas para detectar posibles signos de desgaste o daño.
- iv. **Revisión de Software:** Debemos asegurarnos de que el software de control y las interfaces de usuario estén actualizados con la última versión y parches de seguridad.
- v. **Nivelación de la Plataforma:** Se debe verificar y ajustar la nivelación de la plataforma de construcción para asegurar una adherencia correcta de las capas.

3. **Mantenimiento de Descarte:**

- i. **Reemplazo de Piezas Desgastadas:** Se deberá sustituir piezas que muestran signos de desgaste o que están cerca del final de su vida útil.
- ii. **Reemplazo de Filtros de Gas:** Cambia los filtros de gas inerte si es necesario para mantener la pureza y el flujo adecuados.

Todo esto se deberá llevar a cabo por el personal capacitado para realizar estas rutinas de mantenimiento del equipo. Dicha capacitación se puede obtener por parte de los proveedores seleccionados para la adquisición de este equipo de impresión 3D en metales.

CONCLUSIONES

La implementación de un laboratorio de impresión 3D en metales en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador representa un avance estratégico en la formación de profesionales capacitados para enfrentar los desafíos tecnológicos del presente y futuro. A lo largo de esta propuesta, se han definido los lineamientos técnicos, infraestructurales y pedagógicos necesarios para asegurar que este espacio académico no solo cumpla con los requerimientos actuales de la industria manufacturera avanzada, sino que también se proyecte como un referente en la región para la innovación y el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas.

Este laboratorio proporcionará a los estudiantes un entorno de aprendizaje integral donde la teoría y la práctica convergen, facilitando el desarrollo de competencias clave en el manejo de tecnologías de impresión 3D, con especial énfasis en la fabricación de piezas metálicas mediante el método de fusión selectiva por láser (SLM). La propuesta no solo responde a la creciente demanda de profesionales especializados en manufactura aditiva, sino que también alinea los objetivos académicos con las necesidades industriales del país y la región, promoviendo la investigación aplicada y el emprendimiento tecnológico.

En consecuencia, este proyecto consolida una base sólida para el desarrollo de nuevas capacidades técnicas y científicas en los estudiantes de ingeniería mecánica, fortaleciendo el papel de la Universidad de El Salvador como un actor clave en la evolución de la ingeniería y la tecnología en Centroamérica. Con la implementación de este laboratorio, se abre una puerta a la innovación, la creatividad y el progreso, sentando las bases para un futuro en el que la fabricación avanzada será un pilar fundamental de la ingeniería contemporánea.

RECOMENDACIONES:

Es necesario que puedan incluirse elementos de protección eléctrica como un tomacorriente GFCI en la instalación eléctrica del laboratorio de impresión 3D en metales, esto para asegurar que los equipos no sufrirán daños por picos de tensión nocivos en la alimentación o por diferenciales de tensión que puedan provocar cortocircuitos. A su vez, será necesario que el laboratorio cuente con su propio tablero eléctrico derivado de la subestación de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Ya que éste tipo de proceso de fabricación aditiva nos garantiza poder crear y desarrollar piezas totalmente funcionales, será de gran utilidad que la Universidad de El Salvador pueda ofrecer servicios de diseño de piezas metálicas como prótesis dentales, engranajes o tornillos con pasos de rosca personalizados, entre otros componentes metálicos, para así recuperar paulatinamente la inversión realizada en la realización de este laboratorio de impresión 3D en metales. A su vez, en el sector privado industrial existe una alta necesidad de recuperación y rediseño de elementos de máquinas que los proveedores y fabricantes ya no distribuyen por obsolescencia del modelo de la misma. Esto supondría una gran oportunidad de aprovechamiento económico para la Universidad de El Salvador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De Material de Fabricación Aditiva, P. (2024, 6 agosto). *Nueva tecnología de fusión por haz de electrones | Material de fabricación aditiva*. Material de Fabricación Aditiva. <https://am-material.com/es/ebm-technology/>
- *Arcam Q20plus - Impresora 3D de materiales plásticos by Arcam AB | AeroExpo*. (s. f.). <https://www.aeroexpo.online/es/prod/arcam-ab/product-171999-19662.html>
- Systèmes, D. (2022, 23 agosto). *La impresión 3D en el sector energético*. Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/es/make/solutions/industries/3d-printing-energy-sector>
- S, S., & S, S. (2023, 12 septiembre). *Guía completa: Los metales en la impresión 3D*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/descubriendo-los-metales-de-la-impresion-3d/>
- EdgarMejia. (2021, 21 abril). *IMPRESIÓN 3D DE TITANIO: MÉTODOS, IMPRESORAS y APLICACIONES – IDEA1.61*. <https://idea161.org/2021/04/21/impresion-3d-de-titanio-metodos-impresoras-y-aplicaciones/>

- 3Dnatives. (2023, 16 mayo). *La impresión 3D de metal: Guía completa sobre la tecnología - 3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/guia-impresion-3d-metal/>
- One Click Metal. (2024, 31 mayo). *BOLDSERIES - Technical specifications - One click metal*. <https://oneclickmetal.com/boldseries-technical-specifications/>
- Limitado, X. G. L. T. C. (2024, 19 marzo). *¿Qué mantenimiento se requiere para las impresoras 3D industriales de metal? - Conocimiento. Guosheng Laser Technology*.
<https://es.guoshenglaser.com/info/what-maintenance-is-required-for-industrial-me-93660952.html>
- 3d, C. (2022, 17 enero). *El mantenimiento de tu impresora 3D*. Creativo 3D. <https://creativo3d.com/sv/el-mantenimiento-de-tu-impresora-3d/>
- Centro3D. (2023, 23 julio). *IMPRESIÓN 3D DE METALES: Todo lo que necesitas saber. Innovación. Metal Powder Bed Fusion*. [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Hq3A2dtG-Os>
- Centro3D. (2020, 10 julio). *Limpieza y mantenimiento a tu impresora 3D. ¿Cómo? 🎧 Aquí te mostramos. Tutorial en español* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=3_5UOAFMfI4

- Find top custom manufacturing supply chain. (2023, 23 octubre).
Archivo STEP: Definición: cómo ver y crear un archivo STEP.
FindTop - Manufacturing On Demand.
<https://www.findtop.com/es/step-file-definition-how-to-view-and-make-a-step-file/>
- *Best Stainless Steel 316L Powder for 3D Printing - MET3DP.* (2024, 16 octubre). Metal3DP. <https://met3dp.com/product/stainless-steel-316l-powder-for-3d-printing/>
- Askeland, D. R., Haddleton, F., Green, P., & Robertson, H. (2013). *The Science and Engineering of Materials.* Springer.
- Avner, S. H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy.* McGraw-Hill Companies.

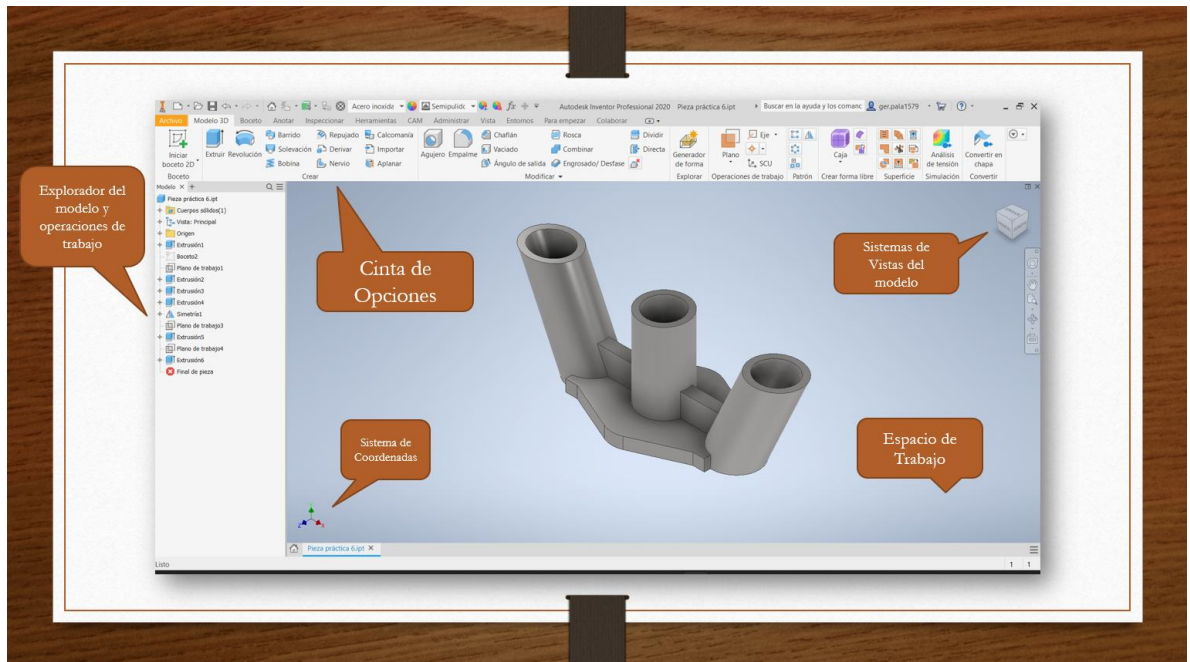
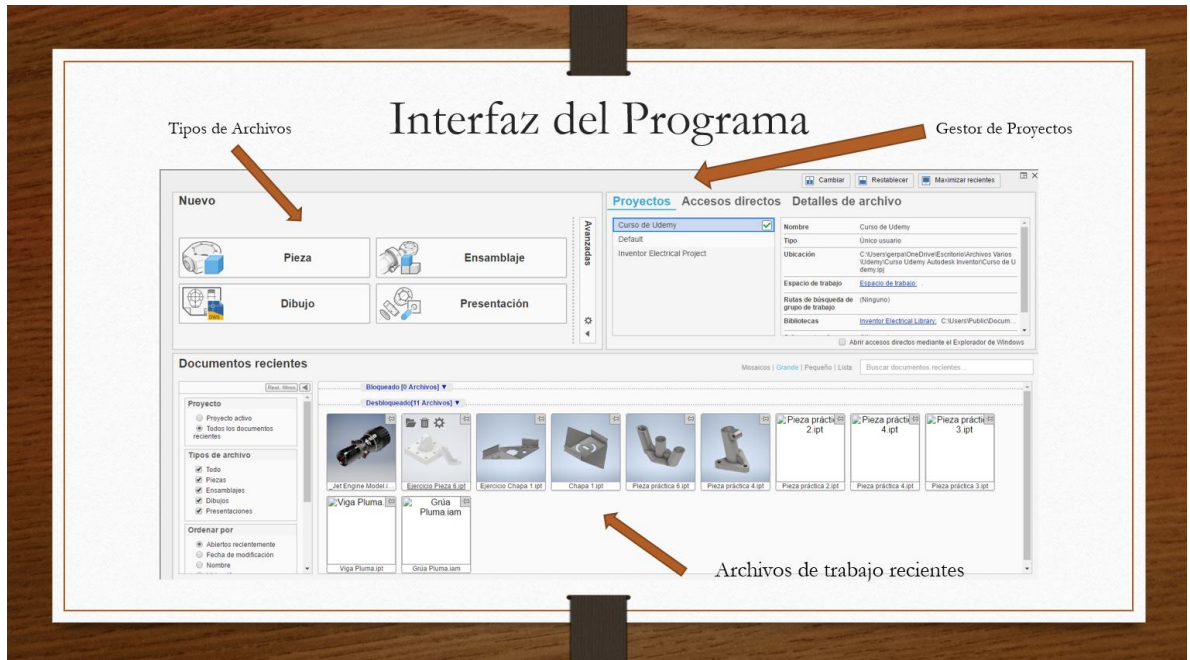
ANEXOS

1. FRAGMENTOS DE SESIONES DE LABORATORIO EN DEM-215.

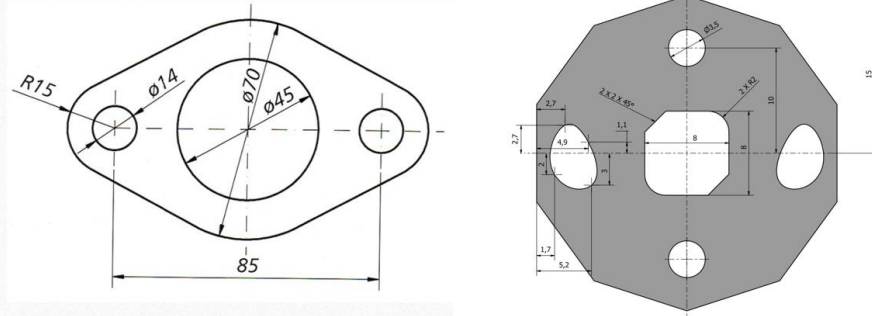


Unidad I: Piezas

1. Interfaz del programa
2. Intención del dibujo
3. Bocetos
4. Operaciones Básicas: Extrusión, corte, revolución, barrido, solevación y vaciado.

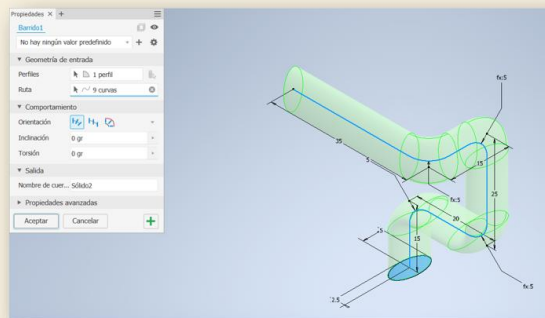


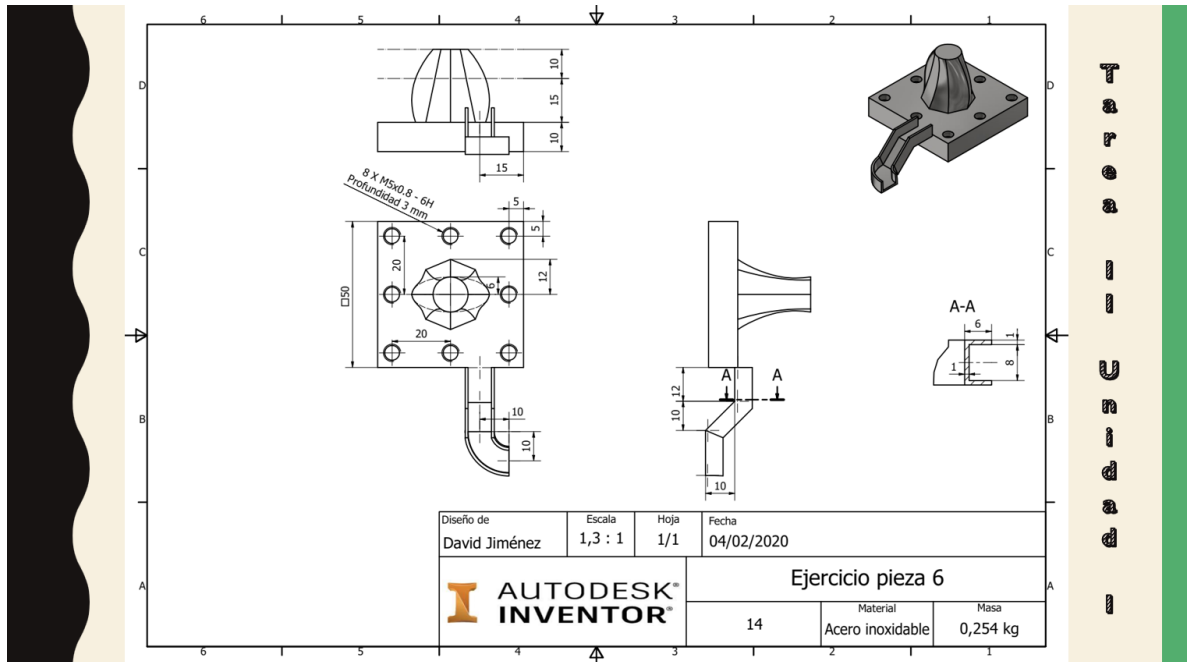
Tarea Piezas Parte 1



BARRIDO

- De igual forma que la operación de soleación, dicha operación de barrido se establece al crear un perfil de boceto previamente definido y restringido pero con la diferencia que esta operación requiere del uso de una ruta establecida para generar el perfil sólido o de superficie.
- Para este tipo de operaciones nos valdremos del uso de la herramienta de Boceto 3D que nos facilita dicha labor de establecer la ruta necesaria para ejecutar la operación de barrido.



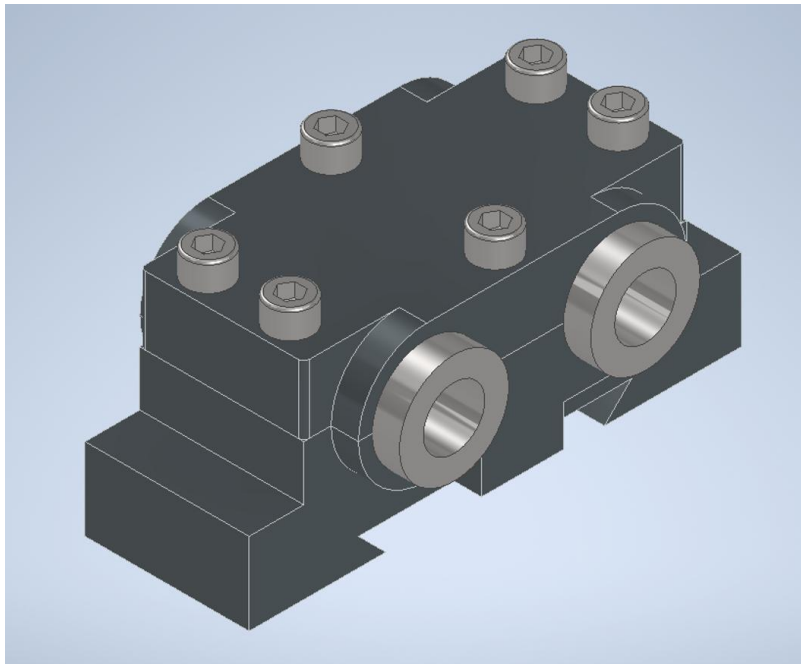
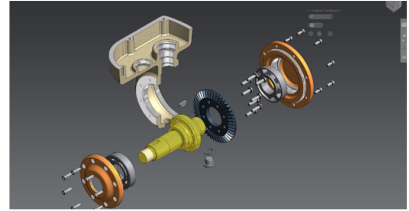


Unidad II: Ensamblajes

- Entorno de ensamblaje de Inventor.
- Restricciones
- Importación de piezas en el entorno de ensamblaje
- Importación de piezas normadas desde la sección de Diseño de Inventor

¿Qué es un ensamblaje?

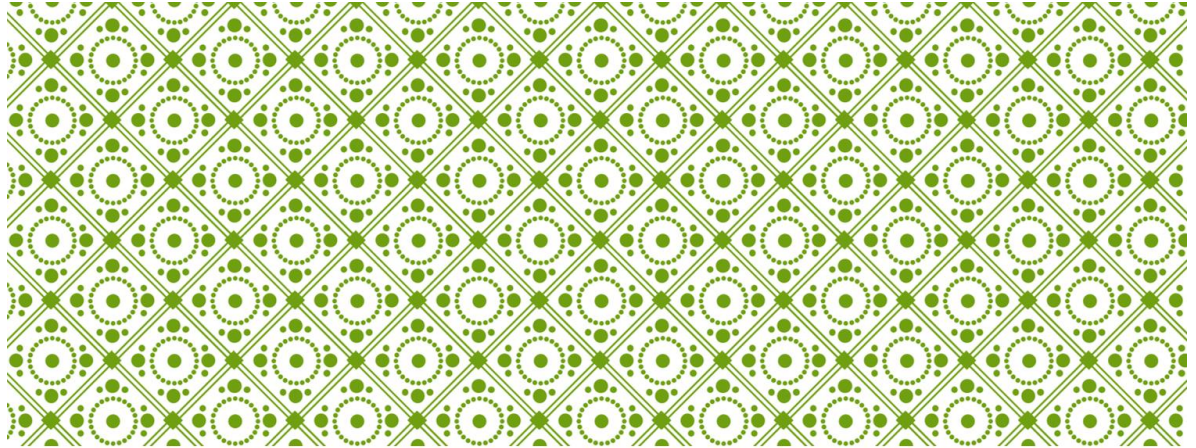
- Un ensamblaje es un conjunto de piezas o componentes que se combinan para formar un producto o máquina. En otras palabras, es una colección de piezas individuales que se ensamblan para crear un modelo completo.
- El ensamblaje permite a los diseñadores ver cómo todas las piezas encajan entre sí y cómo se ajustan para crear el producto final aplicando conceptos de diseño mecánico como tolerancias y demás.
- Se pueden crear ensamblajes utilizando piezas individuales que ya hayas creado previamente o importando piezas de otras fuentes para luego aplicar restricciones y relaciones de posición.



Tarea

- Para esta asignación deberán modelar las piezas y ensamblarlas como se presenta en el modelo.
- A su vez deberán insertar las conexiones por perno usando el fiador ISO 4762. Recuerden asignar primero el diámetro del agujero en la sección de inserción del perno.
- Material de las piezas: Acero Inoxidable para los bujes y Hierro Fundido para la tapa y la base.
- Los planos de conjunto y de detalle de la tarea los encontrarán en Classroom.





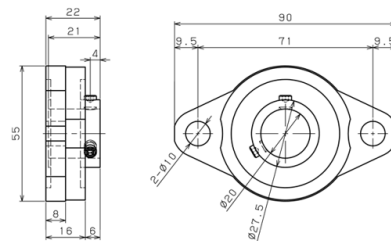
UNIDAD III: DIBUJOS. PARTE 1

- Repaso General de Dibujo Técnico Mecánico
- Edición de Márgenes y Cajetín

REPASO GENERAL DE DIBUJO TÉCNICO

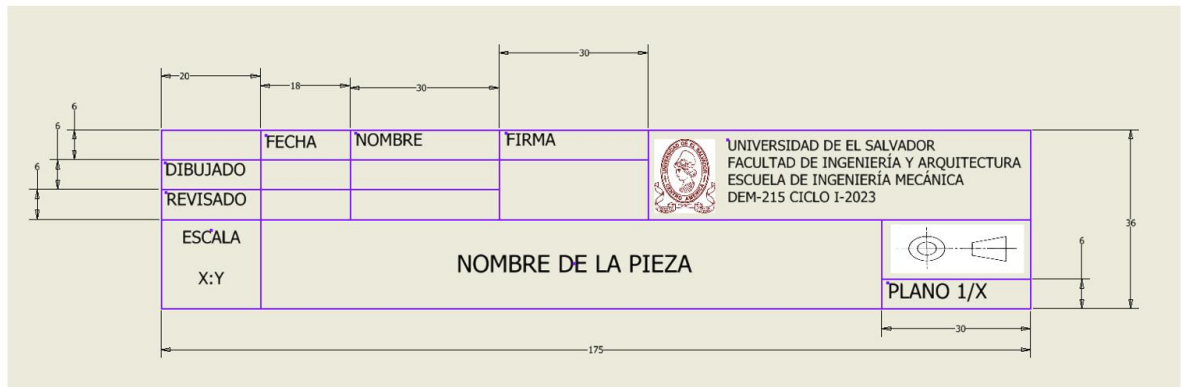
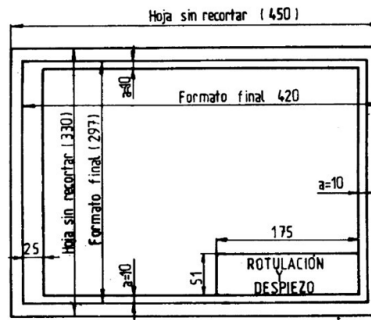
El dibujo técnico mecánico es una rama de estudio de la ingeniería mecánica que contempla la correcta representación y comunicación de forma precisa y detallada las especificaciones y características de piezas, componentes y sistemas mecánicos.

El dibujo está regido por normativas internacionales como lo son la ISO, ANSI, DIN y ASME, las cuales poseen su propio sistema de unidades y vistas.



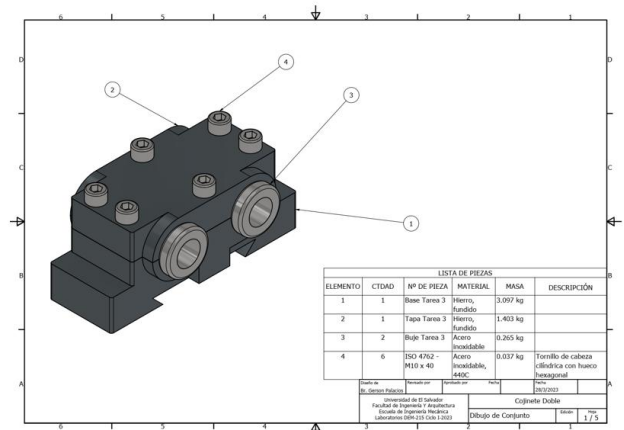
EDICIÓN DE MÁRGENES Y CAJETÍN

Los márgenes de nuestras hojas de dibujo técnico contendrán un espacio de 25 mm en el lateral izquierdo y 10 mm en los demás laterales que conforman la hoja.



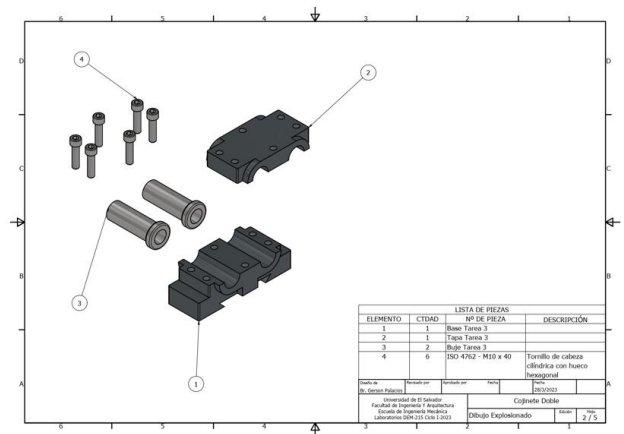
Dibujo de Conjunto

Es aquel dibujo en el que se representa un objeto o mecanismo en su totalidad, mostrando todas las piezas que lo componen y su relación entre ellas.



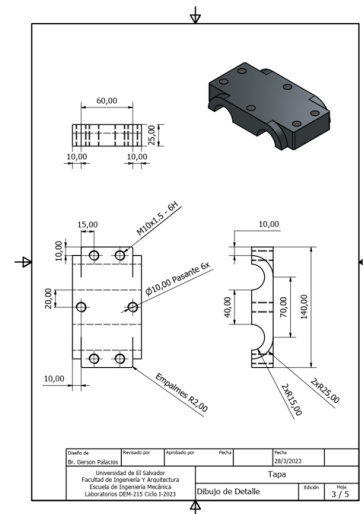
Dibujo Explosionado

Tiene como objetivo señalar en forma organizada y exacta la secuencia de las piezas del objeto que constituyen un conjunto, permitiendo con ello a cualquier operario realizar un desarme y finalmente realizar la reparación o rearmar el conjunto del objeto siguiendo la información del plano.



Dibujo de detalle

Es un tipo de dibujo que representa una pieza o elemento de un conjunto concreto, mostrando sus dimensiones y características específicas.



Contenido del Proyecto Final de Laboratorio

Fecha de Entrega: Sábado 27 de Mayo. *No habrá prórroga de entrega.*

- Portada con el nombre del proyecto asignado
- Índice
- Introducción breve al proyecto
- Desarrollo donde detallarán un marco teórico sobre las aplicaciones y usos de los sistemas mecánicos modelados y su respectiva descripción técnica sobre el material asignado a los elementos modelados. Es decir, las propiedades mecánicas y composición química del material asignado. La selección del material se basará en la Biblioteca de Inventor o Autodesk, y se colocará la mejor opción para los elementos de unión de acuerdo a un fundamento teórico. Para las piezas del ensamble ustedes decidirán bajo su propio criterio el mejor material.
- Planos de Conjunto, Explosionado y Detalle del ensamble.

2. PROGRAMA DEL CURSO DE IMPRESIÓN 3D



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DEL CURSO

I. GENERALIDADES

Fundamentos de Impresión 3D en Metales	
Código:	IMP115
Duración del curso en semanas:	12 semanas
Prerrequisito:	Ciencia de los Materiales II. Diseño de Elementos de Máquinas II. Proceso de fabricación I.

II. DESCRIPCIÓN

Este curso pretende impartir los conocimientos sobre el diseño asistido por computadora CAD y el proceso de fabricación aditivo de la impresión 3D orientada a los metales. Se abarcarán fundamentos de diseño de componentes mecánicos y a su vez de propiedades mecánicas requeridas bajo diseño del material a utilizar como insumo para la impresión 3D. Es de suma importancia que el alumno deba haber cursado con éxito las sesiones de laboratorio de la cátedra de DEM-115 y comprenda los conceptos básicos de tratamientos térmicos de los aceros, ya que serán la base para este programa de formación.

III. OBJETIVO GENERAL

Que el estudiante sea capaz de desarrollar sus propios componentes mecánicos según lo requiera la labor de diseño mediante la impresión 3D aplicada a los metales, siendo los fundamentos de esta asignatura el diseño CAD y la ciencia de los materiales aplicada a los metales.

IV. METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA - APRENDIZAJE

El docente tutor tendrá las funciones de orientación, mediación y facilitación de las experiencias de aprendizaje a través de:

- Desarrollo de tutorías
- Sistema de comunicación sincrónica y asincrónica
- Exposición de los contenidos utilizando la plataforma virtual

El estudiante en el desarrollo de sus habilidades de aprendizaje independiente, autónomo y pensamiento crítico deberá realizar:

- Auto evaluaciones al final de cada contenido
- Discusiones en grupos
- Reflexiones sobre contenidos
- Aplicaciones prácticas
- Investigaciones

V. RECURSOS EDUCACIONALES

Materiales	Tecnología	Equipos
material impreso/digital: <ul style="list-style-type: none">• libros• folletos• guías	Recursos digitales Medios audiovisuales Medios informáticos Bibliotecas virtuales	Computadoras y dispositivos móviles Proyectores Equipos multifunciones Impresora 3D SLM

VI. CONTENIDO

UNIDAD	CONTENIDO	DURACIÓN EN SEMANAS
1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD	1.1. Repaso de conocimientos sobre dibujo técnico mecánico 1.2. Repaso de sesiones de laboratorio CAD de DEM-115 1.3. Modelado 3D de piezas y exportación de archivos	3
2. GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D	2.1 Fundamentos de la impresión 3D en FDM 2.2 Principios de la tecnología SLM en impresión 3D de metales	3
3. PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS	3.1 Fundamentos de los aceros y el diagrama de hierro carburo de hierro 3.2 Principios básicos de tratamientos térmicos en aceros hipo eutectoides e hiper eutectoides	3

4. DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES	4.1 Aplicaciones de diseño mecánico en impresión 3D usando tecnología SLM. 4.2 Pre procesado y post procesado de componentes impresos en 3D SLM.	4
---	---	---

VII. PROGRAMACIÓN DE EVALUACIONES

Evaluación	Ponderación
Evaluaciones parciales (3)	45%
Actividades en líneas	10%
Prácticas de laboratorios	25%
Tareas de resolución de problemas	20%
Total	100%

VIII. BIBLIOGRAFÍA

<ul style="list-style-type: none"> • Guía de Laboratorios de Diseño Asistido Por Computadora de la Cátedra de DEM-115 • Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Askeland. • Introducción a la Metalurgia Física, Avner • Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley 9na Ed.

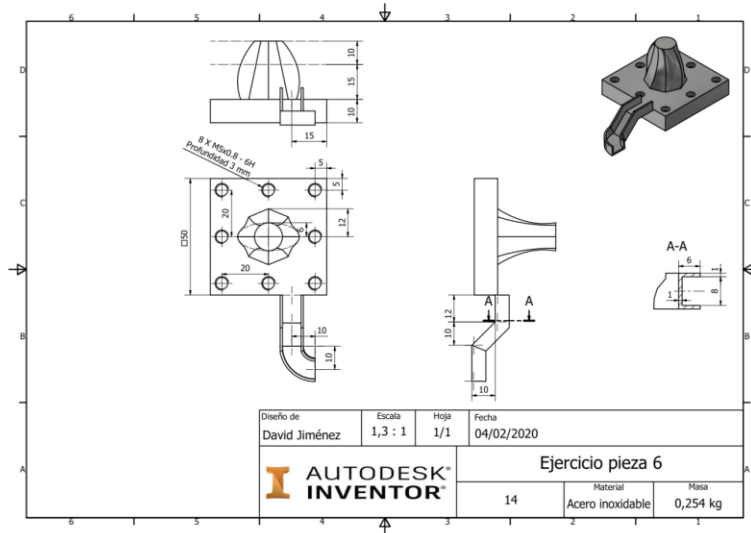
3. AUTOEVALUACIÓN DE PRERREQUISITOS DEL CURSO



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none"> Modelado CAD de Piezas en Autodesk Inventor

Problema 1: Teniendo en cuenta el siguiente plano, realizar el modelado CAD del sólido a continuación. Considerar el valor de la masa como criterio de validación del correcto modelado del sólido:





AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none">• Modelado CAD de Piezas en Autodesk Inventor

Problema 2: Utilizando el archivo CAD proporcionado por el docente, realizar los planos utilizando la norma ANSI mm, haciendo uso de las vistas y cotas necesarias para la correcta fabricación del sólido en cuestión:





AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none">• Tratamientos Térmicos Comunes en los Aceros• Ciencia de Los Materiales

Problema 3: ¿Cómo se conoce al tipo de recocido aplicable para aceros con contenido de Carbono inferior al 0.25%? Indique el rango de temperaturas en el cual se puede aplicar este tratamiento térmico.



AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none">• Tratamientos Térmicos Comunes en los Aceros• Ciencia de Los Materiales

Problema 4: ¿La martensita es una fase en equilibrio? ¿Cuál es el nombre del proceso de tratamiento térmico por el cual el acero se calienta por debajo de la temperatura eutectoide en el cual la martensita se precipita y forma ferrita y cementita?



AUTOEVALUACIÓN A DESARROLLAR POR EL ESTUDIANTE	CONTENIDOS
El estudiante deberá llevar a cabo los siguientes problemas teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos como prerrequisitos para poder llevar a cabo satisfactoriamente el programa de formación para impresión 3D en metales.	<ul style="list-style-type: none">• Modelado CAD de Piezas en Autodesk Inventor• Tratamientos Térmicos Comunes en los Aceros

Problema 5: Indique el proceso de TT en el cual involucra austenitizar el acero, templándolo a alguna temperatura por debajo de la nariz de la curva TTT, y mantener esa temperatura hasta que toda la austenita se transforma en...

4. GUIONES DE CLASE

4.1 UNIDAD 1: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES**



GUIÓN DE CLASE

UNIDAD I: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD

PRESENTADO POR:

**ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA
GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA
EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ
EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ**

CIUDAD UNIVERSITARIA, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2024

Contenido

UNIDAD I: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD	3
1.1 REPASO SOBRE CONOCIMIENTOS DE DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO	3
1.1.1 NORMAS DE DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO	3
1.2 REPASO DE SESIONES DE LABORATORIOS DE CAD DE LA CÁTEDRA DEM-215 .	8
1.3 EXPORTACIÓN DE ARCHIVOS CAD A FORMATO DE MALLA STL.....	10

UNIDAD I: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD

1.1 REPASO SOBRE CONOCIMIENTOS DE DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO

El dibujo técnico mecánico es una forma de comunicación visual que se utiliza en la ingeniería y en los campos industriales para representar piezas, mecanismos y conjuntos de máquinas de manera precisa y clara. Este tipo de dibujo sigue reglas estandarizadas que permiten que los ingenieros, diseñadores, técnicos y operarios puedan interpretar y fabricar productos de forma coherente y sin ambigüedades.

Dentro de los aspectos básicos y fundamentales de este campo se contemplan las normas de dibujo técnico, los sistemas de vistas y demás consideraciones que hacen de la interpretación de planos de componentes mecánicos una tarea estandarizada y fácil de comprender y ejecutar.

1.1.1 NORMAS DE DIBUJO TÉCNICO MECÁNICO

Las normas de dibujo técnico son esenciales para garantizar que los planos y diseños sean comprensibles de manera universal, facilitando la comunicación entre diseñadores, ingenieros y fabricantes. Las más reconocidas son las normas ISO, ANSI y DIN, que aseguran la coherencia y precisión en la creación y lectura de dibujos técnicos.

La **ISO (International Organization for Standardization)** es una organización global que establece normas internacionales para una amplia gama de industrias, incluido el dibujo técnico. Las normas ISO relacionadas con el dibujo técnico se utilizan en muchos países, especialmente en Europa y otras partes del mundo.

Principales Normas ISO para Dibujo Técnico:

- **ISO 128:** Establece las reglas generales para la representación de dibujos técnicos, como el uso de diferentes tipos de líneas, simbología y vistas.
- **ISO 129:** Regula la acotación en los dibujos técnicos, asegurando la claridad y precisión en las dimensiones de las piezas.
- **ISO 1101:** Define las tolerancias geométricas que deben indicarse en los dibujos para garantizar que las piezas se fabriquen según especificaciones exactas.
- **ISO 5457:** Describe los formatos y tamaños estándar de las hojas para dibujos técnicos (A0, A1, A2, A3, A4).

- **ISO 2768:** Normas sobre tolerancias dimensionales para componentes mecánicos y piezas que no requieren tolerancias individuales especificadas.

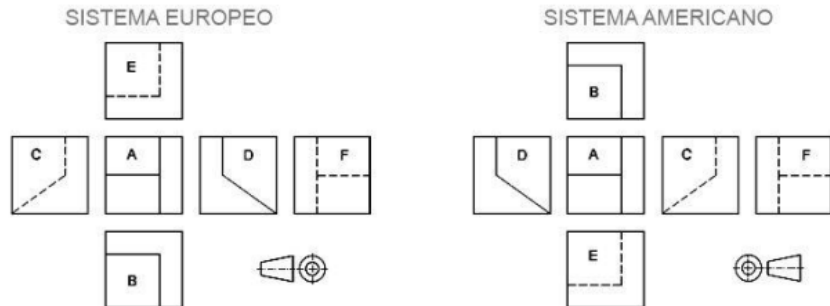
La **ANSI (American National Standards Institute)** es el organismo que regula las normas en los Estados Unidos. Las normas ANSI son principalmente utilizadas en Norteamérica y contienen reglas específicas para la representación de dibujos técnicos mecánicos.

Principales Normas ANSI para Dibujo Técnico:

- **ANSI Y14.5:** Es la norma más conocida y utilizada en el dibujo técnico mecánico en Estados Unidos. Define la acotación geométrica y las tolerancias de fabricación, con detalles sobre cómo deben representarse los controles de forma, orientación, ubicación y tolerancia.
- **ANSI Y14.1:** Establece el formato y los tamaños estándar de las hojas para dibujos técnicos, similar a la ISO 5457.
- **ANSI Y14.3:** Trata sobre las proyecciones ortográficas en los dibujos técnicos, describiendo las vistas principales (frontal, lateral, superior) para la representación de objetos tridimensionales en 2D.
- **ANSI Y14.6:** Describe los estándares para la representación de roscas y tornillos en los dibujos técnicos.

Diferencias con las normas ISO:

- **Sistema de Proyección:** Una diferencia importante entre ANSI e ISO está en la representación de proyecciones ortogonales. Mientras que **ISO** usa la **proyección del primer ángulo**, ANSI utiliza la **proyección del tercer ángulo**. Esto cambia la disposición de las vistas (por ejemplo, en ANSI, la vista superior está encima de la vista frontal, mientras que, en ISO, la vista superior está debajo de la vista frontal). Podemos apreciarlo en la siguiente imagen:



- **Uso Regional:** ANSI es el estándar predominante en Norteamérica, mientras que ISO tiene mayor aceptación internacional.

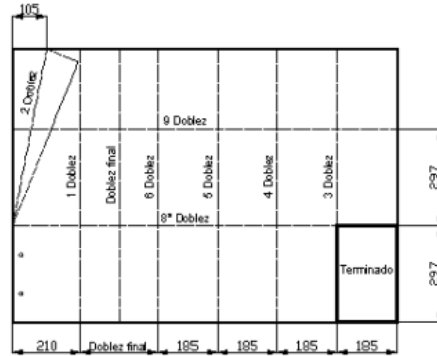
La **DIN** (Deutsches Institut für Normung) es el Instituto Alemán de Normalización, encargado de establecer normas para una amplia gama de industrias, incluyendo el dibujo técnico mecánico. Las normas **DIN** son ampliamente utilizadas en Alemania y, en muchos casos, sirven como base para estándares internacionales.

Las normas **DIN** establecen especificaciones técnicas para el diseño, fabricación y funcionamiento de productos y procesos en una variedad de sectores. En el contexto del dibujo técnico, las normas DIN definen los procedimientos para la representación gráfica de piezas y componentes mecánicos, garantizando uniformidad y precisión.

Principales Normas DIN Relacionadas con Dibujo Técnico

1. **DIN 6 (Dimensiones de Papel):**
 - o Define los formatos estándar de las hojas de papel utilizados en dibujo técnico. Estos incluyen los tamaños **A0, A1, A2, A3, A4**, que son compatibles con las normas internacionales ISO (ISO 216). En la imagen adjunta se ejemplifica sobre esta distribución de formatos de papel y su respectivo método de plegado:

Formato A0 = 841 x 1189



Formato A1 = 594 x 841



2. **DIN 5 (Tipos de Líneas):**

- Especifica los diferentes tipos de líneas utilizados en los dibujos técnicos (continuas, discontinuas, mixtas, etc.) para representar bordes visibles, aristas ocultas, ejes de simetría, entre otros.

3. **DIN 406 (Vistas y Proyecciones):**

- Define cómo se deben representar las vistas y proyecciones en un dibujo técnico. Esto incluye las reglas para la proyección ortogonal y el uso de cortes y secciones en las representaciones.

4. **DIN 1356 (Normas de Acotación):**

- Esta norma establece cómo deben colocarse las dimensiones en los dibujos técnicos, incluyendo el tamaño y tipo de fuente, el estilo de las líneas de referencia, y cómo se deben anotar tolerancias.

5. **DIN 406-11 (Simbología para Roscas y Tornillos):**

- Proporciona la simbología para la representación de roscas, tornillos y otros elementos de fijación, asegurando que estos componentes se representen de manera clara y comprensible en los dibujos.

6. **DIN 406-10 (Cortes y Secciones):**

- Define las reglas para la representación de cortes y secciones, que son esenciales para mostrar detalles internos de piezas complejas que no pueden verse desde el exterior.

7. DIN 7184 (Tolerancias y Ajustes):

- Relacionada con las tolerancias geométricas y dimensionales, esta norma especifica los límites permisibles de variación para asegurar que las piezas encajen adecuadamente durante el montaje.

Relación con las Normas Internacionales

Muchas de las normas DIN han sido adoptadas como base para las normas internacionales **ISO**. De hecho, la normalización en Europa y gran parte del mundo ha estado influenciada por el sistema DIN, que tiene una larga historia de estandarización en ingeniería. Por ejemplo, las normas DIN para el tamaño de papel, tolerancias y símbolos técnicos son idénticas o muy similares a las normas ISO correspondientes.

Importancia de las Normas DIN en el Dibujo Técnico

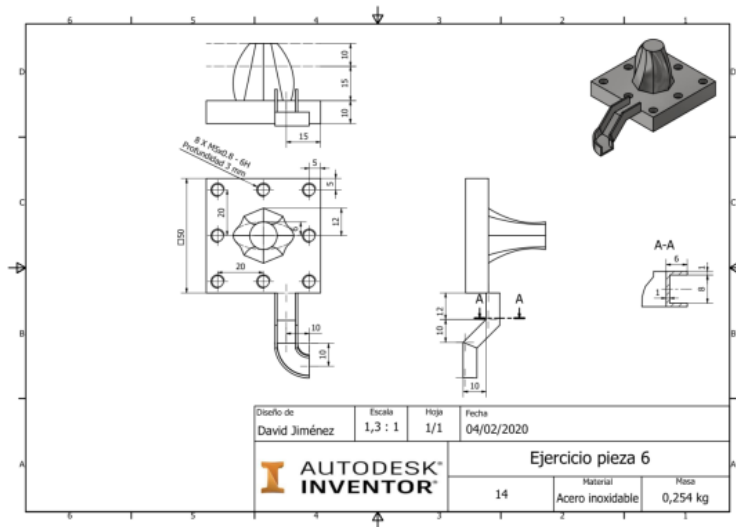
Las normas DIN son reconocidas por su alto grado de precisión y detalle. En el contexto del dibujo técnico mecánico, son fundamentales para:

- Garantizar la claridad y consistencia en los diseños, evitando malentendidos en la fabricación.
- Asegurar que los componentes mecánicos diseñados y fabricados bajo estas normas cumplan con requisitos estrictos de calidad y compatibilidad.
- Facilitar la cooperación internacional, ya que muchas empresas en Alemania y otras partes del mundo las adoptan como estándares.

1.2 REPASO DE SESIONES DE LABORATORIOS DE CAD DE LA CÁTEDRA DEM-215

Para llevar a cabo esta sección realizaremos las siguientes actividades del archivo de autoevaluación, las cuales nos permitirán afinar nuestros conocimientos adquiridos en estos laboratorios previos:

Problema 1: Teniendo en cuenta el siguiente plano, realizar el modelado CAD del sólido a continuación. Considerar el valor de la masa como criterio de validación del correcto modelado del sólido:



Problema 2: Utilizando el archivo CAD proporcionado por el docente, realizar los planos utilizando la norma ANSI mm, haciendo uso de las vistas y cotas necesarias para la correcta fabricación del sólido en cuestión:



Para ambas actividades, es necesario disponer de nuestro programa de modelado CAD Autodesk Inventor para llevar a cabo las respectivas actividades de modelado 3D. Éstas se llevarán en conjunto con el docente tutor en el laboratorio de impresión 3D en Metales.

1.3 EXPORTACIÓN DE ARCHIVOS CAD A FORMATO DE MALLA STL

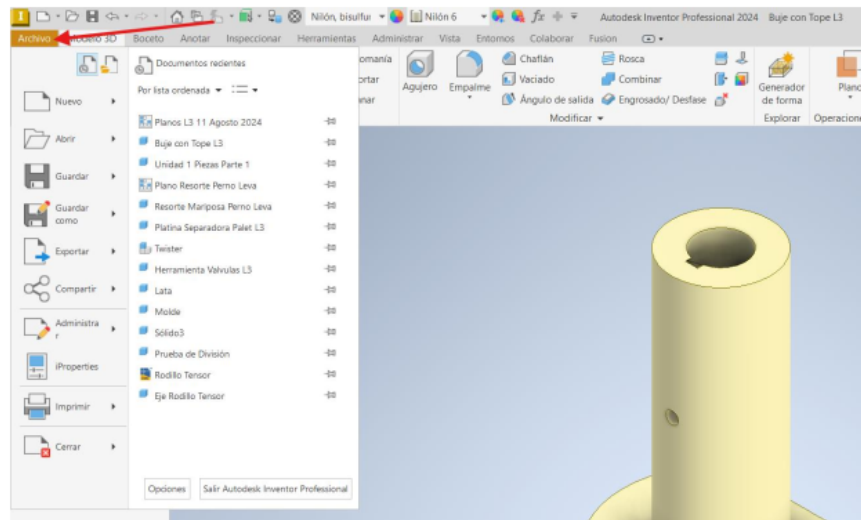
El proceso de impresión 3D requiere que el archivo se encuentre en un formato estándar CAD compatible con la mayoría de programas de modelado y procesado 3D. Tal es el caso del formato de archivo CAD: STL.

El archivo STL es un componente fundamental en el proceso de impresión 3D, ya que actúa como un puente entre el diseño digital y la materialización física de un objeto tridimensional. Originado en el campo de la estereolitografía, el término «STL» proviene de las siglas en inglés «Stereolithography» o «Standard Tessellation Language».

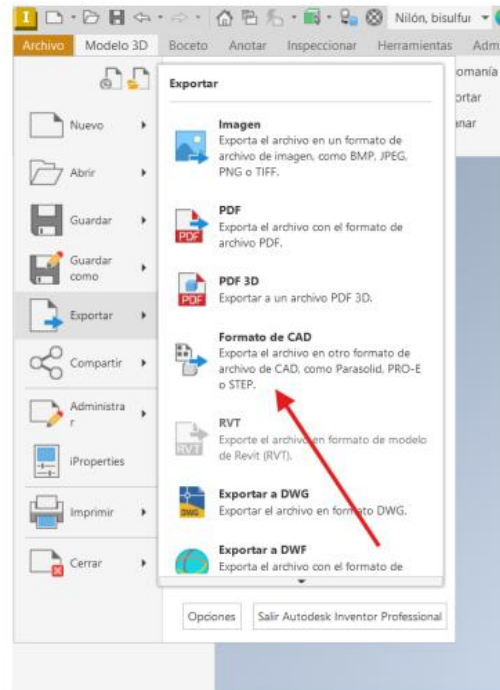
En su esencia, un archivo STL representa la geometría de un objeto tridimensional mediante una malla de triángulos interconectados. Esta representación se logra mediante la segmentación del objeto en una serie de triángulos. Cada uno se define por sus coordenadas en el espacio tridimensional. Estos triángulos se unen entre sí para formar una estructura continua que describe la forma y la superficie del objeto de manera digital.

Para ello se procederá de la siguiente forma:

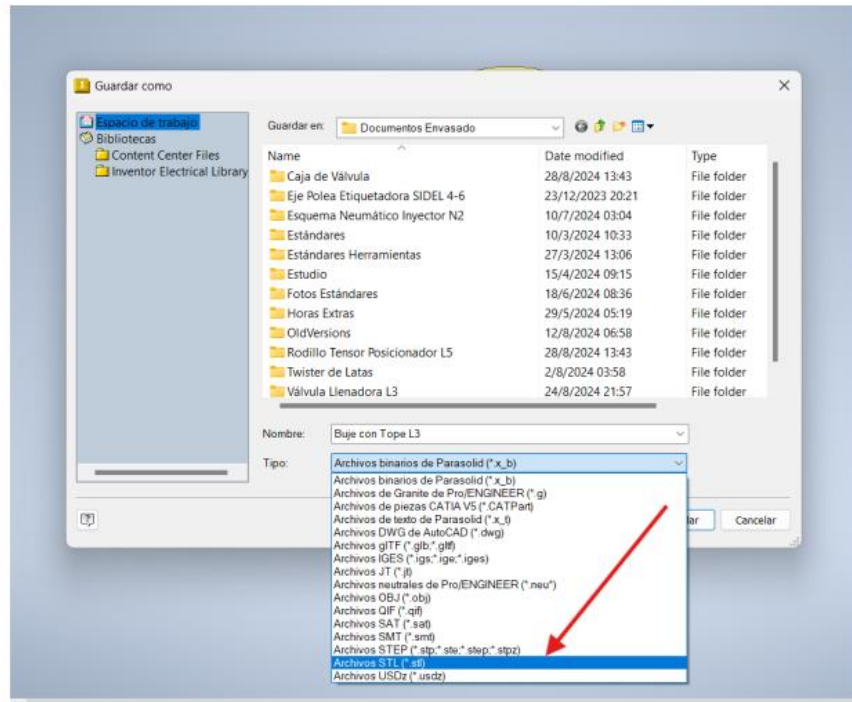
Nos dirigimos al apartado de Archivo de Autodesk Inventor situado en la esquina superior izquierda:



Nos dirigimos hacia la pestaña de Exportar donde encontraremos distintas opciones de exportado de nuestro componente según sea la necesidad. Para nuestro caso exportaremos en Formato CAD:



Seleccionamos el formato STL en las opciones de guardado del archivo y damos Clic finalmente en Guardar Archivo:



4.2 UNIDAD II: GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES**



**GUIÓN DE CLASE
UNIDAD II: GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D**

PRESENTADO POR:

**ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA
GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA
EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ
EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ**

CIUDAD UNIVERSITARIA, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2024

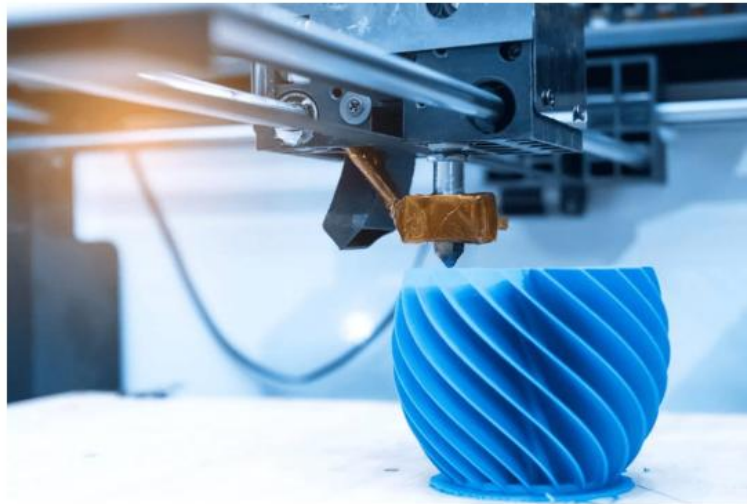
Contenido

UNIDAD II: GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D.....	3
2.1 FUNDAMENTOS DE LA IMPRESIÓN 3D FDM	3
2.2 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA SLM EN IMPRESIÓN 3D EN METALES	8

UNIDAD II: GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D

2.1 FUNDAMENTOS DE LA IMPRESIÓN 3D FDM

La **impresión 3D FDM** (Fused Deposition Modeling), también conocida como **FFF** (Fused Filament Fabrication), es una de las técnicas más populares y accesibles de fabricación aditiva. Esta tecnología se basa en la creación de objetos capa por capa, utilizando un filamento termoplástico fundido. Es muy utilizada en la creación de prototipos rápidos, modelos funcionales y piezas finales en diversas industrias.



Principio de Funcionamiento

1. **Preparación del Modelo 3D:**
 - o El proceso comienza con la creación de un modelo digital 3D, que puede diseñarse mediante software CAD (Diseño Asistido por Computadora) o descargarse de bibliotecas en línea. Los formatos más comunes para los modelos 3D son **STL**, **OBJ**, y **AMF**.
2. **Slicer o Laminador:**

- El archivo 3D se introduce en un software llamado **licer** (como **Cura**, **PrusaSlicer** o **Simplify3D**), que convierte el modelo en capas bidimensionales finas y genera las instrucciones de impresión (código G). Estas instrucciones determinan los movimientos de la impresora, la temperatura de extrusión, la velocidad de impresión, y más.

3. Proceso de Impresión:

- La impresora FDM utiliza un filamento de material termoplástico (como **PLA**, **ABS**, **PETG**, entre otros) que se alimenta en un cabezal de impresión con un extrusor.
- El filamento es calentado en el **hotend** (boquilla o cabezal caliente) hasta su punto de fusión y luego se deposita capa por capa sobre una cama de impresión. El cabezal se mueve siguiendo las instrucciones generadas por el slicer, mientras que la cama permanece fija o también puede moverse en algunos diseños de impresoras.
- A medida que el material se enfría, se solidifica, formando la estructura del objeto capa por capa. Cada capa nueva se deposita sobre la anterior, construyendo el objeto final.

Componentes Principales de una Impresora FDM

1. Extrusor:

- Es el mecanismo que alimenta el filamento hacia el hotend. Existen dos tipos de extrusores principales:
 - **Extrusión directa:** El filamento se alimenta directamente en la boquilla desde el motor del extrusor.
 - **Extrusión Bowden:** El filamento se empuja desde un motor a distancia, a través de un tubo hacia el hotend.

2. Hotend:

- Es el componente encargado de fundir el filamento para que pueda ser extruido a través de la boquilla. Controla la temperatura, que varía según el tipo de material utilizado (por ejemplo, PLA a unos 200°C, ABS a 240°C).

3. Cama de Impresión:

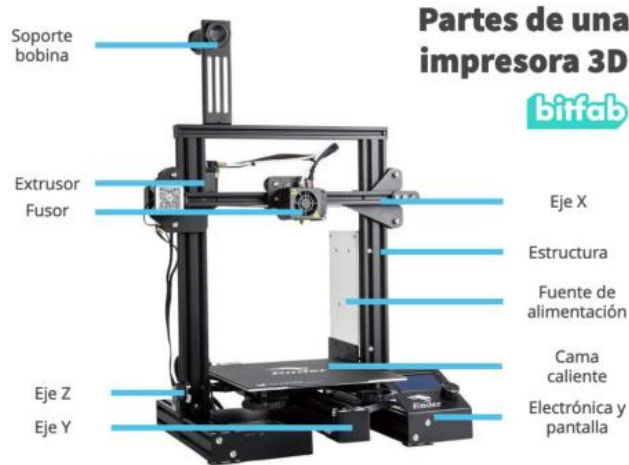
- La base sobre la que se imprime el objeto. En algunos casos, la cama está **calentada** para mejorar la adhesión de las primeras capas y evitar la deformación de materiales como ABS.
- Materiales de la cama: vidrio, aluminio o superficies especiales como **BuildTak** o **PEI**.

4. Ejes de Movimiento (X, Y, Z):

- Las impresoras FDM se mueven en tres ejes:
 - El eje **X** y **Y** para los movimientos laterales.
 - El eje **Z** controla la altura de la capa (movimiento vertical).
- Estos movimientos precisos permiten que el material se deposite exactamente en la ubicación deseada.

5. Ventiladores de Enfriamiento:

- Los ventiladores son fundamentales para enfriar rápidamente el filamento después de ser depositado, lo que mejora la calidad superficial y evita deformaciones.



Partes de una impresora 3D

biffab

Materiales Comunes en la Impresión FDM

1. PLA (Ácido Poliláctico):

- o Uno de los materiales más utilizados. Es fácil de imprimir, no emite gases tóxicos y tiene una buena adhesión a la cama. Sin embargo, es más frágil que otros plásticos y tiene un punto de fusión relativamente bajo, lo que lo hace menos adecuado para piezas expuestas a altas temperaturas.

2. ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno):

- o Es más resistente que el PLA, con mejor resistencia al calor y al impacto. Sin embargo, requiere una cama caliente y emite vapores que pueden ser molestos, por lo que se recomienda utilizar en ambientes ventilados.

3. PETG (Tereftalato de Polietileno Glicolado):

- o Combina la facilidad de impresión del PLA con la resistencia y durabilidad del ABS. Es resistente a la humedad y es ideal para piezas funcionales.

4. TPU (Poliuretano Termoplástico):

- Es un material flexible, utilizado para imprimir piezas que requieren elasticidad, como juntas o piezas de protección.

Parámetros Importantes en la Impresión FDM

1. Altura de Capa:

- La altura de capa define el grosor de cada capa de material depositada. Una altura de capa más baja (por ejemplo, 0.1 mm) da lugar a una mayor resolución y suavidad superficial, pero aumenta el tiempo de impresión. Alturas mayores (0.2 - 0.3 mm) aceleran la impresión pero disminuyen el nivel de detalle.

2. Velocidad de Impresión:

- Afecta directamente el tiempo que tarda en imprimirse una pieza. Imprimir demasiado rápido puede comprometer la calidad, causando defectos como capas mal alineadas o hilos de filamento no fundido correctamente.

3. Temperatura de Extrusión:

- Debe ajustarse en función del tipo de filamento utilizado. Cada material tiene su propia temperatura óptima de fusión que debe respetarse para obtener buenos resultados.

4. Relleno (Infill):

- Se refiere a la estructura interna del objeto impreso. Generalmente se imprime con un patrón de malla que puede variar en densidad. Un mayor porcentaje de relleno aumenta la resistencia de la pieza, pero también aumenta el tiempo de impresión y el consumo de material.

5. Soportes:

- Algunas geometrías complejas requieren soportes temporales para evitar que las capas se desplomen. Estos soportes se eliminan una vez completada la impresión.

Ventajas de la Impresión FDM

- **Accesibilidad:** Las impresoras FDM son generalmente asequibles y fáciles de operar, lo que las hace ideales para aficionados, profesionales y pequeñas empresas.
- **Variedad de Materiales:** Hay una amplia gama de filamentos disponibles, lo que permite producir piezas con diversas propiedades mecánicas, térmicas o químicas.
- **Prototipado Rápido:** Es ideal para la creación de prototipos y modelos rápidos, permitiendo evaluar y modificar diseños a bajo costo.

Limitaciones de la Impresión FDM

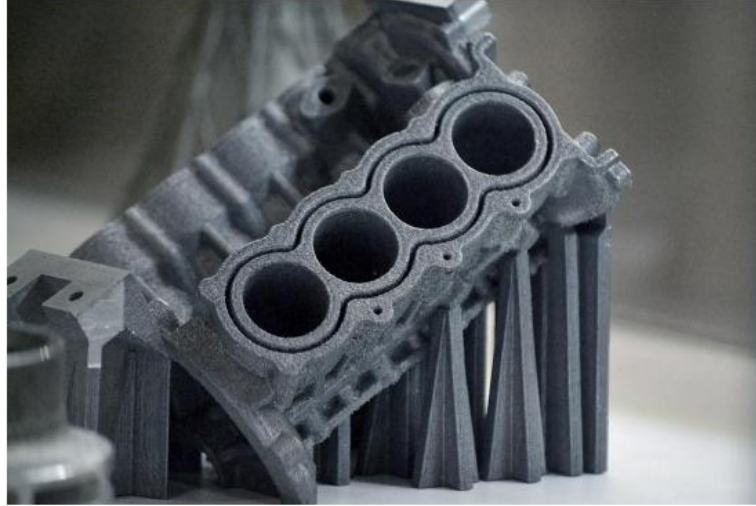
- **Resolución Relativamente Baja:** Aunque FDM es eficaz para muchas aplicaciones, no tiene la misma precisión y acabado superficial que otras tecnologías como **SLA** (Estereolitografía) o **SLM** (Sinterización Láser de Metales).
- **Velocidad:** En comparación con otras tecnologías de fabricación, FDM puede ser más lenta, especialmente cuando se imprimen objetos con muchas capas finas.
- **Adherencia de Capas:** Debido a que las piezas se construyen capa por capa, las uniones entre capas pueden ser puntos débiles en la estructura final.

2.2 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA SLM EN IMPRESIÓN 3D EN METALES

La **SLM (Selective Laser Melting)**, o **fusión selectiva por láser**, es una avanzada tecnología de fabricación aditiva (impresión 3D) utilizada principalmente para la creación de piezas metálicas. A diferencia de otras tecnologías de impresión, la SLM no sinteriza el material, sino que lo funde completamente mediante un láser de alta potencia, lo que da como resultado piezas con propiedades mecánicas comparables a las obtenidas mediante métodos de manufactura tradicionales como la fundición o el mecanizado.

Principio de Funcionamiento

La tecnología **SLM** se basa en el uso de un láser de alta energía que funde y fusiona polvo metálico para construir objetos capa por capa. El proceso es aditivo, lo que significa que la pieza final se crea agregando material en lugar de removerlo, como en el mecanizado CNC.



Pasos del Proceso:

1. Preparación del Archivo 3D:

- El primer paso en la fabricación con SLM es la creación de un modelo digital 3D mediante software CAD. Este modelo se convierte en un archivo que contiene la geometría de la pieza, generalmente en formato **STL**.
- El archivo STL se divide en capas muy finas, que son las que el sistema SLM utilizará para construir la pieza, en un software de preparación de impresión llamado **slicer**.

2. Distribución del Polvo Metálico:

- El material de partida en SLM es un polvo metálico ultrafino, típicamente con un tamaño de partícula entre 20 y 50 micrómetros. Materiales comunes incluyen acero inoxidable, titanio, aluminio, cobalto-cromo, y aleaciones de níquel (como el Inconel).
- Una capa de polvo extremadamente fina (del orden de 20 a 100 micrones) se distribuye sobre la plataforma de construcción de la impresora SLM utilizando un rodillo o una cuchilla.

3. Fusión Selectiva con Láser:

- Un láser de alta potencia (generalmente un láser de fibra) se escanea selectivamente sobre la capa de polvo según la geometría de la sección transversal de la capa actual. El láser **funde completamente** las partículas de polvo, creando una fusión sólida y homogénea de material.
- La energía del láser se controla de manera precisa para garantizar que solo se fundan las áreas deseadas, dejando el resto del polvo intacto. El polvo no fundido permanece en su lugar y actúa como soporte para las capas sucesivas.

4. Construcción Capa por Capa:

- Después de que una capa ha sido fusionada, la plataforma de construcción se baja ligeramente (generalmente el espesor de una capa, alrededor de 20 a 100 micrones), y una nueva capa de polvo se distribuye sobre la anterior. Este proceso se repite hasta que la pieza está completamente formada.

5. Retiro del Polvo No Fundido:

- Al final del proceso, la pieza terminada queda rodeada de polvo no fundido, que se retira cuidadosamente. Este polvo puede reciclarse y reutilizarse en futuras impresiones.

6. Post-procesamiento:

- Las piezas impresas mediante SLM generalmente requieren algún tipo de post-procesamiento, que puede incluir:
 - **Tratamiento térmico** para aliviar tensiones residuales.
 - **Mecanizado adicional** si se requiere un acabado superficial más fino o tolerancias más estrictas.
 - **Pulido o arenado** para mejorar la apariencia y funcionalidad de las piezas.

Características y Ventajas del Proceso SLM

1. Fusión Completa:

- A diferencia de otros procesos como la **SLS (Sinterización Selectiva por Láser)**, donde el polvo se sinteriza parcialmente, en SLM el polvo se funde por completo. Esto da como resultado piezas con una alta densidad y excelentes propiedades mecánicas, comparables a las piezas obtenidas por procesos tradicionales de fundición o mecanizado.

2. Materiales Metálicos:

- La SLM es compatible con una amplia gama de materiales metálicos, incluyendo:
 - **Acero inoxidable:** Para piezas que requieren resistencia a la corrosión.
 - **Titanio:** Material utilizado en aplicaciones aeroespaciales y médicas debido a su alta relación resistencia-peso.
 - **Aluminio:** Ideal para piezas ligeras.
 - **Cobalto-Cromo:** Material utilizado en aplicaciones biomédicas, como implantes.
 - **Inconel:** Aleación de níquel que resiste altas temperaturas, utilizada en la industria aeroespacial y de turbinas.

3. Geometrías Complejas:

- SLM permite la fabricación de piezas con geometrías extremadamente complejas que serían imposibles o muy costosas de producir mediante métodos tradicionales. Esto incluye estructuras internas, canales de refrigeración, piezas con cavidades internas y formas orgánicas.

4. Reducción de Material:

- Dado que el proceso es aditivo, se reduce el desperdicio de material en comparación con los métodos sustractivos, como el mecanizado CNC, donde el material se elimina de un bloque sólido. Esto hace que el SLM sea más

eficiente desde el punto de vista de los recursos, especialmente cuando se trabaja con materiales caros como el titanio o el Inconel.

5. Propiedades Mecánicas Elevadas:

- o Las piezas producidas mediante SLM tienen propiedades mecánicas muy altas, con una densidad cercana al 100%. Esto hace que las piezas impresas mediante SLM sean adecuadas para aplicaciones críticas en la industria aeroespacial, automotriz y médica.

Desafíos y Limitaciones de SLM

1. Costo Elevado:

- o Las impresoras SLM y los materiales en polvo metálico son costosos. Además, el consumo de energía es alto debido a la necesidad de mantener el láser en funcionamiento durante largos períodos y a la complejidad del proceso de enfriamiento.

2. Velocidad de Impresión:

- o El proceso de fusión capa por capa es relativamente lento en comparación con otras tecnologías de fabricación aditiva, como FDM o SLS. Esto limita la productividad, especialmente cuando se requieren piezas grandes.

3. Post-Procesamiento Necesario:

- o Las piezas impresas en SLM generalmente necesitan tratamientos post-procesado (como mecanizado, pulido o tratamientos térmicos) para alcanzar el acabado superficial y las propiedades mecánicas deseadas. Esto puede aumentar el tiempo y costo total de producción.

4. Tensiones Residuales:

- o Debido a las altas temperaturas involucradas, las piezas pueden sufrir tensiones residuales que, si no se gestionan adecuadamente, pueden llevar a deformaciones o incluso grietas durante el proceso de enfriamiento. El uso de tratamientos térmicos posteriores es esencial para mitigar este problema.

5. Control de Calidad del Polvo:

- El polvo metálico utilizado en SLM debe tener características muy específicas (tamaño de partícula, pureza, etc.) para asegurar una fusión adecuada. Además, el polvo reutilizado debe ser filtrado y controlado para evitar la acumulación de contaminantes.

Aplicaciones de la Tecnología SLM

1. Industria Aeroespacial:

- Piezas complejas y ligeras para aviones y motores de cohetes, donde la reducción de peso y el rendimiento a altas temperaturas son críticos.

2. Sector Médico:

- Producción de implantes personalizados, como prótesis de cadera o implantes dentales, que se adaptan a las necesidades específicas del paciente.

3. Automotriz:

- Fabricación de componentes de alto rendimiento, como partes de motores y sistemas de escape, que requieren alta resistencia y tolerancias estrictas.

4. Energía:

- Componentes de turbinas y piezas para la industria del gas y el petróleo, donde se requiere resistencia al desgaste y a la corrosión en condiciones extremas.

4.3 UNIDAD III: PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS ACEROS

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES**



**GUIÓN DE CLASE
UNIDAD III: PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS
EN LOS ACEROS**

**PRESENTADO POR:
ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA
GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA
EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ
EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ
CIUDAD UNIVERSITARIA, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2024**

Contenido

UNIDAD III: PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS ACEROS	3
3.1 FUNDAMENTOS DE LOS ACEROS Y EL DIAGRAMA DE HIERRO CARBURO DE HIERRO.....	3
3.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS HIPO EUTECTOIDES E HIPER EUTECTOIDES	7

UNIDAD III: PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS ACEROS

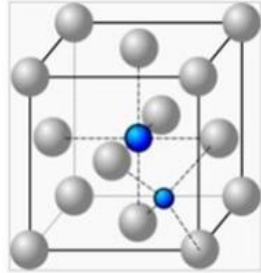
3.1 FUNDAMENTOS DE LOS ACEROS Y EL DIAGRAMA DE HIERRO CARBURO DE HIERRO

El acero es una aleación de hierro y carbono, donde el contenido de carbono varía entre el 0.02% y el 2.11%. El carbono es el elemento clave que modifica la estructura del hierro, aumentando su dureza y resistencia, aunque a mayores contenidos de carbono, el material puede volverse más frágil.

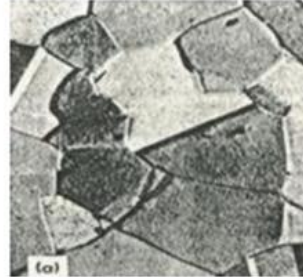
Estructura Cristalina del Acero

El hierro, que es el componente principal del acero, puede existir en dos formas cristalinas diferentes dependiendo de la temperatura:

1. **Ferrita (α):** Tiene una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC). Es la fase estable a temperaturas por debajo de los 912°C. La ferrita es relativamente blanda y dúctil, con una capacidad limitada para disolver carbono (hasta 0.02% de C).
2. **Austenita (γ):** Tiene una estructura cúbica centrada en las caras (FCC) y es estable a temperaturas entre 912°C y 1394°C. La austenita puede disolver hasta 2.11% de carbono, lo que permite la formación de soluciones sólidas importantes en el tratamiento térmico de los aceros.
3. **Cementita (Fe_3C):** Es un compuesto intersticial de hierro y carbono, conocido como **carburo de hierro**. Es una fase muy dura y frágil, que forma parte de las microestructuras en aceros de mayor contenido de carbono.



Estructura típica de la austenita (FCC).



Micrografía interna de la fase austenítica.

Diagrama de Fases Fe-C

Uno de los conceptos más importantes en la metalurgia de los aceros es el **diagrama de fases hierro-carbono (Fe-C)**, que describe las transformaciones de fase en función de la temperatura y el contenido de carbono. Según Avner, las fases clave son:

- **Ferrita (α):** Hierro con bajo contenido de carbono, estable a temperaturas inferiores a 912°C.
- **Austenita (γ):** Hierro con contenido más alto de carbono, estable entre 912°C y 1394°C.
- **Cementita (Fe_3C):** Fase dura y frágil formada a partir de la combinación de carbono y hierro.

Puntos Críticos del Diagrama:

- **A1 (727°C):** Es la temperatura por debajo de la cual la austenita se transforma en ferrita y cementita.
- **A3:** Es la temperatura donde comienza la transformación de la ferrita a austenita (depende del contenido de carbono).
- **Punto eutectoide (727°C y 0.8% C):** En este punto, la austenita se transforma en una mezcla de ferrita y cementita conocida como **perlita**.

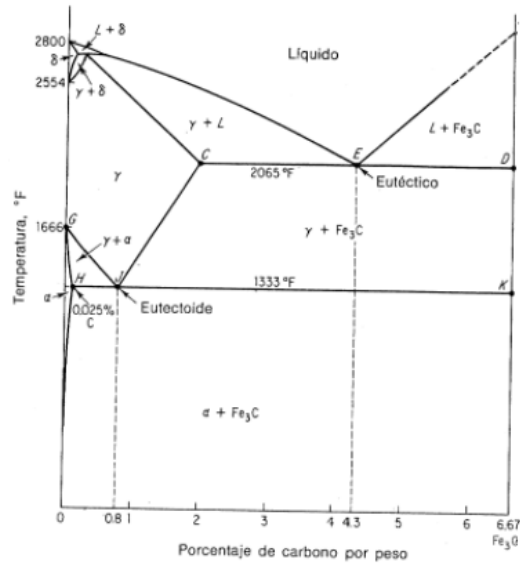


Fig. 7.5 Diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro marcado en términos generales.

Microestructuras Típicas en los Aceros

1. **Perlita:**

- o Es una estructura en capas de ferrita y cementita que se forma al enfriar lentamente un acero eutectoide (0.8% C). La perlita es relativamente dura y resistente, siendo una fase crítica en aceros al carbono.

2. **Martensita:**

- o Se forma durante el temple y es una fase de alta dureza y baja ductilidad, debida a la rápida transformación de la austenita durante el enfriamiento rápido. La martensita tiene una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (BCT).

3. **Bainita:**

- o Es una microestructura que se forma a velocidades de enfriamiento más lentas que las necesarias para formar martensita, pero más rápidas que para formar perlita. Tiene una combinación de buena resistencia y ductilidad.

4. Cementita:

- o Es la fase intersticial de Fe_3C que aparece en aceros con mayor contenido de carbono, siendo extremadamente dura y frágil. En aceros hipoeutectoides, la cementita forma una red alrededor de la perlita.

Clasificación de los Aceros

Según Avner, los aceros pueden clasificarse de diversas maneras, dependiendo de su contenido de carbono y otros elementos de aleación:

1. Aceros al Carbono:

- o Contienen principalmente hierro y carbono, con pequeñas cantidades de otros elementos. Se clasifican en:
 - **Aceros suaves o de bajo carbono** (0.02% - 0.3% C): Son maleables y fáciles de trabajar.
 - **Aceros de medio carbono** (0.3% - 0.6% C): Ofrecen un equilibrio entre resistencia y ductilidad.
 - **Aceros de alto carbono** (0.6% - 2.11% C): Son duros y resistentes, pero más frágiles.

2. Aceros Aleados:

- o Contienen elementos adicionales, como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, entre otros. Estos elementos mejoran las propiedades del acero, como la resistencia al desgaste, la dureza, la resistencia a la corrosión y la dureza a altas temperaturas.

3.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS HIPO EUTECTOIDES E HIPER EUTECTOIDES

Los **tratamientos térmicos** son procesos utilizados para modificar las propiedades mecánicas y físicas de los metales mediante el control de la temperatura, el tiempo de exposición y la velocidad de enfriamiento. Estos tratamientos permiten ajustar características clave como la dureza, resistencia, ductilidad, tenacidad y maquinabilidad de los materiales metálicos, principalmente los aceros.

Objetivos de los Tratamientos Térmicos

Los principales objetivos de los tratamientos térmicos son:

1. **Mejorar las propiedades mecánicas:** Como la dureza, la resistencia y la ductilidad.
2. **Aliviar tensiones internas:** Generadas durante la fabricación, como el forjado, laminado o soldadura.
3. **Aumentar la maquinabilidad:** Para facilitar el mecanizado y el trabajo en procesos de manufactura.
4. **Modificar la microestructura:** Cambiar el tamaño de grano y las fases presentes para ajustar las propiedades.
5. **Mejorar la resistencia al desgaste o a la corrosión:** En casos donde se necesitan materiales que resistan ambientes agresivos.

Principales Tipos de Tratamientos Térmicos

1. **Recocido**
 - o El **recocido** implica calentar el material a una temperatura por encima de su punto crítico y luego enfriarlo lentamente, generalmente dentro del horno. Este tratamiento tiene varios propósitos, tales como suavizar el metal, aumentar su ductilidad, refinar su microestructura o eliminar tensiones residuales.
 - o **Tipos de recocido:**
 - **Recocido de regeneración:** Para restaurar la ductilidad tras un trabajo en frío.

- **Recocido completo:** Se lleva a cabo en aceros con alto contenido de carbono para reducir su dureza y facilitar el mecanizado.
- **Recocido isotérmico:** Implica mantener el material a una temperatura constante durante un tiempo prolongado para obtener una microestructura uniforme.

2. Normalizado

- El **normalizado** es similar al recocido, pero el enfriamiento se realiza al aire (más rápido que en el horno). Esto refina el tamaño del grano y produce un material con mejores propiedades mecánicas. Se utiliza principalmente en aceros al carbono y aceros aleados.
- Beneficios:
 - Mejora la resistencia y dureza.
 - Refina la estructura cristalina.
 - Aumenta la uniformidad del material.

3. Temple

- El **temple** es un proceso en el cual el material se calienta a una temperatura elevada y luego se enfría rápidamente (generalmente en agua o aceite). Este enfriamiento rápido provoca la formación de **martensita**, una estructura cristalina dura y frágil.
- Características del temple:
 - Aumenta significativamente la dureza y resistencia.
 - Reduce la ductilidad y tenacidad, lo que hace que el material sea más quebradizo.
- **Materiales típicos:** Aceros al carbono y aceros aleados.

4. Revenido

- El **revenido** se aplica después del temple para reducir la fragilidad de la martensita y mejorar la tenacidad. Consiste en calentar el acero templado a

una temperatura moderada (por debajo del punto crítico) y luego enfriarlo lentamente. Este proceso equilibra las propiedades de dureza y tenacidad.

- o Tipos de revenido:
 - **Revenido a baja temperatura:** (150-300°C) Aumenta la tenacidad sin reducir demasiado la dureza.
 - **Revenido a alta temperatura:** (450-650°C) Mejora notablemente la ductilidad y la resistencia a impactos.

5. Austemplado

- o El **austemplado** es un proceso especial utilizado para obtener **bainita** en lugar de martensita. Implica enfriar el acero a una temperatura por encima de la martensita, pero por debajo de la temperatura de transformación a perlita, y mantenerlo allí hasta completar la transformación. El resultado es una microestructura de bainita, que tiene buena combinación de dureza y ductilidad.
- o Ventajas:
 - Baja distorsión y mayor resistencia a la fatiga en comparación con el temple.

6. Cementación

- o La **cementación** es un tratamiento térmico utilizado para endurecer la superficie del acero mientras se mantiene un núcleo más dúctil. Esto se logra calentando el acero en presencia de carbono y permitiendo que el carbono se difunda en la superficie. Luego, la pieza se temple, lo que endurece la superficie.
- o Aplicaciones: Se usa en componentes como engranajes, ejes y otros elementos donde se necesita resistencia al desgaste en la superficie y tenacidad en el núcleo.

7. Nitruración

- o En la **nitruración**, el acero se calienta en una atmósfera rica en nitrógeno para permitir que este se difunda en la superficie del material, formando nitruros

de hierro y otros compuestos de nitrógeno que aumentan la dureza superficial sin necesidad de un posterior temple.

- o Ventajas:
 - Mayor dureza superficial y resistencia al desgaste sin distorsión del componente.

8. Tratamientos Térmicos de Solución y Envejecimiento (Precipitación)

- o Se utilizan en aleaciones endurecibles por precipitación, como algunas aleaciones de aluminio, níquel y acero inoxidable. Estos procesos implican calentar la aleación hasta que los elementos de aleación se disuelvan completamente (tratamiento en solución) y luego enfriar rápidamente. Después, el material se somete a un proceso de envejecimiento donde los precipitados se forman en la microestructura, aumentando la resistencia.

Microestructuras Asociadas a los Tratamientos Térmicos

Los tratamientos térmicos modifican la microestructura de los metales, siendo las más comunes:

- **Ferrita:** Estructura blanda y dúctil.
- **Perlita:** Mezcla de ferrita y cementita, de dureza intermedia.
- **Bainita:** Microestructura intermedia entre la perlita y la martensita, combina dureza con ductilidad.
- **Martensita:** Estructura extremadamente dura y frágil.
- **Austenita:** Estructura presente a altas temperaturas, estable en aceros inoxidables.

Consideraciones en los Tratamientos Térmicos

1. **Temperatura:** La temperatura de calentamiento es crítica, ya que define las transformaciones de fase y la formación de nuevas microestructuras.
2. **Tiempo de Sostentamiento:** El tiempo durante el cual el material se mantiene a una temperatura determinada afecta la difusión de elementos de aleación y el tamaño de grano.

3. **Velocidad de Enfriamiento:** Determina la estructura resultante, siendo clave para obtener fases como martensita, bainita o perlita.
4. **Medio de Enfriamiento:** Puede ser aire, agua, aceite o sales, y afecta directamente la rapidez del enfriamiento y, por tanto, las propiedades finales del material.

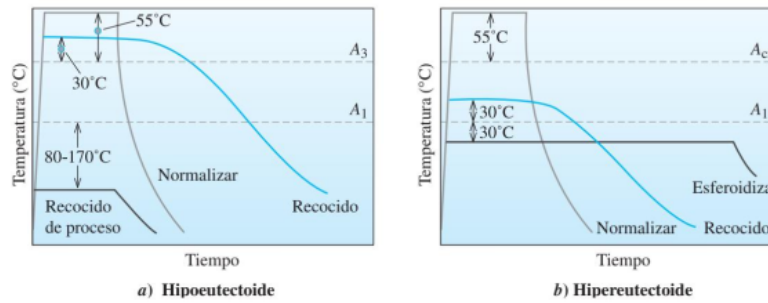


Figura 13-3 Resumen esquemático de los tratamientos térmicos simples de *a)* aceros hipoeutectoides y *b)* aceros hipereutectoides.

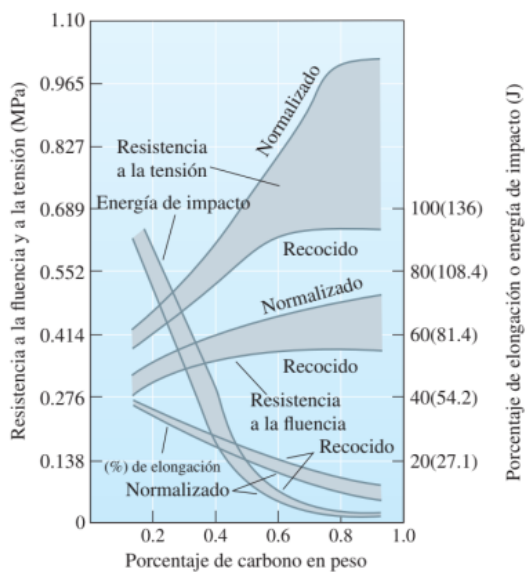


Figura 13-4 Efecto del carbono y del tratamiento térmico en las propiedades de aceros al bajo carbono.

4.4 UNIDAD IV: DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES**



GUIÓN DE CLASE

**UNIDAD IV: DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS
IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES**

PRESENTADO POR:

ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA

GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA

EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ

EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2024

Contenido

UNIDAD IV: DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES.....	3
4.1 APLICACIONES DE DISEÑO MECÁNICO EN IMPRESIÓN 3D USANDO TECNOLOGÍA SLM.....	3
4.2 PRE PROCESADO Y POST PROCESADO DE COMPONENTES IMPRESOS EN 3D SLM.....	7
4.2.1 PRE PROCESADO DEL COMPONENTE	7
4.2.2 POST PROCESADO: APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS	14

UNIDAD IV: DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES

4.1 APLICACIONES DE DISEÑO MECÁNICO EN IMPRESIÓN 3D USANDO TECNOLOGÍA SLM

El **diseño mecánico** utilizando la tecnología **SLM (Selective Laser Melting)** ha revolucionado la manera en que se diseñan y fabrican componentes complejos. Al permitir la fabricación de piezas con geometrías intrincadas y propiedades específicas, esta tecnología se utiliza en una amplia gama de industrias, desde la aeroespacial hasta la médica y automotriz. A continuación, se describen algunos ejemplos de aplicaciones en las que el diseño mecánico basado en SLM ha tenido un impacto significativo.

1. Industria Aeroespacial

La industria aeroespacial se ha beneficiado enormemente de la tecnología SLM debido a su capacidad para reducir el peso de las piezas sin comprometer su resistencia y funcionalidad.

Turbinas de Aviones

Los componentes de las **turbinas de aviones** fabricados mediante SLM pueden ser optimizados para obtener una relación resistencia-peso superior, algo crucial en la eficiencia de los motores. Por ejemplo, las **palas de turbina** y las **carcasas de los motores a reacción** se fabrican utilizando aleaciones de titanio o superaleaciones como Inconel. Con SLM, se pueden diseñar estructuras ligeras con canales de refrigeración internos complejos, lo que mejora la eficiencia térmica de las turbinas.

Estructuras de Soporte

Las estructuras internas y de soporte dentro de aeronaves, como los **módulos estructurales**, también se pueden optimizar mediante SLM utilizando diseños reticulados (lattice structures) que mantienen la rigidez, pero reducen considerablemente el peso. Esto permite ahorrar costos de combustible y mejorar el rendimiento general de las aeronaves.

2. Industria Automotriz

En la industria automotriz, la reducción de peso es un factor clave para mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento del vehículo. La fabricación aditiva mediante

SLM permite desarrollar piezas personalizadas con alta resistencia y complejidad geométrica.

Componentes de Motores

Los componentes de **motores de alto rendimiento**, como las culatas, los pistones y los colectores de escape, se fabrican con SLM utilizando aleaciones de aluminio y acero inoxidable. Estas piezas se pueden optimizar para mejorar la disipación del calor, reducir el peso y aumentar la durabilidad, todo gracias a la libertad de diseño que ofrece SLM. Las geometrías internas de los canales de refrigeración en pistones, por ejemplo, se pueden diseñar de manera óptima para mejorar la eficiencia térmica.

Suspensiones y Estructuras de Chasis

La **suspensión** y las **estructuras del chasis** también pueden beneficiarse de los diseños reticulados que ofrecen una excelente rigidez y resistencia con un peso significativamente reducido. Las piezas de suspensión diseñadas con SLM pueden ser ligeras pero capaces de soportar cargas pesadas en condiciones extremas.

3. Medicina y Odontología

La capacidad de SLM para producir geometrías personalizadas ha impulsado su uso en aplicaciones médicas y dentales, donde la precisión y la personalización son esenciales.

Implantes Personalizados

Los **implantes ortopédicos** para reemplazo de huesos y articulaciones (como caderas y rodillas) son un área clave de aplicación. Con SLM, es posible fabricar implantes metálicos personalizados a partir de escaneos 3D de los pacientes, asegurando un ajuste perfecto y maximizando la biocompatibilidad. Además, se pueden crear superficies porosas controladas para mejorar la osteointegración (crecimiento del hueso sobre el implante).

Prótesis Dentales

Las **coronas y puentes dentales** hechos de aleaciones metálicas como cobalto-cromo se fabrican comúnmente mediante SLM. Estos componentes requieren alta precisión y ajuste, algo que SLM logra sin problemas. Además, se pueden producir estructuras complejas para ajustar las prótesis dentales de manera exacta a la anatomía del paciente.

4. Ingeniería Industrial

En aplicaciones industriales, la tecnología SLM permite desarrollar piezas y herramientas con geometrías complejas que serían imposibles o extremadamente costosas de fabricar mediante métodos convencionales.

Herramientas de Moldeo por Inyección

Los **moldes para inyección de plásticos** fabricados mediante SLM permiten el desarrollo de canales de enfriamiento conformados, que siguen la geometría interna de las piezas inyectadas. Esto mejora el tiempo de ciclo, reduce defectos y aumenta la eficiencia en la producción en masa de piezas plásticas.

Componentes de Máquinas y Turbocompresores

En la industria energética, los **turbocompresores** y las **válvulas** fabricados mediante SLM se pueden diseñar para mejorar el flujo de aire y la eficiencia general. Las estructuras internas y los conductos de aire se pueden optimizar para maximizar la eficiencia del combustible y minimizar las pérdidas de energía.

5. Relojería y Joyería

El nivel de detalle y precisión que permite SLM también ha encontrado aplicaciones en industrias más artesanales como la relojería y la joyería.

Componentes de Relojes

Los **componentes internos de relojes de alta gama**, como las cajas y los movimientos, se pueden fabricar mediante SLM utilizando metales preciosos como oro o platino. Este proceso permite la creación de diseños detallados y altamente personalizados, manteniendo la calidad y la durabilidad del reloj.

Joyería Personalizada

En el campo de la joyería, la **fabricación de joyas personalizadas** con geometrías intrincadas y patrones detallados se facilita mediante SLM. Las piezas de joyería hechas de metales preciosos como oro, plata o platino pueden fabricarse con alta precisión, permitiendo una personalización sin precedentes.

6. Aplicaciones en Robótica y Drones

El diseño mecánico para robótica y drones se ha beneficiado de la flexibilidad que ofrece SLM para producir componentes ligeros, resistentes y con formas personalizadas.

Componentes Estructurales para Drones

Las estructuras ligeras y fuertes de los **drones** fabricadas mediante SLM permiten mejorar su capacidad de carga y su resistencia a las vibraciones y los impactos. Los componentes de aluminio o titanio impresos con SLM optimizan el rendimiento del dron en términos de estabilidad y durabilidad.

Partes para Robótica

En robótica, los **actuadores** y los componentes estructurales de los robots fabricados con SLM pueden tener geometrías optimizadas para mejorar la movilidad y reducir el peso, facilitando su despliegue en aplicaciones industriales o de servicio.

7. Instrumentación Científica y Médica

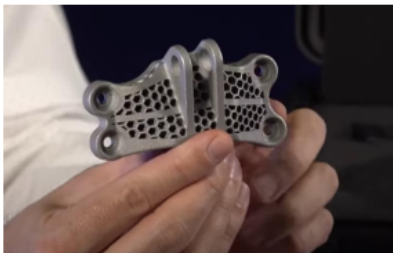
La tecnología SLM también se utiliza para crear componentes complejos y precisos para instrumentación científica y médica, donde la precisión y el rendimiento son críticos.

Instrumentos Quirúrgicos

Los **instrumentos quirúrgicos** personalizados se pueden fabricar mediante SLM para adaptarse a procedimientos específicos. La personalización en términos de tamaño, ergonomía y funcionalidad mejora la precisión quirúrgica y la comodidad del cirujano.

También se adjunta vídeo demostrativo sobre las aplicaciones de este tipo de tecnología de fabricación aditiva para comprender mejor los conceptos previamente indicados:

[IMPRESIÓN 3D DE METALES: Todo lo que necesitas saber. Innovación. Metal Powder Bed Fusion.](#)



4.2 PRE PROCESADO Y POST PROCESADO DE COMPONENTES IMPRESOS EN 3D SLM.

4.2.1 PRE PROCESADO DEL COMPONENTE

Una vez exportado correctamente nuestro archivo CAD, se requiere de un software que nos permita generar el archivo que nuestra impresora interpretará para llevar a cabo, valga la redundancia, la labor de impresión de nuestro elemento.

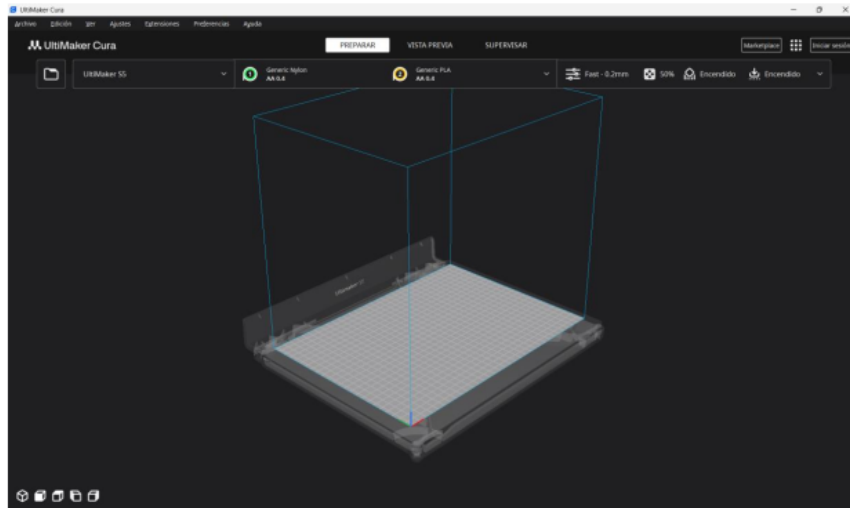
Para ello nos valdremos del programa Cura Ultimaker, el software más común en el rubro de la impresión 3D. Éste programa nos permite ajustar una gran variedad de parámetros de impresión, como la altura de capa, la velocidad de impresión, la densidad de relleno, y muchos otros aspectos que afectan la calidad y el comportamiento de la impresión.

En primera instancia se deberá realizar la instalación del programa desde la página oficial de Ultimaker Cura: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura/>

En ella encontraremos el instalador del programa que nos permitirá realizar la labor de pre procesado de nuestra pieza.

Al tener el programa listo deberemos seleccionar la impresora o modelo de impresora que dispongamos para que Ultimaker Cura realice las configuraciones de material por defecto y demás valores necesarios para la impresión.

Antes de imprimir, Cura muestra una vista previa de cómo se verá la impresión capa por capa, lo que permite identificar posibles problemas y ajustar configuraciones antes de iniciar la impresión.



Para pre procesar nuestra pieza a imprimir importamos el archivo STL de la siguiente forma:

Clic en Archivo y clic en Abrir Archivos:

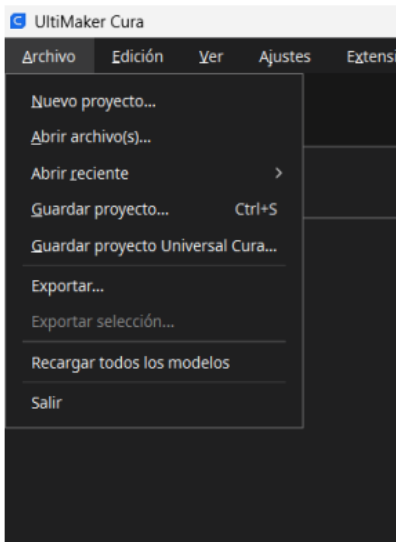
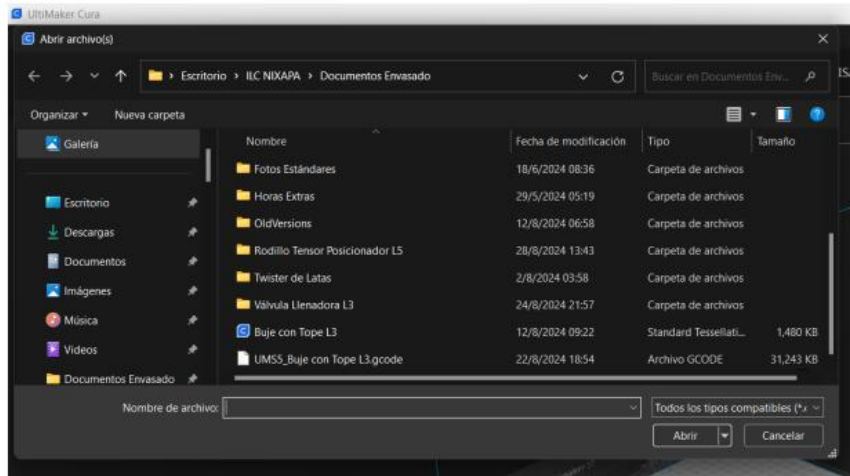
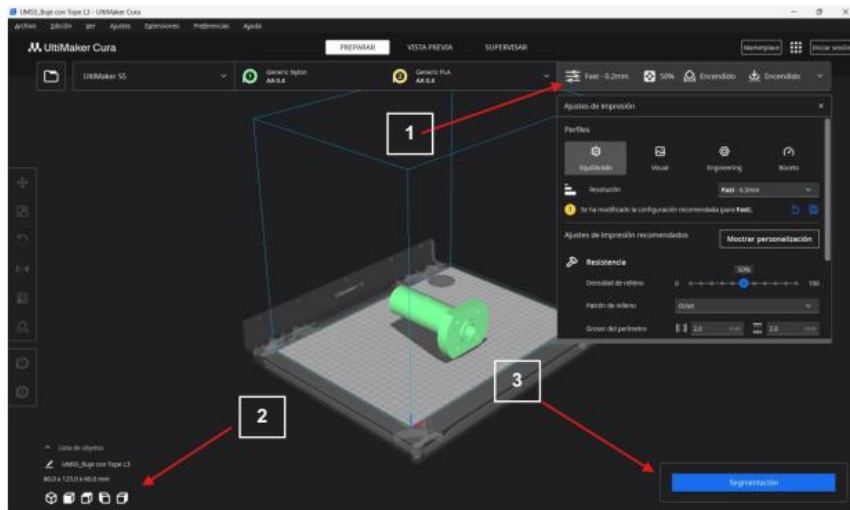


Figura 41. Importación de archivo STL.

Damos clic en el archivo STL de nuestra pieza y Abrir:



Al abrir nuestro archivo, tendremos la siguiente ventana mostrándonos la pieza en cuestión:

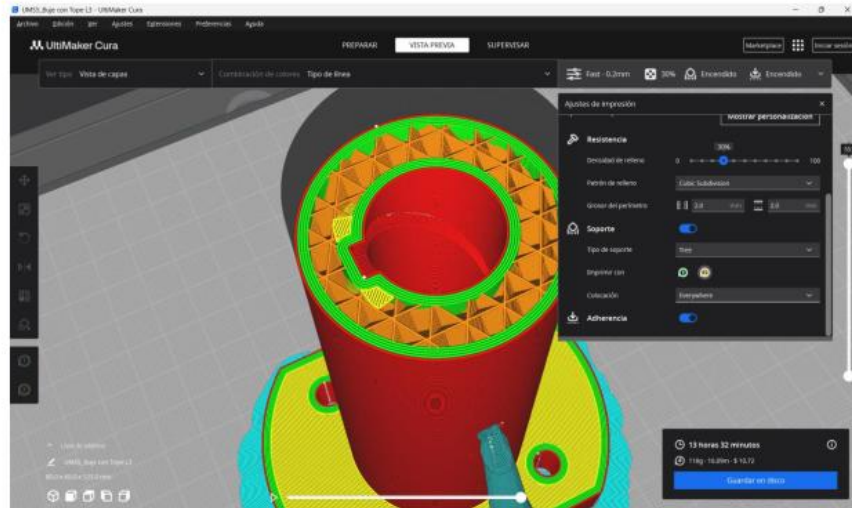


Podemos destacar las siguientes secciones señaladas:

1. **Ajustes de Impresión:** Dentro de los ajustes de impresión que observamos en el punto 1 de la Figura 43, podemos encontrar perfiles de impresión como ajustes predeterminados de velocidad de impresión, densidad de relleno, patrón de relleno y la creación de soportes para impresión de figuras complejas.

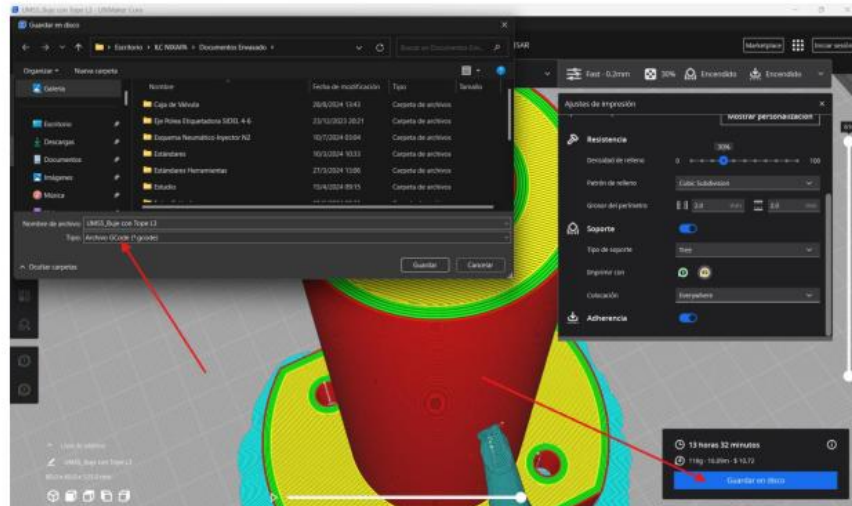
Es necesario destacar la importancia de la función de patrón de relleno y densidad de relleno ya que en ellas encontraremos distintos tipos geométricos de patrones con los cuales se formaran nuestros sólidos. La densidad de relleno incidirá directamente en las propiedades mecánicas de nuestra pieza a fabricar. Esto se puede ejemplificar de forma analógica en la microestructura de los metales, en la cual, al haber mayor número de granos, se incrementa la dureza del material en cuestión y disminuye la ductilidad.

Respecto al patrón de relleno de nuestro sólido, éste se establece a criterio del diseñador según se observa en la siguiente imagen. Para fines educativos de este trabajo, disponemos de una figura cúbica en nuestro patrón de relleno, haciendo alusión a las estructuras cúbicas cristalinas de los metales que nos permiten poseer buenas propiedades mecánicas según lo requiera el diseño. Para asegurarnos de cumplir con los criterios de diseño, el diseñador en cuestión puede hacer uso de programas de análisis de elementos finitos para determinar el comportamiento del material ante las cargas de diseño aplicadas al componente.



2. **Navegación de Vistas:** En el punto 2 de la ventana del programa podemos encontrar los distintos tipos de vistas isométricas en las que podemos previsualizar nuestro archivo de impresión.
3. **Segmentación:** Al hacer clic en el punto 3 de la ventana del programa procedemos a crear el archivo GCODE que nos servirá para enviarlo a nuestra impresora y proceder a la labor de impresión. En dicho apartado lograremos ver las capas que componen nuestro modelo.

Teniendo claro cómo obtendremos la pieza a imprimir procedemos a dar clic en el botón de Guardar en Disco donde se nos abrirá el Explorador de Archivos. En el deberemos cambiar el tipo de archivo a formato GCODE como se ejemplifica en la siguiente imagen:



Es importante recalcar que este proceso es una ejemplificación de la preparación de piezas en la impresión 3D FDM. Para la tecnología SLM, dependerá del modelo de la impresora el tipo de archivo que se puede importar y exportar para la impresión. En la mayoría de casos, se utiliza el formato STEP.

Un archivo STEP (Estándar para el intercambio de datos de productos) es un estándar ISO 10303-21 desarrollado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que proporciona un formato independiente de la plataforma para intercambiar datos CAD entre diferentes sistemas. El formato de archivo STEP se utiliza para modelos CAD 2D y 3D y puede representar cualquier tipo de objeto, desde componentes estructurales hasta ensamblajes completos.

El detalle de esta sección ejemplificada con tecnología FDM es parte de las limitantes de este documento debido a la ausencia de documentación específica de los proveedores de impresoras 3D SLM.

En conclusión, el pre procesado de piezas de la forma antes mencionada es totalmente aplicable tanto para FDM como para SLM, con la diferencia del tipo de archivo a utilizar.

4.2.2 POST PROCESADO: APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Teniendo ya nuestra pieza fabricada por impresión 3D SLM como se muestra en la siguiente imagen, procedemos a pensar sobre los métodos de post procesado requeridos para garantizar excelentes propiedades mecánicas de nuestro componente.

Para fines de estudio seleccionaremos el acero inoxidable austenítico de bajo carbono 316L, el cual es comúnmente usado para impresión SLM. El contenido de carbono (0.03% máx) de este acero es suficientemente bajo para reducir la precipitación de carburos intergranulares a un nivel seguro. Este tipo de aceros pueden mantenerse en un proceso de recocido entre las temperaturas de 420° y 815° C durante 2 horas y enfriarse lentamente sin el peligro de precipitación intergranular. En la Figura 46 observamos los valores de máxima temperatura de recocido que admiten estos aceros para garantizar la solubilidad de los carburos en el acero.

Tabla XVI.3: Temperaturas recomendadas para tratamientos térmicos de aceros inoxidables austeníticos inestabilizados

Tipo	Temperatura (°C)
201, 202	1010 a 1120
301, 302, 302B, 303, 303Se	1010 a 1120
304, 305, 308	1010 a 1120
309, 309S	1040 a 1120
310, 310S	1040 a 1065
314	1040 a 1120
316	1040 a 1120
317	1065 a 1120

Estabilizados

309C	1065 a 1120
318	1040 a 1120
321	950 a 1065
347, 348	980 a 1065

Grados de extra bajo carbono

304L	1010 a 1120
316L, 317L	1040 a 1110

Abarcando estos conceptos fundamentales, se logra tener material base para la generación del documento que servirá como guía de laboratorio de impresión 3D en metales.

5. PLAN DE TRABAJO

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA</p>		<p style="text-align: center;">CURSO: Impresión 3D en Metales</p>	<p style="text-align: center;">SEMANA 1</p>
		<p style="text-align: center;">UNIDAD 1: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD</p>	<p style="text-align: center;">Objetivo de la unidad: Reforzar los conocimientos sobre modelado CAD adquiridos en las sesiones de laboratorio de DEM-115.</p>
No.	TEMA O SUBTEMAS <i>(Si hay un tema general del que se desprendan subtemas puede ponerse primero. Agregar tantas filas como sea necesario)</i>	Horas clase en Modalidad Presencial	Objetivo de aprendizaje <i>(puede ser uno por cada tema-subtema o general por tema)</i>
1.1	Repaso de conocimientos sobre dibujo técnico mecánico	2	Establecer los fundamentos del diseño asistido por computadora CAD desde el dibujo técnico mecánico hasta el modelado 3D de piezas según diseño.
1.2	Repaso de sesiones de laboratorio CAD de DEM-115	2	
No.	Material disponible y características <i>(Referenciarlo al número asignado al tema o subtema que ha sido enumerado en las filas anteriores)</i>		
1.1	Libro texto, y libros de consulta que se describen en el Programa de la asignatura.		
1.2	Guion de clase (diapositivas) y guías de ejercicios elaborados sobre la temática.		

No.	Alternativa de entrega virtual <i>(Aquí deberá escribirse que forma de entrega al estudiante se considera la más idónea. Puede darse tantos detalles como se considere necesario, debe Referenciarlo al número asignado al tema o subtema que ha sido enumerado en las filas anteriores)</i>	Experiencias de aprendizaje (procesos) <i>(Debe colocarse lo que se espera que el estudiante haga en función de la modalidad de entrega virtual señalada)</i>	Tiempo aproximado que le tomará al estudiante realizar la experiencia de aprendizaje (En minutos)
1.1 1.2	Clase magistral impartida por el docente o tutor Guía de Estudio (Documento digital de refuerzo) Guía de ejercicios (con la solución de los ejercicios tarea asignados al estudiante) Video clase de la práctica de laboratorio	Leer el documento digital de refuerzo Consultar el texto de referencia Consultar con el tutor de forma presencial o en línea Asistir a las tutorías presenciales Realizar la autoevaluación	200 minutos
No.	Actividades de preproducción requeridas	Fecha de finalización	
1.1 1.2	1) Presentación en Power Point que ilustre la teoría requerida para los contenidos previstos en la unidad. 2) Preparación de ejemplo, el que se desarrollará en la video clase, utilizando para ello pizarra y marcadores.		

	3) Elaborar la Guía de Estudio que sirva de refuerzo sobre el tema 4) Elaborar la guía de ejercicios para que el estudiante retroalimente lo aprendido del tema 5) Elaborar la autoevaluación que ayude a medir el cumplimiento de los objetivos del tema	
No.	Actividades de autoevaluación	
1.2	El estudiante deberá resolver los problemas contenidos en la Guía de problemas y subirlos al Aula Virtual.	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA		CURSO: Impresión 3D en Metales	SEMANA 2
		UNIDAD 1: FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD	Objetivo de la unidad: Reforzar los conocimientos sobre modelado CAD adquiridos en las sesiones de laboratorio de DEM-115.
No.	TEMA O SUBTEMAS <i>(Si hay un tema general del que se desprendan subtemas puede ponerse primero. Agregar tantas filas como sea necesario)</i>	Horas clase en Modalidad Presencial	Objetivo de aprendizaje <i>(puede ser uno por cada tema-subtema o general por tema)</i>
1.2	Repaso de sesiones de laboratorio CAD de DEM-115	1	Establecer los fundamentos del diseño asistido por computadora CAD desde el dibujo técnico mecánico hasta el modelado 3D de piezas según diseño.
1.3	Modelado 3D de piezas y exportación de archivos	3	
No.	Material disponible y características <i>(Referenciarlo al número asignado al tema o subtema que ha sido enumerado en las filas anteriores)</i>		
1.2	Libro texto, y libros de consulta que se describen en el Programa de la asignatura.		
1.3	Guion de clase (diapositivas) y guías de ejercicios elaborados sobre la temática. Laboratorios de práctica y repaso sobre técnicas de modelado 3D		

No.	Alternativa de entrega virtual <i>(Aquí deberá escribirse que forma de entrega al estudiante se considera la más idónea. Puede darse tantos detalles como se considere necesario, debe Referenciarlo al número asignado al tema o subtema que ha sido enumerado en las filas anteriores)</i>	Experiencias de aprendizaje (procesos) <i>(Debe colocarse lo que se espera que el estudiante haga en función de la modalidad de entrega virtual señalada)</i>	Tiempo aproximado que le tomará al estudiante realizar la experiencia de aprendizaje (En minutos)
1.2 1.3	Clase magistral impartida por el docente o tutor Guía de Estudio (Documento digital de refuerzo) Guía de ejercicios (con la solución de los ejercicios tarea asignados al estudiante) Video clase de la práctica de laboratorio	Leer el documento digital de refuerzo Consultar el texto de referencia Consultar con el tutor de forma presencial o en línea Asistir a las tutorías presenciales Realizar la autoevaluación	200 minutos
No.	Actividades de preproducción requeridas	Fecha de finalización	
1.2 1.3	1) Presentación en Power Point que ilustre la teoría requerida para los contenidos previstos en la unidad. 2) Preparación de ejemplo, el que se desarrollará en la video clase, utilizando para ello pizarra y marcadores.		

6. RUTA DE APRENDIZAJE



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RUTA DE APRENDIZAJE Y ORIENTACIÓN ACADÉMICA

CURSO DE IMPRESIÓN 3D EN METALES

Elaborado por:

ILIANA MARINA RIVAS ESPINOZA	RE15006
GERSON FERNANDO PALACIOS ORELLANA	PO18012
EDGAR BALTAZAR MENDOZA SANCHEZ	MS18057
EDWIN ERNESTO MEDRANO HERNANDEZ	MH16063

CONTENIDO

1. Descripción del curso	1
2. Objetivo General	1
3. Organización del curso	1
4. Contenidos temáticos	1
5. Requerimientos para optar al curso	2
6. Metodología de la enseñanza y aprendizaje.....	2
6.1 Contenido teórico	2
6.2 Auto evaluaciones.....	2
6.3 Exámenes presenciales	3
6.4 Actividades en línea	3
6.5 Tareas de resolución de problemas.....	3
6.6 Prácticas de laboratorios	3
7. Sugerencias y recomendaciones generales	3
8. Consideraciones importantes	4
8.1 Generales	4
8.2 Sobre la elaboración de trabajos evaluados.....	5
9. Sistema de evaluación.....	5
10. Comunicación durante el curso.....	6
10.1 Comunicación con su tutor	6
11. Bibliografía recomendada	6
12. Servicios de biblioteca	7

1. DESCRIPCIÓN DEL CURSO

Esta asignatura pretende formar en el alumno las habilidades y el deseo de aprendizaje de las nuevas tecnologías de fabricación que están dominando la industria en la actualidad. El proceso de fabricación aditivo de impresión 3D nos permite materializar diseños mecánicos con geometrías complejas, las cuales no pueden ser maquinadas con facilidad bajo los métodos tradicionales de fabricación industrial. Es por ello que surge la necesidad de esta asignatura que busca impulsar a nuestros alumnos a destacar en el rubro laboral industrial con la implementación de estas nuevas técnicas de fabricación.

2. OBJETIVO GENERAL

Que el alumno adquiera nuevas habilidades de fabricación de piezas y elementos mecánicos bajo la tecnología de impresión 3D en metales SLM, la cual nos permitirá llevar a la realidad diseños complejos de maquinaria según lo requiera el diseño.

3. ORGANIZACIÓN DEL CURSO

El curso comprende su contenido en cuatro unidades en las cuales se abarcarán conceptos fundamentales del diseño asistido por computadora CAD, en el cual se modelarán piezas en 3D valiéndonos del programa de diseño mecánico Autodesk Inventor.

A su vez se abordarán conceptos y teoría clave de los tratamientos térmicos en dichas unidades, las cuales nos permitirán llevar a cabo un post procesado de nuestras piezas con sus respectivas propiedades mecánicas deseadas.

4. CONTENIDOS TEMÁTICOS

UNIDAD	CONTENIDO	DURACIÓN EN SEMANAS
1. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO CAD	1.1 Repaso de conocimientos sobre dibujo técnico mecánico. 1.2 Repaso de sesiones de laboratorio CAD de DEM-115 1.3 Modelado 3D de piezas y exportación de archivos	3
2. GENERALIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D	2.1 Fundamentos de la impresión 3D en FDM 2.2 Principios de la tecnología SLM en impresión 3D de metales	3

3. PRINCIPIOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ACEROS	3.1 Fundamentos de los aceros y el diagrama de hierro carburo de hierro 3.2 Principios básicos de tratamientos térmicos en aceros hipo eutectoides e hiper eutectoides	3
4. DESARROLLO DE COMPONENTES MECÁNICOS IMPRESOS EN 3D Y SUS APLICACIONES	4.1 Aplicaciones de diseño mecánico en impresión 3D usando tecnología SLM 4.2 Pre procesado y post procesado de componentes impresos en 3D SLM	4

5. REQUERIMIENTOS PARA OPTAR AL CURSO

Para poder cursar satisfactoriamente éste curso usted necesitará como mínimo acceso frecuente a los siguientes recursos tecnológicos:

- Computadora
- Internet.
- Software procesador de textos y gráficos.
- Software de modelado 3D
- Software de Pre Procesado de Impresión 3D

A su vez, el estudiante deberá haber cursado las cátedras de DEM-115 y CMI-215 ya que serán las bases para llevar a cabo con éxito esta asignatura.

6. METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

El curso se impartirá de forma presencial y con algunas actividades prácticas y evaluada. A continuación, se presenta un panorama general de los componentes de la metodología de enseñanza y aprendizaje:

6.1 Contenido teórico

El curso se compone de cuatro unidades, cuyos contenidos estarán disponibles en la plataforma en línea y se presentarán mediante recursos didácticos como lecturas, clases en video, videos animados, entre otros. Cada unidad cuenta con una fecha establecida para estudiar los temas y realizar las actividades programadas. Aunque muchas de estas actividades no son evaluadas, es esencial que las complete para asegurar una correcta asimilación de los contenidos.

Es necesario revisar la plataforma diariamente para estar al tanto de novedades, avisos e instrucciones.

6.2 Auto evaluaciones

Después de cada recurso didáctico, se le proporcionará una serie de preguntas, ejercicios o instrucciones generales, denominadas "Autoevaluaciones". Estas actividades tienen como objetivo reforzar los aprendizajes que cada recurso busca alcanzar. Aunque no son

obligatorias, son esenciales para una mejor comprensión del contenido proporcionado, por lo que se recomienda encarecidamente completarlas.

Además, es importante que guarde las Autoevaluaciones que realice, ya que serán útiles como material de estudio y referencia para prepararse para las actividades evaluadas del curso, especialmente para los exámenes parciales.

Tanto al realizar las Autoevaluaciones como después de completarlas, es fundamental que consulte con su tutor cualquier duda que pueda surgir. Asegúrese de leer detenidamente las instrucciones de cada tarea, para que sus respuestas sean precisas y correspondan exactamente con lo solicitado.

6.3 Exámenes presenciales

La asignatura incluirá tres exámenes presenciales, los cuales se llevarán a cabo en las Sedes Universitarias de acuerdo con el cronograma oficial del curso. Los contenidos a evaluar, el valor de cada examen y otros detalles relevantes se encuentran en la sección de actividades evaluadas de este documento. Para presentar el examen presencial, será necesario mostrar un documento con fotografía, preferiblemente el DUI o DUE.

6.4 Actividades en línea

Las actividades evaluadas en línea serán al menos tres, y consistirán en pruebas en línea con preguntas o ejercicios breves. En su momento, se especificará el contenido a evaluar en cada una de ellas, y se llevarán a cabo como una introducción a los temas que se incluirán en el examen parcial más próximo. Todas las actividades en línea se realizarán y enviarán a través de la plataforma, siguiendo el cronograma oficial. Los contenidos a evaluar y sus ponderaciones se detallan en la sección de actividades evaluadas de este documento.

6.5 Tareas de resolución de problemas

Se establecerán al menos 3 tareas de solución de problemas de acuerdo a los contenidos impartidos en la cátedra sobre cada unidad. Esto con la finalidad de afianzar los conocimientos adquiridos en la asignatura.

6.6 Prácticas de laboratorios

Las prácticas de laboratorio serán el pilar fundamental de esta asignatura las cuales nos permitirán la solidez de los conocimientos adquiridos a lo largo del ciclo. Es por ello, que se realizarán las clases en el laboratorio de impresión 3D en conjunto con las respectivas prácticas de laboratorio.

7. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES GENERALES

Los materiales didácticos a utilizar son los siguientes:

- Material audiovisual: Video clases y videos animados producidos en la Universidad de El Salvador (UES) de forma específica para poder impartir los contenidos de la asignatura.

- Material audiovisual externo: Videos, blogs u otros recursos que se consideren complementarios a los contenidos desarrollados en los videos producidos en la UES.
- Lecturas de material escrito propio o gestionado: Documentos preparados en la UES de parte de personal académico de la misma o elaborados por otras instancias o profesionales, pero gestionados para ser utilizados en el proceso de enseñanza, siempre en el marco del respeto al derecho de autor.
- Lea detenidamente y con actitud positiva cada documento proporcionado para el curso, esto es importante ya que le permitirá una buena comprensión de los temas y un mayor aprendizaje.
- Elabore una lista de las dudas que se le presenten cuando revisa el recurso didáctico proporcionado o cuando realiza las Auto evaluaciones, para que pueda solventarlas a través de las consultas a su tutor de manera oportuna.
- Recuerde estar pendiente de las fechas de las actividades académicas evaluadas ya que la plataforma no admite la entrega en fechas y horas extemporáneas.
- Lea detenidamente la ruta de aprendizaje elaborada para cada unidad en donde se detallan todas las actividades académicas a realizar.
- Participe activamente en los Foros, esto le permitirá resolver dudas, hacer comentarios y trabajar en equipo con otros compañeros.
- Elabore y entregue las tareas evaluadas con tiempo de anticipación, para prevenir cualquier inconveniente como caída de la red de internet, suspensión de la energía eléctrica, desperfectos en su equipo, entre otros.
- Lea todos los anuncios, foros correos y toda fuente de información relacionada con la asignatura, disponible en la plataforma.
- Elabore un cronograma de las fechas importantes en la asignatura, esto le permitirá llevar un seguimiento ordenado de su desarrollo.
- En la medida de lo posible lea la bibliografía del curso, le permitirá ampliar los conocimientos adquiridos. Consulte otros materiales complementarios disponibles en otros libros o en internet.

8. CONSIDERACIONES IMPORTANTES

8.1 Generales

Este curso requerirá que avance de manera ordenada, sistemática y puntual a través de la plataforma. Para lograrlo, es fundamental que lea detenidamente la Ruta de Aprendizaje de cada unidad. Además, es importante que preste atención a la iconografía utilizada en la plataforma, cuya información se le proporcionará en la pestaña de presentación de cada asignatura. Esto le brindará una orientación adecuada.

8.2 Sobre la elaboración de trabajos evaluados

Es fundamental que al elaborar informes y trabajos como parte de las actividades evaluadas en esta y otras asignaturas, no se incluya información extraída de Internet u otras fuentes sin citar adecuadamente la procedencia. La falta de referencias apropiadas se considerará una falta grave. Si se detecta que un trabajo presenta plagio, ya sea total o parcial, o si se utilizan ideas de otros autores sin el crédito correspondiente, el tutor asignará automáticamente un "cero" al apartado del trabajo que evidencie el plagio.

Además, no se aceptarán trabajos entregados fuera del plazo establecido a menos que el estudiante presente una justificación escrita ante los tutores o docentes titulares del curso, explicando el motivo del incumplimiento y proporcionando la documentación pertinente (como constancia médica, laboral, por defunción de familiares, entre otros). En casos excepcionales en los que no se pueda presentar una constancia, el estudiante deberá contactar directamente al coordinador de cátedra para explicar su situación y que se evalúe de forma específica.

Los trabajos deben ser individuales y originales; no se aceptan trabajos en pareja o en grupo, salvo que se haya obtenido una autorización expresa del encargado de la cátedra. Si se descubre que el trabajo entre dos o más estudiantes es idéntico o que se ha tomado de otra fuente sin las citas bibliográficas adecuadas, el tutor asignará un "cero" al apartado que evidencie el plagio.

9. SISTEMA DE EVALUACIÓN

El sistema de evaluación que se empleará en la asignatura es el siguiente:

Actividad	Porcentaje
Exámenes parciales (3)	45%
Actividades en líneas (3)	10%
Prácticas de laboratorios	25%
Tareas de resolución de problemas (3)	20%
Total	100%

10.COMUNICACIÓN DURANTE EL CURSO

En su avance por el curso usted deberá mantener constante comunicación principalmente con su tutor, a continuación, se presentan los medios de comunicación de los cuales usted podrá disponer, es importante que tome en cuenta las indicaciones y sugerencias que en este apartado se realizan a fin de poder hacer uso adecuado de los mismos.

10.1 Comunicación con su tutor

Plataforma (aula virtual):

Es el medio de comunicación primordial para exponer dudas y/o comentarios del curso. Único **medio oficial para adjuntar tareas, realizar evaluaciones, consulta y visualización de los contenidos** académicos, recepción de indicaciones diversas, entre otras. Salvo que por motivos de fuerza mayor la plataforma no se encuentre disponible, en cuyo caso se expondrán en los medios oficiales como la página en Facebook de Educación a Distancia y página web de Educación a Distancia las indicaciones que para la asignatura se crean pertinentes.

Correo electrónico:

Se utilizará como herramienta de apoyo de comunicación en caso que la interacción del tutor y estudiante por medio de la plataforma sea inaccesible.

Otros medios de comunicación:

Otros medios como redes sociales o teléfono no son válidos en la resolución o mediación de problemas académicos administrativos, tampoco para realizar consultas académicas o recibir asesorías. Sin embargo no se descarta que sean medios utilizados para dar anuncios e información de carácter urgente.

Cada tutor proporcionará sus medios de contacto durante la tutoría de inducción que se realiza al inicio del ciclo. Por favor estar atento.

11.BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Guía de Laboratorios de Diseño Asistido Por Computadora de la Cátedra de DEM-115
- Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Askeland.
- Introducción a la Metalurgia Física, Avner
- Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley 9na Ed.

12. SERVICIOS DE BIBLIOTECA

La biblioteca de la Universidad de El Salvador, <http://biblioteca.ues.edu.sv/>, ofrece los servicios en línea:

- Búsqueda y acceso a material impreso disponible en las 14 bibliotecas del sistema que se distribuyen en el Campus Central y las Facultades Multidisciplinarias de Occidente (Santa Ana), Oriente (San Miguel) y Paracentral (San Vicente) - <http://sbdigital.ues.edu.sv/>
- El repositorio institucional de la Universidad de El Salvador, <http://ri.ues.edu.sv/>, en donde puede encontrar las tesis más recientes.
- Enlace al Consorcio de Bibliotecas Universitarias de El Salvador, <http://www.cbues.org.sv/>, de donde se puede descargar y/o leer un conjunto amplio de recursos electrónicos