



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

ANÁLISIS DEL PROCESO DEL DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA APLICADO A COMPONENTES AEROESPACIALES.

Presentado por: Ángel Marín Requena

Dirigido por: Dr. Carlos Vila Pastor

Valencia, 4 de Julio de 2019

AGRADECIMIENTOS

La realización de este Trabajo de Fin de Grado ha resultado en la adquisición de valiosos conocimientos y destrezas de gran relevancia en el ámbito profesional y de investigación.

Agradezco la atención de mi tutor Carlos Vila por su orientación en la realización de este trabajo académico y su valoración satisfactoria de mi esfuerzo.

Al final, muchas gracias a mi familia por el apoyo recibido en todo momento durante la realización de este proyecto.

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo la investigación de las últimas tecnologías en el campo de la Fabricación Aditiva y el empleo del Diseño Generativo para creación de elementos cuyas propiedades superen las de aquellos fabricados mediante métodos tradicionales reduciendo al mismo tiempo costes de fabricación y el impacto ambiental mediante la utilización eficiente de materiales y maquinaria. Todo ello centrado en el punto de vista de la industria aeroespacial.

Para ello se realizará el proceso de optimización de una pieza aeroespacial mediante el empleo de herramientas de Diseño Generativo permitiendo la creación de distintas variantes y seleccionando la solución de compromiso.

En este estudio se pretende realizar un caso práctico de rediseño de un elemento aeroespacial mediante el empleo de herramientas de Diseño Generativo aplicando tecnologías de optimización topológica y generando múltiples variantes para la selección de la solución de compromiso.

Adicionalmente se realizará la preparación para la impresión 3D de uno de los resultados obtenidos mediante este proceso y de esta forma completar el ciclo de creación desde la fase de diseño a la de producción, dentro de los límites disponibles en el ámbito académico.

Todo esto dentro de la plataforma informática 3DEXPERIENCE de Dassault Systèmes, referente dentro de los softwares de Ingeniería asistida por ordenador (sistemas CAE) y muy utilizado en la industria aeroespacial. Cuyo dominio resulta indispensable dentro de los procesos de producción modernos

Finalmente se realizará una evaluación económica del proceso de creación mediante esta metodología.

Palabras clave: *Fabricación Aditiva, Diseño Generativo, Componentes Aeroespaciales.*

RESUM

Este Treball Fi de Grau té com a objectiu la investigació de les últimes tecnologies en el camp de la Fabricació Additiva i l'ocupació del Disseny Generatiu per a creació d'elements les propietats del qual superen les d'aquells fabricats per mitjà de mètodes tradicionals reduint al mateix temps costos de fabricació i l'impacte ambiental per mitjà de la utilització eficient de materials i maquinària. Tot això centrat en el punt de vista de la indústria aeroespacial.

Per a això es realitzarà el procés d'optimització d'una peça aeroespacial per mitjà de l'ocupació de ferramentes de Disseny Generatiu permetent la creació de distintes variants i seleccionant la solució de compromís.

En aquest estudi es pretén realitzar un cas pràctic de redisseny d'un element aeroespacial per mitjà de l'ocupació de ferramentes de Disseny Generatiu aplicant tecnologies d'optimització topològica i generant múltiples variants per a la selecció de la solució de compromís.

Addicionalment es realitzarà la preparació per a la impressió 3D d'un dels resultats obtinguts per mitjà d'este procés i d'esta manera completar el cicle de creació des de la fase de disseny a la de producció, dins dels límits disponibles en l'àmbit acadèmic.

Tot açò dins de la plataforma informàtica 3DEXPERIENCE de Dassault Systèmes, referent dins dels programaris d'Enginyeria assistida per ordinador (sistemes CAU) i molt utilitzat en la indústria aeroespacial. El domini de la qual resulta indispensable dins dels processos de producció moderns.

Finalment es realitzarà una avaluació econòmica del procés de creació per mitjà d'esta metodologia

Paraules clau: Fabricació Additiva, Disseny Generatiu, Components Aeroespacials.

ABSTRACT

The purpose of this Final Degree Project is to research the latest technologies in the field of Additive Manufacturing and the use of Generative Design for the creation of elements whose properties surpass those of those manufactured by traditional methods, reducing manufacturing costs and the environmental impact through the efficient use of materials and machinery. All focused on the point of view of the aerospace industry.

With that objective, the optimization process of an aerospace piece will be carried out using Generative Design tools, allowing the creation of different variants and selecting the compromise solution.

In this study, we intend to carry out a practical case of redesigning an aerospace element using Generative Design tools, applying topological optimization technologies and generating multiple variants for the selection of the compromise solution.

Additionally, the preparation for 3D printing of one of the results obtained through this process will be made and thus complete the creation cycle from the design phase to the production phase, within the limits available in the academic field.

Finally, an economic evaluation of the creation process using this methodology will be carried out.

Keywords: *Additive Manufacturing, Generative Design, Aerospace Components.*

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TRABAJO FIN DE GRADO

- MEMORIA
- ANEXOS
- PRESUPUESTO
- PLANOS

ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.	1
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO.....	2
1.3 ALCANCE.....	3
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.....	5
2.1 Evolución Histórica de la Tecnología.....	5
2.2 Fabricación Aditiva en la Industria Aeroespacial.....	6
2.2.1 Provisión de Piezas de Repuesto.....	7
2.2.2 Readaptación de Diseños Existentes.....	8
2.2.3 Diseño Generativo.....	9
CAPÍTULO 3 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN ADITIVA	11
3.1 Descripción de las Técnicas.	11
3.2 Procesos en Estado Líquido.....	11
3.2.1 Sistemas Alimentados por Polvo (Powder Feed Systems).	12
3.2.2 Sistemas Alimentados por Hilo. (Wire Feed Systems).	14
3.2.3 Sistemas de Sustrato en Polvo (<i>Powder Bed Systems</i>).....	21
3.3 Procesos en estado sólido.....	26
3.3.1 Consolidación Ultrasónica (Ultrasonic Consolidation).	26
3.3.2 Proyección en Frio (Cold Spraying).....	27
3.3.3 Fabricación Libre por Fricción (Friction Freeform Fabrication)..	28
CAPÍTULO 4 DISEÑO GENERATIVO	31
4.1 Proceso de optimización.	31
4.2 Parámetros de Optimización.....	34
4.3 Entorno de la optimización.	34
CAPÍTULO 5 CASO DE ESTUDIO	37
5.1 Contexto	37
5.2 Generación del Diseño Generativo.	38
5.2.1 Definición de especificaciones funcionales.....	38

DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPAZIALES

5.2.2	Creación y comparación de formas conceptuales.....	41
5.2.3	Modelado y validación de la geometría final.	47
5.3	Generación del proceso de impresión.....	48
5.4	Discusión de resultados.....	52
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....		57
6.1	Conclusiones.....	57
6.2	Trabajos Futuros.....	58
CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS		59

ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

Figura 1. Aspecto de un archivo STL.....	5
Figura 2. Modelo de un motor jet para fines educativos. (fuente: JetX).	6
Figura 3. Pieza de aluminio de un F22 propensa a la corrosión y su reemplazo impreso en titanio.....	7
Figura 4. Patente de Boeing para un sistema de intercambio de modelos de impresión. (fuente: US20150064299A1).....	8
Figura 5. Inyector de combustible del motor turbofan LEAP. (fuente: CFM International).	9
Figura 6 Soporte estructural del satélite E3000. (fuente: Airbus Defence and Space).....	9
Figura 7. Posible clasificación de técnicas de fabricación aditiva.	11
Figura 8. Esquema de deposición por polvo.	12
Figura 9. a) Deposición porosa a baja energía. No se produce la fusión total de todas las partículas. b) Aglutinación de la deposición debido a la alta viscosidad. c) Derrame del material debido a la baja viscosidad a alta energía.	13
Figura 10. Pérdida de material y goteo en proceso LMPD.....	14
Figura 11. Esquema de sistema de deposición por hilo. a) Alimentación frontal b) Alimentación posterior. Parámetros: D, diámetro del hilo; d, distancia de apertura; α , ángulo de alimentación del hilo; v, ratio de alimentación; l, distancia de despunte del hilo.	14
Figura 12. Deposición láser observada mediante lente polarizada.	15
Figura 13. a) Ti-6Al-4V. b) AA4043. c) IN718.....	16
Figura 14. Esquema de la configuración de un haz de electrones.	17
Figura 15. Sistema de deposición por arco eléctrico.	18
Figura 16. Deposición de titanio mediante PTA.....	18
Figura 17. Deposiciones de IN625. a) Goteo del hilo. b) Deposición suave. c) Colisión del hilo.	19
Figura 18. a) Mojabilidad inaceptable. b) Mojabilidad aceptable.....	19
Figura 19. Estudio de superposición lateral.	20
Figura 20. Alimentación coaxial.	20
Figura 21. Deposición sin control activo. (Arriba). Deposición con control activo (Abajo).....	20
Figura 22. Sistema de Sustrato en Polvo.....	21
Figura 23. Densidad energética en función de la potencia laser y la velocidad de escaneo.	22
Figura 24. Acumulación térmica debida a la geometría de la piza y su efecto en la densidad energética efectiva.....	24
Figura 25. Decoloración por acumulación térmica en una pieza de titanio.	24
Figura 26. Ejemplo de polvo de mala calidad.....	25
Figura 27. a) Apantallamiento por proyecciones. b) Porosidad por apantallamiento.....	25
Figura 28. Efecto de imperfecciones previas en la deposición de la nueva capa.	26
Figura 29. a) Proceso de consolidación ultrasónica. b) Mecanismo de unión entre laminas.	27
Figura 30. Esquema del proceso de unión de las partículas proyectadas en frio.	27
Figura 31. Creación de un engranaje por proyección en frio. (fuente: GE Additive).....	28
Figura 32. Reparación de un componente en Al. a) Daño por corrosión. b) Post deposición. c) Mecanizado. d) Pieza final.....	28
Figura 33. Fabricación por fricción.	29
Figura 34. Optimización Topológica.	31
Figura 35. Clasificación de elementos en función de la densidad y el módulo de Young relativo.	32
Figura 36. Distintas fases de la optimización topológica. (fuente: 3DEXPERIENCE, modificado).....	33

DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA DE COMPONENTES AEROESPACIALES

Figura 37. Proceso de suavizado de la superficie. (fuente: 3DEXPERIENCE, modificado).....	33
Figura 38. Pieza de partida para el proceso de optimización.....	37
Figura 39. Situación de la pieza caso de estudio en el A320	38
Figura 40. Pieza original y “Espacio de Diseño”	39
Figura 41. Partes funcionales de la pieza.	39
Figura 42. Dirección de las cargas en posición de cerrado y abierto respectivamente.	40
Figura 43. Mallado y validación.	41
Figura 44. Resultado del proceso de optimización. Densidad relativa de los elementos.	42
Figura 45. Región inconexa para Isovalor 45.....	42
Figura 46. Resultado de optimización. Isovalor 75 e Isovalor 45	43
Figura 47. Asimetría en las perforaciones.	43
Figura 48. Tensión de Von Mises sobre la pieza con Isovalor 75.	44
Figura 49. Espacio de Diseño modificado.....	44
Figura 50. Variantes generadas para el estudio. a) Espacio de Diseño 1. Isovalor 45. b) Espacio de diseño 1. Isovalor 75. c) Espacio de diseño 2. Isovalor 45. d)Espacio de Diseño 2. Isovalor 75	45
Figura 51. Generación del diseño detallado a partir de estructuras tubulares 3D. (fuente: 3DEXPERIENCE)	48
Figura 52. Superficies con ángulos superiores a 45° respecto al eje Z y que requerirían soportes.....	48
Figura 53. Situación de una y múltiples piezas para minimizar el soporte requerido.	49
Figura 54. Soportes sobre la pieza.....	50
Figura 55. Soportes tipo "Grid" y tipo "Árbol" respectivamente.	50
Figura 56. Patrón de escaneo.	51
Figura 57. Resultados del análisis de impresión. Mapa de temperaturas.....	52
Figura 58. Proceso de optimización sobre la misma pieza. (fuente:L. Arch Computat Methods Eng (2016))	53
Figura 59. Proceso de optimización realizado en este estudio con Espacio de Diseño similar.....	53
Figura 60 DMO Factory 350 (fuente: 3D Systems)	64

ÍNDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1. Ventajas y Desventajas Sistema de Sustrato en Polvo	22
Tabla 2. Problemas en la Fabricación Aditiva Power Bed	23
Tabla 3 Ficha técnica máquina de impresión DMP Factory 350 (fuente: 3D Systems).....	63
Tabla 4 Ficha del material de impresión.	64
Tabla 5. Parámetros de impresión empleados en DELMIA.....	64
Tabla 6. Desglose del presupuesto del proyecto.	69
Tabla 7. Desglose del presupuesto de la fabricación de 20 piezas.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Ficha técnica de la máquina de impresión.	66
2. Ficha técnica del polvo de impresión.	66
3. Parámetros de impresión.	66

ÍNDICE DE LOS PLANOS

Plano 1. Bisagra – Pieza original.....	66
Plano 2. Bisagra- Pieza original. Isometrica.	67
Plano 3. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 75	68
Plano 4. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 75. Isometrica.	69
Plano 5. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 45.	70
Plano 6. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 45. Isometrica.	71
Plano 7. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 45.	72
Plano 8. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 45. Isometrica.	73
Plano 9. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 75.	74
Plano 10. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 75. Isometrica.	75



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Grado en Ingeniería Aeroespacial

MEMORIA

ANÁLISIS DEL PROCESO DEL DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA APLICADO A COMPONENTES AEROESPACIALES.

Ángel Marín Requena

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES.

Este Trabajo de Fin de Grado surge con motivo del creciente protagonismo de las técnicas de *Fabricación Aditiva* en los procesos tecnológicos de conformado en procesos de producción, con mención específica de la industria aeroespacial, y su aplicación en tándem con los sistemas de Diseño Generativo.

La industria aeroespacial, tradicionalmente pionera en la implementación de los últimos desarrollos tecnológicos en el campo de diseño, materiales y procesos de fabricación se presenta como uno de los campos donde estas tecnologías están teniendo mayor acogida. El empleo de diseños intrincados y geometrías complejas para minimizar la masa y el volumen junto con volúmenes bajos de producción desembocan en altos costes y dilatados tiempos de producción cuando son fabricados de manera tradicional.

De esta forma, la *Fabricación Aditiva* permitirá recortar el tiempo de fabricación de geometrías desarrolladas mediante *Diseño Generativo*, en ocasiones imposibles de realizar mediante otros métodos de fabricación, optimizando el uso de materiales exóticos tales como Titanio o Inconel y reduciendo los costes en la aviación y la industria espacial.

Como antecedentes al presente trabajo se han realizado una variedad de estudios dentro de la Universidad Politécnica de Valencia sobre la aplicación de la impresión 3D en el desarrollo de productos, así como de las propiedades mecánicas de estas impresiones. Sin embargo, su utilización en la industria aeroespacial no ha sido explorada más allá de en la creación de piezas de material plástico para drones. Internacionalmente, la implementación de la *Fabricación Aditiva* en el ámbito aeroespacial si que resulta en un tema recurrente por el gran potencial y el interés de los fabricantes.

1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO.

El objetivo de este trabajo académico es realizar un análisis del impacto que pueden tener las técnicas de Fabricación Aditiva y las herramientas de Diseño Generativo en el sector aeroespacial, a través del desarrollo de un caso de estudio en una plataforma industrial, 3DEXPERIENCE, mediante el uso de las aplicaciones de modelado CATIA y de diseño generativo TOSCA de Dassault Systèmes.

En base a este objetivo final se establecen los siguientes objetivos parciales para poder alcanzarlo:

- Investigar las técnicas de fabricación aditiva de piezas metálicas en uso y en desarrollo en la industria aeroespacial.
- Evaluar el uso de esas técnicas en el sector.
- Desarrollar un caso de estudio de una pieza en uso en el sector.
- Realizar un estudio de optimización topológica mediante la herramienta TOSCA.
- Validar los resultados mediante SIMULIA
- Preparar la fabricación de dicha pieza mediante CATIA.
- Realizar una valoración final.

La proyección de futuro de estas tecnologías resulta una motivación a desarrollar una guía de buenas prácticas de forma que este trabajo de Final de Grado sirva como orientación para futuras actividades académicas en este campo.

1.3 ALCANCE.

El alcance de este trabajo Fin de Grado se basa en definir las fases de desarrollo mediante Diseño Generativo de un elemento y planificar su conformado de la pieza mediante Fabricación Aditiva.

Con la finalidad de lograr conocimientos en el campo de la Fabricación Aditiva se realiza un estudio de las principales técnicas en uso y en desarrollo y de esta forma obtener unos baremos sobre las limitaciones a la hora de desarrollar nuestro caso de estudio.

Dicho caso de estudio consiste en la optimización de una pieza aeroespacial realizada en el sistema CAD (Computer Aided Design) CATIA mediante la herramienta TOSCA y su posterior validación mediante un análisis de elementos finitos realizado en la herramienta SIMULIA. El proceso de preparación de impresión será realizado en la herramienta DELMIA. Todos estos sistemas CAE (Computer Aided Engineering) se encuentran disponibles en la plataforma 3DEXPERIENCE de Dassault Systèmes, siendo uno de los softwares de diseño más extendidos en la industria aeroespacial.

Esta optimización y la selección de la solución de compromiso se realizará en base a unos parámetros de diseño y cargas estimadas a título académico, las cuales pueden diferir de las precisadas para la pieza original.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

2.1 Evolución Histórica de la Tecnología.

El desarrollo de la fabricación aditiva se inicia en la década de 1980, siendo la primera patente para un sistema de impresión 3D solicitada por Chuck Hull en 1983. Este primer método conocido como estereolitografía (*stereolithography*, SLA) consistía en la adicción de capas de material mediante el curado de resina fotosensible con un láser Ultra-Violeta (LASER UV). Aunque previamente otros equipos, materiales y procesos habían sido investigados, siendo atribuido al Dr. Fideo Kodama la primera descripción de una aproximación capa a capa a la fabricación en 1980.

La mayor aportación de Hull fue la creación del formato de archivo de información geométrica STL. Este archivo toma únicamente la geometría superficial de un objeto tridimensional sin ninguna representación del color, textura u otros atributos de los modelos CAD, adaptándolo a un sistema cartesiano conformado de superficie triangulares. En sí mismo carece de información de escala y las unidades son arbitrarias. El sistema toma a continuación esta nube de puntos y produce secciones transversales que servirán para construir el producto capa a capa a lo largo del eje Z.

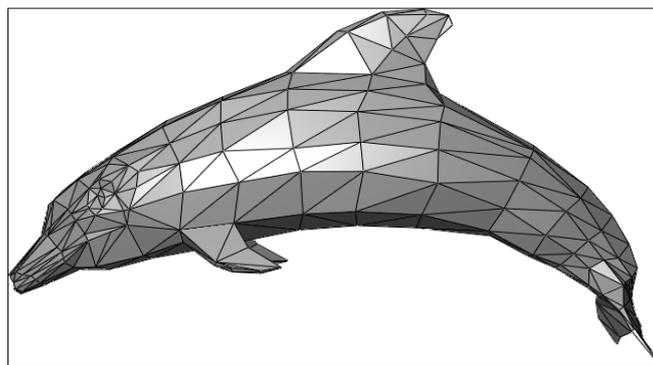


Figura 1. Aspecto de un archivo STL.

El propio Hull formó también la primera compañía dedicada a desarrollar y fabricar sistemas de impresión de este tipo, *3D Systems*, la cual tras varios años de trabajo lanzó el primer sistema SLA comercial de fabricación de piezas. Al mismo tiempo se estaba trabajando y patentando otros sistemas, tomando durante la década de los noventa un gran impulso a lo largo del mundo. Hasta ese momento la mayoría

de estos procesos trabajaban sobre materiales poliméricos, sin ser capaces de trabajar sobre materiales metálicos o cerámicos.

Estas máquinas son conocidas como máquinas de prototipado rápido (RP) ya que no podían producir piezas funcionales y se consideraban prototipos. En su lugar eran empleadas para la fabricación de piezas de prueba durante el desarrollo de productos, evitando costosas inversiones en moldes para piezas singulares.

El cambio de paradigma se produjo a mediados de los años noventa cuando la empresa EOS presentó su primer prototipo de “*Sintetizado Directo de Metales por Láser*” (*Direct Metal Laser Sintering, DMLS*). Se basaba en el método de “*Sintetizado Láser Selectivo*” (*Selective Laser Sintering, SLS*) empleado en plásticos. En ambos una base de polvo del material era unido en las secciones requeridas mediante la fusión por láser de este material conformando una pieza sólida capa a capa.

A partir de este momento era posible realizar piezas y productos mediante fabricación aditiva, capaces de desempeñar el mismo trabajo que aquellos realizados mediante métodos de conformado tradicionales, lo cual renovó el interés de la industria en estas técnicas.

2.2 Fabricación Aditiva en la Industria Aeroespacial.

La industria aeroespacial fue una de las primeras industrias en adoptar la impresión 3D y aun contribuye intensamente en su desarrollo. Algunas de compañías del sector comenzaron usando esta tecnología tan pronto como 1989 y su adopción se ha ido incrementando sustancialmente.

Su integración inicial se ve en la fase de diseño y prototipado en forma de modelos para ensayos aerodinámicos. Anteriormente realizados mediante métodos más laboriosos en madera o plástico. Estos modelos más precisos permitían transmitir las intenciones del diseño claramente y acelerar el ritmo de iteración de este.

Otra implementación temprana con uso extensivo actualmente es en la creación de maquetas para el entrenamiento del personal y refinamiento de la producción, así como para la elaboración de piezas no esenciales como elementos de cabina y fijaciones de cableado.

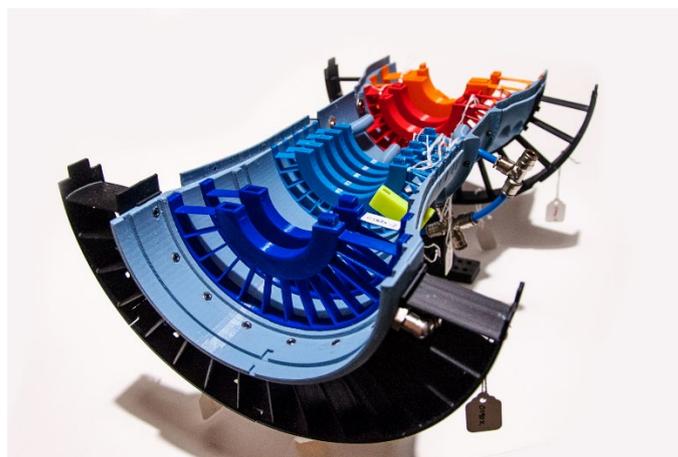


Figura 2. Modelo de un motor jet para fines educativos. (fuente: JetX).

Con la aparición de tecnologías capaces de crear piezas metálicas capaces de cumplir los estándares de calidad de la industria aeroespacial cada vez más componentes son fabricados con estos métodos. Esta implementación se ha llevado a cabo mediante distintas perspectivas de fabricación y diseño.

2.2.1 Provisión de Piezas de Repuesto.

Durante el mantenimiento, la falta de un elemento puede desembocar largos tiempos de espera de una aeronave en el hangar de mantenimiento. Por este motivo se procura poseer un inventario de suministros capaz de responder a reparaciones no programadas, desembocando en un aumento de costes y en desperdicio de piezas que en muchas ocasiones no se llegan a utilizar.

Además, se puede dar el caso de una escasez de recambios debido a series cortas de fabricación o directamente fuera de producción; problema comúnmente encontrado dentro de la aviación militar debido a un número limitado de producción de aeronaves y largos tiempos de servicio. Dentro de la USAF (*United States Air Force*) esto ha llevado al programa MAMLS (*Maturation of Advanced Manufacturing for Low-cost Sustainment*) para el desarrollo de piezas de sustitución.



Figura 3. Pieza de aluminio de un F22 propensa a la corrosión y su reemplazo impreso en titanio.

Dentro de la aviación civil, el número de elementos actualmente en uso fabricados mediante fabricación aditiva en una sola aeronave puede alcanzar el centenar, con previsión de aumentar en el futuro. Con motivo de reducir los gastos de inventario y desperdicio de recursos tanto de los operadores como de fabricantes se ha impulsado el desarrollo de librerías de documentos CAD para la impresión de partes de recambio. De esta forma el operador puede sustituir piezas de serie fabricadas mediante impresión 3D por recambios nuevos producidos por él mismo mediante la información transmitida por el fabricante. Si bien de momento está limitado a elementos no críticos como pueden ser los elementos de cabina.

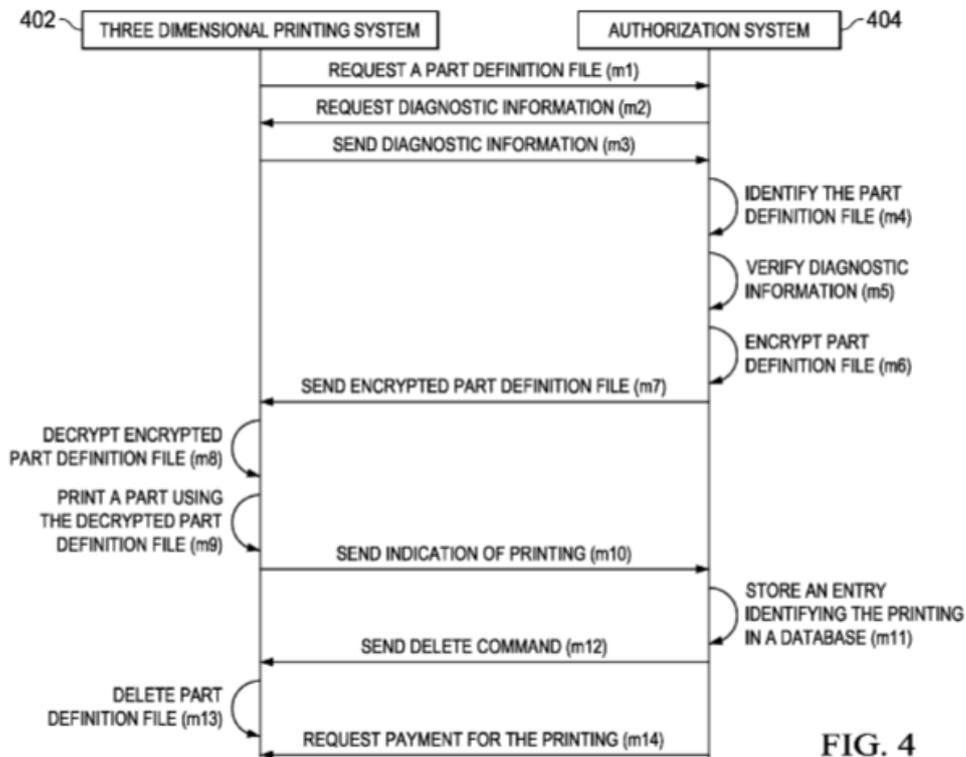


FIG. 4

Figura 4. Patente de Boeing para un sistema de intercambio de modelos de impresión. (fuente: US20150064299A1).

2.2.2 Readaptación de Diseños Existentes.

Inicialmente los elementos fabricados eran copias idénticas de piezas realizadas con otros métodos de fabricación. El siguiente paso tomado por la industria aeroespacial fue rediseñar esas piezas para beneficiarse de las ventajas de la fabricación aditiva manteniendo la forma y funcionalidad. Generalmente esto se obtiene mediante la reducción del número de piezas al poder ser fabricada como un único conjunto en lugar de varios elementos fabricados de forma independiente y posteriormente ensamblados. Esto conlleva enormes ventajas a la hora de la fabricación, logística y ensamblaje final.

En este sentido uno de los pioneros fue General Electric con su división *GE Additive*, produciendo las primeras piezas completamente fabricada por métodos aditivos aprobadas por la *Federal Aviation Administration* (FAA) en 2015. Durante el diseño del inyector del motor turbofan LEAP se consiguió reducir el número de partes de 18 a 1, consiguiendo adicionalmente una reducción de peso del 25% y un aumento de la eficiencia al implementar optimizaciones en el diseño difíciles de obtener con otros métodos.



Figura 5. Inyector de combustible del motor turbofan LEAP. (fuente: CFM International).

2.2.3 Diseño Generativo.

Una vez demostrada las capacidades de la fabricación aditiva en diseños preexistentes la tendencia actual consiste en explotar completamente las capacidades de la fabricación aditiva. Por primera vez el diseño ha dejado de estar limitado por la fabricación posibilitando la explotación geometrías complejas inalcanzables para otros métodos de fabricación con un coste asumible; lo que ha propiciado el desarrollo de una nueva metodología de diseño al aunar el potencial de los sistemas CAD en el desarrollo de productos con elementos informáticos de simulación estructural, térmica y de fluidodinámica entre otros, y herramientas de optimización. Esto es lo que se conoce como Diseño Generativo.

El Diseño Generativo es un proceso de exploración de diseños. Los ingenieros o diseñadores introducen objetivos de diseño en el software junto con parámetros de rendimiento y limitaciones espaciales, materiales o métodos de fabricación. El software explora todas las posibles permutaciones de una solución generando rápidamente varias alternativas viables. Una vez seleccionada la más optima se puede realizar un proceso iterativo permitiendo refinar aún más el producto.

En la Figura 6 podemos observar la evolución del soporte de las antenas de Telemetría y Telecomando (TMTTC) del satélite Eurostar E3000. La pieza original constaba de 4 partes y 44 remaches. Mediante el diseño generativo se ha conseguido un aumento del 40% en la rigidez con una reducción de peso del 35%. Realizado mediante fabricación aditiva en aleación de aluminio.

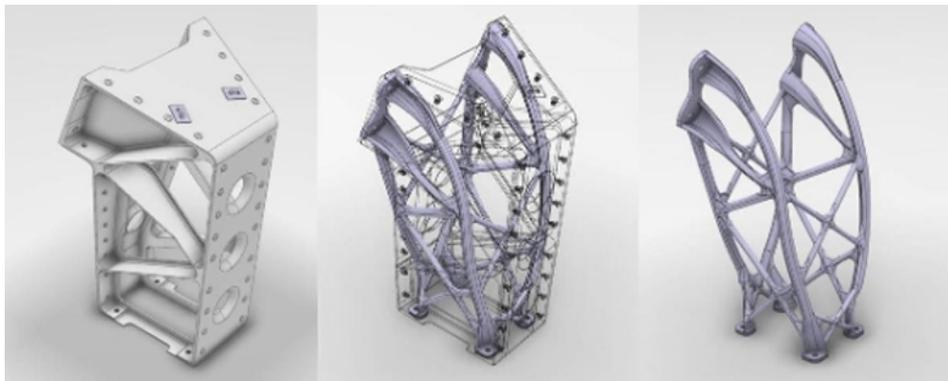


Figura 6 Soporte estructural del satélite E3000. (fuente: Airbus Defence and Space).

CAPÍTULO 3

TÉCNICAS DE FABRICACIÓN ADITIVA

3.1 Descripción de las Técnicas.

La variedad de técnicas que se han desarrollado con los años puede ser clasificadas según múltiples criterios, como puede ser según la fuente de energía o el tipo de alimentación. De estos la clasificación más genérica es la del estado del material a la hora del conformado pudiendo distinguirse aquellos procesos en los que el material pasa al estado líquido y aquellos en los que el material no llega a cambiar de estado permaneciendo en estado sólido.

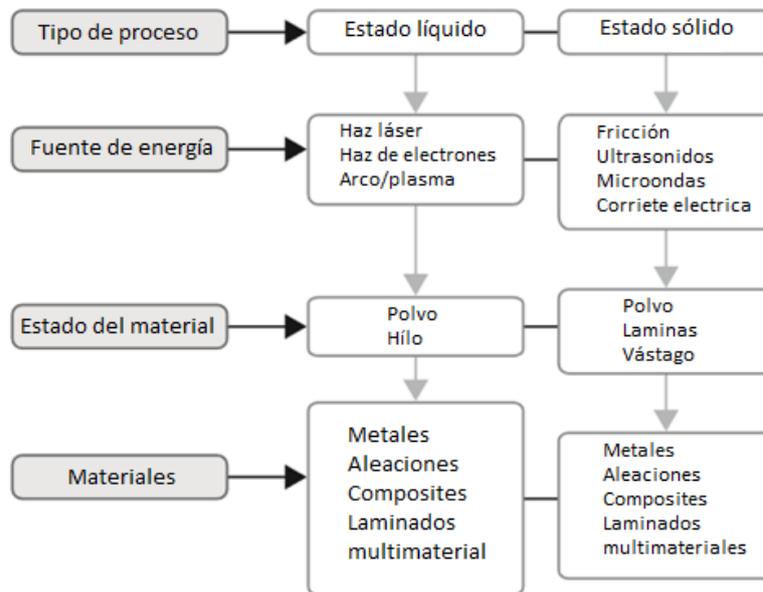


Figura 7. Posible clasificación de técnicas de fabricación aditiva.

3.2 Procesos en Estado Líquido.

Dentro de esta clasificación recaen los procesos de fabricación aditiva más extendidos. En ellos el material suministrado es llevado al estado líquido en un baño de fusión (*Melting Pool*) en aquellas zonas donde se requiere añadir material. La forma de suministro del material, así como el método de aporte de energía

para alcanzar el punto de fusión del material de aporte pueden variar, presentándose en ocasiones exclusiones entre un método y otro.

Debido a las altas temperaturas en el punto de fusión es preciso proteger el material de una rápida oxidación mediante el uso de una atmósfera controlada o del empleo de cámaras de vacío.

3.2.1 Sistemas Alimentados por Polvo (Powder Feed Systems).

En este proceso el material de aporte es un polvo metálico que es suministrado a la zona de fusión mediante la inyección de gas inerte, comúnmente argón. Lo cual excluye el haz de electrones como fuente de energía ya que requiere de vacío. Siendo empleado en su lugar un haz laser.

La fabricación comienza con un sustrato situado sobre una mesa de control numérico por ordenador (CNC table) en donde se inicia la fusión del material. La mesa se va desplazando en los ejes X e Y creando trazos de metal solidificado. Una vez formada una capa se desplaza el cabezal en el eje Z una distancia equivalente al grosor de la sección (*slice thickness*) para depositar la siguiente capa. El proceso es repetido para cada capa hasta alcanzar una forma neta final próxima a la requerida en el modelo CAD.

El trayecto de deposición, la distancia entre pasadas adyacentes y el grosor de sección son creados mediante software específico para cada proceso.

Las cuatro variantes más extendidas de este método son LENS, DMD, LAM y DLF. Las cuales comparten el mismo principio básico con LENS y DLF empleando una cámara de gas inerte y DLF usando inyección de gas inerte en atmosfera libre.

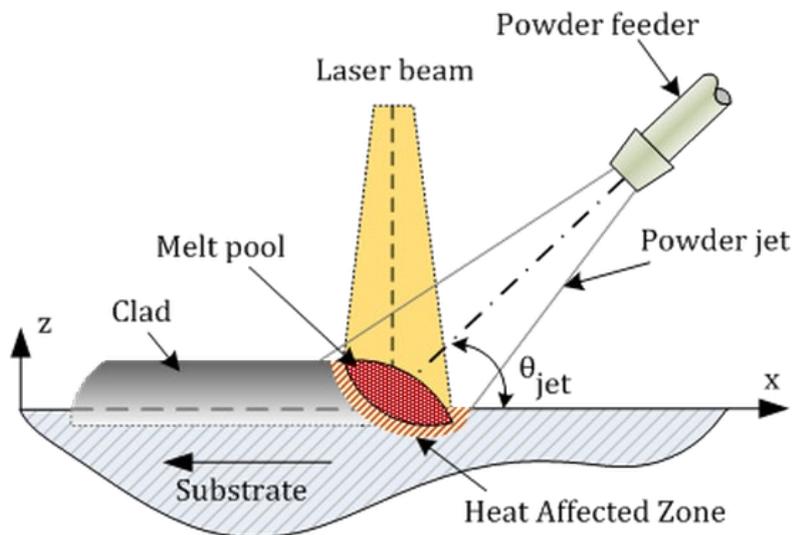


Figura 8. Esquema de deposición por polvo.

Los modelos más recientes de deposición de polvo metálico por láser (*Laser Metal Powder Deposition, LMPD*) emplean deposición multiteje con varios inyectores de polvo y sistemas de control de bucle cerrado obteniéndose precisión dimensional, uniformidad microestructural y gradientes composicionales. Estas técnicas son empleadas en la reparación, remanufactura y adición de elementos y recubrimientos superficiales en componentes aeroespaciales. Así como en la producción de nuevos elementos con características innovadoras como estructuras porosas, variación estructural y de composición en piezas para obtener propiedades físicas mecánicas y químicas deseables. (Mazumder 2000; Mazumder et al. 2000; Shin et al. 2003).

La estabilidad y calidad de la deposición en LMPD depende del fenómeno físicos del proceso, lo cual es dictado por la ratio de absorción del láser por el material, la tensión superficial y la viscosidad del fundido.

La absorción del láser del material es un factor importante para controlar su calentado y fusión. Una absorción baja requiere suministrar mayores energías o puede aparecer fundiciones parciales creando depósitos porosos. Un exceso de energía por otro lado puede provocar la evaporación del material. Como ejemplo, piezas cerámicas de alúmina han sido fabricadas con láseres de 175 W mientras que para los metales se requieren mucha mayor potencia pese al menor punto de fusión debido a la diferencia de absorción y conductividad entre los dos tipos de material. La frecuencia de emisión del láser provoca problemas adicionales en caso de trabajar con materiales multicomponentes como es el caso de las aleaciones dificultando la obtención de depósitos estables.

Puesto que el procesado LMPD dependen de la fusión del material, la tensión superficial respecto a los depósitos previos es relevante para la estabilidad del procesado por lo que es preciso evitar la formación de capas de óxido por contaminación requiriendo gases inertes de alta pureza. La viscosidad del material fundido debe alcanzar un óptimo para obtener una buena distribución y es generalmente aceptado que un suministro de energía total elevado, efecto de la potencia del láser, la velocidad de escaneo y la ratio de alimentación de material ayuda a reducir la viscosidad en la mayoría de los metales y aleaciones. Sin embargo, en deposiciones multimaterial puede producirse un aumento de la viscosidad para altas energías si compuestos intermetálicos aparecen durante la deposición.

Una alta viscosidad en el procesado por LMPD provoca un efecto de aglutinamiento de las deposiciones de material en polvo mientras que una viscosidad demasiado baja puede provocar el derrame del fundido.

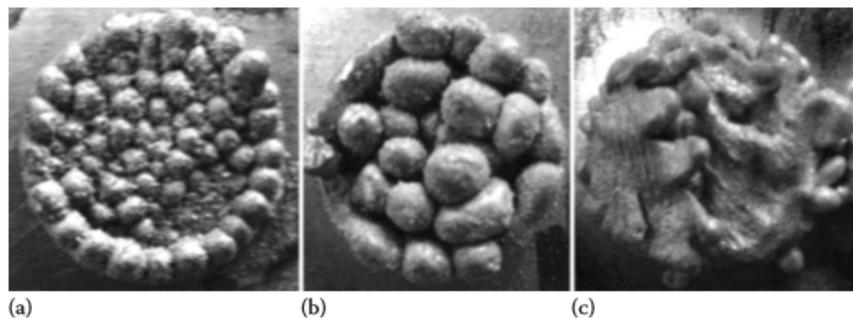


Figura 9. a) Deposición porosa a baja energía. No se produce la fusión total de todas las partículas. b) Aglutinación de la deposición debido a la alta viscosidad. c) Derrame del material debido a la baja viscosidad a alta energía.

Una monitorización precisa de la temperatura de la zona de fusión y por tanto de la viscosidad mediante procesos de control puede desembocar en mejores resultados finales.

En general, el acabado superficial en términos de rugosidad es relativamente mayor que en procesos mediante sustrato. Siendo influenciado por el grosor de la capa, la potencia del láser, la velocidad de deposición y la velocidad de alimentación. La combinación de zonas de fusión profundas y capas finas pueden reducir la rugosidad superficial en aleaciones de Ti6Al4V. (Gharbi et al., 2013). También puede ser mejorada con bajas velocidades de deposiciones particularmente en el caso de la deposición de contornos/muros. El empleo de polvo más fino también resulta en mejoras en el acabado y en la eficiencia de la deposición, así como un cambio en la posición de la entrada de polvo en la zona de fusión.

Recientemente se ha demostrado que el empleo de láseres pulsantes mejora el acabado superficial (Pinkerton and Li, 2003) debido se cree a un gradiente térmico menor y a flujos de Marangoni creando depósitos más suaves.



Figura 10. Pérdida de material y goteo en proceso LMPD.

3.2.2 Sistemas Alimentados por Hilo. (Wire Feed Systems).

Las técnicas de fabricación aditiva basada en deposición de polvo son las más usadas y estudiadas, habiendo demostrado su capacidad en la fabricación de elementos complejos de pequeño tamaño. Sin embargo, estas técnicas sufren de ratios bajos de deposición y utilización del materia, alta rugosidad superficial y porosidad residual. Siendo la eficiencia de deposición dependiente del tamaño de la zona de fusión. Así mismo existen múltiples problemas relativos al reciclaje, contaminación y almacenamiento del polvo. Por tanto, la fabricación de elementos de gran tamaño puede incrementar el coste. La mayoría de estos problemas pueden ser eliminados mediante la utilización de otros materiales de suministro y una posibilidad es el empleo de cordón metálico como material de suministro.

El proceso de fabricación comienza con la creación de una zona de fusión en el sustrato usando una fuente apropiada de energía. A continuación, un cordón metálico es suministrado de forma controlada a esta siendo fundida mediante la fuente de energía. El movimiento relativo del inyector de hilo y de la fuente de energía respecto al sustrato a lo largo de un camino predefinido genera cordones de soldadura cuya superposición crea el componente 3D. Los requerimientos finales dictaran si es necesario un postproceso de la pieza mediante amolado o mecanizado. Normalmente la deposición es creada en una atmosfera controlada.

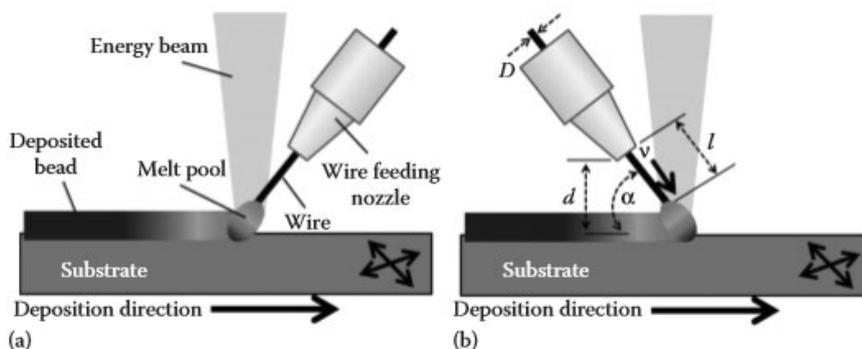


Figura 11. Esquema de sistema de deposición por hilo. a) Alimentación frontal b) Alimentación posterior. Parámetros: D , diámetro del hilo; d , distancia de apertura; α , ángulo de alimentación del hilo; v , ratio de alimentación; l , distancia de despunte del hilo.

Comparado con la alimentación por polvo, los sistemas que utilizan cordón metálico presentan varias ventajas:

- Mayores ratios de deposición.
- Mejores acabados superficiales independientes de la fuente de energía.
- Mayor calidad material debido a menor porosidad.
- Mayor eficiencia de uso ($\approx 100\%$).
- Bajo costo de preparación.
- Ambiente limpio y sin peligro para la salud (carencia de partículas en suspensión).

Sin embargo, estos sistemas son muy sensibles a ciertos parámetros de proceso que deben ser controlados tales como:

- Tipo de fuente de energía y cantidad suministrada.
- Ratio de alimentación y posicionamiento del cordón.
- Posición del extremo del cordón en la zona de fusión.
- Velocidad de desplazamiento.

3.2.2.1 *Deposición por Hilo Metálico mediante Láser. (Laser-Based Metal Wire Deposition, LMWD).*

Las tecnologías que emplean un haz láser como fuente de energía son los más extendidos y estudiados al poseer un arquetipo similar a los métodos de sinterización de materiales plásticos. Especialmente para casos de alto interés en la industria como es el caso del titanio, tanto puro como de la aleación Ti6Al4V. La cual presenta la mejor combinación de propiedades y por tanto la de mayor uso fuera de la industria médica.

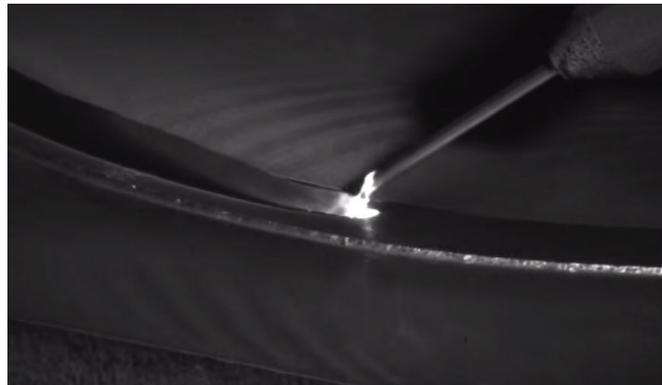


Figura 12. Deposición láser observada mediante lente polarizada.

El estudio microestructural de estas deposiciones ha demostrado que la potencia del láser y la velocidad de deposición tiene un efecto similar a los de la deposición de polvo. Las características microestructurales tales como los granos de fase β aumentan en tamaño con la potencia del láser y decrecen con la velocidad de deposición. El aumento del factor de suministro (velocidad de deposición/velocidad de alimentación del hilo) aumenta el tamaño de las fases. (Brandl et al., 2011a)

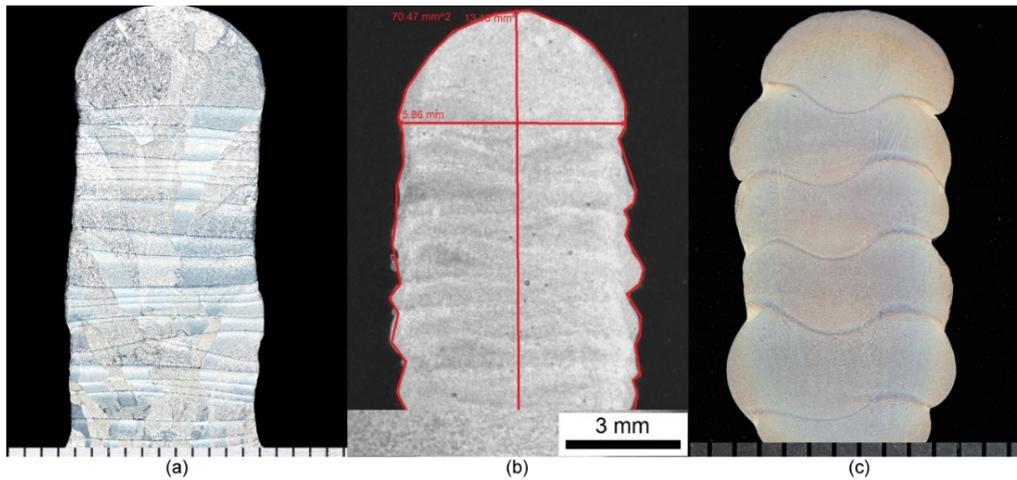


Figura 13. a) Ti-6Al-4V. b) AA4043. c) IN718.

Las dimensiones del cordón depositado suministran información cualitativa del historial térmico durante la deposición. Mientras que el estudio de la dureza no lo consigue. Se formaron grandes granos columnares a través de varias capas. (Brandl, Schoberth, and Leyens 2012). El tratamiento térmico postproceso presenta mayor efecto en la dureza que los parámetros del procesado. La aleación de Ti6Al4V presentaba un límite elástico entre 697 y 884 MPa con elongaciones entre 5% y 12% dependiendo de los parámetros del proceso y del tratamiento. Remarcablemente, los niveles de impureza estaban por debajo de los niveles aceptables para materiales aeroespaciales (AMS 4911L) y las propiedades mecánicas cumplían las especificaciones (AMS 4928) (Brandl et al., 2011c).

La deposición por láser también se ha empleado para fabricar piezas con superaleaciones de base Níquel. Una vez más la energía suministrada y el volumen de deposición resultan parámetros clave.

3.2.2.2 Deposición por Hilo Metálico mediante Haz de Electrones. (*Electron Beam Freeform Fabrication, EBF*).

El método EBF fue desarrollado en el Langley Research Center, USA, por la NASA y ha demostrado ser capaz de producir piezas complejas en una variedad de metales y aleaciones. El proceso es muy similar a los procesos de deposición de hilo metálico por láser, excepto que es realizado en vacío con un haz de electrones como fuente de energía. Este haz se crea mediante electrones libres manipulados por campos eléctricos y magnéticos para formar un haz. Cuando este colisiona con materia en estado sólido, la energía cinética se convierte en calor. Esta concentración de energía en un pequeño volumen de materia puede ser controlado electrónicamente de forma precisa.

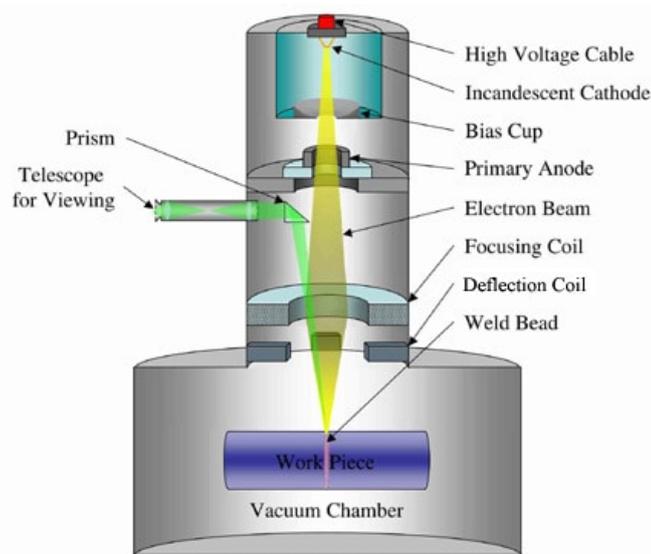


Figura 14. Esquema de la configuración de un haz de electrones.

Se han identificado varias ventajas sobre la deposición por láser tales como una alta eficiencia energética (>90%) acoplándose efectivamente con cualquier material conductor. Por tanto, resulta muy adecuado para aquellos materiales que presente alta reflectividad al láser como el aluminio y el cobre. Además, resulta muy flexible a la hora de alcanzar la resolución y acabado superficial deseado. El vacío del entorno asegura deposiciones limpias mientras que la pérdida de algunos elementos en la fusión es inevitable. Desarrollos recientes han permitido la obtención de elementos con graduación composicional mediante el empleo de alimentación de cordón dual, así como alternar entre cordones gruesos para altos ratios de deposición y finos para el detallado. También se han desarrollado sistemas capaces de funcionar en el ambiente espacial.

Los procesos EBF son controlados mediante varios parámetros, principalmente la potencia del haz y su patrón además de los parámetros mostrados en la Fig.11 para los procesos basados en láser. Estos influyen la calidad de la deposición, el estrés residual y la composición química final entre otros. Se ha demostrado que las precipitaciones de carburos se reducen o suprimen durante procesos EBF debido posiblemente al alto ratio de enfriamiento para acero inoxidable e Inconel.

Como puntos de mejora del sistema varios autores enfatizan la mejora de los procesos de optimización y control, mejoras en la repetibilidad, eliminación de cargas residuales y pérdida de ciertos elementos en los depósitos.

3.2.2.3 Deposición por hilo metálico mediante arco eléctrico. (Wire Arc Additive Manufacturing WAAM).

Los procesos de deposición de cordón mediante arco eléctrico utilizan soldadura metálica para obtener componentes densos, por lo que está limitado a materiales conductores. Comúnmente el proceso es controlado por robots de soldadura comerciales con precisión dimensional y acabado final comparable a los obtenidos mediante haz. Las ventajas de este sistema frente los procesos basados en haz son el relativamente alto ratio de deposición, la densidad de potencia a bajo coste y la habilidad de pulsar el arco aportando control microestructural adicional. Hasta la fecha la mayoría de las aleaciones soldables han sido depositadas mediante esta técnica, lo cual incluye aleaciones de titanio, níquel y aceros. Uno de los desafíos más importantes de este proceso es la deposición en estructuras suspendida debido a la falta

de soporte para el metal líquido. Sin embargo el confinamiento electromagnético del metal líquido ha permitido aumentar el ángulo de inclinación unos 10° (Bai, Zhang, and Wang, 2013)

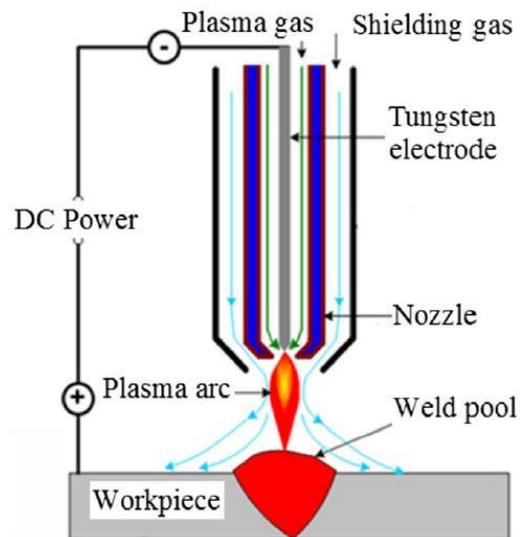


Figura 15. Sistema de deposición por arco eléctrico.

El método exacto de soldadura depende del material. Por lo general las aleaciones de titanio son normalmente depositadas mediante soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) o PTA (Plasma Transferred Arc), más estables, mientras que el resto de materiales suelen utilizar equipos MIG/MAG (Metal Inert/Active Gas). El principio de funcionamiento básico consiste en generar una diferencia de potencial entre el cordón que actúa de electrodo y la pieza, formándose un arco eléctrico a través del gas protector disociándolo en plasma a alta temperatura y fundiendo el material de aporte.

Las propiedades de las piezas obtenidas mediante este método se consideran comparables a aquellas obtenidas mediante haz laser y similares, pero no exactamente las esperadas para el caso de soldaduras metálicas en juntas.

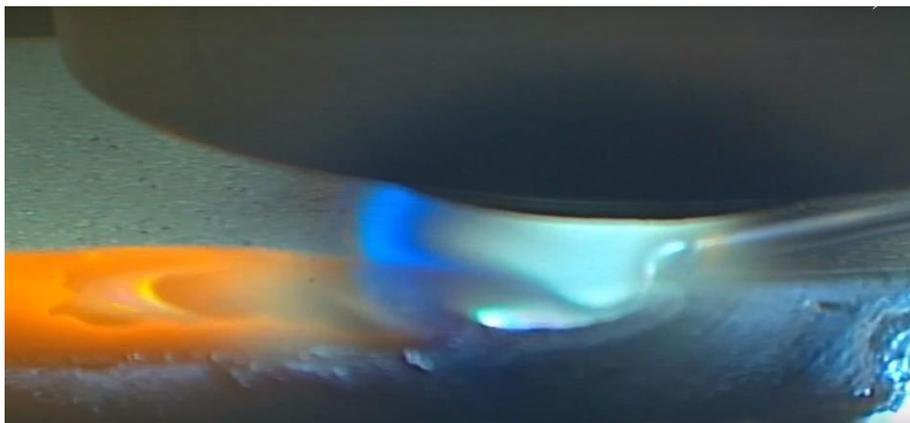


Figura 16. Deposición de titanio mediante PTA.

3.2.2.4 Influencia de los parámetros de control.

Los métodos por deposición de cordón metálico presentan una dependencia de los parámetros de control más acusada. Es preciso obtener un balance entre la velocidad de alimentación del suministro, la de avance, la distancia de separación entre el extremo del cordón y el sustrato y la potencia de la fuente de energía.

En caso de que el volumen de deposición sea demasiado bajo el cable se fundirá y goteará porque no ha llegado material fresco al punto de fusión produciendo patrones irregulares.

En caso de una velocidad de alimentación demasiado alta el cable saldrá del punto de fusión sin alcanzar una temperatura lo suficientemente elevada chocando con el sustrato y produciendo una distorsión en el material ya depositado. La distancia entre el extremo del cordón y el sustrato pueden realizar efectos similares.



Figura 17. Depositiones de IN625. a) Goteo del hilo. b) Deposition suave. c) Colisión del hilo.

Por otro lado, la temperatura de la deposición y su efecto en la viscosidad resulta clave para obtener deposiciones aceptables. En caso de una potencia insuficiente mantendrá una sección circular que resultaría en espacios internos entre deposiciones laterales.

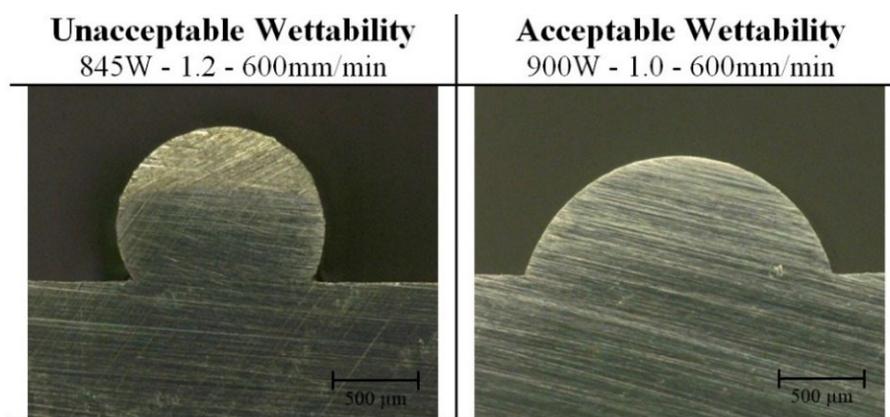


Figura 18. a) Mojabilidad inaceptable. b) Mojabilidad aceptable.

Para evitar esto se debe mantener una superposición lateral controlada que mantenga un uso eficiente del material (baja superposición) y una topografía superficial suave para las capas subsiguientes. (Holzbach, Clímaco, and Schulz, 2017)

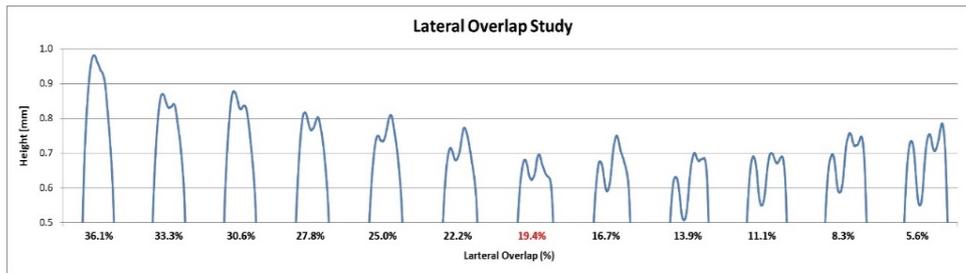


Figura 19. Estudio de superposición lateral.

La dirección de entrada (frontal o trasera), ángulo y posición de la punta en la zona de fusión resulta tener un fuerte efecto en la calidad del depósito en términos de porosidad, acabado superficial y control geométrico. El ángulo de entrada dependerá de la dirección de entrada. Ángulos elevados resultan en deposiciones rugosas y suaves para la alimentación frontal y trasera respectivamente. Para una deposición estable la punta del cable en la zona de fusión debe estar alejada del punto de inicio de solidificación.

Es posible obtener buenos resultados tanto con alimentación frontal como trasera, pero los parámetros necesarios son distintos.

Otra forma de abordar el problema de la alimentación es el empleo de una disposición coaxial que asegura uniformidad de propiedades independientemente de la dirección de desplazamiento.

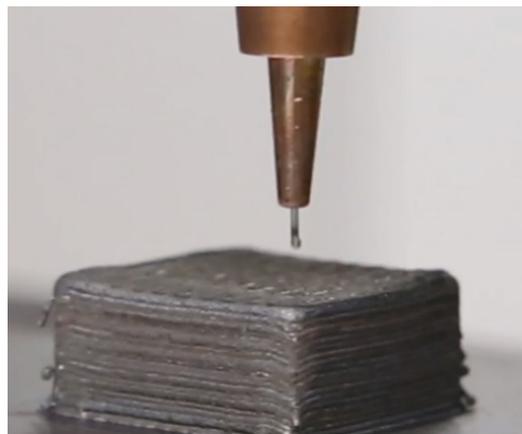


Figura 20. Alimentación coaxial.

Con el objetivo de obtener deposiciones claras varios autores han intentado introducir métodos de monitorización y control. Estos incluyen la observación de la zona de fusión mediante distintas longitudes de onda para mantener una forma de la región fundida controlada y la medida de la resistencia eléctrica entre el sustrato y el cable de suministro para controlar la distancia ente lambos.



Figura 21. Deposición sin control activo. (Arriba). Deposición con control activo (Abajo)

3.2.3 Sistemas de Sustrato en Polvo (*Powder Bed Systems*).

Estos sistemas de fabricación aditiva funcionan mediante la solidificación de polvo capa a capa. Como se muestra en la figura, el proceso comienza con la deposición uniforme del polvo metálico a través de una plataforma nivelada a la que se le aplica energía localizada mediante un láser o un haz de electrones para fusionarlo en un punto dado del espacio, formando una sección transversal del elemento. Posteriormente la plataforma desciende y un elemento de dispersión distribuye más polvo metálico a lo que sigue un nuevo proceso de fusión. El polvo actúa como soporte de la pieza por lo que no es necesario material adicional para realizar partes suspendidas, si bien pueden ser necesarios canales para evacuar el calor a la base, que actúa de sumidero térmico pues el polvo resulta aislante térmico.

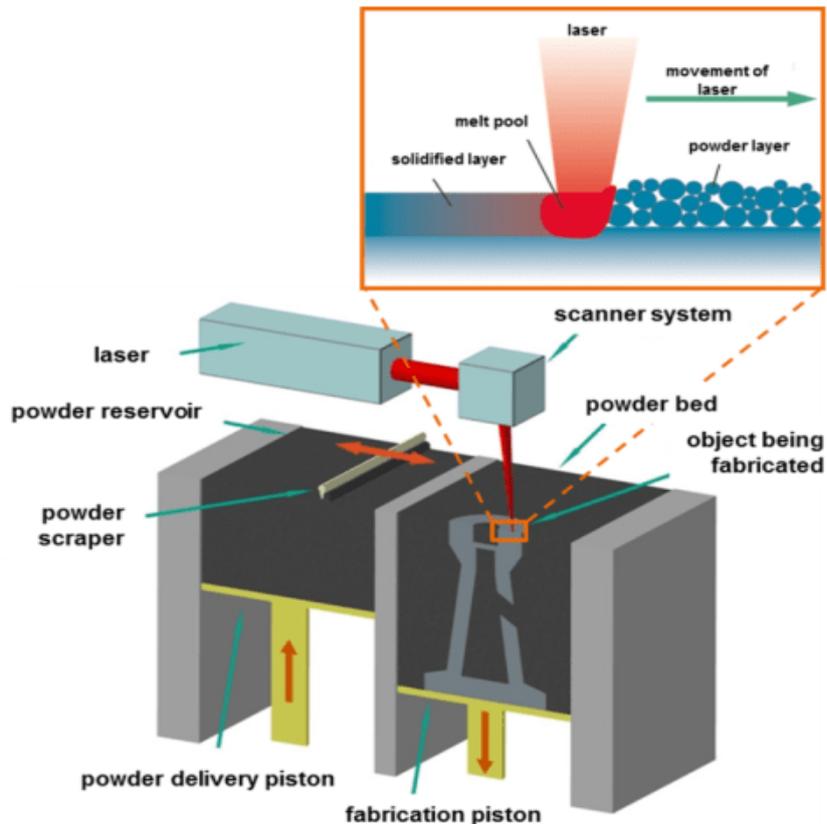


Figura 22. Sistema de Sustrato en Polvo

Una vez terminada la impresión el polvo sobrante es extraído y puede ser reutilizado tras un filtrado. Este proceso de filtrado es importante para eliminar condensados y salpicaduras de la impresión previa. El sistema de recuperación puede estar integrado dentro de la propia máquina pero la mayoría de aplicaciones ven una desventaja por la posible contaminación tras el cambio de materiales.

Actualmente las fuentes de energía utilizadas en los procesos por sustrato son el haz láser y el haz de electrones (EBM), con tiempos de fabricación y acabados superficiales similares. Los métodos EBM deben emplear cámaras de vacío mientras que los métodos por láser pueden emplear tanto estas como atmosfera protectora. La mayor diferencia se encuentra en que en los métodos EBM el sustrato y el entorno de impresión se calientan a temperaturas cercanas a la de fusión del material, siendo el haz de electrones el que aporta el ultimo delta de energía para la fusión. Esto resulta una ventaja a la hora de reducir el estrés residual de los componentes. Algunas ventajas y desventajas que podemos mencionar son las siguientes:

Desventajas	Ventajas
Equipos de vacío sensibles.	Estrés interno reducido.
El polvo del sustrato se adhiere entre si ligeramente y las piezas deben ser liberadas.	Menor empleo de estructuras de soporte que en los métodos basados en láser.
Los tiempos de precalentado, generación de vacío y enfriado se añaden al tiempo de empleo de la máquina.	Posibilidad de producción multicomponente.
Menor resolución de detalles.	Volúmenes de impresión más elevados.
Repetitividad de tolerancias.	

Tabla 1. Ventajas y Desventajas Sistema de Sustrato en Polvo

La eliminación del sustrato aglutinado puede ser especialmente complicada en piezas con canales internos mientras que el polvo sin fundir de los procesos por láser puede ser extraído fácilmente. La elección de la tecnología a emplear dependerá de la aplicación y debe ser tomada cuidadosamente.

3.2.3.1 Parámetros de control.

Para una construcción dada, la química de las partículas y si tamaño esta fijo. Asimismo, el espesor de las capas aplicadas viene dado por la resolución y acabado superficial necesario para el componente. Si además el diámetro del láser no puede ser variado durante la fabricación en muchas maquinas, los únicos parámetros de control restantes son la potencia del láser, la velocidad de desplazamiento y la superposición lateral (Fig. 18)

El equilibrio entre la velocidad de escaneo y la velocidad del láser resulta crítico para evitar imperfecciones, siendo representado por la relación entre ambos, llamada densidad energética:

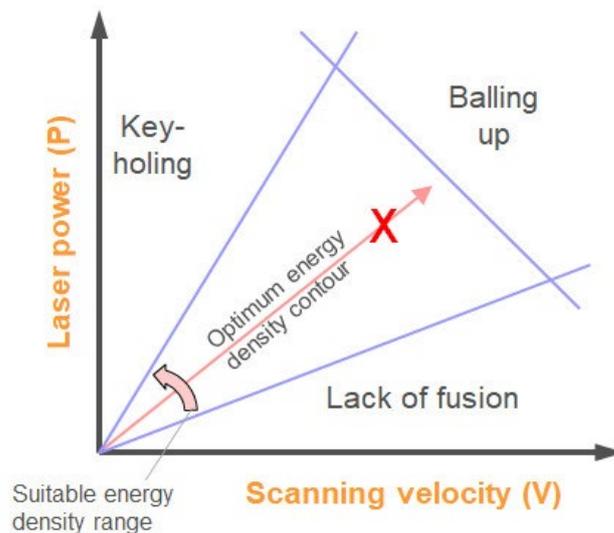


Figura 23. Densidad energética en función de la potencia láser y la velocidad de escaneo.

<p>Dada una combinación adecuada de potencia y velocidad se produce la fusión efectiva de la capa de polvo y de la capa superior de la deposición anterior, uniéndolos sin excesiva refusión. El punto de contacto con la láser crea una cavidad con emisiones de vapor metálico que pueden causar salpicaduras y atrapar granos sin fundir.</p>	<p>Efficient processing</p>
<p>Con una potencia menor la potencia del láser no penetra lo suficiente como para fundir la capa de polvo y la superficie superior del metal sólido. Resultando en porosidad y delaminaciones.</p>	<p>Insufficient penetration</p>
<p>Con un exceso de potencia para una velocidad dada se produce una fusión más profunda, los vapores son eyectados verticalmente y las reflexiones internas del metal atrapan más calor interno. Se incrementa la turbulencia y las proyecciones de material pudiendo llegar a formarse poros internos.</p>	<p>Excessive keyhole effect</p>
<p>A altas velocidades la fusión resulta inestable. Las tensiones superficiales generan vacíos causando la ruptura en segmentos separados. Esta inestabilidad de la fusión generara mayores proyecciones y captura de granos.</p>	<p>Unstable melt pool</p>

Tabla 2. Problemas en la Fabricación Aditiva Power Bed

La temperatura del sustrato afecta a la respuesta del material de la nueva energía. Si el calor de las deposiciones previas no se ha disipado se encontrará a mayor temperatura resultando en un suministro efectivo mayor, desplazando el punto de operación hacia la zona de sobrepenetración .

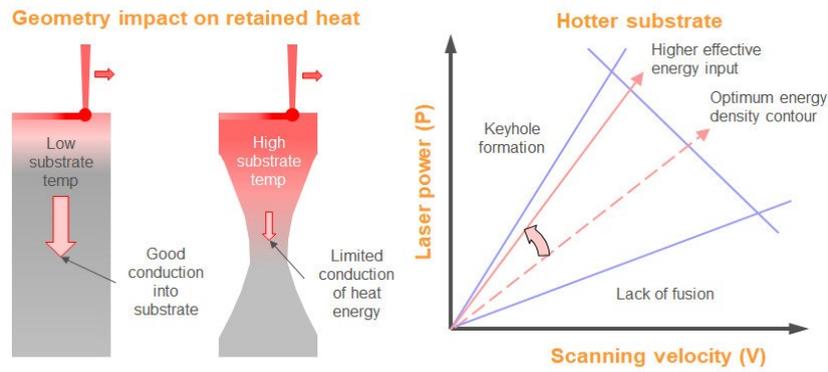


Figura 24. Acumulación térmica debida a la geometría de la piza y su efecto en la densidad energética efectiva.

Esta acumulación de temperatura puede provocar decoloraciones, porosidades internas, estrés residual y hasta roturas en zonas con reducción de sección, especialmente en materiales con baja conductividad térmica (Ej. Ti6Al4V)

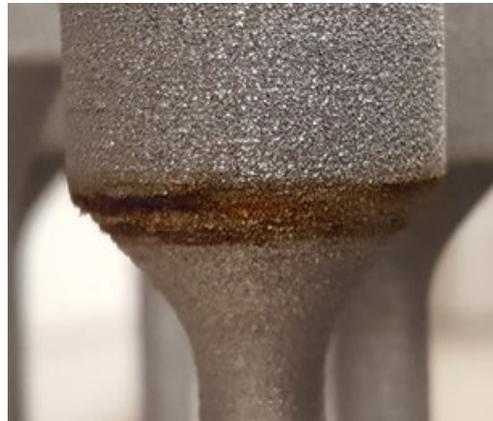


Figura 25. Decoloración por acumulación térmica en una pieza de titanio.

Una fuente importante de variación en la calidad de las impresiones es la calidad del suministro en polvo, cuyas partículas pueden presentar una gran variedad de tamaños y formas. El espesor de la capa y la cantidad de energía absorbida puede variar ligeramente a lo largo de la zona de impresión. Algunos granos pueden a su vez contener gas atrapado durante el proceso de atomización reaccionando a laser de forma distinta y resultando en poros en la pieza solidificada.

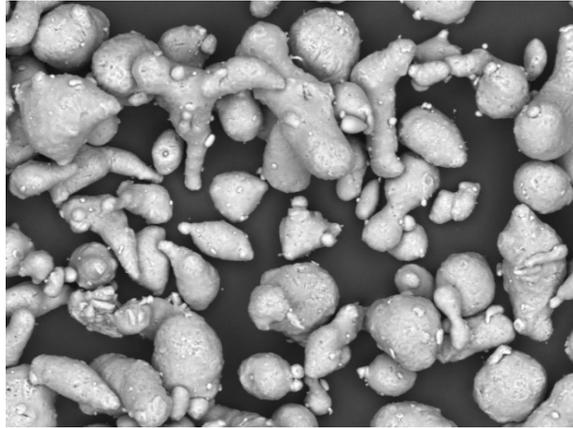


Figura 26. Ejemplo de polvo de mala calidad.

Asimismo, debe asegurarse una deposición uniforme para garantizar una superficie suave de trabajo. Para ello se emplea una cuchilla en acero HSS o cerámica (ZrO₂) dependiendo del proceso, capaces de soportar el desgaste. Sin embargo, durante el proceso la emisión de partículas desde la zona de fusión puede alterar el sustrato. En caso de que el láser encuentre una de estas salpicaduras, será necesario más trabajo para fusionar este material extra pudiendo apantallar esa zona generando una porosidad por falta de fusión.

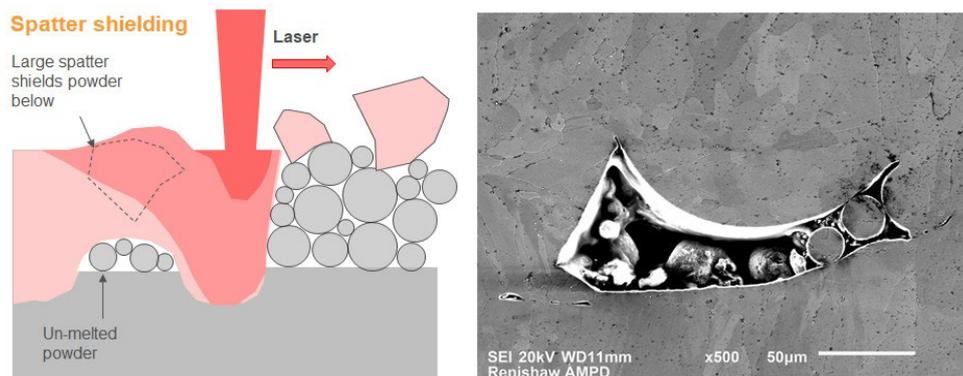


Figura 27. a) Apantallamiento por proyecciones. b) Porosidad por apantallamiento.

Estas salpicaduras pueden generar una cobertura irregular cuando no son barridas por la deposición de la siguiente capa, situación que ocurre cuando la temperatura las ha unido parcialmente, sobresaliendo sobre la capa anterior y creando un obstáculo para el recubrimiento resultando en una dosificación insuficiente. Esta falta de material genera una penetración del láser superior en esa zona creando mayor porosidad.

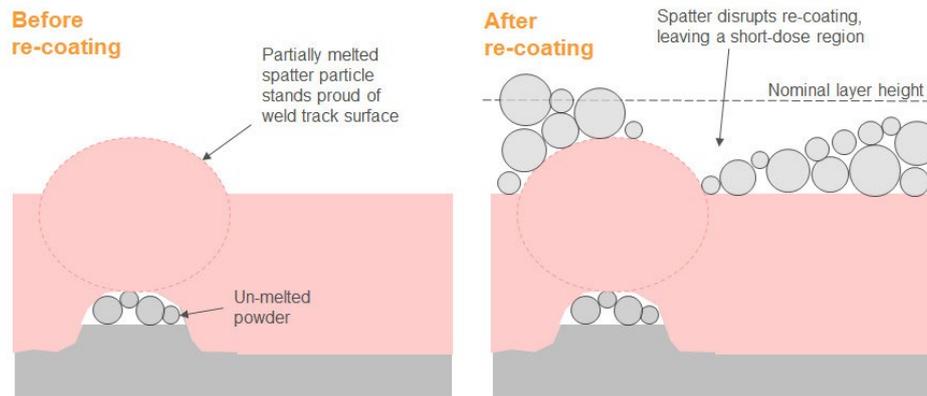


Figura 28. Efecto de imperfecciones previas en la deposición de la nueva capa.

Estos defectos son inherentes al proceso y no pueden ser eliminados mediante el rediseño de la maquinaria o del proceso. Sin embargo sí que pueden ser detectados mediante la monitorización del punto de fusión al registrarse variaciones en este que puedan indicar fusión insuficiente o excesiva. (Saunders, 2018)

Es improbable que cambios en el proceso de fusión sean suficientemente rápidos para contrarrestar estas anomalías cuando ocurren pues para entonces el láser se habrá desplazado. Sin embargo, se pueden realizar trabajos correctivos en esos puntos una vez ha sido terminado el trabajo en esa capa, con el objetivo de evitar la acumulación de defectos en capas subsiguientes y aumentando el rendimiento de la pieza.

3.3 Procesos en estado sólido.

Las técnicas de Fabricación Aditiva en estado sólido se han desarrollado para la creación de elementos 3D complejos con metales que resultan difíciles de procesar mediante técnicas de fusión. Adicionalmente, estas técnicas permiten el procesamiento de metales metalúrgicamente incompatibles y la creación de materiales laminados y estructuras integradas.

3.3.1 Consolidación Ultrasónica (Ultrasonic Consolidation).

Este proceso emplea láminas de metal con espesores en el rango de los 100 a los 150 μm presionadas contra la base mediante un sonotrodo oscilando en el régimen de 20 kHz mientras se le aplica carga normal. Este sonotrodo se desplaza a lo largo de la lámina creando uniones metálicas. Aplicando varias laminas consecutivas se obtiene una capa cuyo contorno será mecanizado mediante fresado. Una vez limpia la superficie con aire comprimido se depositará otra capa, repitiendo el proceso hasta la creación de la geometría final. Las oscilaciones ultrasónicas crean fuerzas friccionales que rompen los óxidos superficiales juntando superficies metálicas atómicamente limpias. El calor generado por la fricción acelera la difusión atómica a través de la interfaz metálica formándose uniones metalúrgicas bajo la influencia de la fuerza normal. Este método ha sido empleado en la generación de piezas con circuitos integrados y para la creación de composites metal-metal.

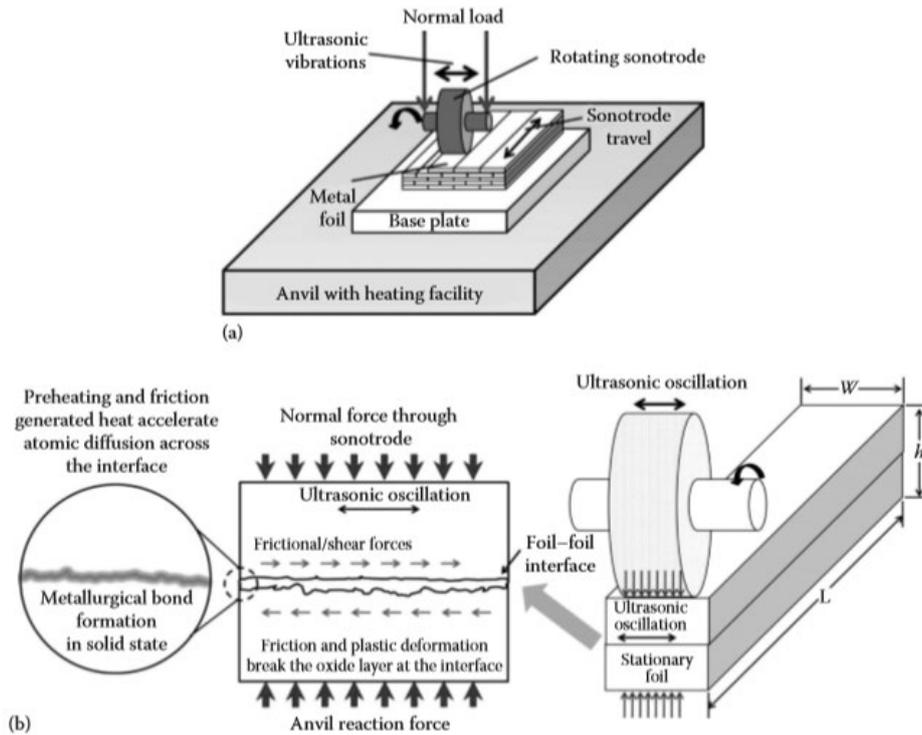


Figura 29. a) Proceso de consolidación ultrasónica. b) Mecanismo de unión entre laminas.

3.3.2 Proyección en Frio (Cold Spraying).

El uso original de la proyección en frío era la deposición de recubrimientos. Sin embargo, la capacidad de crear deposiciones sin límite de espesor ha propiciado su adaptación para la generación de geometrías 3D. El mecanismo de funcionamiento consiste en la aceleración de partículas sólidas en el rango de 1 a 50 μm de diámetro a velocidades supersónicas, en torno a los 1200 m/s, mediante una corriente de gas. Durante el impacto las partículas sufren una deformación plástica que rompe la capa de óxido y pone en contacto las superficies metálicas atómicamente limpias uniéndolas.

Un mecanizado posterior lleva el elemento a tolerancias. Esta técnica se ha utilizado para la fabricación de elementos en cobre y aleaciones de aluminio. Sin embargo, su uso más extendido es en la reparación de elementos dañados. (Li, Yang, Yin, 2017)

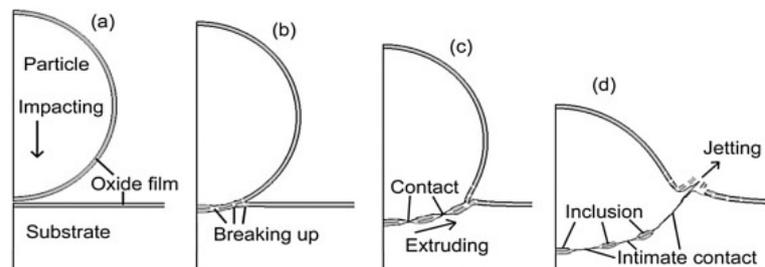


Figura 30. Esquema del proceso de unión de las partículas proyectadas en frío.



Figura 31. Creación de un engranaje por proyección en frío. (fuente: GE Additive)

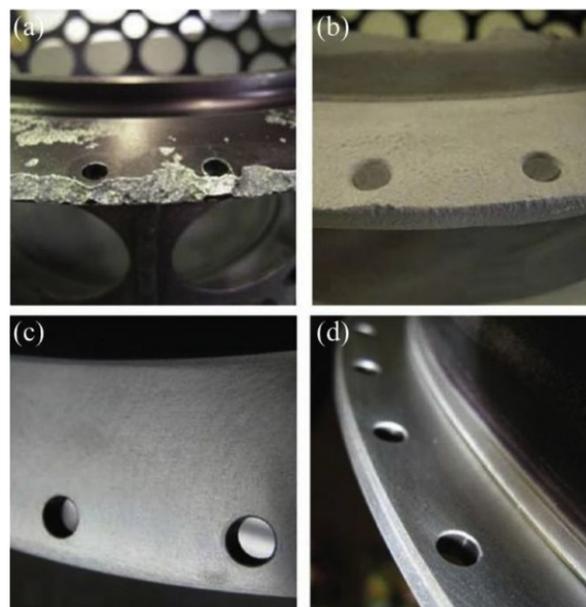


Figura 32. Reparación de un componente en Al. a) Daño por corrosión. b) Post deposición. c) Mecanizado. d) Pieza final.

3.3.3 Fabricación Libre por Fricción (Friction Freeform Fabrication).

Otra técnica de creación de recubrimientos que ha sido adaptada recientemente a la fabricación aditiva es la creación de recubrimiento por fricción. El procedimiento consiste en la rotación a alta velocidad de un vástago de sacrificio que es presionado contra el sustrato, el calor generado por la fricción es suficiente como para plastificar el vástago el cual va dejando una deposición de espesor constante con el movimiento del sustrato. Deposiciones paralelas crean una capa cuyo contorno es mecanizado mediante CNC. Este proceso de deposición y mecanizado es repetido hasta obtener el elemento 3D. Los procesos FFF demostraron excelente unión entre deposiciones y microestructuras de grano fino, con propiedades equivalentes a los de equivalentes forjados. Mecanizados con Inconel 718 demostraron buenas propiedades a temperatura ambiente mientras que las deposiciones realizadas con aluminio tratado térmicamente presentan propiedades inferiores, atribuidas a la acreción de precipitados por los ciclos de alta y baja temperatura durante el proceso. Su uso no está tan consolidado en la industria aeroespacial pero la simplicidad de la maquinaria permite la realización de trabajos de reparación y mecanizado a bajo coste.

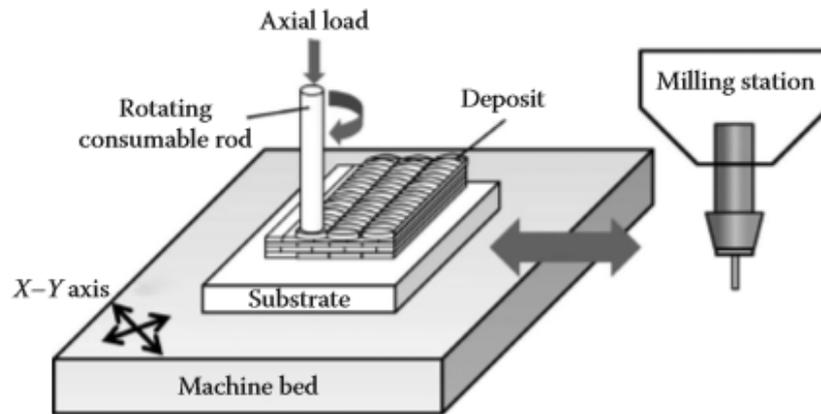


Figura 33. Fabricación por fricción.

CAPÍTULO 4

DISEÑO GENERATIVO

El Diseño Generativo se presenta como un proceso de exploración de diseños capaz de multiplicar la eficiencia del proceso de diseño y fabricación de elementos. Esta metodología de diseño es compatible con múltiples procesos de fabricación tales como el forjado o el mecanizado. Si bien, la optimización de distintos parámetros suele requerir el empleo de geometrías complejas que dificultan la utilización de métodos tradicionales de fabricación por lo que la Fabricación Aditiva resulta la elección más favorable.

Como se ha mencionado en el punto 2.2.3, se trata de un proceso iterativo de generación de elementos en base a parámetros de rendimiento y limitaciones introducidos por el diseñador en un software de optimización topológica. Mediante la variación controlada de parámetros se pueden obtener distintas geometrías que posteriormente son sometidas a un estudio cualitativo con el objetivo de obtener una solución de compromiso.

El objetivo de la optimización topológica es calcular una distribución de material óptima aplicando o removiendo materia de la geometría original de forma que cumpla las condiciones de contorno.

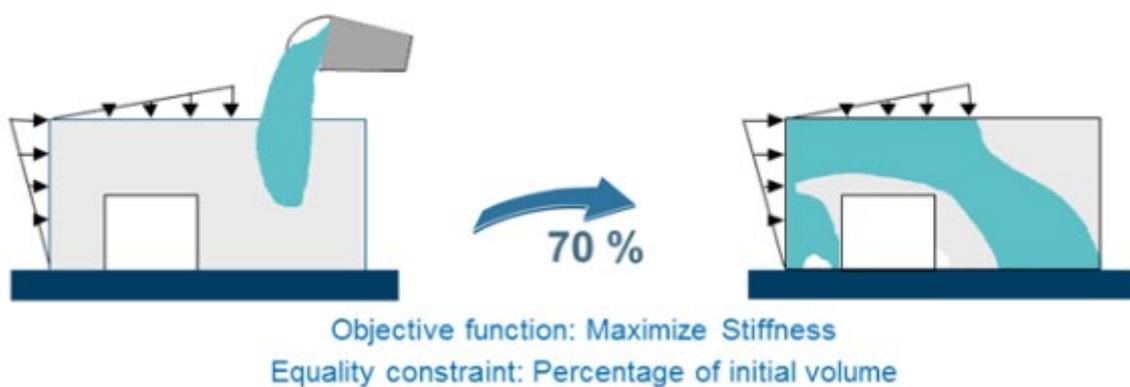


Figura 34. Optimización Topológica.

4.1 Proceso de optimización.

El módulo de optimización TOSCA busca aquellos elementos finitos que contribuyen a cumplir el objetivo de optimización. Las variables de la función de optimización están asociadas con la densidad de cada

elemento finito y una ley artificial relaciona la rigidez con la densidad del elemento. De esta forma, la densidad relativa (la ratio entre la densidad de un elemento después de la optimización y la original) es calculada para cada elemento. Después de escalar la densidad relativa de los elementos, se crea una distribución nueva de material. Aquellos elementos con mayor densidad relativa son retenidos, mientras que si esta es muy pequeña se asumen como vacío.

Para materiales isotrópicos, TOSCA divide los elementos de la malla en tres grupos dependiendo de sus cargas y descritos en termino de distribución de densidad, según la técnica descrita por Bendsoe y Kikuchi (Bendsoe, Kikuchi, 1988):

- Elementos Sólidos (Hard Elements): Soportan la estructura con el módulo máximo de elasticidad y , con $\rho = \rho_o$ siendo ρ_o la densidad del elemento original.
- Elementos de transición (Trans Elements): Sus características no han sido determinadas. Son elementos intermedios. En estas celdas la distribución de material varía a cada interacción. El módulo de elasticidad es simulado mediante una función de densidad $\rho = f(\sigma)$
- Elementos vacíos (Soft elements). Son elementos cuasi vacíos de la malla. No son requeridos para la estructura final ($\rho \approx 0$) y tiene un módulo de Young mínimo.

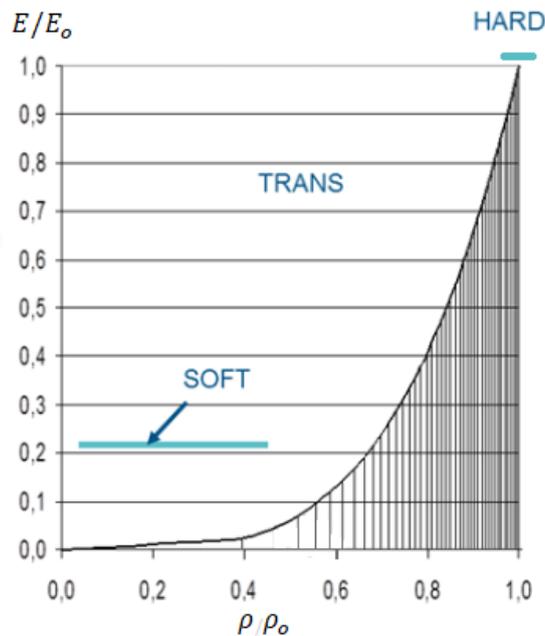


Figura 35. Clasificación de elementos en función de la densidad y el módulo de Young relativo.

En la figura siguiente se puede observar su distribución en un caso teórico. Las celdas en rojo son los Elementos Sólidos, con modulo máximo y mínima deformación. Los elementos en lugares que no requieren material son mostrados en blanco. El resto están mostrados en gris. Se pueden mantener en la estructura para aumenta la rigidez o pueden ser eliminados. La decisión es un compromiso entre incrementar la rigidez o reducir la masa.

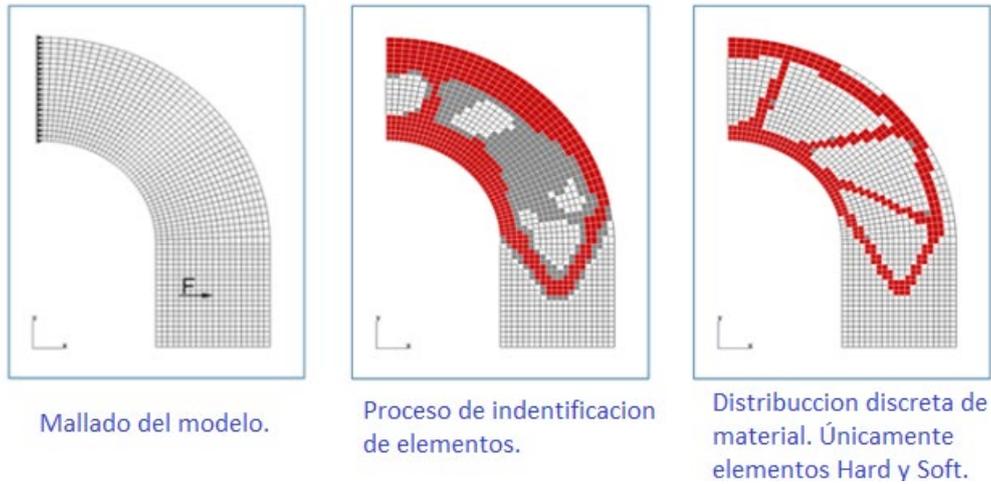


Figura 36. Distintas fases de la optimización topológica. (fuente: 3DEXPERIENCE, modificado)

La optimización resulta en una distribución discreta del material tras el filtrado de las celdas con una densidad inferior al límite fijado por el usuario. Para ello, los valores de las celdas son extrapolados a los puntos de los vértices y todos los puntos con el mismo valor son conectados entre sí para la creación de Isolíneas. Estas son utilizadas en el proceso de suavizado de la superficie mediante el control de un “isovalor”, creando nuevos nódulos que determinara la superficie final.

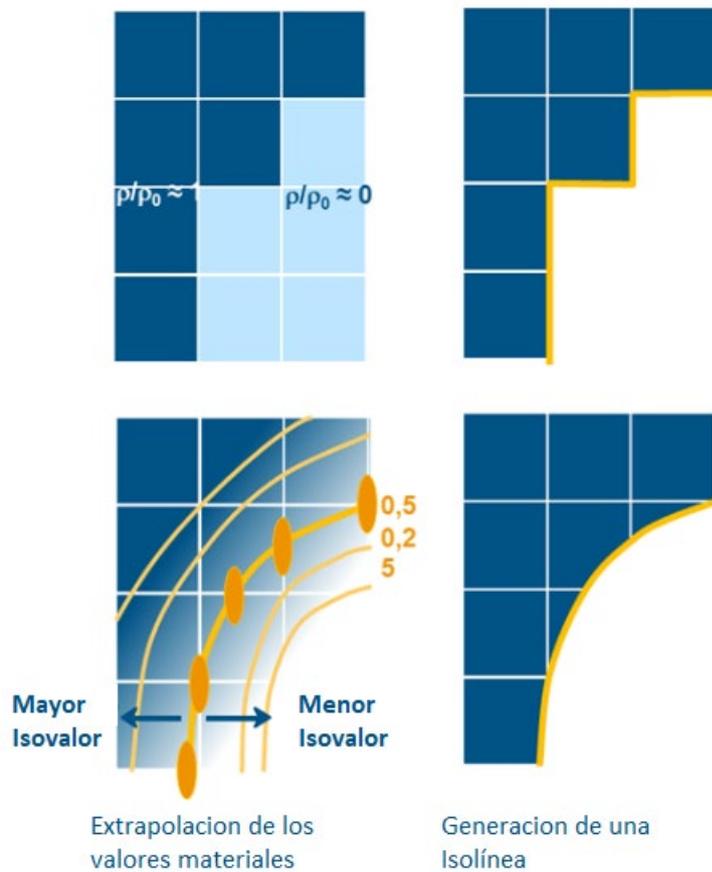


Figura 37. Proceso de suavizado de la superficie. (fuente: 3DEXPERIENCE, modificado)

4.2 Parámetros de Optimización.

Los criterios de optimización son definidos de antemano y se agrupan en tres tipos:

- Maximizar la rigidez mediante la minimización de la energía de deformación.
- Maximizar el primer modo de frecuencia para incrementar la frecuencia más baja de la pieza.
- Minimizar la masa global de la pieza.

Es necesario la aplicación de restricciones adicionales en el proceso de optimización para la producción de piezas lógicas. En los dos primeros criterios, es necesario definir una masa objetivo en valor o en porcentaje de la masa de partida para evitar que el programa simplemente añada material en todo el espacio disponible y así maximizar la rigidez y la frecuencia, sin realizar ninguna mejora. Para el caso de la minimización de la masa se requiere la definición de parámetros de desplazamiento y tensiones para que no genere una pieza vacía con únicamente material en las regiones especificadas como invariables.

Las restricciones disponibles en TOSCA incluyen:

Restricciones de **optimización**:

- Restricción de frecuencia: Para especificar la frecuencia máxima y mínima del diseño conceptual y el número de modos que deben exceder la frecuencia mínima.
- Restricción de desplazamiento: Para especificar el máximo desplazamiento de puntos seleccionados.
- Restricción de tensiones: Para especificar las tensiones máximas permisibles en el diseño.
- Restricción de las fuerzas en las uniones: Para limitar las fuerzas soportadas por los pernos virtuales.

Restricciones de **forma**:

- Restricciones de fabricación: Imponen a la forma resultante limitaciones geométricas como ausencia de cavidades o machos que dificulten la extracción si no son retractiles en procesos de extrusión y fundición.
- Restricción de espesor: Especifican el espesor mínimo o máximo en cualquier región de la pieza.
- Simetría y simetría cíclica: Imponen la simetría entorno a un plano o un eje, permitiendo además reducir tiempos de computo.
- Situación del centro de gravedad: Especifican la posición del centro de gravedad para aplicaciones que lo requieren.

Una combinación de todas estas restricciones es posible para la realización del proceso de optimización, siendo práctica habitual realizar los primeros diseños con un menor número de limitaciones e ir incrementándolas con sucesivos diseños.

4.3 Entorno de la optimización.

El proceso de optimización se ajusta a una serie de condiciones definidas por la funcionalidad de la pieza. Estas se pueden considerar las acciones externas a la pieza que le afectan y por tanto debe adaptar su forma para cumplirlas. Pueden ser agrupadas en:

- **Cargas:** Son las cargas mecánicas sobre el modelo pudiendo ser de carácter gravitatorio, presiones o fuerzas puntuales entre otras.

- **Condiciones de contorno:** Son restricciones en los grados de movimiento de la pieza respecto a factores externos. Así, por ejemplo, una restricción de tipo mordaza impide el desplazamiento o deformación de la región seleccionada ante la actuación de cargas.
- **Conexiones:** Las conexiones permiten la unión de regiones distintas mediante conexiones rígidas o elásticas. También pueden simular la interacción entre superficies y de la pieza con pernos virtuales.

Para el diseño de una pieza, esta debe ser capaz de soportar una variedad de situaciones de funcionamiento que pueden incluir distintas combinaciones de las anteriores. Para el proceso de optimización se crean unos casos de carga para representar estas situaciones y se realiza el computo de tal forma que la geometría resultante las cumpla todas independientemente, lo cual aumenta los tiempos de cálculos y la complejidad de la geometría.

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDIO

5.1 Contexto

Una vez analizados los puntos fuertes y las limitaciones de los procesos de *Fabricación Aditiva* y de los principios de operación de las herramientas de optimización topológica integradas en el proceso de *Diseño Generativo* se va a realizar un caso práctico, a título académico, de una pieza de carácter aeroespacial.

La pieza de partida para la optimización se trata de una bisagra encargada de la apertura del carenado de los motores CFM-56 en los Airbus A320, originalmente realizada en acero. Se mantendrá la disposición espacial de los agujeros y las dimensiones generales a fin de generar intercambiabilidad con la existente y será realizada en titanio. La elección del material se debe a las ventajas este material para las aplicaciones aeroespaciales, como su baja densidad y alta propiedades mecánicas. Además de ser el material metálico más estudiado para los procesos de fabricación aditiva debido a la mitigación de sus desventajas. El alto precio del material es reducido por una utilización de este mucho más eficiente, eliminando los desperdicios de los procesos sustractivos; y la dificultad de mecanizado es eliminada con este método. Una vez realizada la optimización se realizará la preparación para la impresión mediante un sistema de sustrato de polvo (*PBS*) de pequeño tamaño.



Figura 38. Pieza de partida para el proceso de optimización.



Figura 39. Situación de la pieza caso de estudio en el A320

5.2 Generación del Diseño Generativo.

El proceso completo de diseño conlleva tres fases principales:

1. Definición de especificaciones funcionales.
2. Creación y evaluación de formas conceptuales.
3. Modelado y validado de la geometría final.

Que se explican en los apartados siguientes.

5.2.1 Definición de especificaciones funcionales.

La primera etapa del proceso de optimización topología comienza con la definición del volumen de trabajo y termina con la definición de escenario, el cual incluye los distintos casos de carga a los que se le va a someter y los criterios de optimización.

5.2.1.1 Creación del Espacio de Diseño y las interfaces mecánicas.

Para la realización de una optimización topología en primer lugar hay que definir el espacio de trabajo. Este se traduce en la definición de las regiones donde es posible situar material y aquellas en las que por restricciones de funcionamiento o de practicidad deben permanecer vacías. En la plataforma 3DEXPERIENCE este "Espacio de Diseño" es definido mediante la creación de un sólido 3D en la herramienta CATIA, fuera del cual no se añadirá material. El espacio de diseño puede ser creado para fomentar soluciones específicas (véase apartado 5.1.4), pero en este caso se ha optado por dotarle de la mayor libertad.

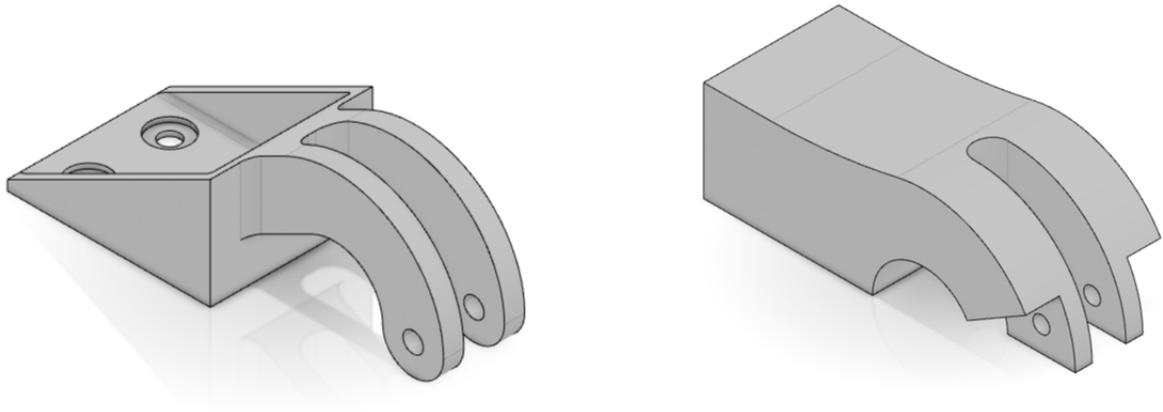


Figura 40. Pieza original y "Espacio de Diseño".

Adicionalmente se le realizan una serie de particiones para aquellas regiones que no deben ser modificadas durante el proceso de optimización por ser necesarias para la operación de la pieza, son conocidas como *Partes Funcionales* o "Frozen Regions" y en este caso incluyen la superficie de unión con el carenado con los agujeros para la tornillería y los agujeros para el eje de unión.

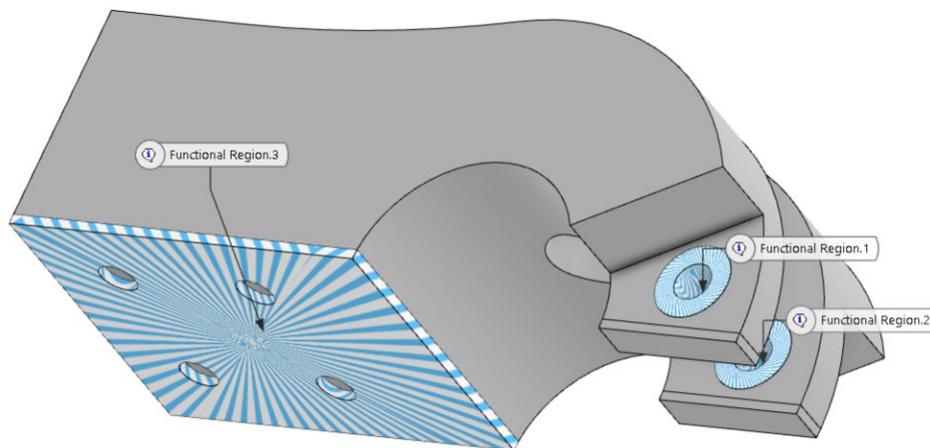


Figura 41. Partes funcionales de la pieza.

5.2.1.2 Definición de los casos de carga y las condiciones de contorno.

Para la configuración de los casos de carga se ha realizado una estimación de los esfuerzos que debe soportar la pieza en su operación normal. El procedimiento ha consistido en estimar la masa del carenado a partir de sus dimensiones y la densidad de la fibra de vidrio, resultando en un valor en torno a 300 kg dividido entre 4 bisagras., el equivalente a 735 N por bisagra. Los casos considerados son la posición de cerrado y de abierto. Los esfuerzos laterales debido a la viscosidad durante el vuelo se han considerado

despreciables. Sobre la superficie plana se ha configurado una condición de contorno de tipo mordaza para evitar su desplazamiento y deformación.

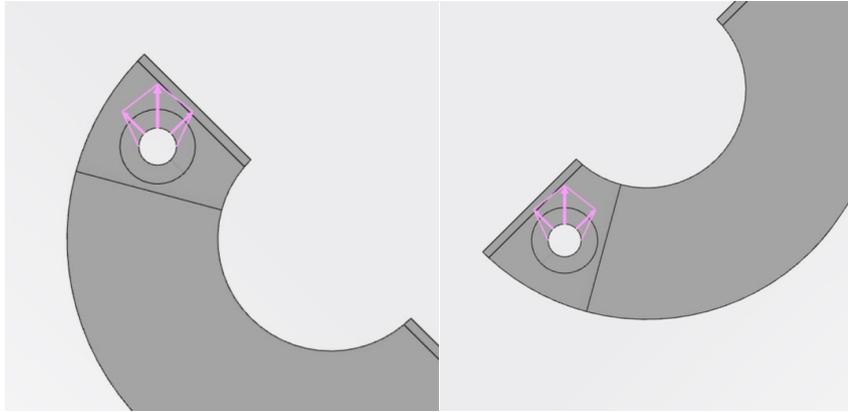


Figura 42. Dirección de las cargas en posición de cerrado y abierto respectivamente.

Con la definición de las cargas y condiciones de contorno ya realizadas el siguiente paso es generar la malla para el cálculo por elementos finitos y validar la configuración. La validación consiste simular el comportamiento ante las cargas del espacio de diseño para detectar posibles errores de configuración antes de iniciar el proceso de optimización. La malla esta generado con elementos de tipo cuadrático requeridas para el estudio en detalle de las tensiones, con un numero de 177 204 celdas.

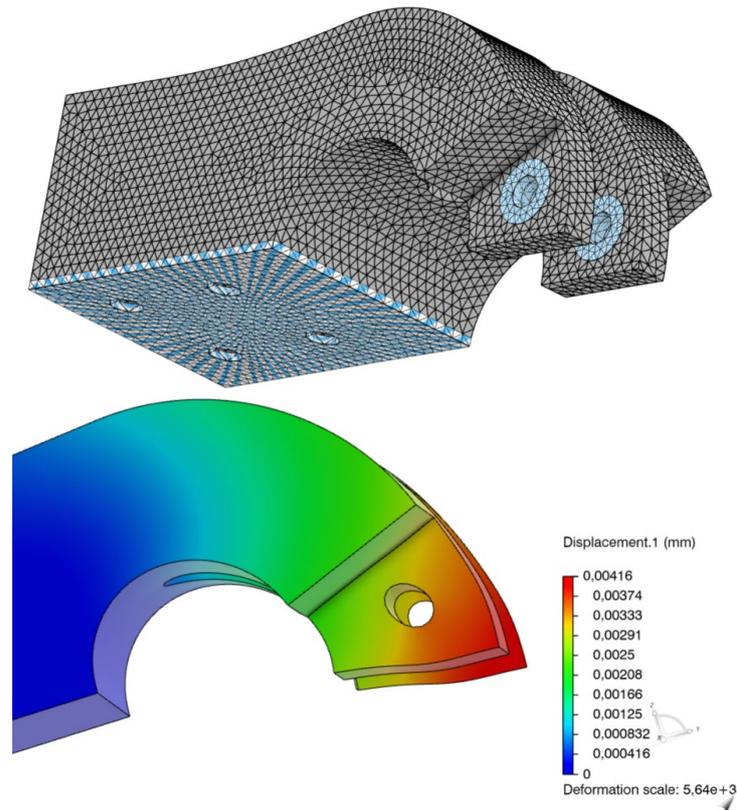


Figura 43. Mallado y validación.

5.2.1.3 Definición de los objetivo y restricciones.

A fin de realizar un estudio comparativo entre diferentes modelos se ha optado por establecer como objetivo de optimización la maximización de la rigidez para una masa objetivo de 0,6 kg, estableciendo como límite de tensión un valor de 830 MPa, inferior al límite elástico del Ti-6Al-4V y se ha impuesto reglas de simetría y un espesor mínimo de 3 mm

5.2.2 Creación y comparación de formas conceptuales.

La segunda etapa del proceso de optimización incluye el cálculo y validación previa de la geometría obtenida, y termina con la generación de variantes del diseño para su selección.

5.2.2.1 Realización del estudio optimizador.

Para la realización del cálculo por elementos finitos se han empleado un cálculo en paralelo en 4 núcleos, con un tiempo medio de cálculo de 3h 40 min por geometría. Se han estipulado unos 60 ciclos de iteración para alcanzar la masa objetivo.

Una vez realizada la optimización el resultado puede observarse en la Figura 44:

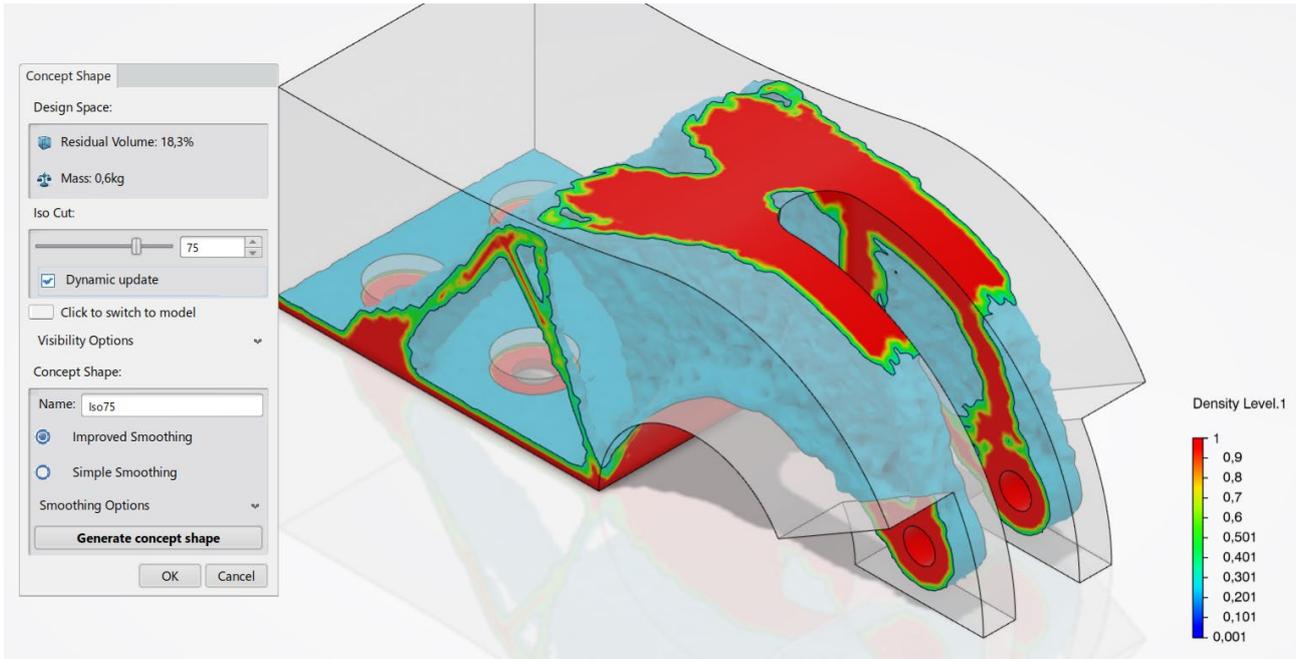


Figura 44. Resultado del proceso de optimización. Densidad relativa de los elementos.

En él aparecen aquellos elementos que superan el mínimo establecido por el isovalor de corte, en este caso 75, por lo que aquellas celdas con una densidad relativa superior a 0.25 parecen representadas. Su variación resulta en el incremento o disminución del número de celdas afectando a las propiedades de la pieza.

5.2.2.2 Generación de conceptos de diseño.

El resultado anterior no se puede traducir directamente en una pieza final. La escala geométrica de la malla crea irregularidades y para valores bajos de isovalores aparecen regiones inconexas.

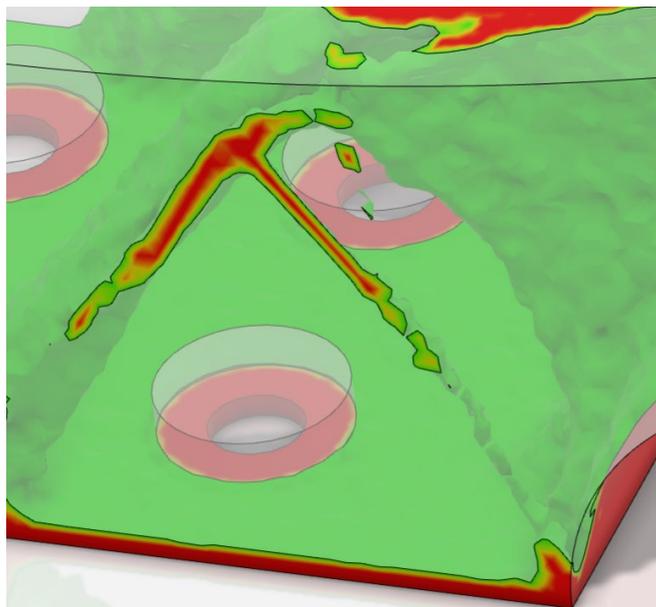


Figura 45. Región inconexa para Isovalor 45.

Para la generación de un concepto de diseño se aplica un proceso de suavizado consistente en la generación de unas superficies interpoladoras que realizan un corte del espacio de diseño original,

resultado en modelos CAD prácticos. A partir de una misma optimización se pueden obtener distintas variaciones regulando el Isovalor de corte para el posterior estudio comparativo.

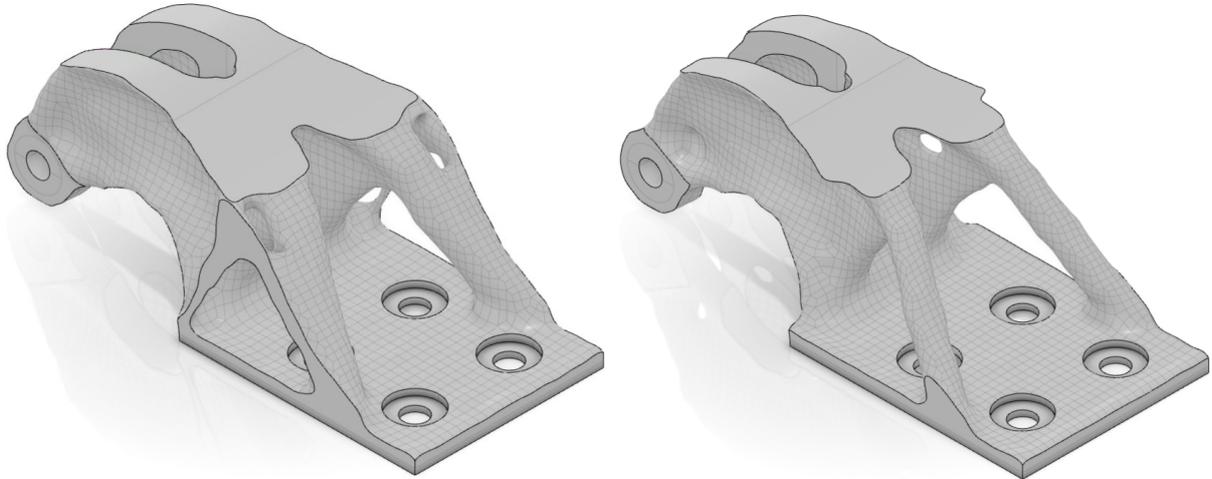


Figura 46. Resultado de optimización. Isovalor 75 e Isovalor 45

Podemos observar las variaciones geométricas entre los dos modelos en función del Isovalor y la eliminación de las regiones inconexas. Una examinación detallada demuestra que una misma pieza no es totalmente simétrica. La resolución de la malla y el proceso de corte puede generar esta incongruencia.

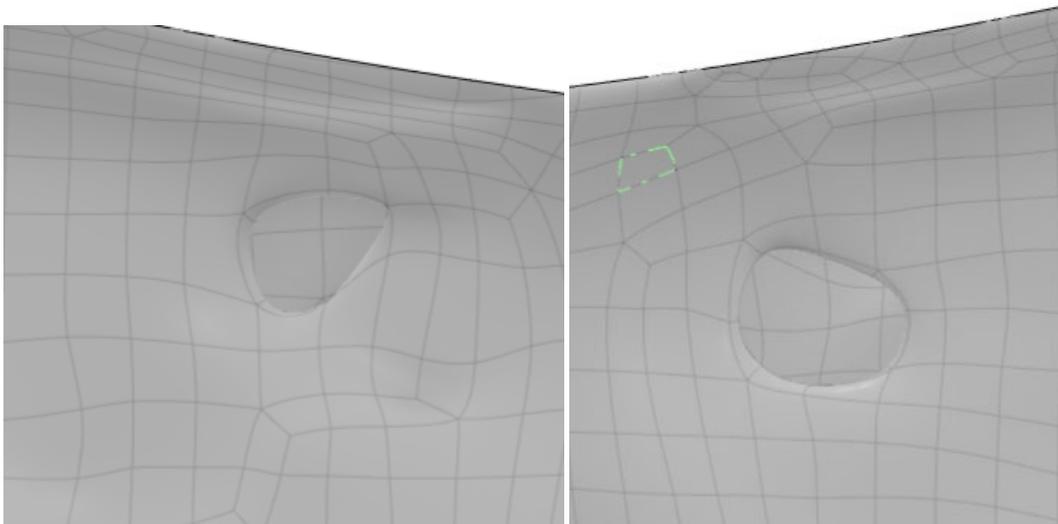


Figura 47. Asimetría en las perforaciones.

5.2.2.3 Realización de la validación estructural previa.

Con las geometrías generadas se puede realizar una validación estructural para comprobar su comportamiento ante los casos de carga para los que ha sido optimizado, así como otros nuevos. En las simulaciones se presenta el modelo sometido a la deformación con su efecto amplificado para una mejor visualización. Resaltando los puntos críticos y los valores máximos. Podemos observar que el valor máximo no supera los límites del material.

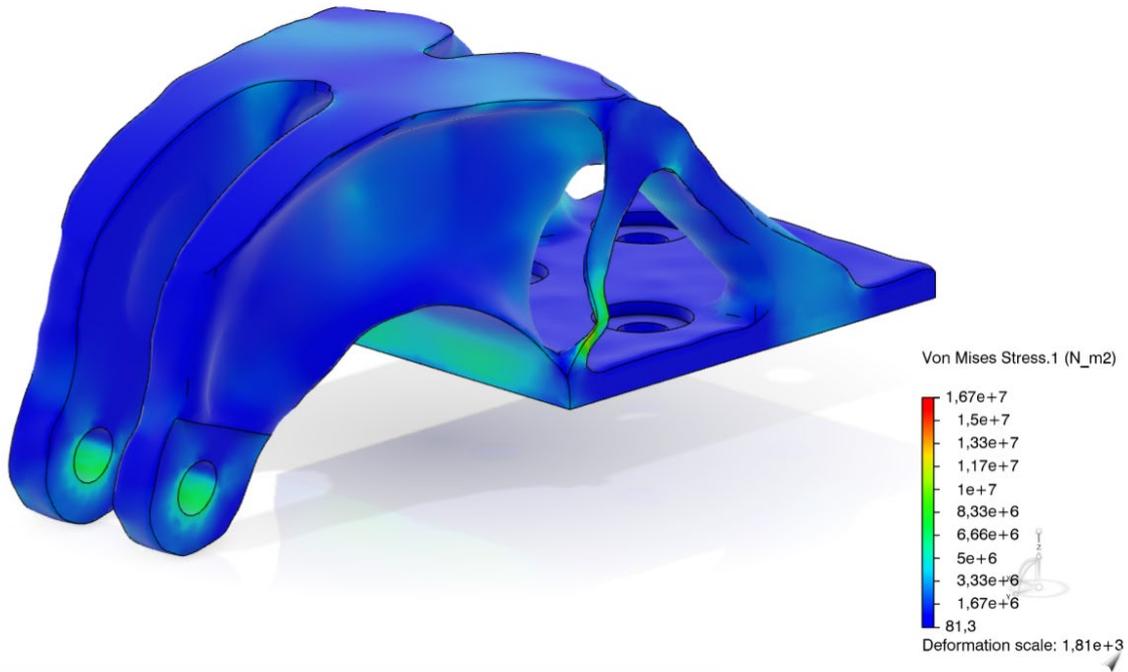


Figura 48. Tensión de Von Mises sobre la pieza con Isovalor 75.

5.2.2.4 Creación de variantes.

Con motivo de seleccionar la geometría óptima para la misión es necesario la realización de múltiples variantes para dar con la solución de compromiso. Para ello una vez realizado la optimización topológica se pueden crear varias variantes a partir de este, como hemos visto hasta ahora, mediante la variación del Isovalor. Adicionalmente se pueden crear nuevas optimizaciones topológicas variando los objetivos de optimización o el "Espacio de Diseño".

En este estudio se ha optado por la creación de un nuevo Espacio de Diseño y la creación de dos variantes de cada uno de los espacios con Isovalores 45 y 75.

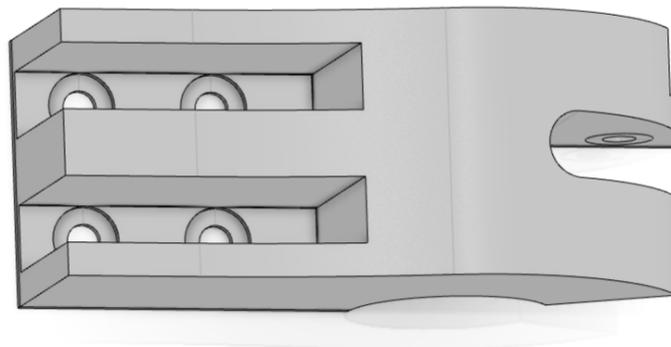


Figura 49. Espacio de Diseño modificado.

La selección de este Espacio de diseño se ha realizado para asemejarlo a estudios previos sobre la pieza inicial.

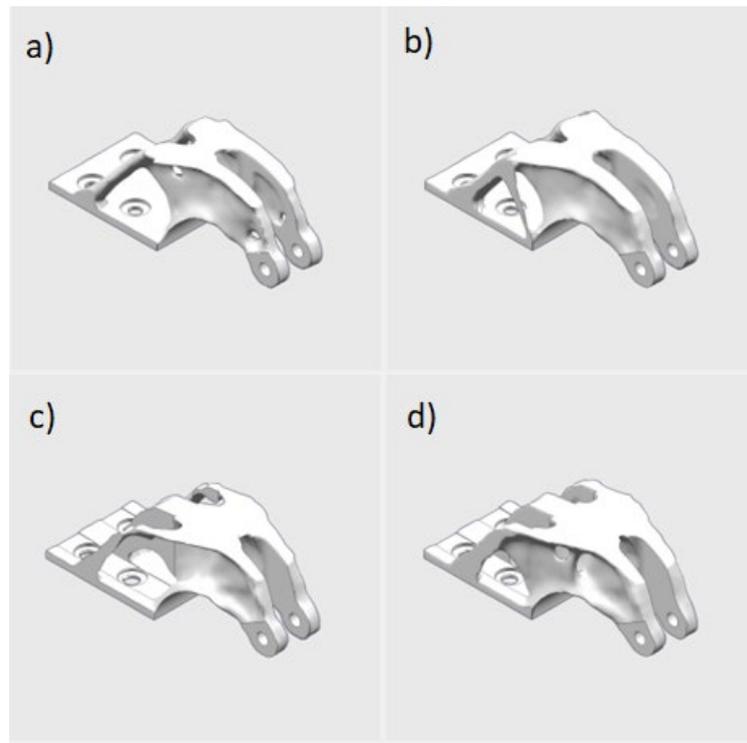
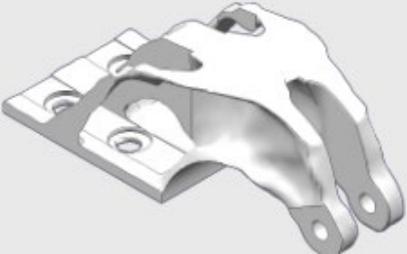


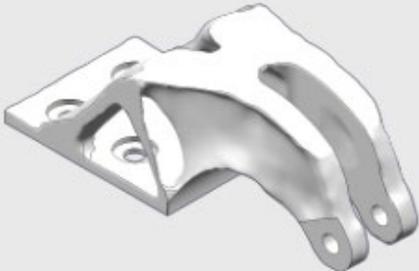
Figura 50. Variantes generadas para el estudio. a) Espacio de Diseño 1. Isovalor 45. b) Espacio de diseño 1. Isovalor 75. c) Espacio de diseño 2. Isovalor 45. d) Espacio de Diseño 2. Isovalor 75

5.2.2.5 Revisión de variantes y selección de conceptos.

Tras la generación y simulación de las variantes se procede a un estudio de comparación entre ellas. El programa dispone de una herramienta para la realización de estudios de este tipo que permite asignar prioridades a las características deseadas y ordenar las versiones según una puntuación. En este caso, la mayor prioridad ha sido asignada a la **reducción de peso**, siendo la **minimización de las tensiones** de Von Mises el segundo criterio en prioridad. El resto de los parámetros poseen prioridades idénticas. A continuación, se muestra el resultado en función de la puntuación obtenida. Vemos que el mejor resultado se obtiene para las piezas con Isovalor 45 por su peso reducido. Mecánicamente todas superan ampliamente a la pieza inicial.

	Nombre:	Espacio_1_Iso45.	
	Puntuación.	93,8219	
	Masa.	0,602	kg
	Volumen	$1,339 \cdot 10^{-4}$	m ³
	Estrés de Von Mises	$1,97 \cdot 10^7$	N/m ²
	Estrés Principal Mínimo	$2,612 \cdot 10^6$	N/m ²
	Estrés Principal Máximo	$1,369 \cdot 10^7$	N/m ²
	Desplazamiento	0,034	mm
	Fuerza de reacción máxima	19,234	N
	Energía de deformación	0,009	J

	Nombre:	Espacio_2_Iso45.	
	Puntuación	83,2195	
	Masa	0,71	kg
	Volumen	$1,579 \cdot 10^{-4}$	m ³
	Tensiones de Von Mises	$1,515 \cdot 10^7$	N/m ²
	Tensión principal Mínima	$1,865 \cdot 10^6$	N/m ²
	Estrés Principal Máximo.	$1,734 \cdot 10^7$	N/m ²
	Desplazamiento	0,028	mm
	Fuerza de reacción máxima	21,731	N
	Energía de deformación	0,007	J

	Nombre:	Espacio_1_Iso75.	
	Puntuación.	75,275	
	Masa.	0,823	kg
	Volumen	$1,828 \cdot 10^{-4}$	m ³
	Estrés de Von Mises.	$1,597 \cdot 10^7$	N/m ²
	Estrés Principal Mínimo.	$1,597 \cdot 10^6$	N/m ²
	Estrés Principal Máximo.	$1,09 \cdot 10^7$	N/m ²
	Desplazamiento.	0,024	mm
	Fuerza de reacción máxima.	14,19	N
	Energía de deformación.	0,006	J

	Nombre:	Espacio_2_Iso75.	
	Puntuación.	57,1429	
	Masa.	1,032	kg
	Volumen	$2,293 \cdot 10^{-4}$	M ³
	Estrés de Von Mises.	$9,816 \cdot 10^6$	N/m ²
	Estrés Principal Mínimo.	$1,496 \cdot 10^6$	N/m ²
	Estrés Principal Máximo.	$1,002 \cdot 10^7$	N/m ²
	Desplazamiento.	0,017	mm
	Fuerza de reacción máxima.	13,226	N
	Energía de deformación.	0,005	J

	Nombre:	Pieza_Inicial.	
	Puntuación.	33,1913	
	Masa.	0,699	kg
	Volumen	$1,554 \cdot 10^{-4}$	M ³
	Estrés de Von Mises.	$9,412 \cdot 10^7$	N/m ²
	Estrés Principal Mínimo.	$1,344 \cdot 10^7$	N/m ²
	Estrés Principal Máximo.	$1,109 \cdot 10^8$	N/m ²
	Desplazamiento.	0,199	mm
	Fuerza de reacción máxima.	33,455	N
	Energía de deformación.	0,047	J

5.2.3 Modelado y validación de la geometría final.

El paso final tras la selección de la geometría es la creación del modelo final.

5.2.3.1 Diseño detallado.

Debido al proceso de optimización topológica las piezas generadas poseen ciertas características geométricas que pueden interesar evitar, tales como la falta de simetría o protuberancias en la superficie. Si el método de fabricación es distinto al de fabricación aditiva también se suelen realizar modificaciones para adecuarlo a sus limitaciones. El proceso de creación del diseño detallado consiste en dividir la pieza por sus planos de simetría y generar con herramientas de diseño una superficie 3D que siga el diseño obtenido, pero aplicando correcciones. Una vez terminado se forma la pieza completa a partir de los planos de simetría. Es un proceso que puede ser evitado si se está satisfecho con las piezas obtenidas directamente del proceso de optimización.

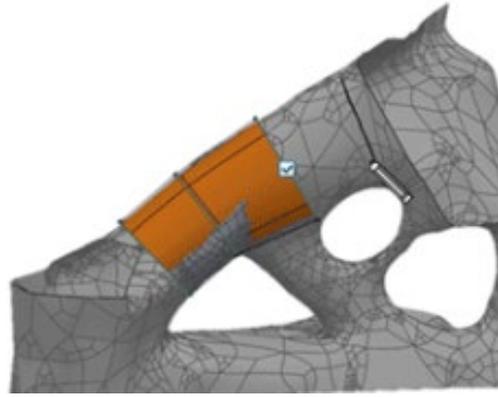


Figura 51. Generación del diseño detallado a partir de estructuras tubulares 3D. (fuente: 3DEXPERIENCE)

5.2.3.2 Validación estructural y de fabricación.

Una vez se ha decidido la geometría final, se realiza una validación estructural similar a la realizada en la fase anterior y que puede ser ampliada con otros escenarios de carga. Dependiendo del método de fabricación se puede estudiar la viabilidad de fabricación de la geometría mediante herramientas especializadas para controlar el desmoldeo en procesos de inyección o las superficies en voladizo que requieren soporte en la impresión.

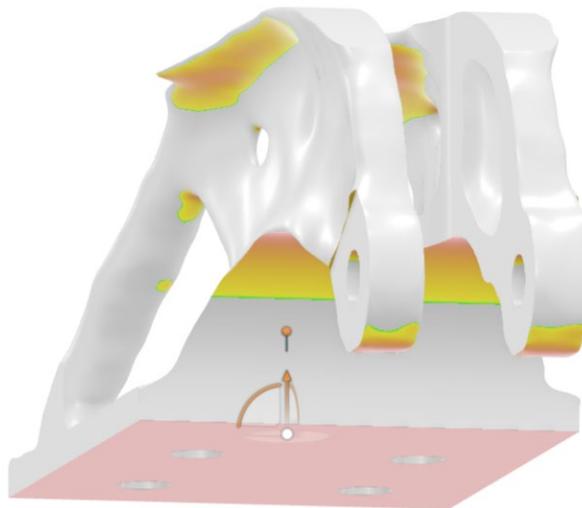


Figura 52. Superficies con ángulos superiores a 45° respecto al eje Z y que requerirían soportes.

5.3 Generación del proceso de impresión.

A continuación, se va a establecer el proceso de impresión en un sistema de sustrato de polvo (PBS) sobre la pieza con Isovalor 75 del Espacio de Diseño 1 por presentar una estructura geometría más desafiante para la impresión.

La generación del proceso de fabricación aditiva requiere la configuración de los parámetros del entorno de impresión. Estos son dependientes de la maquina y sustrato que se va a emplear y se pueden observar en las especificaciones técnicas de la maquina disponibles en Anexos.

Una vez configurada la máquina se procede a situar los elementos a imprimir en el entorno mediante una serie de reglas predefinidas por el usuario. La orientación de la pieza es un factor clave en el proceso de impresión al afectar tanto a la calidad de la impresión como al número de soportes necesarios para realizarla.

Las opciones disponibles permiten reducir el área que necesita soportes con el sustrato y entre piezas, maximizar el área proyectada en el soporte para aumentar la estabilidad pero que dificulta la extracción y la altura total de la construcción para no superar la disponible en la maquinaria. En este caso se ha establecido una holgura entre las piezas y el sustrato de 1 cm y entre piezas de 2 cm.

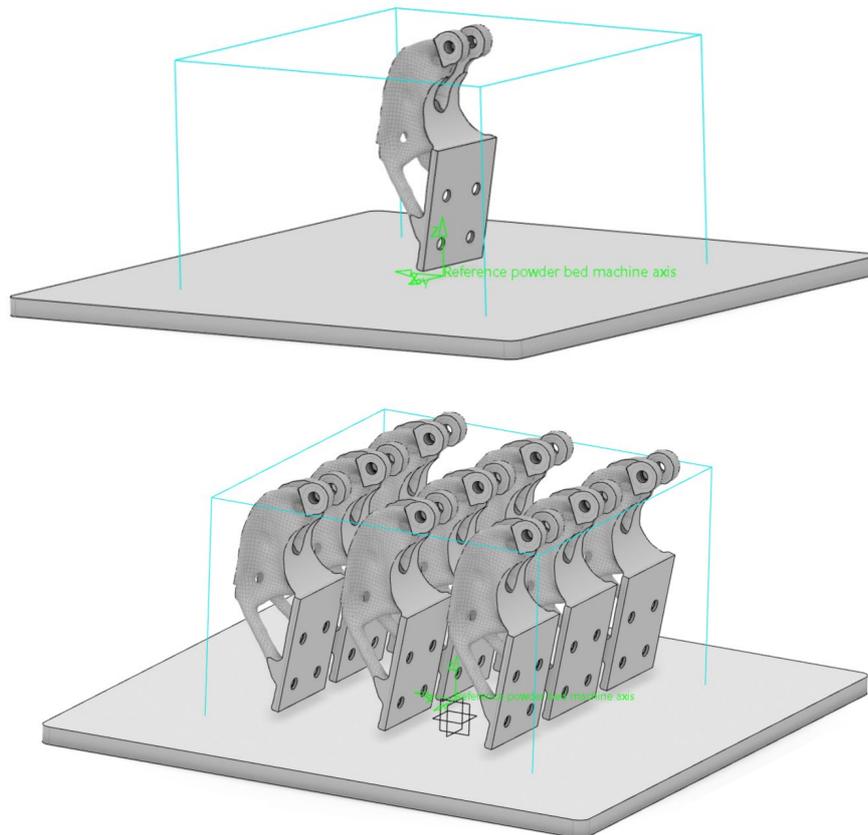


Figura 53. Situación de una y múltiples piezas para minimizar el soporte requerido.

Para la generación de soportes se ha empleado una herramienta de generación manual que permite detectar las superficies que requieren de soporte y aplicar el tipo conveniente. En este caso se ha aplicado una combinación de soportes tipo árbol y tipo mallado (grid).

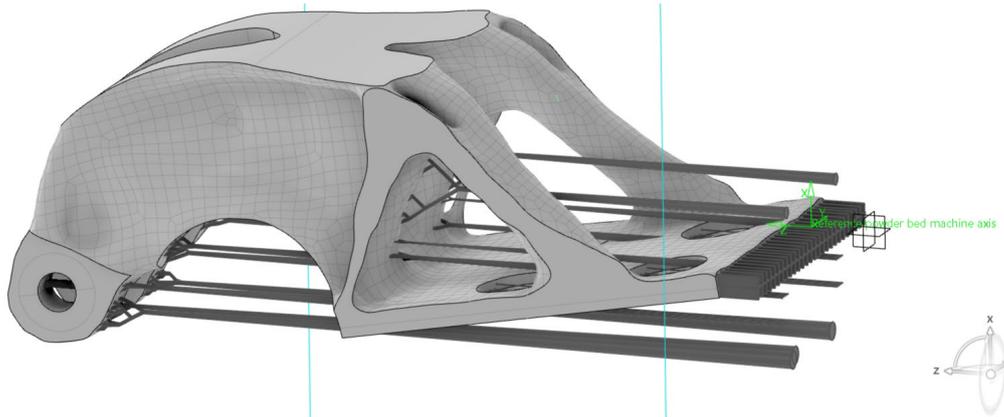


Figura 54. Soportes sobre la pieza.

El soporte tipo grid se ha aplicado en la parte inferior de la pieza para proporcionar un inicial sólido con una buena transferencia térmica al sustrato. Para las superficies suspendidas, definidas como aquellas cuya normal difiere más de 45° de la dirección de impresión se han utilizado soportes de tipo árbol, compuestos de una estructura central, el “tronco”, que se bifurca cerca de la pieza para cubrir mayor superficie reduciendo el material empleado en los soportes.

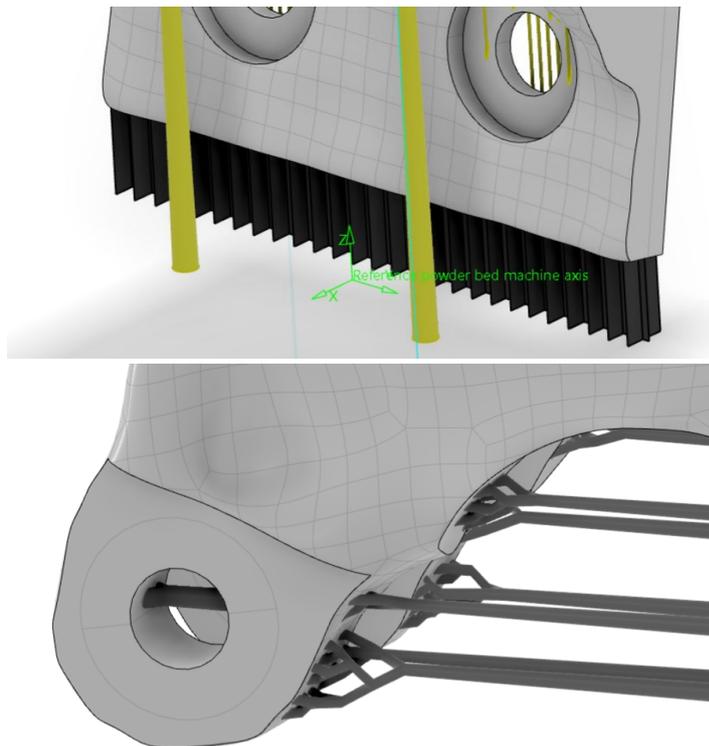


Figura 55. Soportes tipo "Grid" y tipo "Árbol" respectivamente.

La metodología de generación del camino de impresión se basa en el contorneado de los bordes de la pieza de forma que es generada de fuera a adentro. Esta ha sido seleccionada frente a otras metodologías consistentes en escaneos rectilíneos a lo largo de los ejes X e Y pues permite adaptarse de forma más adecuada a las secciones curvilíneas de las geometrías orgánicas permitiendo mejor resolución y un acabado más sólido. La resolución mínima es de 0,1 mm con un espaciado de 0,15 para la generación de los contornos (no claramente visible), mientras que en el interior de la pieza el diámetro del láser se

incrementa hasta 1,2 mm. Con un espaciado entre deposiciones de 1 mm para garantizar la superposición de las deposiciones.

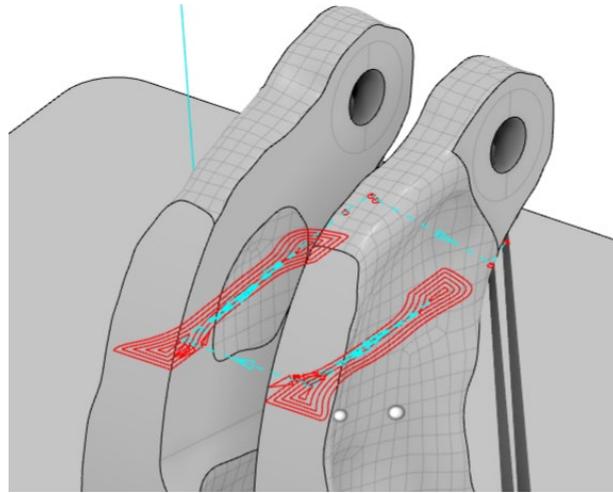


Figura 56. Patrón de escaneo.

La simulación de proceso de impresión genera un mapa de color mostrando en colores cálidos las zonas con mayor temperatura y con colores fríos las que la temperatura será inferior al punto de diseño. Una variación es admisible sin embargo en este caso la pieza presenta dos zonas mostradas en rojo. En estas se puede presentar una alta rugosidad superficial debido a un exceso de temperatura. La adición de nuevos soportes en la zona no mejora el resultado por lo que un proceso de mecanizado para mejorar el acabado final será necesario. También es posible modificar el patrón de escaneo para estas zonas de forma que se reduzca la acumulación de temperatura por la baja cantidad de material. Las zonas donde la fusión se calcula que será insuficiente son mostradas en azul oscuro. Su presencia es escasa y dispersa por lo no suponen un problema mayor.

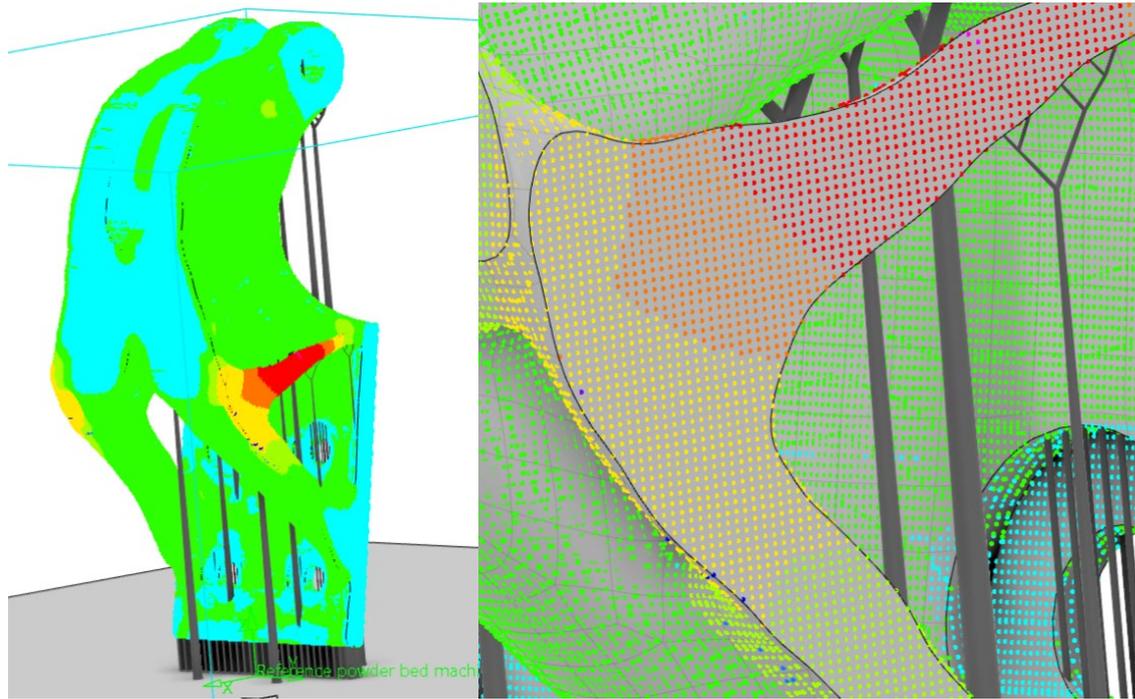


Figura 57. Resultados del análisis de impresión. Mapa de temperaturas.

5.4 Discusión de resultados.

En esta sección se va a realizar una evaluación de los resultados tanto del proceso de diseño generativo como de la generación de la pieza de impresión.

Del proceso de diseño generativo se destaca que las piezas que han obtenido mejor puntuación final en el proceso de selección han sido ambas piezas con un Isovalor más bajo por la alta prioridad dada al factor de la masa en la comparación. Sin embargo, cabe destacar que solo una pieza a obtenido una masa inferior a la inicial mientras que todas han obtenido especificaciones mecánicas muy superiores. Esto se puede deber a unas restricciones muy abiertas para la definición precisa de los objetivos. Comparando con estudios previos se puede observar como el espacio inicial fue diseñado de forma más restrictiva de forma que actuara de guía en el proceso de optimización.

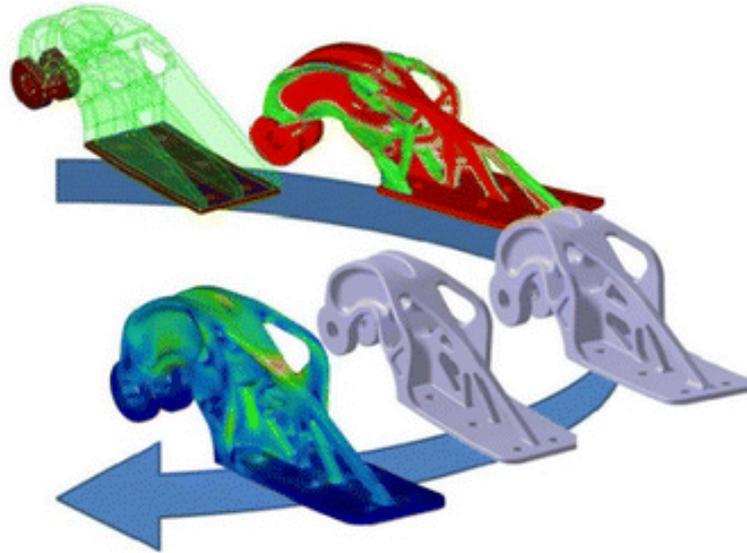


Figura 58. Proceso de optimización sobre la misma pieza. (fuente:L. Arch Computat Methods Eng (2016))

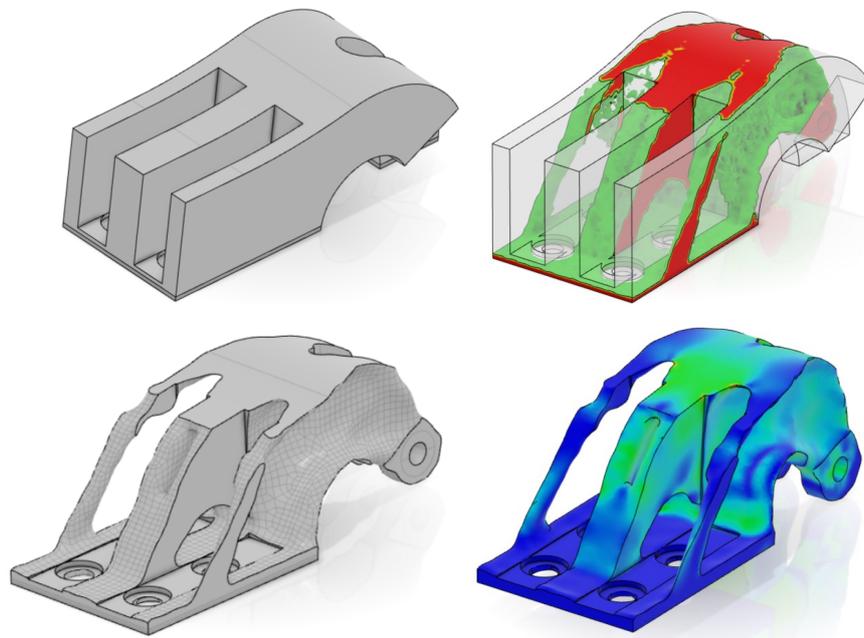


Figura 59. Proceso de optimización realizado en este estudio con Espacio de Diseño similar.

Existe la posibilidad de realizar nuevas interacciones limitando el espacio de diseño inicial a una geometría similar a la obtenidas actualmente para buscar una mejora global. Con todo, la geometría final se puede considerar como una mejora sobre la pieza base por lo que el proceso se puede considerar exitoso.

Respecto al proceso de impresión se ha conseguido generar exitosamente la documentación necesaria para la generación de la pieza mediante un proceso de substrato de polvo. Sin embargo, la geometría presenta una serie de características geométricas que afectan a la impresión y que deben ser estudiadas en más detalle pues el efecto en el resultado final es incierto actualmente. Con la investigación realizada en el Capítulo 3 sobre las características del proceso de fabricación aditiva se estima que la acumulación de temperatura puede generar la creación de tensiones retenidas tras el enfriamiento de la pieza por lo que un tratamiento térmico es recomendable. La alta temperatura generará una fluidez elevada del metal fundido por lo que el acabado superficial presentará mayor irregularidad. Puesto que se requiere de un trabajo de acabado para remover los soportes y llevar la pieza a tolerancias no resulta un gran

inconveniente. También es posible la variación de los parámetros de impresión para la realización de estas zonas. Cabe destacar que esta geometría ha sido seleccionada, a título académico, para crear el proceso de impresión por su mayor complejidad y que la geometría que ha presentado mayores resultados en el proceso de optimización carece de las estructuras problemáticas, de hecho, es una de las diferencias más notables entre ambas. Por otro lado, lo que si puede generar una dificultad para el trabajo de acabado es la geometría orgánica de todas las piezas que puede presentar dificultades a la hora de amarrarla durante este proceso de acabado. Es preciso por tanto la fabricación de prototipos para evaluar el impacto real antes introducir esta nueva geometría en la cadena de producción.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusiones

El presente trabajo fin de grado estableció como objetivo principal revisar las tecnologías de Fabricación Aditiva y su aplicación en el sector aeroespacial, así como establecer metodológicamente las fases de Diseño para Fabricación Aditiva.

Los resultados del trabajo constatan que se ha realizado una investigación de las distintas técnicas de Fabricación Aditiva sobre metales disponibles actualmente para producción, identificando su modo de operación y características. Estas técnicas de conformado se están consolidando como el siguiente gran salto tecnológico en el campo de la manufactura y una oportunidad para potenciar la innovación en todo tipo de campos siendo el sector aeroespacial de los más beneficiados con la implementación de esta tecnología.

Asimismo, se ha estudiado el proceso de diseño mejorado de componentes conocido como Diseño Generativo consistente en la generación piezas optimizadas mediante proceso topológicos. Para ello se ha utilizado aplicaciones embebidas en la plataforma PLM 3DEXPERIENCE para modelar, optimizar y preparar la fabricación aditiva.

Estas aplicaciones, la estrategia de modelado y las técnicas de fabricación aditiva presentan una gran sinergia entre ellas pues los resultados del proceso de Diseño Generativo presentan características geométricas complejas que únicamente pueden ser elaboradas fielmente mediante métodos de Fabricación Aditiva.

Con fin de profundizar en ambas tecnologías en este trabajo académico, además de la revisión del estado del arte, se ha realizado la evaluación de un Caso de Estudio a partir de una pieza aeroespacial en uso dentro de la plataforma 3DEXPERIENCE y sus herramientas CATIA, DELMIA y SIMULIA. Este Caso de Estudio ha consistido en la generación de cuatro variantes de la pieza original mediante la aplicación de un proceso de optimización topológica y la realización de un estudio comparativo entre ellas para identificar la más adecuada. Posteriormente se ha realizado la preparación para la impresión 3D de la pieza que se ha estimado más compleja de las resultantes para evaluar capacidades del proceso.

El proceso de optimización se puede considerar exitoso, resultando en una pieza un 13,87% más ligera, con una deformación y un estrés de Von Mises 5,85 y 4,77 veces inferior respectivamente. Sin embargo, se han detectado una serie acciones posibles que permitirían iterar el diseño permitiendo reducir aún más la masa con la posible disminución de las propiedades mecánicas las cuales presenta un amplio margen respecto a los requerimientos mínimos de la pieza.

La generación del modelo de impresión también se ha realizado satisfactoriamente identificándose una serie de puntos críticos del proceso de impresión que pueden causar problemas y posibles soluciones a estos a partir de los conocimientos adquiridos durante el proceso de investigación de la tecnología de Fabricación Aditiva.

La realización de este trabajo ha resultado por tanto en la adquisición de competencias técnicas y conocimientos aplicables en estas tecnologías de gran aplicación futura en el sector aeroespacial y otros.

Por todo lo expuesto anteriormente, podemos considerar que los objetivos planteados Inicialmente para este trabajo fin de grado se han cumplido satisfactoriamente, tanto desde el punto de vista académico como desde la perspectiva tecnológica. Asimismo, no sólo se han potenciado las competencias propias del título de ingeniería aeroespacial si no también las competencias transversales requeridas por los empleadores.

6.2 Trabajos Futuros

Dentro de las posibles continuaciones al presente Trabajo de Fin de Grado se propone realizar acciones en diversos campos como:

- La aplicación de las mejoras posibles detectadas en el proceso de optimización de la geometría, tales como el refinamiento del espacio de diseño para guiar la geometría y la persecución más exigente en los criterios de optimización.
- El estudio de las geometrías ante otras cargas en servicio no consideradas como puede ser estudios de pandeo y resonancia.
- La generación de patrones de impresión del resto de geometrías obtenidas en este estudio.
- La generación de simulaciones numéricas de la dinámica de impresión mediante SIMULIA para estudiar los patrones de impresión generados.
- La elaboración de prototipo físicos de las piezas generadas para validar los resultados obtenidos mediante métodos experimentales. Se sugiere el uso de impresión 3D en plástico por su disponibilidad y economía antes de fabricarla en metal.

Asimismo, también está abierta la aplicación de estas técnicas a nuevos casos de estudio de interés industrial y aeroespacial. La optimización para casos donde los factores térmicos tiene importancia se encuentra dentro de las capacidades de la herramienta y su aplicación en intercambiadores de calor y alabes de turbina entre otros puede constituir un buen trabajo de continuación.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Libros y artículos de revista

[Mazumder, 2000] Jyoti Mazumder, Pravansu Mohanty. Solidification behavior and microstructural evolution during laser beam—material interaction

[Pinkerton and Li, 2003] Andrew Pinkerton, Lin Li. *Rapid prototyping using direct laser deposition—the effect of powder atomization type and flowrate*

[Brandl, 2011] Erhard Brandl, Bernd Baufeld. *Wire based additive layer manufacturing: Comparison of microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V components fabricated by laser-beam deposition and shaped metal deposition.*

[Brandl, 2012] Erhard Brandl, Achim Schoberth, Christoph Leyens. *Morphology, microstructure, and hardness of titanium (Ti-6Al-4V) blocks deposited by wire-feed additive layer manufacturing (ALM)*

[Holzbach, 2017] Stella Holzbach, Martin Schulz, Ana Sofia Clímaco. Additive Manufacturing of H11 with Wire-Based Laser Metal Deposition

[Saunders, 2017] Marc SAunders. Real-time AM monitoring opens up new process control opportunities.

[Li, Yang, Yin, 2017] Wenya Li, Kang Yang, Shuo Yin. *Solid-state additive manufacturing and repairing by cold spraying: A review*

[Bandyopadhyay, 2016] Amit Bandyopadhyay, Susmita Bose. *Additive Manufacturing.*

[Bendsoe, Kikuchi, 1988] Martin Bendsoe, Noboru Kikuchi. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Grado Universitario en Ingeniería Aeroespacial

ANEXOS

ANÁLISIS DEL PROCESO DEL DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA APLICADO A COMPONENTES AEROSPAZIALES.

Ángel Marín Requena

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Ficha técnica de la máquina de impresión.
2. Ficha técnica del polvo de impresión.
3. Parámetros de impresión.

1. Ficha técnica de la máquina de impresión.

Modelo:	DMP Factory 350		
Especificaciones.			
Equipo láser	Fibra Óptica 500 W		
Volumen de fabricación.	275 x 275 x 380 mm		
Espesor de capa.	10 µm – 100 µm. Preselección: 30 y 60 µm		
Repetibilidad	X=20 µm, Y=20 µm, Z=20 µm		
Resolución mínima	100 µm		
Precisión típica	±0,1-0,2% con ±50 µm mínimo		
Control de Calidad	Integrado.		
Sistemas de control y software			
Herramienta de software	Software todo en uno para AM metálica 3DXpert		
Software de control	Suite de control DMP		
Administración de polvo	Integrado.		
Materiales disponibles	Ti Gr1 (A)	AlSi10Mg	17-4PH
	Ti Gr5 (A)	AlSi7Mg0.6	CoCrF75
	Ti Gr23 (A)	Ni625	316L
		Ni718	Acero Maraging

Tabla 3 Ficha técnica máquina de impresión DMP Factory 350 (fuente: 3D Systems)



Figura 60 DMO Factory 350 (fuente: 3D Systems)

2. Ficha técnica del polvo de impresión.

Polvo de titanio GoodFellow (Ref: TI 006076)

Tamaño máximo	106 μm
Pureza	99,5%
Estado	Grado 2
Condición	Atomizado por gas
Forma	Polvo esférico
Impurezas (%)	C<0,1 Cloruros - 1,7 Fe - 0,2 N < 0, O- 0,1

Tabla 4 Ficha del material de impresión.

Las propiedades mecánicas serán dependientes del proceso de fabricación y tratamientos posteriores.

3. Parámetros de impresión.

Espesor de capa.	0,25 mm
Velocidad de revestimiento.	0,1-0,5 m/s ²
Temperatura inicial de la cámara.	298 K
Velocidad de escaneo normal.	3 m/s
Velocidad de escaneo máxima.	10 m/s
Potencia máxima	500W
Dirección del flujo de aire.	0 deg
Flujo de aire.	0 m ³ /s
Pasadas de contorno.	2
Paso radial en contorneado.	0,1 mm
Paso radial.	1 mm

Tabla 5. Parámetros de impresión empleados en DELMIA.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Grado Universitario en Ingeniería Aeroespacial

PRESUPUESTO

ANÁLISIS DEL PROCESO DEL DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA APLICADO A COMPONENTES AEROESPACIALES.

Ángel Marín Requena

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. NECESIDAD DEL PRESUPUESTO
2. CONTENIDO DEL PRESUPUESTO
 - a. Fase I.
 - b. Fase II
 - c. Fase III
 - d. Fase IV
3. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

1. NECESIDAD DEL PRESUPUESTO

El presupuesto es aquel documento que se realiza en las fases iniciales del diseño donde se recogen los gastos e ingresos que afectan a dicho proyecto. Su objetivo en las fases iniciales de diseño es realizar una estimación de los gastos necesarios para la realización del proyecto y la proyección de los ingresos que se pueden obtener a fin de estimar la viabilidad económica de dicho proyecto. Generalmente los ingresos deben superar los costes con suficiente margen como para justificar el riesgo de inversión. En las fases finales de la realización el presupuesto incluye un análisis detallado de los costes e ingresos en los que se ha incurrido durante su realización.

2. CONTENIDO DEL PRESUPUESTO

La realización de este Trabajo de Fin de Grado se puede diferenciar en tres fases distintas consistentes en un periodo de investigación documental del estado del arte en el ámbito de la fabricación aditiva y el diseño generativo, una fase de autoformación en las herramientas empeladas y una fase dedicada a la realización del proyecto de diseño englobado dentro del caso de estudio. Las dos primeras fases se pueden considerar como una inversión en formación del personal permanente y aplicable a multitud de proyectos amortizándose entre estos por lo que no sería adecuado descargar en el presupuesto de este proyecto el computo integro de los gastos generados en estas fases. Por ese motivo se presenta un desglose de los gastos para cada etapa. Adicionalmente se presenta un estudio presupuestario para la realización de un lote de piezas mediante fabricación aditiva.

- Fase I. Investigación documental

Durante la fase de investigación se ha realizado la búsqueda de documentación técnica aplicable en el proceso de fabricación y diseño mediante tecnologías de Fabricación Aditiva. Para esto se ha accedido a publicaciones científicas online y a bibliografía disponible. Los gastos incurridos durante la

realización de esta labor corresponden a los gastos de suscripción para la publicación y la adquisición de bibliografía. Estos gastos son financiados dentro del marco de la Universidad Politécnica de Valencia para su utilización por parte de personas afines a ella. Dentro de los presupuestos de la UPV 256 023,30 euros son destinados al servicio de Biblioteca para cubrir estos gastos. Claramente estos son distribuidos entre todo el alumnado por lo que se estima que la parte proporcional a este trabajo se puede considerar muy inferior. El tiempo dedicado a este estudio, por motivo de su distribución entre varios proyectos se va a considerar con un costo por hora inferior al precio de hora de personal titulado en ingeniería aeronáutica.

- Fase II. Autoformación

La fase de autoformación se corresponde a la dedicada para la obtención de las destrezas necesarias en la utilización de las herramientas empleadas. Estas incluyen CATIA, DELMIA y SIMULIA. Esta autoformación se ha realizado mediante la plataforma 3DEXPERIENCE donde dichas herramientas están integradas mediante diversos cursos de formación específicos disponibles. Los gastos de esta fase se componen de la licencia de utilización de la plataforma y los equipos informáticos empleados. La licencia de 3DEXPERIENCE para uso académico presenta un coste anual de 6500 €. El empleo de esta licencia se encuentra distribuida a lo largo de todo el año y en variedad de proyectos por lo que esta inversión queda distribuida en el tiempo. Para la realización de este trabajo se han empleado 270h de licencia lo que equivale a un precio por hora de 24 €. Un tratamiento similar se puede realizar con los equipos informáticos, con un coste anual de 1800 € y un tiempo de utilización anual similar resulta en un precio por hora de 6,66 €. Sin embargo el precio real será menor por dicha distribución.

El tratamiento de las horas empleadas será similar a los de la fase anterior.

- Fase III. Fase de Diseño

La fase de diseño incluye la elaboración del caso de estudio compuesto de las fases de modelado 3D de elementos, la realización de las labores de optimización y la generación del proceso de impresión. Los gastos en licencias y equipos son similares a los del caso anterior, pero en este caso el computo de los gastos por hora de trabajo será correspondientes a los gastos por hora de ingeniero titulado, sin ningún factor de reducción.

- Fase IV. Fabricación

En este apartado del presupuesto se elaborará una estimación del coste de fabricación de las piezas obtenidas a partir de un coste de amortización por hora de la maquinaria de impresión 3D, de los costes de mecanizado para el acabado final y de los materiales empleados en la fabricación de una tanda de 20 piezas. Para la fabricación de estas piezas se requieren 0,6 kg de polvo de impresión por pieza considerando la reutilización total del material del polvo que no haya sido empleado en el conformado. El precio de suministro de medio kilo de este material se encuentra a 819€ a través del proveedor GoodFellow. El proceso de acabado se realizará en una empresa externa cuya tarifa de uso de maquinaria junto con el operador es de 31 €/h. El coste de amortización para la máquina de impresión será estudiado a diez años vista, realizada sobre la máquina de impresión DMP Flex 350 cuyo valor de mercado es de 669487 €

$$A_{AM} = \frac{669487 \text{ €} - 200000 \text{ €}}{10 \text{ años}} \frac{1 \text{ año}}{2000 \text{ horas}} = 23 \frac{\text{€}}{h}$$

3. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

Presupuesto del proyecto			
	Horas/Ingeniero (h)	Coste	Total €
FASE I			
Documentación	-	5 €	5
Coste de personal	35	25 €/h*	1750
Total			1755
FASE II			
Licencia 3DEXPERIENCE	115	24 €/h	2760
Equipos informáticos	115	6,66 €	765,9
Realización de cursos	115	25 €/h*	2875
Total			6400,9
FASE III			
Licencia 3DEXPERIENCE	55	24 €/h	1320
Equipos informáticos	55	6,66 €/h	366,3
Modelado inicial	5	50 €/h	250
Cálculos	40	50 €/h	2000
Diseño proceso de impresión	10	50 €/h	500
Total			4436,3
Coste total del proyecto.			12592,2 €

*Precio por hora de ingeniero ponderada por su aplicación a múltiples proyectos.

Tabla 6. Desglose del presupuesto del proyecto.

Presupuesto de fabricación.			
	Coste	Utilización	Total €
Máquina de impresión	23 €/h	18 h	414
Coste energético.	0,1127930 €/kWh	9 000 kWh	1015
Polvo (Ti-6Al-4V Gr2)	1638 €/kg	12 kg	19 656
Proceso de acabado	31 €/h	6 h	186
Total			21 271 €

Tabla 7. Desglose del presupuesto de la fabricación de 20 piezas.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Grado Universitario en Ingeniería Aeroespacial

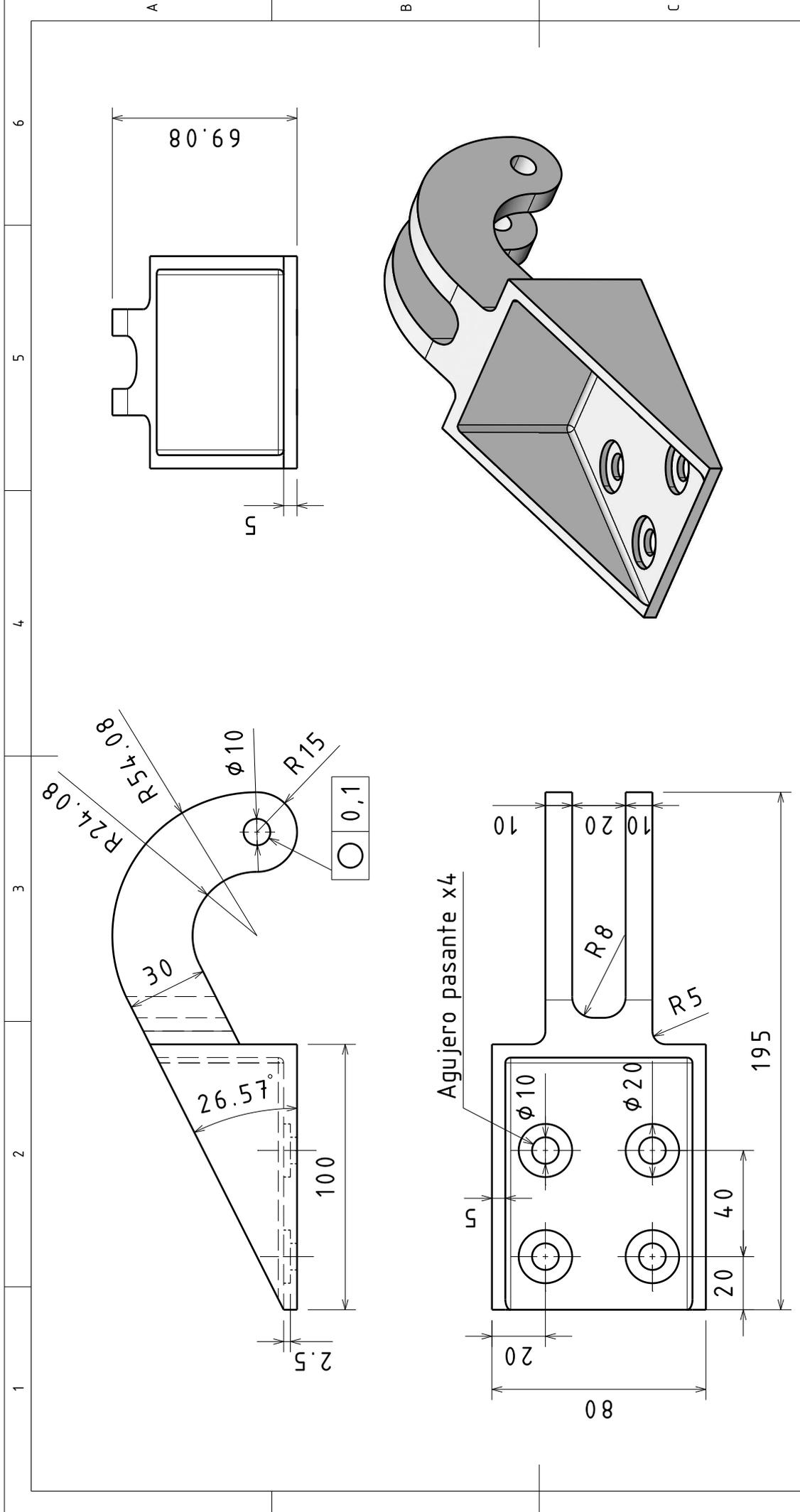
PLANOS

ANÁLISIS DEL PROCESO DEL DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA APLICADO A COMPONENTES AEROESPACIALES.

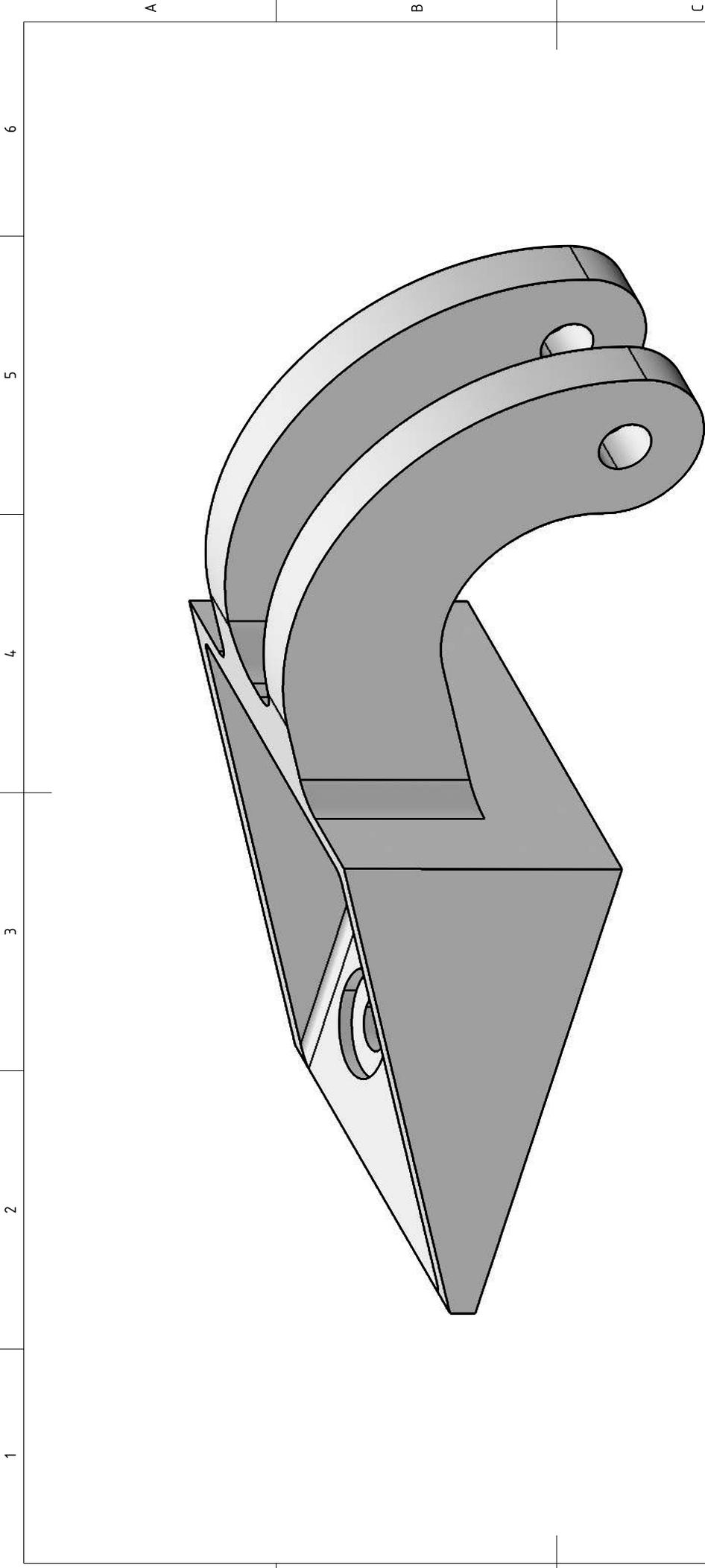
Ángel Marín Requena

ÍNDICE DE LOS PLANOS

- Plano 1. Bisagra – Pieza original
- Plano 2. Bisagra- Pieza original. Isometrica.
- Plano 3. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 75
- Plano 4. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 75. Isometrica.
- Plano 5. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 45.
- Plano 6. Bisagra- Espacio 1 – Isovalor 45. Isometrica.
- Plano 7. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 45.
- Plano 8. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 45. Isometrica.
- Plano 9. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 75.
- Plano 10. Bisagra- Espacio 2 – Isovalor 75. Isometrica.

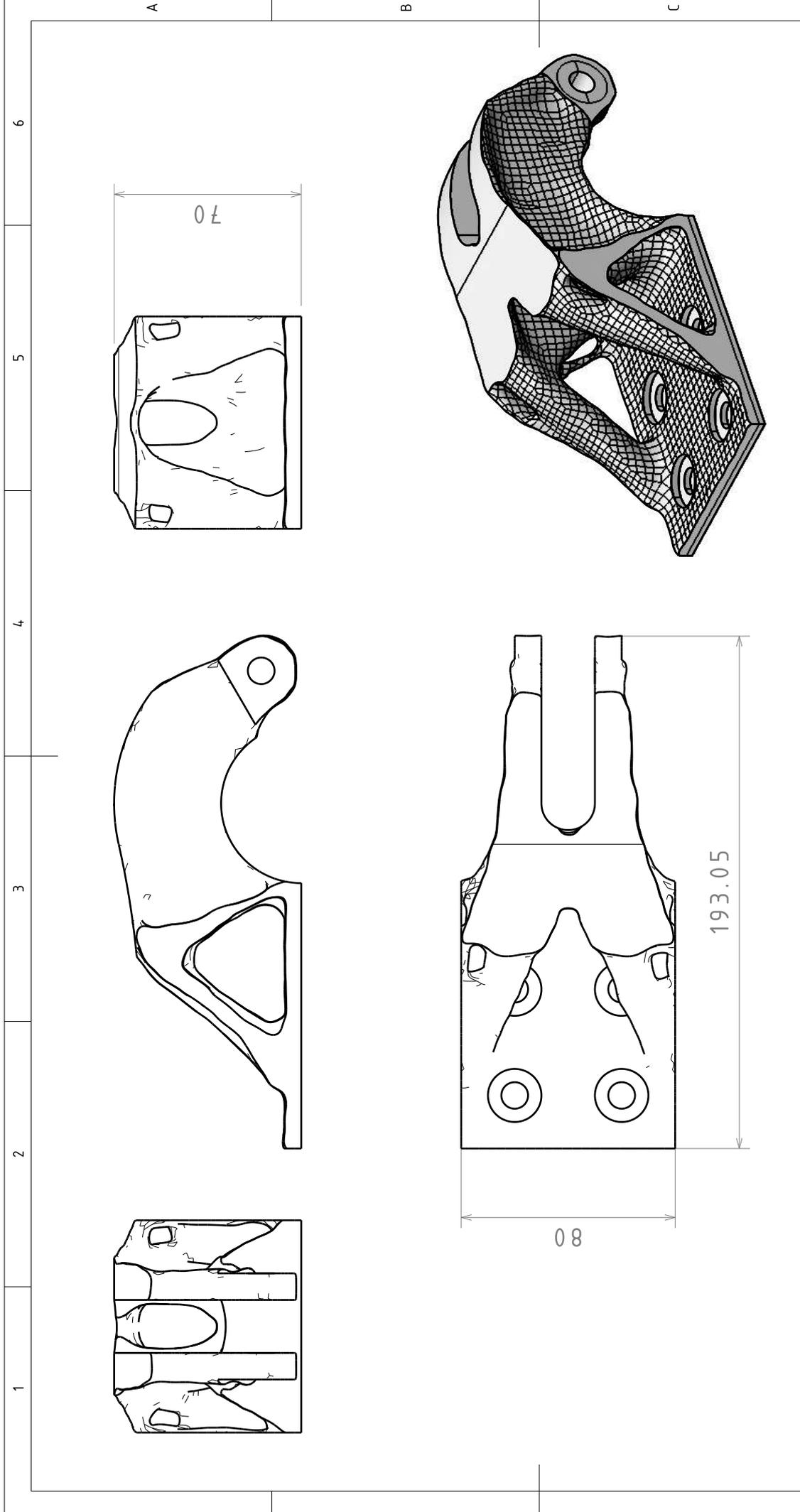


DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES		
FECHA:	07/07/2019	PIEZA:	BISAGRA - DISEÑO INICIAL		
REVISADO POR:	CARLOS VILA	HOJA:	1 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA	 <small>ESCALA: 1:2</small>
FECHA:	08/07/2019	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2	MASA: 0,699 KG	
TAMAÑO:	A4	UNIDADES:	mm	SEGUIN UNE-EN ISO 286	 <small>TOLERANCIAS: SEGUN UNE-EN ISO 286</small>
ESCALA:	1:2				

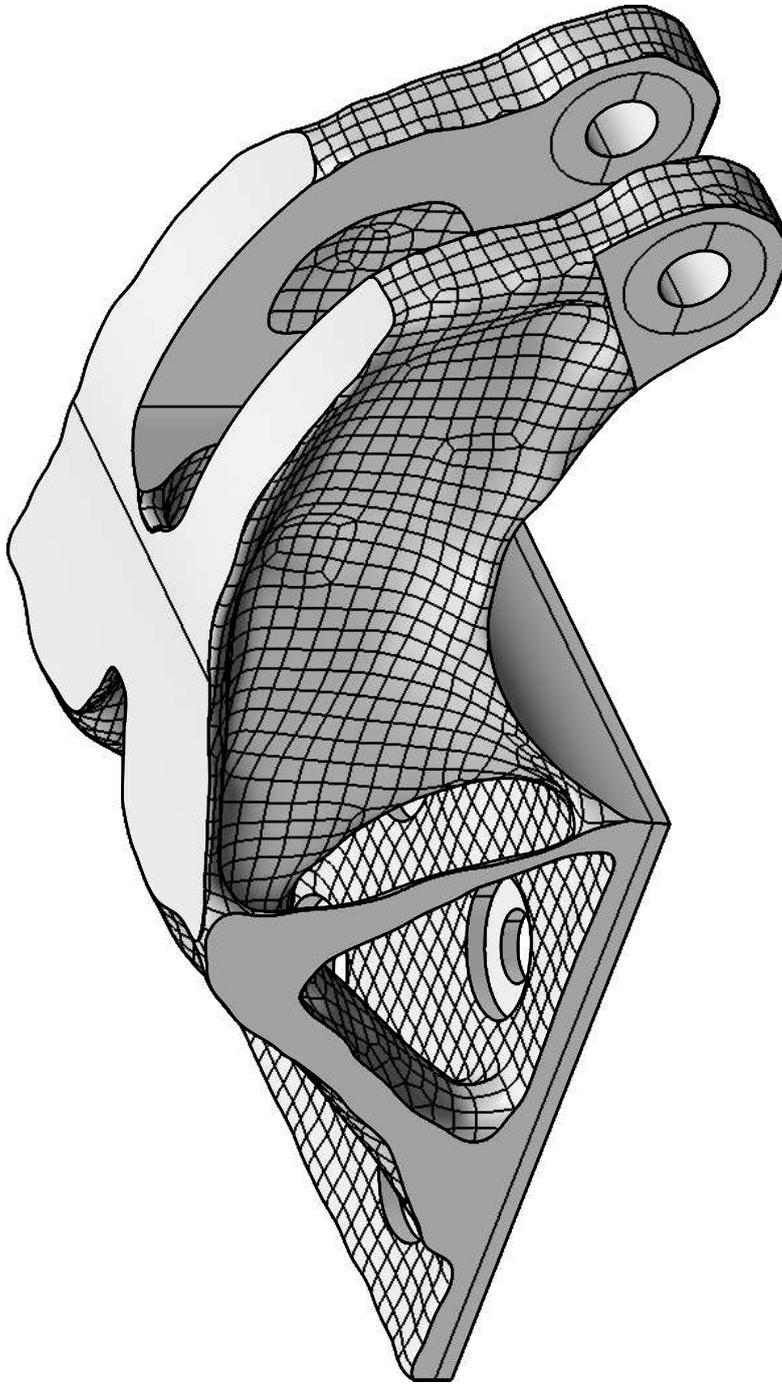


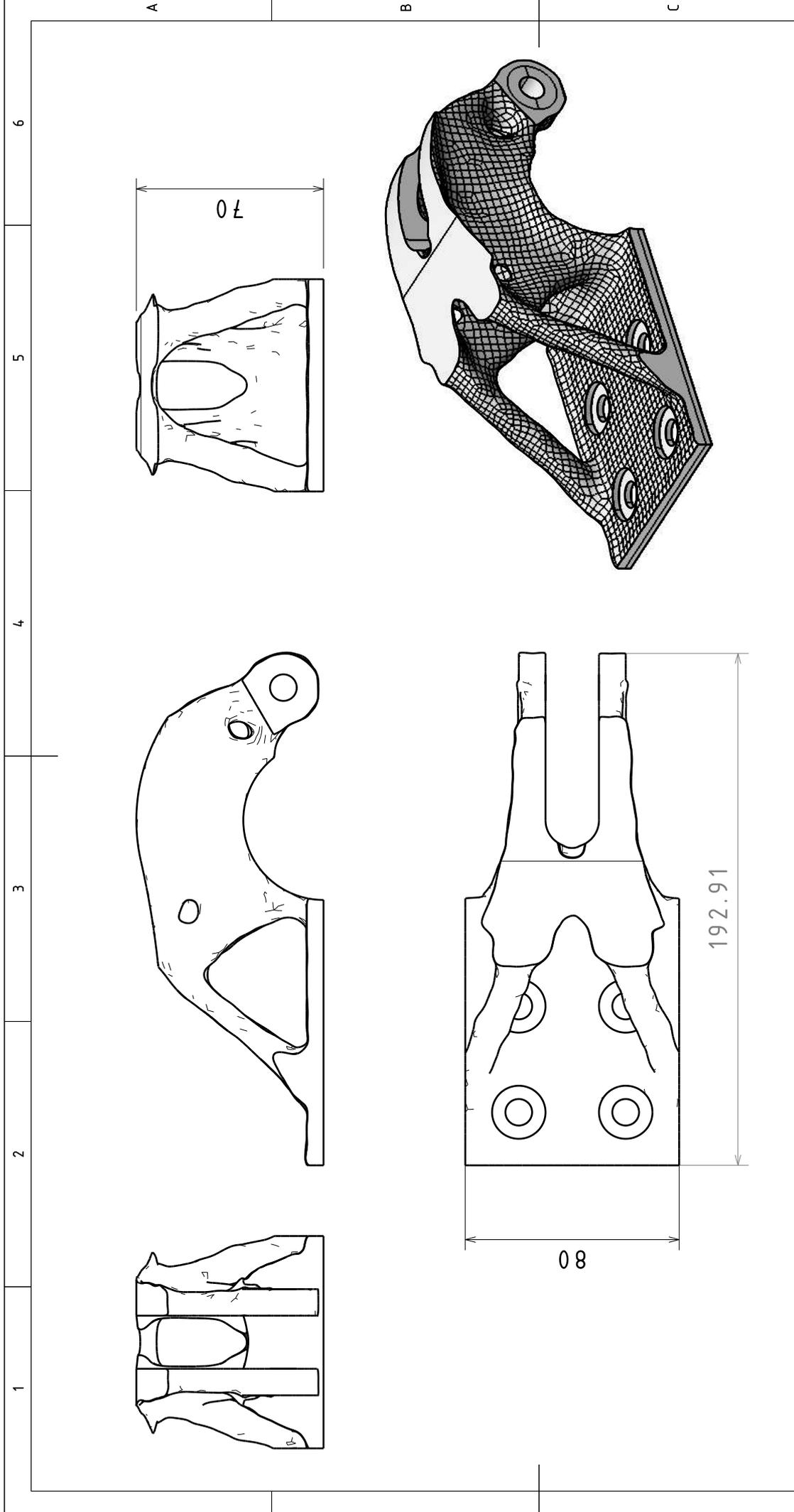
DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN	TÍTULO:	
FECHA:	07/07/2019	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES	
REVISADO POR:	CARLOS VILA	PIEZA:	
FECHA:	08/07/2019	BISAGRA - DISEÑO INICIAL	
TAMAÑO:	A4	HOJA: 2 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA
ESCALA:	1:1	MATERIAL: Ti-6Al-4V Gr 2	UNIDADES: mm
		MASA: 0,699 KG	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286



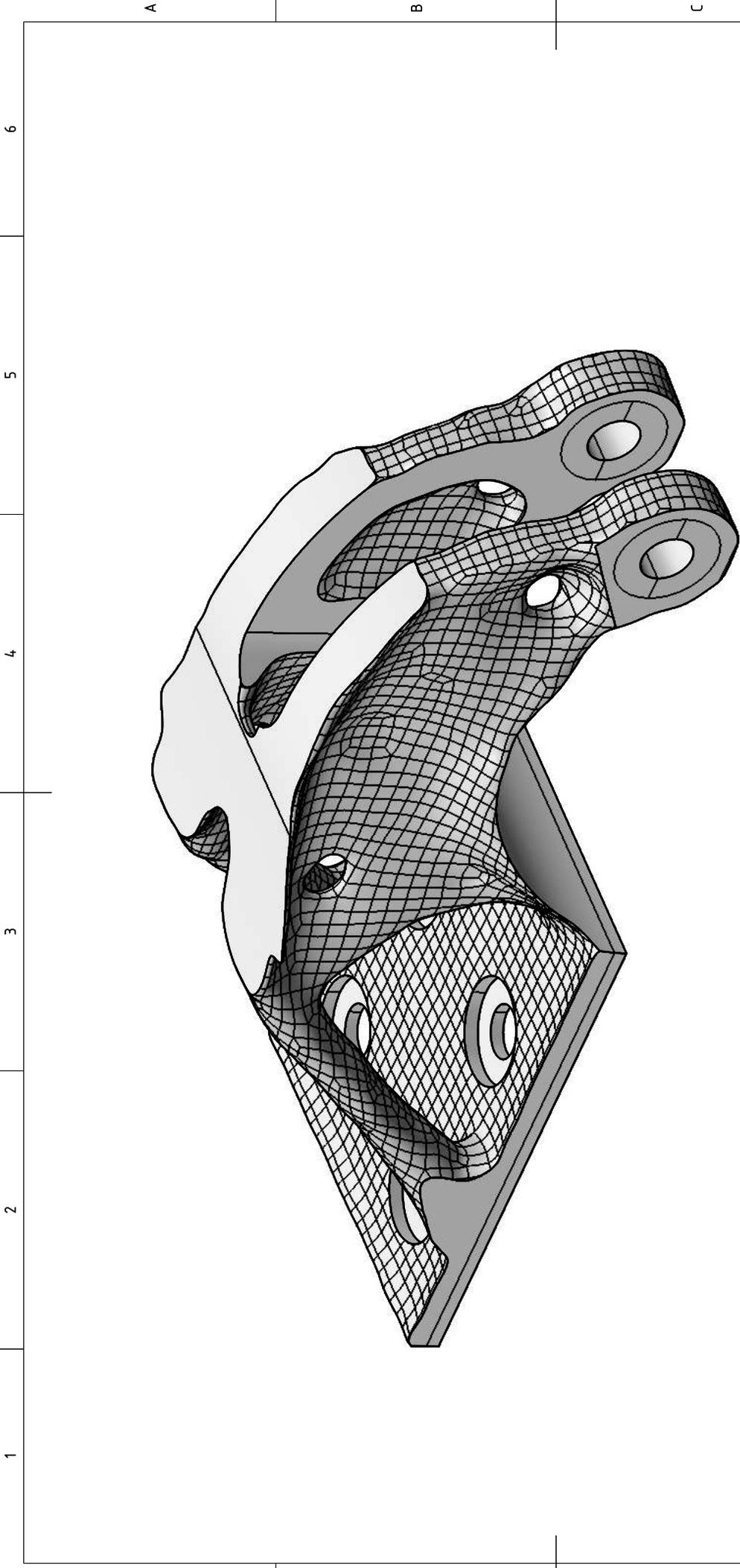


DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN	TÍTULO:	
FECHA:	07/07/2019	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES	
REVISADO POR:	CARLOS VILA	PIEZA:	
FECHA:	08/07/2019	BISAGRA - ESPACIO 1 - ISOVALOR 75	
TAMAÑO:	A4	HOJA: 1 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA
ESCALA:	1:2	MATERIAL: Ti-6Al-4V Gr 2	UNIDADES: mm
		MASA: 0,823 KG	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286
			 

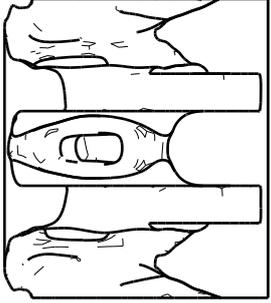
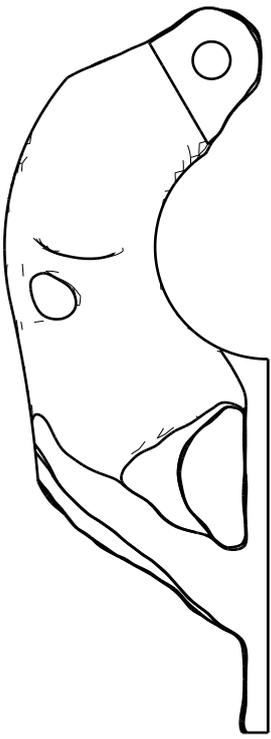
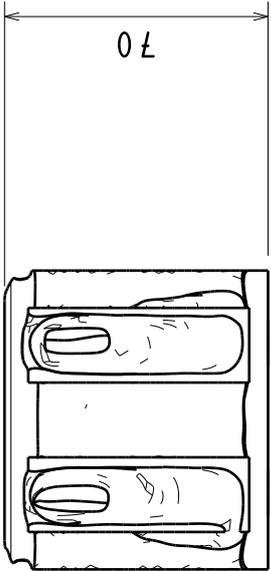
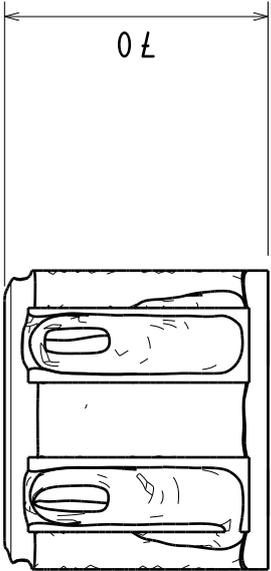
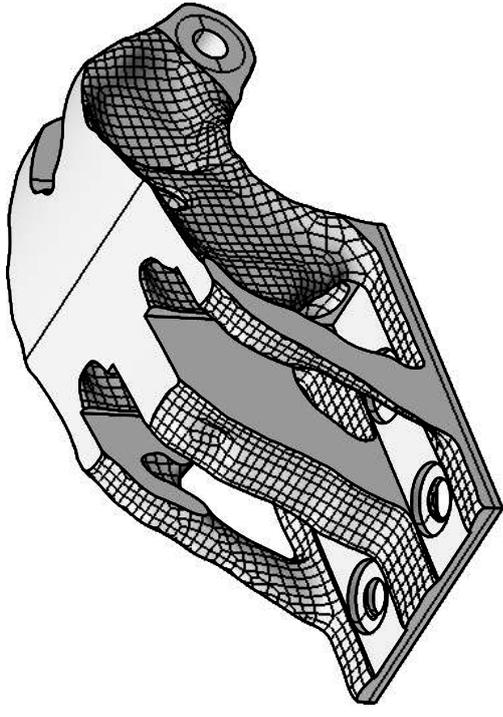
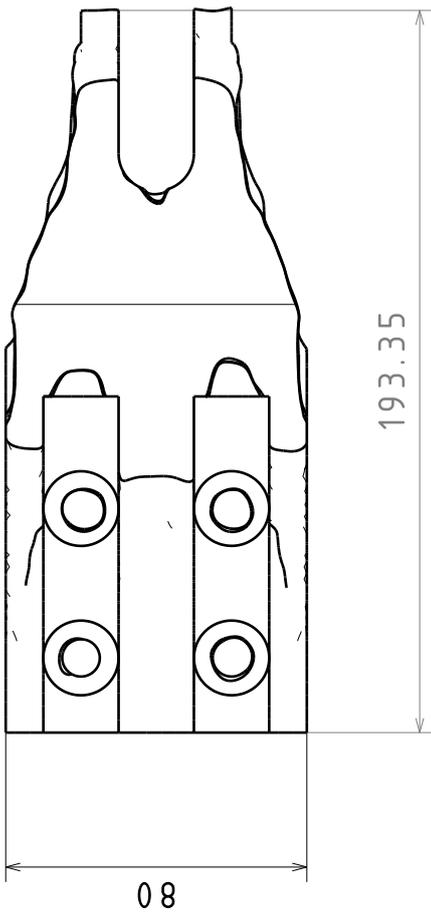
1	2	3	4	5	6
A	B	C	D		
					
DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN				
FECHA:	07/07/2019				
REVISADO POR:	CARLOS VILA				
FECHA:	08/07/2019				
TAMAÑO:	A4				
ESCALA:	1:2				
	<p>TÍTULO: DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</p>				
	<p>PIEZA: BISAGRA - ESPACIO 1 - ISOVALOR 75</p>				
	<p>HOJA: 2 / 2 GRADO EN ING. AERONAUTICA</p>				
	<p>MASA: 0,823 KG</p>				
	<p>MATERIAL: Ti-6Al-4V Gr 2</p>				
	<p>UNIDADES: mm TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</p>				
					
					
	<p style="text-align: right;">A4</p>				

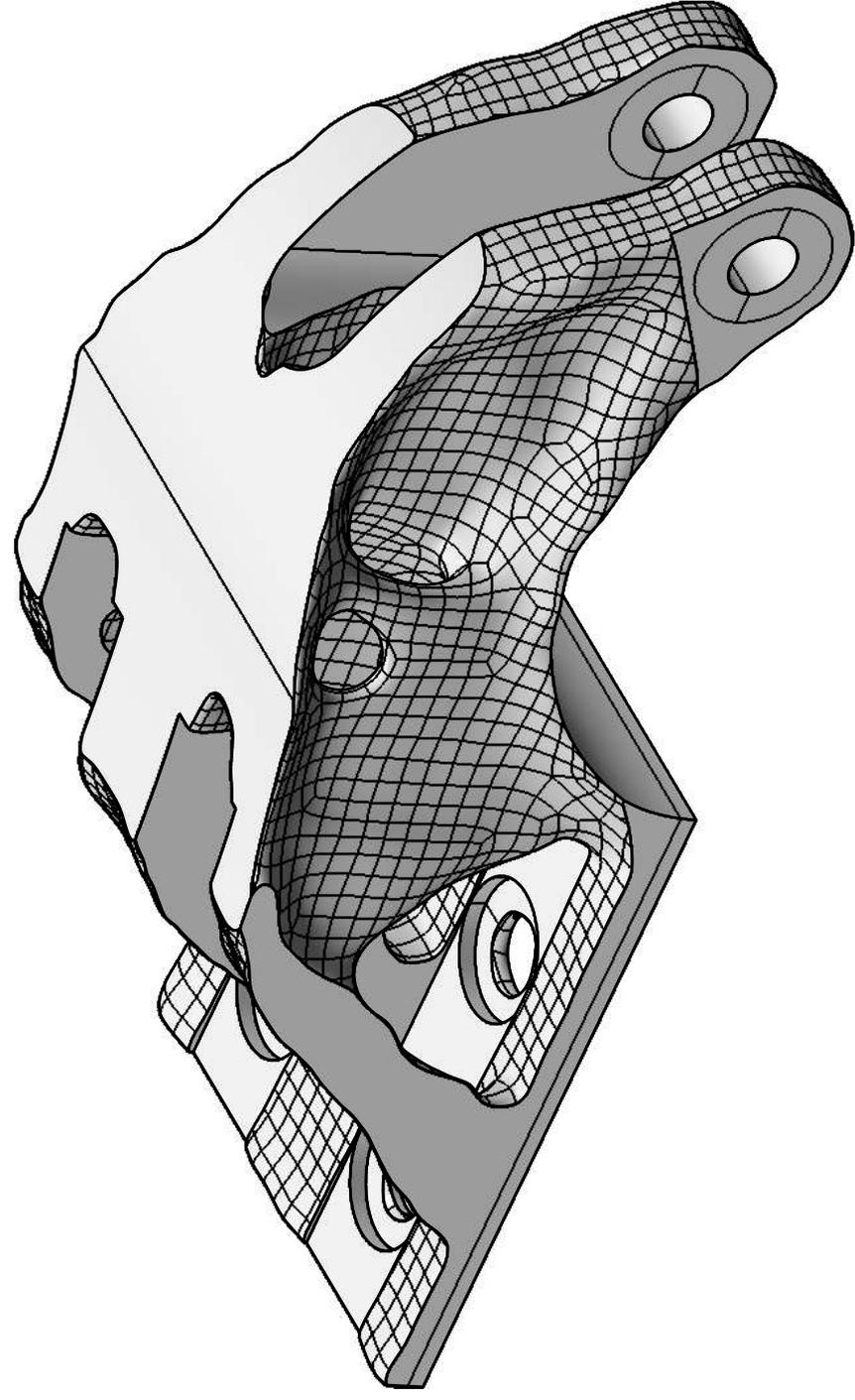


DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARIN	TÍTULO:	
FECHA:	07/07/2019	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES	
REVISADO POR:	CARLOS VILA	PIEZA:	
FECHA:	08/07/2019	BISAGRA - ESPACIO 1 - ISOVALOR 45	
TAMAÑO:	A4	HOJA: 1 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA
ESCALA:	1:2	MATERIAL: Ti-6Al-4V Gr 2	UNIDADES: mm
		MASSA: 0,602 KG	TOLERANCIAS SEGÚN UNE-EN ISO 286
			 
			A4



DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES		
FECHA:	07/07/2019	PIEZA:	BISAGRA - ESPACIO 1 - ISOVALOR 45		
REVISADO POR:	CARLOS VILA	HOJA:	2 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA	
FECHA:	08/07/2019	MASA:	0,602 KG	UNIDADES: mm	
TAMAÑO:	A4	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286	
ESCALA:	1:1			 	

1		2		3		4	5	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
D	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1165 56 1220 369">DISEÑADO POR:</td> <td colspan="8" data-bbox="1165 56 1560 369">ÁNGEL MARÍN</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1220 56 1268 369">FECHA:</td> <td colspan="8" data-bbox="1220 56 1560 369">07/07/2019</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1268 56 1316 369">REVISADO POR:</td> <td colspan="8" data-bbox="1268 56 1560 369">CARLOS VILA</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1316 56 1364 369">FECHA:</td> <td colspan="8" data-bbox="1316 56 1560 369">08/07/2019</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1364 56 1412 369">TAMAÑO:</td> <td colspan="8" data-bbox="1364 56 1560 369">A4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1412 56 1460 369">ESCALA:</td> <td colspan="8" data-bbox="1412 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1460 56 1508 369"></td> <td data-bbox="1460 56 1508 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1460 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">GRADO EN ING. AERONAUTICA</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">PIEZA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">TÍTULO:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">ESCALA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1:2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MATERIAL:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">Ti-6Al-4V Gr 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">UNIDADES:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">MASA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1,032 KG</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> <td data-bbox="1508 56 1560 369">HOJA:</td> <td colspan="7" data-bbox="1508 56 1560 369">1 / 2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1508 56 1560 369"></td> </tr></table>									DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN								FECHA:	07/07/2019								REVISADO POR:	CARLOS VILA								FECHA:	08/07/2019								TAMAÑO:	A4								ESCALA:	1:2									MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2								GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286								BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75									PIEZA:									TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES								ESCALA:	1:2								MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2								UNIDADES:	mm								MASA:	1,032 KG								HOJA:	1 / 2							
DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
FECHA:	07/07/2019																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
REVISADO POR:	CARLOS VILA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
FECHA:	08/07/2019																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
TAMAÑO:	A4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	GRADO EN ING. AERONAUTICA	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	PIEZA:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	ESCALA:	1:2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	UNIDADES:	mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	MASA:	1,032 KG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	HOJA:	1 / 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														



DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN	TÍTULO:	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES	
FECHA:	07/07/2019	PIEZA:	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 75	
REVISADO POR:	CARLOS VILA	HOJA:	2 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA
FECHA:	08/07/2019	MASA:	1,032 KG	UNIDADES: mm
TAMAÑO:	A4	MATERIAL:	Ti-6Al-4V Gr 2	<small>TOLENCIAS</small> SEGÚN UNE-EN ISO 286
ESCALA:	1:1	 		

1

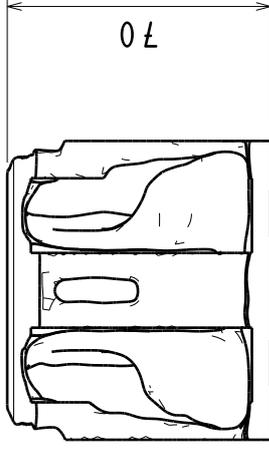
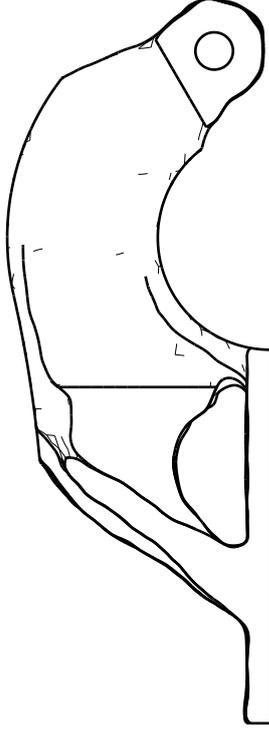
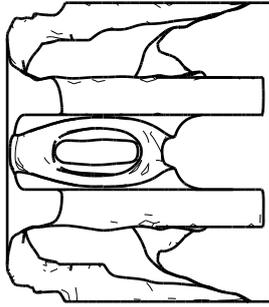
2

3

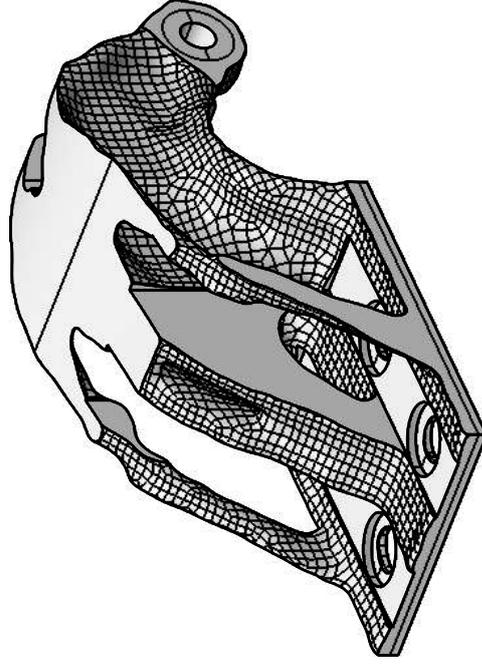
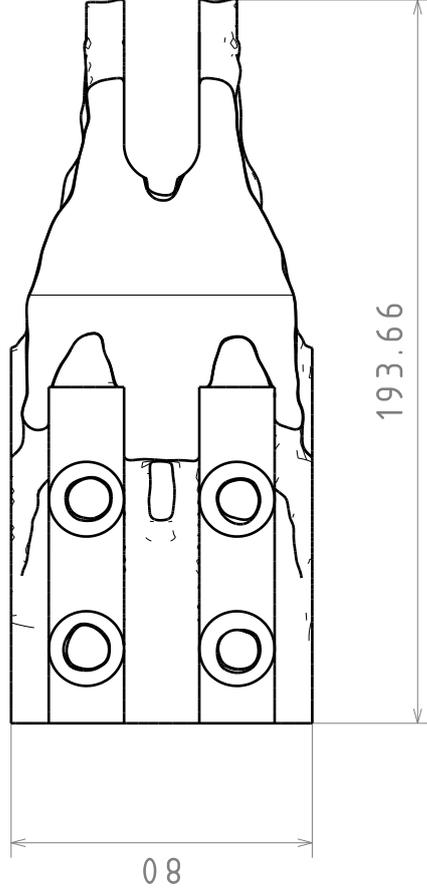
4

5

6



B



C

DISEÑADO POR:

ÁNGEL MARÍN

FECHA:

07/07/2019

REVISADO POR:

CARLOS VILA

FECHA:

08/07/2019

TAMAÑO: A4



ESCALA: 1:2

MATERIAL: Ti-6Al-4V Gr 2

TÍTULO:

DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES

PIEZA:

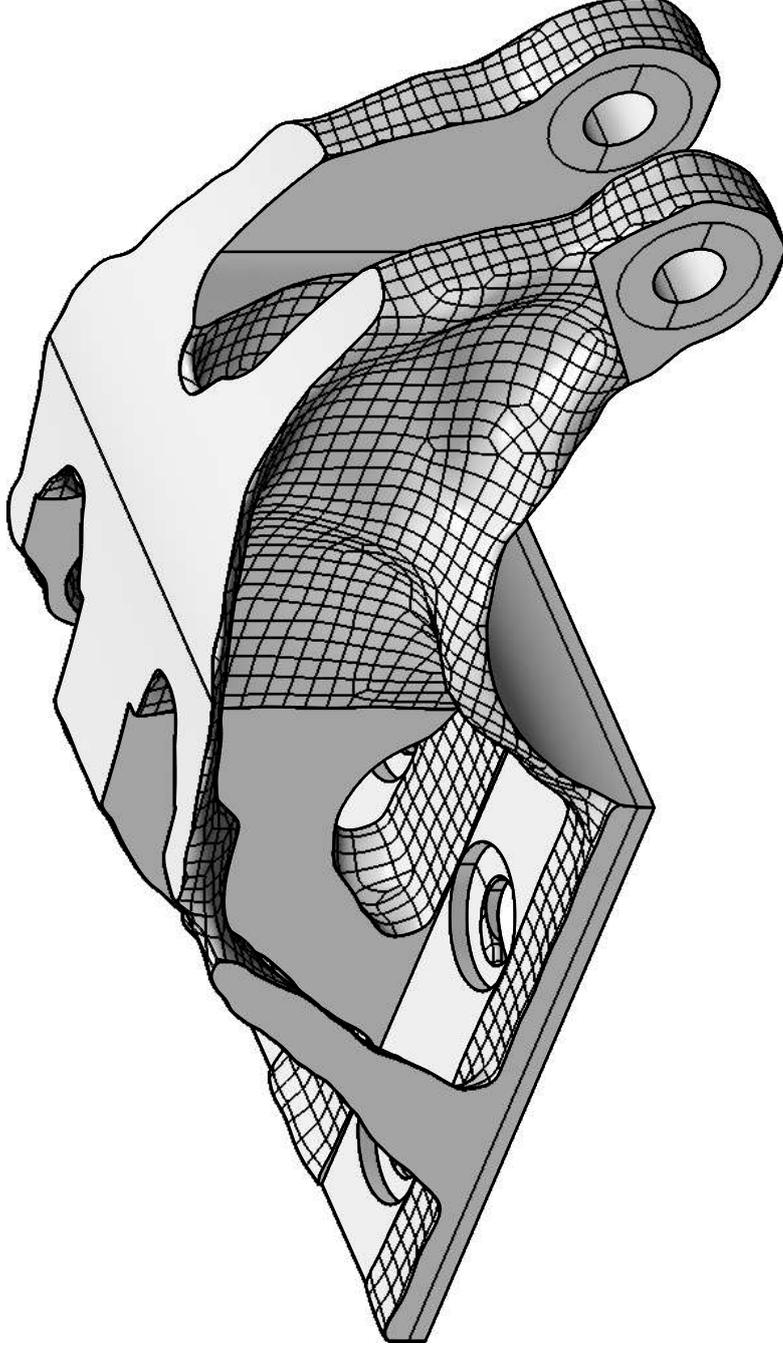
BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 45

HOJA: 1 / 2 GRADO EN ING. AERONAUTICA

UNIDADES: mm

TOLERANCIAS:
SEGÚN UNE-EN ISO 286

A4



DISEÑADO POR:	ÁNGEL MARÍN	TÍTULO:	
FECHA:	07/07/2019	DISEÑO PARA FABRICACION ADITIVA DE COMPONENTES AEROSPACIALES	
REVISADO POR:	CARLOS VILA	PIEZA:	
FECHA:	08/07/2019	BISAGRA - ESPACIO 2- ISOVALOR 45	
TAMAÑO:	A4	HOJA: 2 / 2	GRADO EN ING. AERONAUTICA
ESCALA:	1:2	MATERIAL: Ti-6Al-4V Gr 2	UNIDADES: mm
		MASSA: 0,71 KG	TOLERANCIAS: SEGÚN UNE-EN ISO 286



