

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

OPTIMIZACIÓN TOPOLOGICA MEDIANTE SOFTWARE SOLIDWORKS
APLICADA A LA IMPRESIÓN 3D

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Técnico Universitario en
PROYECTO Y DISEÑO MECÁNICO

Alumno:

Amadiel Esteban Vicencio Nuñez

Profesor Guía:

Álvaro Céspedes Escobar

RESUMEN

KEYWORDS: MANUFACTURA ADITIVA, DFAM, IMPRESIÓN 3D, OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA, SOLIDWORKS, ANÁLISIS DE COSTOS.

Este proyecto fue realizado con el fin de generar un ejemplo de aplicación del proceso de optimización topológica con la finalidad de demostrar sus ventajas en la fabricación aditiva, esto demostrado mediante un análisis de costos basado en la aplicación del análisis topológico mediante el software SolidWorks a un ejemplo práctico evaluando 3 alternativas de diseño en términos de, costos de materiales, tiempos de fabricación, y costos totales de fabricación.

Como punto de partida de este trabajo, pondremos en contexto como se originaron las tecnologías asociadas a la manufactura aditiva y el importante rol de los procesos de optimización en el mercado competitivo del desarrollo de productos, diferenciando los tipos de optimizaciones más importantes, con énfasis en la optimización topológica, además examinaremos algunos de los softwares con mayor relevancia en el mercado actual que cuenten con las capacidades de optimización topológica, para terminar este primer capítulo diferenciaremos las tecnologías de impresión más importantes.

A continuación, analizaremos el proceso de diseño orientado específicamente a manufactura aditiva (DfAM), además repasaremos brevemente el concepto de impresoras 3d industriales y algunos fabricantes que cuenten con representación a nivel nacional a su vez repasaremos el flujo de trabajo que hay que llevar a cabo en manufactura aditiva, partiendo desde el modelo en 3d hasta la impresión, para luego hacer la presentación del ejemplo práctico donde realizaremos la optimización topológica de una pieza (para su posterior fabricación) describiendo el proceso de ejecución de este estudio usando el software SolidWorks.

Finalmente, se realizará un rediseño de la pieza en base a los resultados de la optimización topológica para luego comenzar con el análisis de los resultados de la optimización iniciando por un análisis de reducción de masa, para continuar presentaremos las condiciones de fabricación, descripción del equipo a utilizar y el proceso de obtención de los archivos STL, para el proceso de impresión, una vez procesados estos archivos por el slicer podremos realizar un primer análisis de costos teniendo en cuenta tanto tiempos de fabricación como materiales, con el fin de tener una comparativa más realista de estos procesos, se realizara un segundo análisis considerando un equipo con características industriales para eso se solicitara un cotización de equipos y materiales a un proveedor nacional, para obtener un análisis completo de costos de fabricación. Para terminar, se realizará una comparativa de ambos casos de estudio.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

SIGLAS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1. CONTEXTO INDUSTRIA 4.0	4
1.1.1. IMPRESIÓN 3D ORIGEN.....	5
1.2. ROL DE LA OPTIMIZACIÓN EN DESARROLLO DE PRODUCTOS.....	6
1.2.1. PROCESO DE DISEÑO DE PRODUCTOS	6
1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN	7
1.2.3. PAPEL DE LA FABRICACIÓN ADITIVA	11
1.3. SOFTWARES CON CAPACIDAD DE OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA.....	12
(i) nTopology :.....	12
(ii) Altair OptiStruct / Inspire :.....	13
(iii) Ansys Discovery:.....	14
(iv) Dassault Systèmes Solidworks :	15
(v) Otros programas :.....	16
1.3.1. ANÁLISIS DE TOPOLOGÍA Y OPTIMIZACIÓN CON SW	17
1.4. TIPOS DE IMPRESORA 3D	21
(i) Extrusión:.....	21
(ii) Fusión laser:.....	22
(iii) Fotopolimerización:.....	23
(iv) Adhesión de polvo:.....	24
1.4.1. TIPOS DE IMPRESORAS FFF.....	25
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE ANÁLISIS TOPOLÓGICO EJEMPLO PRACTICO	26
2.1. DISEÑO PARA MANUFACTURA ADITIVA	27
2.2. IMPRESORAS INDUSTRIALES	29
2.2.1 FABRICANTES DE IMPRESORAS 3D INDUSTRIALES.....	30

2.3.	PROCESO DE CÓMO IMPRIMIR EN 3D	33
2.4.	PRESENTACIÓN DEL CASO PRACTICO	34
2.4.1	PROCEDIMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN TOPOLOGICA	35
	(i) Material.....	37
	(iii) Controles de fabricación:.....	38
	(iv) Objetivos y restricciones:	39
	(v) Mallado:.....	40
	(vi) Ejecución del estudio:.....	41
CAPÍTULO 3: REDISEÑO, IMPRESIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DE FABRICACIÓN ..		43
3.1.	REDISEÑO BASADO EN RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN	44
3.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS REDUCCIÓN DE MASA	45
3.3.	CONSIDERACIONES DE FABRICACIÓN	46
3.4.	ANÁLISIS DE COSTO 1: IMPRESORA CREALITY	47
3.4.1	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO A UTILIZAR	47
3.4.2	OBTENCIÓN DE ARCHIVOS STL	48
3.4.3	PROCESO DE IMPRESIÓN IMPRESORA CR-5.....	49
	(i) Configuración de impresora	49
	(ii) Configuración de materiales.....	50
	(iii) Configuración de parámetros de impresión.....	51
	(iv) Carga de archivo STL y Segmentación	53
3.4.4	RESULTADOS ANÁLISIS DE COSTO 1.....	54
3.5.	ANÁLISIS DE COSTOS 2: IMPRESORA MARK TWO	57
3.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO SELECCIONADO.....	58
3.5.2	SIMULACIÓN DEL PROCESO DE IMPRESIÓN EN SLICER	59
3.5.3	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COSTOS 2.....	61
3.6.	COMPARACIÓN DE ESTUDIOS	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67
BIBLIOGRAFÍA.....		67
ANEXOS		71
	Anexo 1	71

Anexo 2	73
Anexo 3	76
Anexo 4	79
Anexo 5	82
Anexo 6	84
Anexo 7	87
Anexo 8	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Ejemplo de optimización Topológica	4
Ilustración 1-2. Primera impresora 3d comercial SLA-1	5
Ilustración 1-3. Optimización Topológica	8
Ilustración 1-4. Optimización de celosía (patrón de relleno)	9
Ilustración 1-5. Optimización de Forma	10
Ilustración 1-6. Optimización Paramétrica usando DOE	11
Ilustración 1-7. Interfaz Software nTopology	13
Ilustración 1-8. Interfaz Software Altair Inspire	14
Ilustración 1-9. Interfaz Software Ansys Discovery	15
Ilustración 1-10. Interfaz Software Solidworks complemento de simulación	16
Ilustración 1-11. Conjunto de ejemplo Solidworks 2018.....	18
Ilustración 1-12. Resultados de optimización	19
Ilustración 1-13. Pieza rediseñada post optimización	19
Ilustración 1-14. Conjunto original con pieza rediseñada.....	20
Ilustración 1-15. Aplicación de optimización topológica en AEC.....	20
Ilustración 1-16. Representación proceso impresión FFF.....	21
Ilustración 1-17. Representación proceso impresión CFR.....	22
Ilustración 1-18. Representación proceso impresión SLM/DMLS.....	23
Ilustración 1-19. Representación proceso impresión SLA.....	23
Ilustración 1-20. Representación proceso impresión DLP.....	24
Ilustración 1-21. Representación proceso impresión por inyección de aglutinante	24
Ilustración 2-1. Línea de impresoras del fabricante 3D Systems.....	31
Ilustración 2-2. Línea de impresoras del fabricante Markforged	32
Ilustración 2-3. Resumen de proceso de impresión 3d.....	34

Ilustración 2-4. Nuevo Estudio y Estudio de topología	36
Ilustración 2-5. Selección de material	37
Ilustración 2-6. Aplicación de sujeciones	37
Ilustración 2-7. Aplicación de Cargas	38
Ilustración 2-8. Aplicación de Controles de Fabricación	38
Ilustración 2-9. Selección de objetivos y restricciones	40
Ilustración 2-10. Aplicación de Malla.....	40
Ilustración 2-11. Evaluador de simulaciones y ejecución del estudio.....	41
Ilustración 2-12. Gráficos de convergencia.....	41
Ilustración 2-13. Resultados en bruto de la optimización topológica	42
Ilustración 2-14. Ajustes de masa y malla suavizada.....	42
Ilustración 3-1. Estado de Visualización Superpuesto	44
Ilustración 3-2. Resultado del Rediseño.....	44
Ilustración 3-3. Propiedades Físicas	45
Ilustración 3-4. Ficha Modelo CR-5 Pro	48
Ilustración 3-5. Procedimiento de exportación STL en Solidworks	49
Ilustración 3-6. Parámetros de configuración de la maquina en slicer.....	50
Ilustración 3-7. Parámetros de configuración de Materiales en slicer	51
Ilustración 3-8. Parámetros de Ajustes de impresión en slicer	52
Ilustración 3-9. Resultados de Segmentación	54
Ilustración 3-10. Imágenes proceso de Fabricación Imp. CR-5	57
Ilustración 3-11. Sección Transversal pieza impresa con CFF	57
Ilustración 3-12. Fotografía de equipo seleccionado	58
Ilustración 3-13. Configuración de parámetros de impresión	60
Ilustración 3-14. Resultado de laminación en Slicer Eiger	60
Ilustración 3-15. Resultado de laminación en vista XRAY Slicer Eiger	61

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1. Factores que intervienen en el proceso de diseño	7
Diagrama 1-2. Técnicas de optimización	8
Diagrama 2-1. Resumen de proceso de impresión 3d.....	34
Diagrama 2-2. Resumen de proceso optimización topológica.....	35

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 3-1. Gráficos comparativo Resistencia a la flexión	64
Gráfico 3-2. Gráficos comparativo Rigidez a la flexión	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Detalle Gama de impresoras del fabricante Markforged	32
Tabla 3-1. Resumen Resultados Reducción de Masa	46
Tabla 3-2. Ficha Técnica CR- 5 Pro.....	48
Tabla 3-3. Resumen de Resultados de Segmentación.....	54
Tabla 3-4. Costos de Fabricación Imp. CR-5.....	55
Tabla 3-5. Resumen de Costos finales de Fabricación Imp. CR-5	56
Tabla 3-6. Resumen de Pesos de Fabricación Imp. CR-5	56
Tabla 3-7. Valor del equipo seleccionado.....	59
Tabla 3-8. Tabla resumen Resultados Tiempos y materiales Slicer Eiger	61
Tabla 3-9. Tabla Costos por concepto de materiales Slicer Eiger	62
Tabla 3-10. Costos de Fabricación Imp. Mark Two	63
Tabla 3-11. Resumen de Costos finales de Fabricación Imp. Mark Two	63

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

CAD:	Computer-aided design (CAD: Diseño asistido por computadora)
CAM:	Computer-aided manufacturing (CAM: Fabricación asistida por ordenador)
CNC:	Computer numerical control (CNC: control numérico por computadora)
DOE:	Desing of Experiments (DOE: Diseño basado en experimentos)
DfAM:	Design for Additive Manufacturing (DfAM: Diseño para manufactura aditiva)
AM:	Additive Manufacturing (AM: Manufactura aditiva)
CAE:	Computer-aided engineering (CAE: Ingeniería asistida por computadora)
OEM:	Original Equipment Manufacturer (OEM: Fabricante de equipo Original)
USD:	United States dollar (USD: Dolar estado Unidendense)
CLP:	Chilean peso (CLP: Peso Chileno)

TÉRMINOLOGÍA

Know-how: "Saber cómo", activo intangible del conocimiento técnico.

UNIDADES DE MEDIDA

mm:	Milímetro
d:	Día.
h:	Hora
mm ³ :	Milímetro cúbico
cc:	Centímetro cubico
kg:	Kilogramo
g:	Gramo

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la industrialización de los procesos productivos han surgido varios cambios drásticos o revolucionarios de la forma en cómo se realizan las cosas (tanto de forma productiva, como de filosofía y visión empresarial) estos cambios se han denominado como “Revoluciones” hasta la fecha se cuentan 4, cada cambio ha llevado a un aumento considerable en la productividad, llevando a una mayor automatización, conectividad y eficiencia en la industria.

Durante las primeras 3 revoluciones los procesos de fabricación siempre han sido los mismos (Procesos de arranque de viruta, fundición, inyección de moldes, soldadura), estos procesos de fabricación han ido evolucionando y adaptándose a las nuevas tecnologías, automatizándolos por ejemplo con la introducción de las máquinas de control numérico, pero solo durante la cuarta revolución industrial se ha logrado introducir un proceso de fabricación que cambia el paradigma de fabricación de sustractivo a aditivo.

La fabricación aditiva, que se remonta a la década de 1980, es una tecnología de producción que permite fabricar objetos tridimensionales a partir de un modelo digital, mediante la deposición de capas sucesivas de material. A diferencia de la fabricación tradicional, que utiliza técnicas de sustracción (como el fresado o el torneado) para dar forma a un objeto a partir de un bloque de material, la fabricación aditiva permite crear objetos complejos y personalizados, sin necesidad de herramientas especializadas.

La optimización topológica, por su parte, es una técnica de diseño que utiliza algoritmos matemáticos para determinar la forma más eficiente de un objeto, en función de las cargas y los requisitos de diseño específicos. Esta técnica se remonta a los años 90, aunque lleva años desarrollándose no ha podido alcanzar su máximo potencial debido especialmente a las restricciones para fabricar los diseños resultantes de las optimizaciones, este es el motivo por el cual ha sido impulsada en gran medida por el auge de la fabricación aditiva, ya que la impresión 3D permite crear piezas con formas y geometrías complejas en una amplia variedad de materiales casi sin restricciones.

Juntas, la fabricación aditiva y la optimización topológica han impulsado una transformación en la forma en que se diseña y produce una amplia variedad de productos y componentes mecánicos. La fabricación aditiva permite a los diseñadores crear piezas personalizadas y complejas, mientras que la optimización topológica permite maximizar la eficiencia y reducir el peso y los costos de fabricación. Estas tecnologías están transformando la industria de la fabricación y están ayudando a impulsar la cuarta revolución industrial, al permitir la producción de objetos más eficientes y personalizados, con tiempos y costos de fabricación reducidos.

OBJETIVO GENERAL

Aplicar optimización topológica mediante software SolidWorks a una pieza y estudiar los resultados desde el punto de vista de la manufactura aditiva.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el contexto industrial actual con el fin de diferenciar tecnologías de manufactura aditiva y Softwares de optimización disponibles en la actualidad.
- Ejecutar una optimización topológica usando software SolidWorks a un ejemplo práctico.
- Demostrar las ventajas de la optimización topológica mediante el análisis de los costos asociados a la fabricación de cada una de las piezas.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. CONTEXTO INDUSTRIA 4.0

La manufactura aditiva ha sido identificada como una tecnología clave en la cuarta revolución industrial o Industria 4.0. La cuarta revolución industrial se caracteriza por la interconexión de sistemas cibernéticos, la automatización de procesos y la utilización de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la productividad en la fabricación.

La definición de manufactura aditiva Según Gartner empresa líder en consultorías tecnológicas es “La fabricación aditiva es la capacidad de crear un objeto físico a partir de un diseño codificado digitalmente mediante la deposición de material a través de un proceso de impresión 3D.” (Gartner, s.f.).

A diferencia del paradigma clásico de fabricación o los llamados procesos de arranque de viruta que a partir un material base y mediante herramientas de corte retiran material hasta obtener la pieza adecuada, la impresión 3d busca a través de la adicción de material crear una pieza física, partiendo desde un modelo digital.

La manufactura aditiva es una tecnología clave en este proceso de transformación digital, ya que permite la producción personalizada y la creación de piezas complejas de manera más rápida y eficiente que los métodos tradicionales de fabricación. Además, la manufactura aditiva permite una mayor flexibilidad en la producción, por el hecho de que se pueden realizar cambios en el diseño e implementarlos en la producción de piezas de manera más rápida y económica.

La optimización topológica (Ilustración 1-1) es un proceso de diseño en el cual se utiliza un algoritmo para encontrar la forma óptima de una estructura, teniendo en cuenta restricciones de diseño y cargas aplicadas. La optimización topológica busca minimizar el peso de la estructura mientras se mantiene su rigidez y resistencia. Este proceso se conoce durante años, pero “las geometrías resultantes eran difíciles de fabricar con los métodos tradicionales, pero la impresión 3D tiene menos limitaciones y está abriendo las puertas a este tipo de tecnologías” (S.L, 2020).

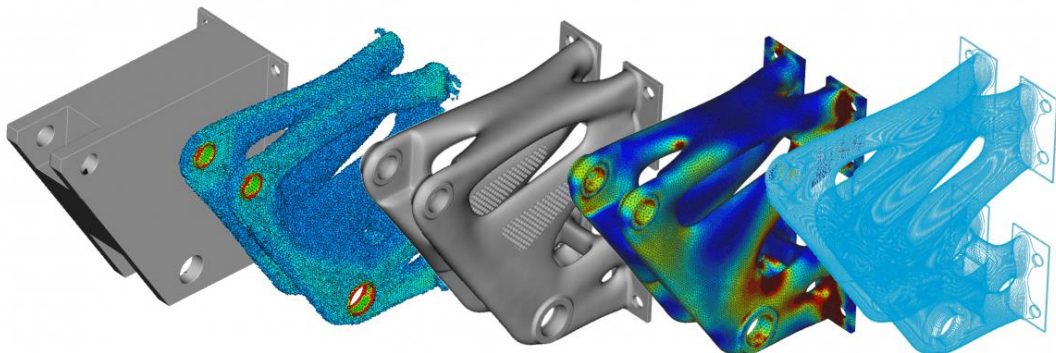


Ilustración 1-1. Ejemplo de optimización Topológica

(Fuente: Guía Nociones básicas de optimización, Sitio web formlabs)

La tecnología de la manufactura aditiva también se integra con otras tecnologías de la Industria 4.0, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT) y la nube. Por ejemplo, los datos recopilados por sensores IoT en los equipos de impresión 3D pueden utilizarse para mejorar el proceso de producción y optimizar la calidad de las piezas.

En resumen, la manufactura aditiva es una tecnología clave en la cuarta revolución industrial, ya que permite la producción personalizada, la creación de piezas complejas de manera más eficiente y la integración con otras tecnologías de la Industria 4.0 para mejorar la eficiencia y la productividad en la fabricación.

1.1.1. IMPRESIÓN 3D ORIGEN

La impresión 3D tiene sus orígenes en la década de 1980, cuando los primeros prototipos de esta tecnología comenzaron a desarrollarse. La primera patente de una tecnología de impresión 3D fue presentada en 1986 por Chuck Hull, quien fundó la compañía 3D Systems.

En 1987, la tecnología de impresión 3D fue comercializada por primera vez con la introducción de la impresora SLA-1 de 3D Systems, que utilizaba un proceso de estereolitografía para crear objetos tridimensionales a partir de un modelo digital.



Ilustración 1-2. Primera impresora 3d comercial SLA-1

(Fuente: Historia de la impresión 3d, Sitio web 3D Systems)

A lo largo de los años, la impresión 3D ha evolucionado y se ha popularizado como una herramienta para la fabricación de prototipos y piezas personalizadas en una variedad de industrias. Hoy en día, hay una gran variedad de tecnologías de impresión 3D disponibles que trabajan con una amplia gama de materiales, como la deposición de material fundido (FDM) para plásticos, la sinterización selectiva por láser (SLS) para metales y la estereolitografía (SLA) para resinas, entre otras.

1.2. ROL DE LA OPTIMIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS

Cuando se trata de ingeniería de productos, el panorama está en constante cambio. Las empresas deben lidiar con nuevos retos a la hora de diseñar y desarrollar productos. En el mercado del diseño de productos, la competencia es dura y creciente. Las empresas deben competir no solo con los rivales locales, con las facilidades de importación y exportación se debe tener en cuenta los competidores extranjeros también. Para tener éxito en este entorno tan competitivo, las empresas necesitan diseñar productos que cumplan con todos los requisitos y llevarlos al mercado rápidamente, todo mientras mantiene los costos bajos. Las empresas también continúan lidiando con la creciente complejidad de los productos. Hoy en día, los productos deben cumplir requisitos que abarcan múltiples disciplinas de la ingeniería. Tienen que operar bajo condiciones de carga desafiantes. También deben satisfacer la forma, el ajuste y la función al mismo tiempo que son estéticamente agradables, seguros y hecho de materiales ambientalmente sostenibles.

Estos requisitos son amplios y están creciendo día a día. Este panorama competitivo requiere que los ingenieros desarrollen productos que son livianos, usan el material más barato y satisfagan las necesidades funcionales y requisitos técnicos. También deben diseñar, probar y producir estos productos. Más rápido que nunca. La mejor manera de enfrentar estos desafíos es En primer lugar, las empresas deben optimizar los diseños de productos en función del costo, peso u otros objetivos que estimen importantes. En segundo lugar, deben mantenerse al tanto de desarrollos en fabricación aditiva y aprovecharlos. El uso de estas tecnologías en toda su extensión es fundamental para el éxito.

1.2.1. PROCESO DE DISEÑO DE PRODUCTOS

Empresas que deseen superar estos obstáculos y triunfar debe tener un proceso robusto de diseño de productos. El objetivo de un proceso de diseño es crear un producto que cumpla con todos los requisitos de ingeniería y requisitos comerciales. Pero en este medio ambiente hipercompetitivo, la mayoría de las organizaciones quieren hacer algo mejor que solo eso. Un buen producto se convierte en un gran producto cuando el diseño del producto es optimizado para garantizar costos más bajos, mejores materiales, sostenibilidad y facilidad de fabricación.

El proceso de diseño de productos a menudo comienza en una solución CAD. Ingenieros intentará incorporar los requisitos del producto en el diseño conceptual del producto. Aprovechando las herramientas de simulación, para verificar que el diseño cumple con los requisitos del producto. Una serie de simulaciones puede guiar el proceso, durante el cual los

ingenieros también utilizarán la optimización y técnicas para mejorar el diseño. Una vez que el producto está listo, los usuarios deben explorar la creación de prototipos y la capacidad de fabricación. Las nuevas herramientas de software y métodos de fabricación permiten a las empresas optimizar la capacidad de fabricación tanto para productos tradicionales como los concebidos para manufactura aditiva.

Algunos de los factores que intervienen en el proceso de diseño se presentan en el siguiente diagrama.

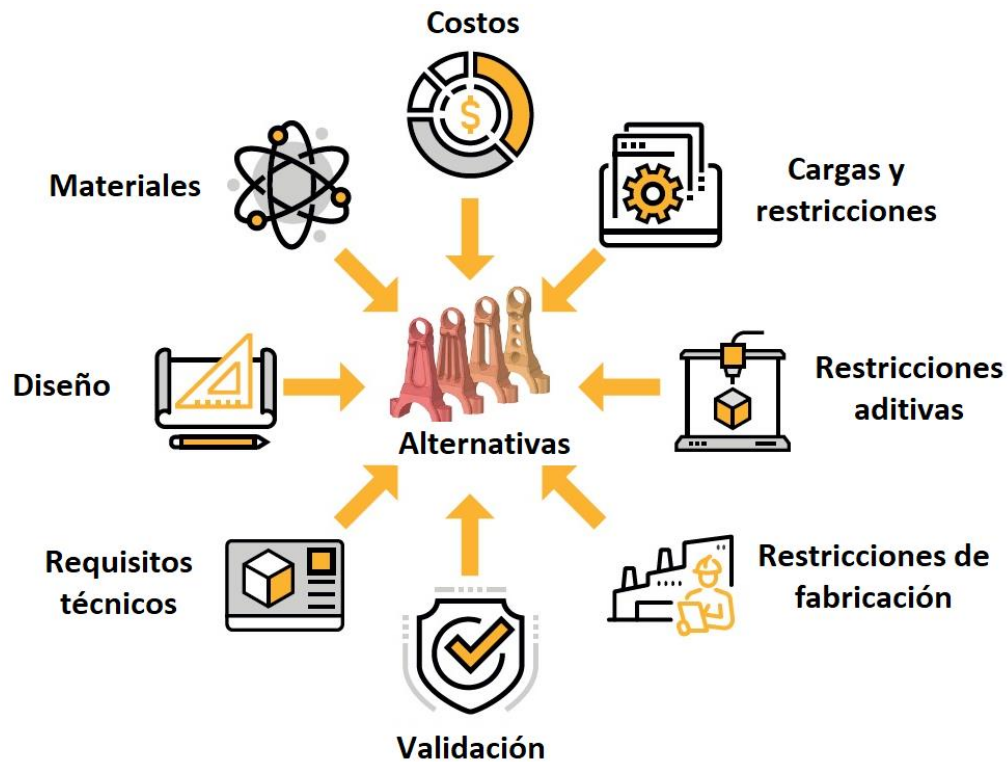


Diagrama 1-1. Factores que intervienen en el proceso de diseño

(Fuente: Traducción y adaptación propia de webinar Sobre optimización, Ansys)

1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN

Los ingenieros necesitan opciones cuando se trata de diseño de productos optimización, como optimización de topología, optimización de celosía (relleno), optimización de forma y optimización de geometría usando la técnica de diseño de experimentos. Un variado conjunto de herramientas de optimización faculta a las empresas a adoptar la técnica más adecuada para sus métodos de fabricación y el diseño de productos.

La incorporación de las técnicas de optimización (diagrama 1-2) en el proceso de diseño del producto trae consigo múltiples beneficios. La optimización reduce automáticamente la cantidad de material en el producto sin comprometer el rendimiento. Los productos cuestan menos de

producir y requieren menos energía para su fabricación. Lo que mejora la sostenibilidad ambiental. Mejoramiento también que se traduce en un ahorro de tiempo. Este proceso automatizado permite que las empresas presenten mejores diseños y más rápido, reduciendo la línea de tiempo desde el diseño a la producción. Manteniendo los requisitos del producto e incorporando nuevas tecnologías, como la fabricación aditiva.

Algunas de las técnicas de optimización más utilizadas se presentan a continuación:

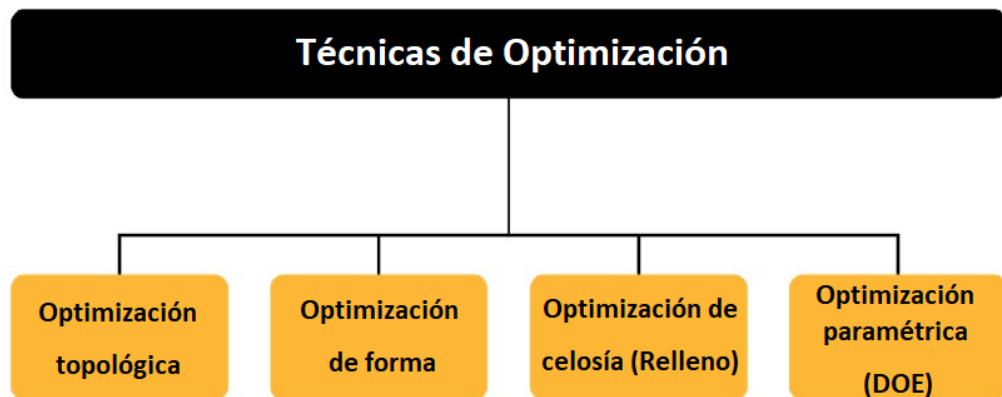


Diagrama 1-2. Técnicas de optimización

(Fuente: Elaboración propia en base a investigación)

Optimización topológica ayuda a los ingenieros a equilibrar la ingeniería, fabricación y objetivos comerciales, todo al mismo tiempo.

Este es un procedimiento que permite a un ingeniero de diseño desarrollar una estructura de producto óptima.

El diseño resultante cumplirá con todos los requisitos requerimientos de materiales, restricciones de espacio, limitaciones de fabricación y funcionamiento condiciones de carga, quitando el material de la pieza que sea redundante y generando un diseño optimo relación peso rigidez.



Ilustración 1-3. Optimización Topológica

(Fuente: Traducción y adaptación propia de webinar Sobre optimización, Ansys)

La optimización de topología permite a las empresas resolver objetivos conflictivos, pero esenciales en el esferas de la ingeniería, la fabricación y negocio. En el lado de la ingeniería, el proceso de optimización topológica considera objetivos basados en la física tales como resistencia estructural, pico de tensión, frecuencia propia, conducción térmica, factores de seguridad, etc.

La optimización de la topología también debe cumplir y respetar todas las restricciones de fabricación.

Optimización de celosía (Relleno) esta optimización reduce el producto peso mientras se asegura que el producto cumpla con todos los requisitos estructurales requisitos y se pueden fabricar.

La optimización de topología permite a los ingenieros crear un diseño de producto óptimo, pero La optimización de celosía (patrón de relleno) permite a los ingenieros llevar las cosas un paso más allá. Los ingenieros pueden reducir el peso aún más añadiendo celosías a sus componentes (cambiando los patrones de relleno). La incorporación de estas redes puede ser difícil de calcular, pero la optimización de celosía ayuda a los ingenieros con esta tarea. Al igual que la optimización de topología, La optimización de celosía considera todas las condiciones de carga, restricciones, ayudando a producir un diseño óptimo.

Los ingenieros deben considerar el tipo y el tamaño de la red que es necesaria mientras aseguran que el producto Cumple con todos los requisitos estructurales. Las estructuras de celosía metálica pueden imprimirse en 3D o moldearse. La optimización garantiza que el diseño se pueda fabricar.

En ingeniería con este tipo de optimización la pieza optimizada puede verse exactamente igual a la pieza original por fuera, pero el verdadero cambio se produce en el patrón de relleno y busca la máxima reducción de peso sin afectar las propiedades mecánicas de la pieza en cuestión.



Ilustración 1-4. Optimización de celosía (patrón de relleno)

(Fuente: Traducción y adaptación propia de webinar Sobre optimización, Ansys)

Optimización de formas A veces, los ingenieros necesitan mejorar el rendimiento de diseños existentes. Por ejemplo, un producto puede tener un valor demasiado alto deformación o

tensión plástica en ciertas regiones, lo que lo hace inadecuado para ciertas aplicaciones. La optimización de la forma permite a los ingenieros crear un nuevo diseño a partir del diseño existente, para que no tengan que reiniciar desde cero. Este proceso modifica sutilmente la geometría de las áreas de alta tensión, desplazamientos y deformación para lograr el deseado nivel de desempeño.

A diferencia de la optimización de topología o de celosía (patrones de relleno), la optimización de forma no quita material. En cambio, transforma la geometría en áreas críticas. Esto permite a los ingenieros de diseño considerar los materiales y las condiciones de carga para crear nuevos diseños que cumplan con todas las prestaciones estructurales.



Ilustración 1-5. Optimización de Forma

(Fuente: Traducción y adaptación propia de webinar Sobre optimización, Ansys)

Optimización Paramétrica de geometría usando Diseño basado en experimentos (DOE) La optimización de la geometría ayuda a los ingenieros a transformar los buenos diseños en excelentes. En el diseño paramétrico, se establecen dimensiones críticas, geométricas como espesor, el radio del filete y el diámetro del agujero para no sobrepasar un rango de valores aceptables.

Usando el diseño de experimentos, para optimización de geometría se crea automáticamente varios diseños aceptables que cumplan con las especificaciones y criterios establecidos. Los diseñadores pueden filtrar los diferentes diseños para seleccionar la mejor opción. La optimización de la

geometría solo varía los parámetros de geometría que el diseñador elige cambiar. Como otras técnicas de optimización, la optimización de la geometría permite a los ingenieros de diseño considerar diferentes materiales, cargando condiciones y limitaciones de fabricación para crear alternativas de diseño que cumplan con todos requisitos, los ingenieros pueden usar la optimización de geometría como el primero de una serie de pasos para llegar a un diseño óptimo. Por ejemplo, el ingeniero de diseño puede usar optimización de geometría y de celosía para determinar el óptimo volumen de relleno considerando alternativas en varios materiales.

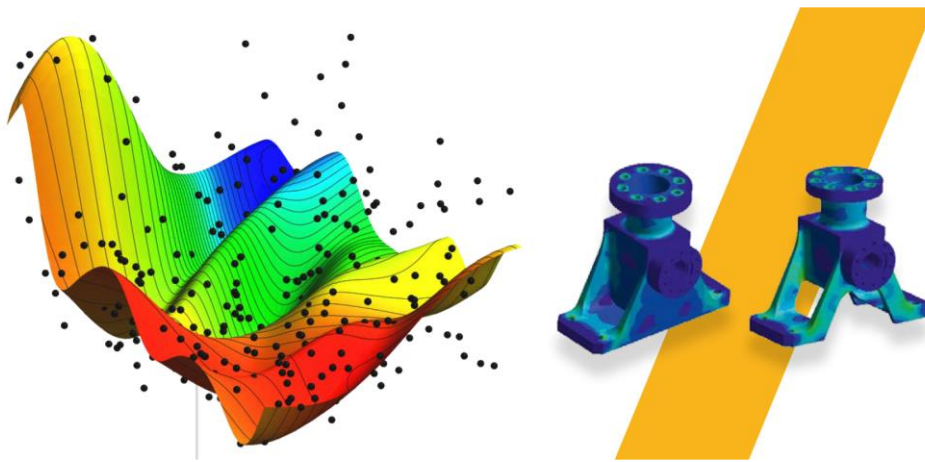


Ilustración 1-6. Optimización Paramétrica usando DOE

(Fuente: Adaptación propia de webinar Sobre optimización, Ansys)

1.2.3. PAPEL DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva o impresión 3D es una tecnología que produce productos más ligeros y robustos. La adición de material permite a los fabricantes crear productos innovadores que no son posibles utilizando técnicas de fabricación tradicionales.

El proceso aditivo crea un producto tridimensional formado por capas que se generan una a la vez. Muchas de las técnicas de optimización mencionadas con anterioridad producen diseños que son difíciles de fabricar usando métodos convencionales. Sin embargo, estos diseños innovadores son ideales para la impresión 3D. Al adoptar la fabricación aditiva, las empresas pueden fabricar y vender productos con piezas altamente optimizadas. La fabricación aditiva admite muchas ingenierías y materiales. Esto incluye plásticos, resinas, polvo de poliamida, polvo de metal, metales, resinas y fibras de carbono. La impresión 3D de metal, en particular, está convirtiéndose en una tecnología muy competitiva y cada vez más asequible. Las empresas están cada vez más abiertas a adoptar estas tecnologías para producir ingeniería de última generación productos. Antes de que los ingenieros puedan imprimir en 3D sus productos, los diseños deben

ser adecuados para la impresión. En la actualidad son cada vez más los programas que permiten a los ingenieros validar sus diseños para el proceso de impresión. Y a la vez les permiten simular procesos de impresión y analizar diversos materiales para sus productos con el fin de permitir a los ingenieros especializados en manufactura aditiva imprimir piezas con éxito en el primer intento.

1.3. **SOFTWARES CON CAPACIDAD DE OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA**

Todos los cálculos complejos involucrados en la optimización topológica se ejecutan a través de un software específico que puede ser tanto un programa independiente o un módulo integrado en un programa de diseño asistido por computadora (CAD).

Hasta hace muy poco tiempo, la optimización de topología solo estaba disponible a través de programas de software costosos destinados a aplicaciones profesionales, pero con el crecimiento del diseño para la fabricación aditiva y sus herramientas, la optimización de topología está disponible a través de docenas de proveedores de software. Varios de estos están integrados dentro de un conjunto de herramientas de diseño generativo más grande.

En el mercado actual existe una amplia oferta de softwares con estas capacidades de simulación y optimización topológica para distintas aplicaciones a continuación se presentan algunos de los más importantes para el diseño mecánico:

(i) **nTopology** :

La empresa estadounidense de software nTopology ofrece un paquete completo de software de modelado para diseñadores e ingenieros en el que pueden diseñar una pieza para fabricación avanzada partiendo desde cero o importando un archivo de diseño digital existente para su optimización. Está diseñado específicamente para la fabricación aditiva y, a pesar del nombre, nTopology no se trata solo de optimización de topología. La plataforma utiliza una variedad de herramientas de diseño generativo para piezas optimizadas y livianas con sus requisitos funcionales integrados.

Además de algunas de las herramientas con las que puede estar familiarizado en el software CAD, nTopology ofrece kits de herramientas, que son colecciones de flujos de trabajo predefinidos que esencialmente automatizan mucho de lo que desea que haga el software DfAM. Los kits de herramientas incluyen los de aligeramiento, análisis de diseño y optimización de topología.

nTopology no solo lo ayuda a preparar datos de diseño para la fabricación aditiva, sino que también permite la comunicación directa con sus impresoras 3D para garantizar que se mantenga la intención de su diseño durante todo el proceso.

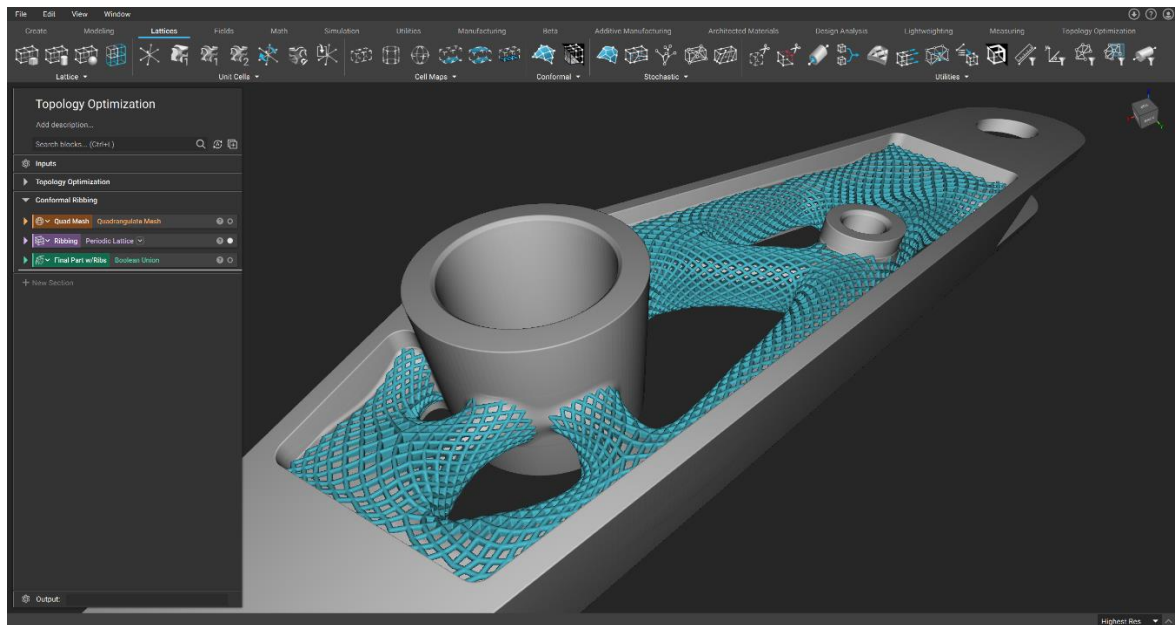


Ilustración 1-7. Interfaz Software nTopology

(Fuente: Sitio Web, nTopology)

(ii) **Altair OptiStruct / Inspire :**

Una de las empresas pioneras en la capacidad de optimización de topología es el editor de software estadounidense Altair, que proporciona soluciones en las áreas de simulación, computación de alto rendimiento e inteligencia artificial, con algunas herramientas de optimización de topología bastante impresionantes.

De hecho, el módulo OptiStruct de la empresa para Hyperworks fue la primera herramienta de optimización de topología disponible comercialmente. Lanzada en 1994, tuvo como primer cliente a la división Powertrain de General Motors. OptiStruct fue pionera en el desarrollo de tecnología de optimización innovadora, incluidas muchas primicias en la industria, como la topología a prueba de fallas, la topología de múltiples materiales y la optimización de múltiples modelos.

OptiStruct ofrece muchos métodos de optimización estructural y una amplia gama de restricciones de fabricación esenciales para procesos tradicionales, compuestos y fabricación

aditiva. Debido a que puede optimizarse para considerar y adherirse a las reglas y especificaciones de múltiples métodos de fabricación diferentes, es una herramienta ideal para comparar lo que es posible con la impresión 3D frente a otros métodos.

El Altair Inspire ofrece una serie de opciones de topología que incluyen objetivos de optimización, restricciones de tensión y desplazamiento, aceleración, gravedad y condiciones de carga de temperatura. Proporciona un conjunto de herramientas rápido y preciso para el diseño y la simulación de procesos de piezas de fusión selectiva por láser (SLM).

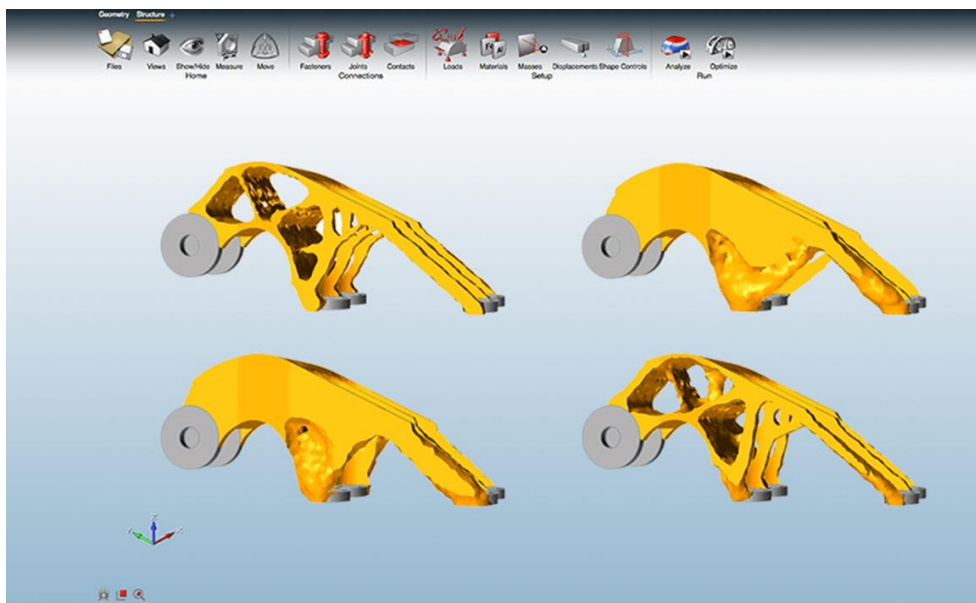


Ilustración 1-8. Interfaz Software Altair Inspire

(Fuente: Sitio Web, Altair)

(iii) **Ansys Discovery:**

Ansys Discovery permite a los ingenieros evaluar rápidamente cientos de formas potenciales para un componente al combinar el modelado interactivo y múltiples capacidades de simulación que incluyen funciones de optimización de topología. Ansys describe su software Discovery como un software de simulación 3D con optimización de topología.

Al variar las restricciones de diseño, las condiciones de carga y las regiones permitidas, Discovery puede producir diseños que se convierten en modelos listos para CAD para la fabricación aditiva. Los ingenieros pueden explorar diversas geometrías, materiales y entradas físicas en un tiempo récord para llegar a la topología óptima para su producto.

Discovery le permite responder preguntas críticas de diseño antes de llegar al proceso de fabricación. Este enfoque inicial de la simulación ahorra tiempo y esfuerzo en la creación de prototipos a medida que explora múltiples conceptos de diseño en tiempo real sin necesidad de esperar los resultados de la simulación.

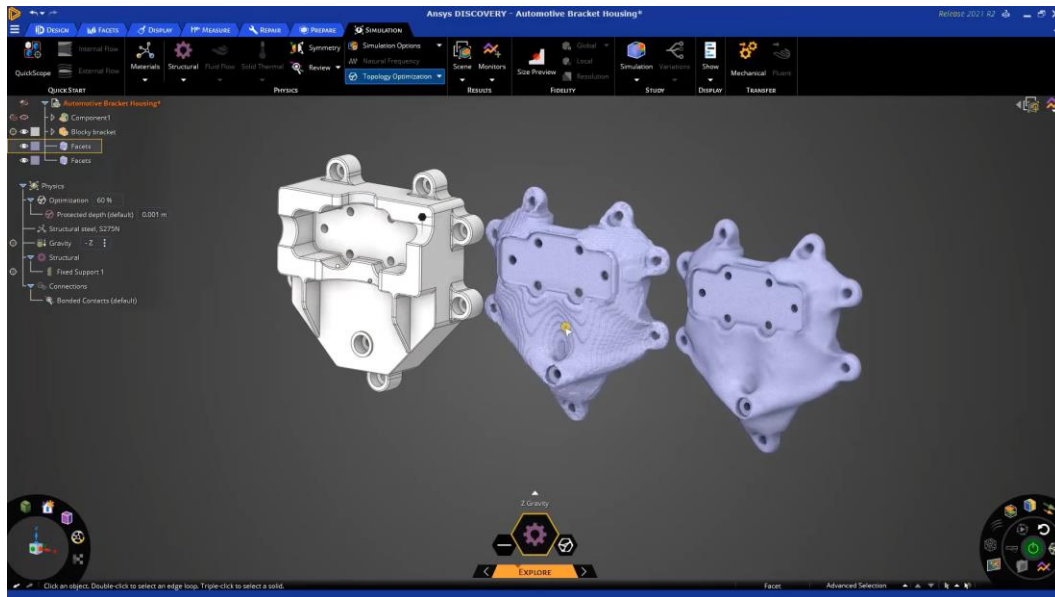


Ilustración 1-9. Interfaz Software Ansys Discovery

(Fuente: Webinar Optimización topológica en ensamblaje de filtro de combustible, ANSYS Discovery)

(iv) **Dassault Systèmes Solidworks :**

Dentro de Solidworks de Dassault Systèmes, el conocido fabricante de software, existen variadas herramientas de simulación que incluyen optimización de topología.

La optimización de topología con Solidworks permite crear componentes más pequeños y livianos y optimizar esas piezas para la fabricación aditiva o sustractiva. Es una de las soluciones más automatizadas que se encarga de la malla y el post procesamiento de los resultados. Todo lo que necesita hacer es ingresar información conocida para su diseño, incluido el tamaño de su espacio de diseño, las cargas aplicadas, las restricciones, las condiciones de contorno y el método de fabricación previsto.

Solidworks realiza sus cálculos de optimización de topología en segundo plano, lo que le permite continuar trabajando. Este es un beneficio importante, ya que los enfoques anteriores de optimización de topología eran lentos y requerían muchos recursos informáticos, se apoderaban de una estación de trabajo y evitaban que los usuarios hicieran muchas otras cosas hasta que se completaba la solución.

Mediante la generación automática de geometrías que tienen en cuenta el espacio de diseño específico, los requisitos de rendimiento y las consideraciones de capacidad de fabricación, la optimización de topología integrada con CAD de Solidworks puede ayudar a producir el diseño óptimo y seleccionar los mejores medios de producción en las primeras etapas del proceso.

Más allá de Solidworks, Dassault Systemes ofrece dos módulos de optimización de topología para sus aplicaciones de simulación Simulia. Tosca Structure para la optimización estructural basada en el análisis de elementos finitos (FEA) y el Módulo de optimización de topología de Abaqus (ATOM) ofrece optimización de topología y forma para piezas individuales y ensamblajes.

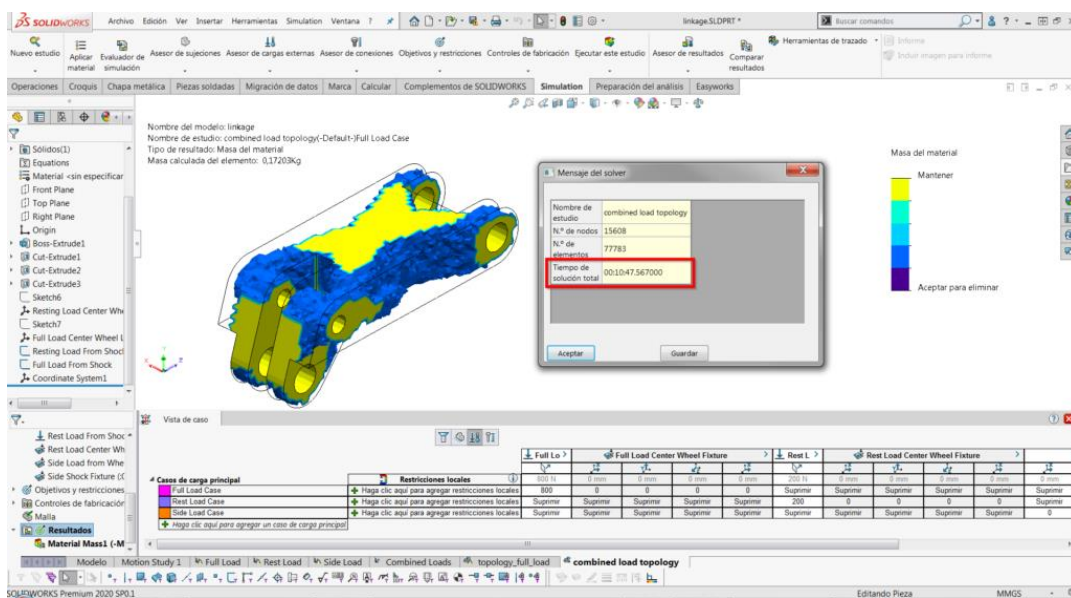


Ilustración 1-10. Interfaz Software Solidworks complemento de simulación

(Fuente: Sitio Web, Solidworks)

(v) **Otros programas :**

- Autodesk inventor (desde el menú análisis en el apartado Generador de formas)
- PTC Creo
- Siemens NX / Solid Edge
- Autodesk Fusion 360 con los complementos Netfabb Premium o Netfabb Ultimate

1.3.1. ANÁLISIS DE TOPOLOGÍA Y OPTIMIZACIÓN CON SOLIDWORKS

Solidworks (Dassault Systèmes), cuenta con una serie de opciones y complementos para este programa CAD junto con integraciones con otras plataformas del mismo editor. La cartera ampliada de 3DEXperience Works, de Solidworks, une todo su ecosistema, lo que le permite conectar a las personas, las aplicaciones y los datos en tiempo real de todos los aspectos de su empresa. La cartera proporciona no solo modelado 3D, sino también simulación, gestión de datos y soluciones de fabricación.

Específicamente para DfAM, el estudio de topología en el módulo de Solidworks Simulation Professional permite concentrarse en validar la función de diseño. El estudio de topología tiene en cuenta los objetivos deseados, restricciones y opciones de fabricación para guiar las decisiones sobre la forma del componente. También se pueden incorporar datos de simulación de los modelos Flow o Motion de Solidworks para conocer sus interacciones.

Un complemento de la plataforma de Solidworks llamado 3DEXPERIENCE Works permite llevar las simulaciones un paso más allá Importando “los materiales de SOLIDWORKS directamente desde la biblioteca incluyendo las personalizaciones y agregar propiedades multifísicas de Abaqus, incluidos los daños. Transferir los estudios de SOLIDWORKS Simulation a escenarios estructurales avanzados, como pasos dinámicos explícitos” (Systemes, s.f.), para solucionarlos directamente en la nube (Saltándose las limitaciones del equipo en la instalación local y reduciendo los tiempos de simulación). Optimizar “modelos de SOLIDWORKS con estudios de diseño paramétrico y evaluar los diseños en todo el ciclo de desarrollo del producto con métodos multiaxiales de fatiga basados en la deformación. Como todo esto se incluye en la plataforma 3DEXPERIENCE, publicar y compartir los resultados” (Systemes, s.f.) es muy sencillo.

Muchas veces cuando se requiere diseñar un producto ligeros y accesibles, pero debido a que serán sometidos a diferentes cargas externas se tiende a pensar que es mejor que sean robustos y toscos, también es debido a adaptar el proceso de diseño al método de fabricación, y eso nos muestra una problemática.

“Actualmente, en la industria, es muy importante la mejor optimización de los diseños que se están desarrollando, reduciendo su peso, ahorro de material, mejorando el comportamiento mecánico.

SolidWorks cuenta con una herramienta de análisis que nos permite optimizar nuestro diseño para ahorrar peso o material y por consiguiente disminuir los costos de los proyectos.

Gracias a ella es posible hacer este tipo de estudios donde nos permite crear diseños más ligeros y perfectamente funcionales, de manera fácil y rápida.

Para ello debemos tener en mente tres principales aspectos a cuidar:

1. El objetivo que se quiere, por ejemplo, la reducción de la masa es la más común, pero también podemos disminuir los desplazamientos, etc.
2. Las restricciones, esto se refiere a que a que partes o geometrías de la pieza están sometidas a sujeciones, cargas, material, contactos, condiciones térmicas, etc.
3. Las variables de diseño, esto comprende que partes de la pieza se pueden eliminar o modificar, SolidWorks Simulation te proporcionara opciones de diseño, que se pueden seleccionar según se acomoden más las necesidades de diseño.

Solidworks nos permite responder a la siguiente pregunta “¿Cómo disminuir de peso o material a nuestros diseños sin que afecte su funcionalidad?” (Intelligy, 2019).

Por ejemplo; Tenemos el caso de esta pieza. Es una pieza que a primera vista es completamente funcional, Pero en equipos móviles la reducción de peso es fundamental para el ahorro de combustible. “El modelo que se muestra a continuación es el de un simple mecanismo de elevación de bisagra asistido por gas y la tarea consiste en ir perfeccionando el diseño del componente azul para reducir su peso sin modificar su rigidez” (España, 2017).

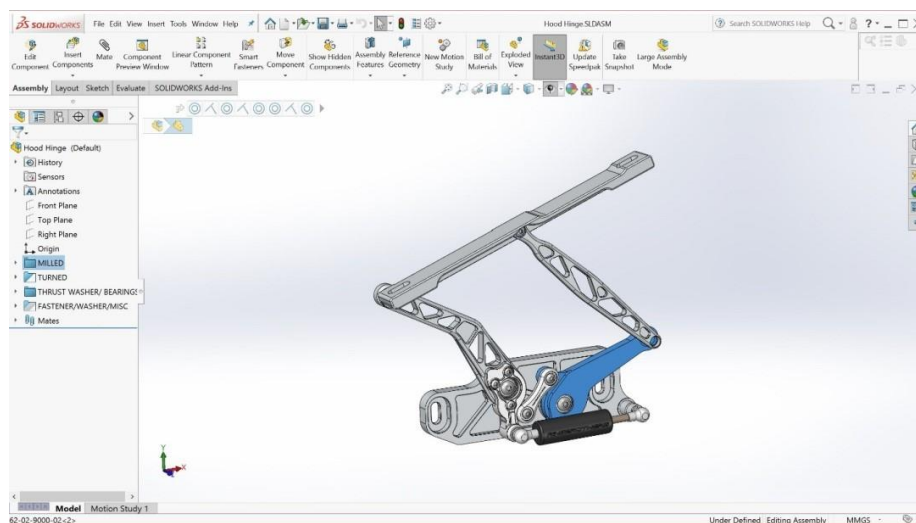


Ilustración 1-11. Conjunto de ejemplo Solidworks 2018

(Fuente: Blog de Solidworks Latinoamérica, Solidworks)

Es aquí donde entran los retos y desafíos de ingeniería. Para “lograr funcionamientos óptimos y sobre todo enfocarnos en Innovación.

En SolidWorks Simulation Professional se cuenta con la herramienta de "Estudios de topología".

Una de las ventajas de usar este tipo de tecnología es que puede optimizar los diseños desde las etapas iniciales del proyecto, debido a que a medida que el proyecto avanza, es más complicado hacer algún cambio o modificación al diseño teniendo una visión de innovación enfocada a ingeniería.

Con esta herramienta podemos mejorar nuestros diseños dando un toque más estético además de que el mismo va a cumplir con las especificaciones del funcionamiento. Podemos definirla como "hacer más con menos" (Intelligy, 2019).

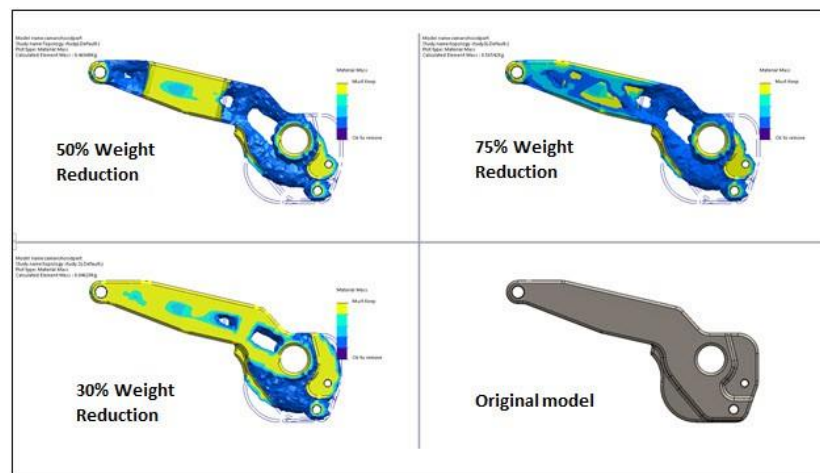


Ilustración 1-12. Resultados de optimización

(Fuente: Blog de Solidworks Latinoamérica, Solidworks)

Después de múltiples iteraciones de diseño se escoge la opción más adecuada esta geometría optimizada se puede imprimir directamente con algún método de fabricación aditiva o se puede pasar a un proceso de rediseño basándose en el análisis para generar una geometría más armónica o adaptada a procesos de fabricación por arranque de viruta tipo CNC.

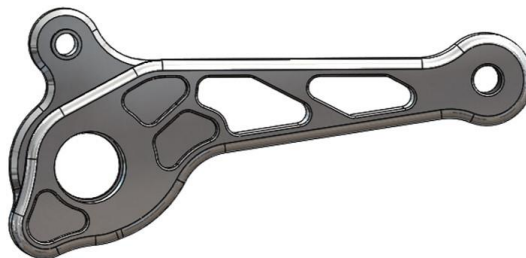


Ilustración 1-13. Pieza rediseñada post optimización

(Fuente: Blog de Solidworks Latinoamérica, Solidworks)

Con esto se puede concluir “que con el uso de SolidWorks Simulation daremos más valor a nuestros productos, tendremos un equipo de Ingeniería enfocado en calidad y servicio además de un perfil empresarial o de ingeniería” (Intelligy, 2019) orientado a la Innovación.

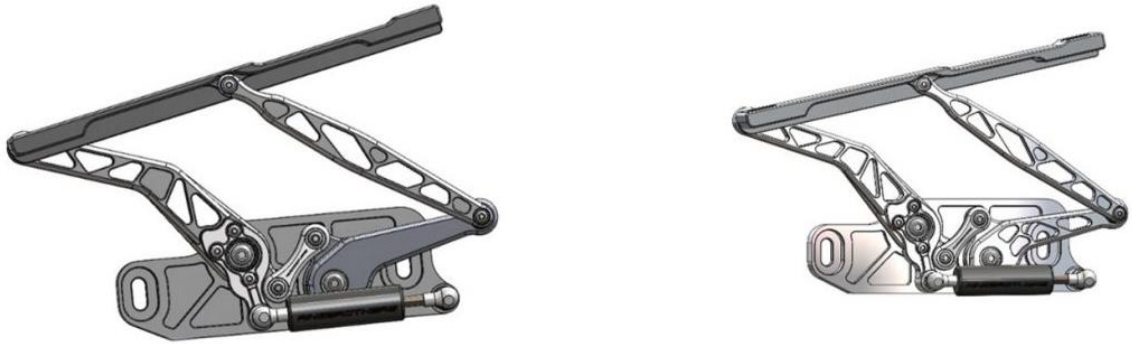


Ilustración 1-14. Conjunto original con pieza rediseñada
(Fuente: Blog de Solidworks Latinoamérica, Solidworks)

Finalmente, podemos agregar que el proceso de optimización topológica puede beneficiar a cualquier industria no solo en la mecánica, se pueden encontrar ejemplos de optimización topológica en AEC y aplicaciones en diseño de estructuras, etc.

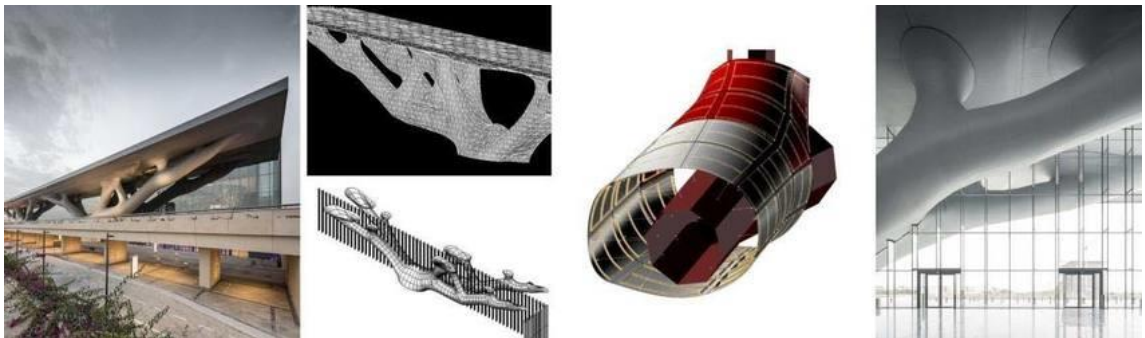


Ilustración 1-15. Aplicación de optimización topológica en AEC

(Fuente: Artículo científico “Nonlinear Shaping Architecture Designed with Using Evolutionary Structural Optimization Tools”, ResearchGate)

1.4. TIPOS DE IMPRESORA 3D

Hay varios tipos de impresoras 3D disponibles en el mercado, cada una con sus propias características y procesos de impresión. “No existe una tecnología de impresión 3D que sea completamente universal y adecuada para cada propósito. Por eso es importante decidir cómo y con qué propósito se va a utilizar la impresora” (Prusa3d, s.f.). Aunque existen muchas variedades de tecnologías de impresoras 3D De forma general las impresoras se pueden agrupar tanto por los materiales con los que trabajan (ya sea metal, resinas o filamentos de materiales compuesto) o por la forma en que generan las capas (extrusión, sinterización o aglutinante, etc.) a continuación, presentaremos una breve descripción de los tipos de impresoras más importantes agrupándolos según la forma de generación de capas:

(i) Extrusión:

“Abarca todas las impresoras 3D, que calientan o derriten polímeros y los empujan a través de una boquilla, extrusora o cabezal de impresión hasta una plataforma, donde se construye el modelo. El material para imprimir se proporciona en bobinas de filamento de 1,75 mm u ocasionalmente de 2,85 mm de diámetro. Las diferencias en los tipos de impresoras radican en cómo se mueven la extrusora y la plataforma de impresión para crear los modelos” (Prusa3d, s.f.).

FFF (Fabricación con filamento fundido) es el tipo de impresión más común y asequible, y la mayoría de las máquinas utilizan esta tecnología. Las impresoras FFF calientan el termoplástico hasta casi el punto de fusión y lo extruyen por una boquilla que traza la sección transversal de una pieza en cada capa. Este proceso se repite para cada capa.



Ilustración 1-16. Representación proceso impresión FFF

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

CFR (refuerzo de fibra continua) es un proceso de FFF aumentado que funciona como complemento de una impresora de FFF aplicando fibra continua en una pieza. En este proceso, la impresora utiliza una segunda boquilla para aplicar hebras continuas de fibras de composite dentro de una pieza de termoplástico FFF convencional. Las piezas construidas con CFR son fuertes y rígidas gracias a las fibras de refuerzo.

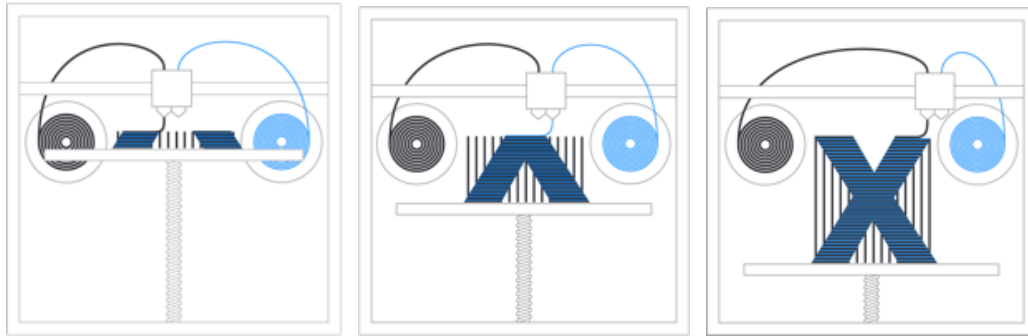


Ilustración 1-17. Representación proceso impresión CFR

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

ADAM (fabricación aditiva de difusión atómica) o deposición de polvo aglomerado, es un proceso prácticamente idéntico a la FFF utilizado para imprimir metal. Esta tecnología utiliza un filamento compuesto de polvo metálico y aglutinante de plástico. Tras la impresión, el aglutinante se disuelve y el polvo metálico se sinteriza para formar una pieza metálica completa.

(ii) Fusión láser:

Las impresoras de fusión láser utilizan láseres de alta potencia para fusionar materiales en polvo. Esta tecnología de base puede utilizarse para plástico (SLS) y metal (SLM/DMLS). Estas máquinas suelen ser de tipo industrial, ya que tanto los láseres de alta potencia como los polvos son difíciles de manipular. Fabrican piezas precisas y resistentes en una amplia variedad de materiales, desde plásticos hasta metales.

SLS (sinterizado selectivo por láser) produce piezas de plástico increíblemente precisas. En este proceso, la impresora deposita una capa uniforme de polvo y luego la sinteriza con precisión, repitiendo el proceso de deposición y sinterización hasta completar la pieza.

SLM/DMLS (fusión selectiva por láser / sinterizado directo de metal por láser) La SLM y el DMLS utilizan el mismo proceso que el SLS, pero emplean polvos metálicos. Como el

metal tiene un punto de fusión más alto y el polvo metálico presenta un mayor riesgo, estas máquinas requieren láseres de mayor potencia y mejores carcasas.

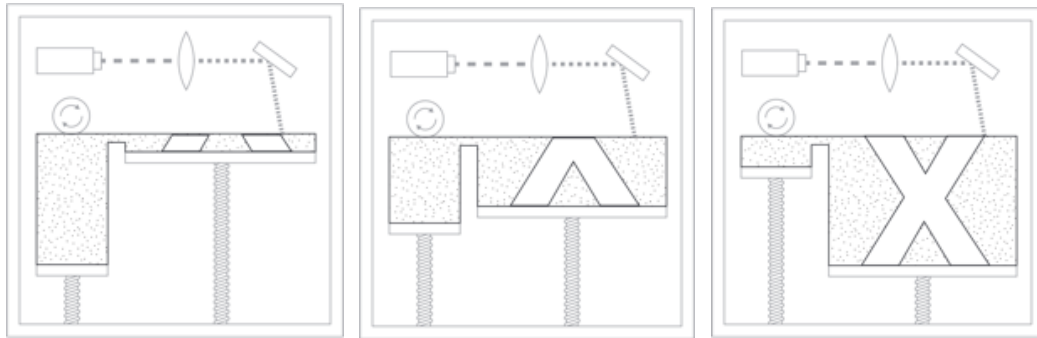


Ilustración 1-18. Representación proceso impresión SLM/DMLS

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

(iii) **Fotopolimerización:**

La fotopolimerización crea piezas precisas en un formato normalmente pequeño. Todas las piezas fabricadas con estos procesos deben ser fotopolímeros, aunque cabe señalar que las empresas que trabajan en este ámbito suelen manipular los fotopolímeros para que posean una amplia variedad de propiedades materiales. La fotopolimerización se utiliza normalmente para prototipos pequeños o piezas de uso final precisas.

SLA (estereolitografía) estas impresoras de pueden fabricar piezas precisas de forma rápida y asequible. Utilizan un láser para curar selectivamente una capa de resina, que luego se extrae y se vuelve a colocar para la siguiente capa. Normalmente, estas piezas se van extrayendo desde la batea de la resina hacia arriba a medida que se construyen.

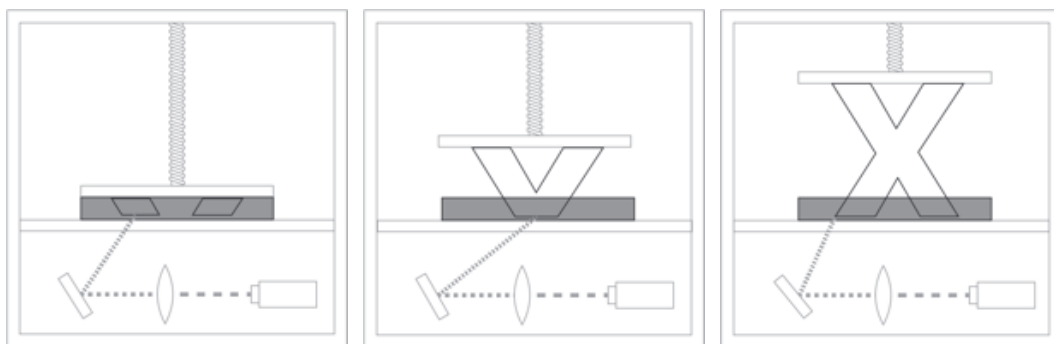


Ilustración 1-19. Representación proceso impresión SLA

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

DLP (procesamiento directo de luz) puede utilizarse para fabricar rápidamente piezas de fotopolímero. Estas impresoras funcionan del mismo modo que las impresoras de SLA, pero sustituyen el láser accionado por un proyector que puede curar toda una capa a la vez.



Ilustración 1-20. Representación proceso impresión DLP

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

(iv) **Adhesión de polvo:**

La adhesión de polvo es un campo de rápido crecimiento en la impresión 3D que puede utilizarse para fabricar piezas tanto de plástico como de metal. Dado que el proceso produce lotes de piezas con gran rapidez, se considera la tecnología que impulsará la impresión 3D hacia la producción en serie.

Inyección de aglutinante es un método económico y de bajo consumo energético para fabricar piezas a partir de polvo. En este proceso, la máquina utiliza los mismos métodos de esparcimiento de polvo que el SLS, pero emplea un aglutinante líquido para adherir las piezas en lugar de un láser. Tras la impresión, estas piezas deben curarse (plástico) o sinterizarse (metal) para obtener la pieza completa.

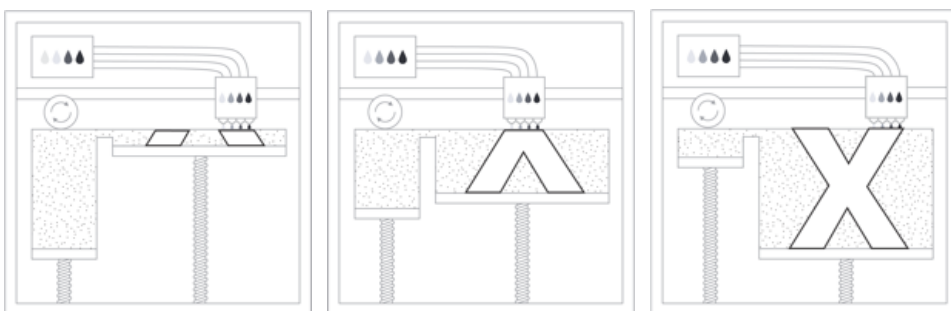


Ilustración 1-21. Representación proceso impresión por inyección de aglutinante

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

Cada tipo de impresora 3D tiene sus ventajas y desventajas, y la elección de una u otra dependerá de la aplicación específica para la que se necesita la impresora. Lo único que tienen en común las tecnologías de impresión es que todas crean las piezas en láminas separadas que se denominan capas.

1.4.1. TIPOS DE IMPRESORAS FFF

Debido a que en el capítulo 2 del desarrollo de este trabajo se realizará un ejemplo práctico y este será fabricado con una impresora tipo FFF es que nos centraremos en describir en mayor detalle este tipo de impresoras.

Una de las confusiones más comunes al hablar de este tipo de impresoras son las siglas con las cuales identificarlas, “FDM son las siglas de Modelado por Deposición Fundida (marca registrada de Stratasys) y FFF significa Fabricación por Filamento Fundido (código abierto)” (Prusa3d, s.f.), en términos simples son lo mismo la diferencia está en que una tecnología es de código abierto y la otra una marca registrada. “Dentro de esta categoría, puedes encontrar varias subcategorías que se deben tener en cuenta a la hora de adquirir una impresora 3D.

Cartesiana: utiliza el eje cartesiano X-Y-Z, con tres ejes perpendiculares entre sí. Su ventaja principal está en su facilidad de utilización, ya al ser el tipo de impresora con la mecánica más sencilla son las más fáciles de calibrar y corregir los errores que puedan surgir durante su uso.

Delta: los robots Delta contienen una cama estática de impresión circular. Sus 3 brazos articulados en diferentes elevaciones se desplazan hacia arriba y hacia abajo para poder realizar el trabajo. Destacan su calidad de impresión a mayor velocidad y por la mayor sencillez de su mecánica, pero son más difíciles de calibrar.

Polar: está basado en el sistema de coordenadas polares, en el que el sistema parte de un punto para pasar por un ángulo, una recta y el eje Z. La cama de impresión gira y el extrusor y la cabeza de impresión se mueven arriba y abajo. Su mayor ventaja consiste en que funciona con solo 2 motores más el del extrusor, lo que se traduce en un abaratamiento de costes. También trabaja un volumen mayor en un espacio menor, aunque son las menos utilizadas.

Brazo robot: está indicado para su uso industrial y montar piezas. Entre sus características más destacadas está el seguimiento de líneas y perfiles curvilíneos, aunque no es nada rígido y no suele permitir la precisión de otras máquinas más especializadas.

Core XY: es de estilo cartesiano, pero su mecanismo es diferente. Por su configuración mecánica permite más velocidad y reduce la inercia, al no tener la masa de los motores en movimiento” (BitFab, s.f.).

**CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE ANÁLISIS TOPOLÓGICO A UN
EJEMPLO PRACTICO**

2.1. DISEÑO PARA MANUFACTURA ADITIVA

Diseñar una pieza o un producto que se va a fabricar mediante impresión 3D es diferente a diseñarlo para que se fabrique de otra forma. Como cualquier ingeniero puede decirle, la forma en que se fabricará algo tiene un gran impacto en su diseño inicial. Una pieza o producto debe ajustarse a las limitaciones y aprovechar los puntos fuertes del proceso de fabricación elegido.

Las tecnologías de fabricación aditiva ofrecen una enorme libertad de diseño en comparación con otros métodos de fabricación como el moldeo por inyección o el mecanizado CNC. Por ejemplo, los atributos exclusivos de las piezas fabricadas de forma aditiva hacen que puedan aprovechar la mayoría de las optimizaciones las cuales trabajan sobre las siguientes características:

- Estructuras internas, como celosías (Patrones de relleno)
- Formas geométricas complejas
- Diseño multi material
- Consolidación de piezas
- La optimización de masa

Ya estamos viendo productos y piezas en todas las industrias diseñadas para la fabricación aditiva que pesan menos, usan menos material y funcionan mejor. Los productos, como los motores de cohetes y los componentes hidráulicos que están diseñados para AM, cuentan con múltiples partes consolidadas en una sola unidad, lo que ofrece un mejor rendimiento. Productos que incluyen implantes ortopédicos de titanio y piezas aeroespaciales que son más livianas, pero más fuertes que las versiones fabricadas convencionalmente. Otro ejemplo son los intercambiadores de calor que están diseñados con estructuras internas que solo son posibles a través de la impresión 3D. Esto les permite ser más eficientes, más pequeños y con una forma única para adaptarse a espacios específicos.

Gran parte del diseño de todo lo que nos rodea, desde nuestros vehículos hasta nuestros zapatos, se pensó antes de la fabricación aditiva, cuando los diseñadores e ingenieros estaban limitados por lo que podían crear sus herramientas, pero ya no.

Pero ¿cómo se consiguen los diseños para la fabricación aditiva? ¿Qué software permite a los diseñadores imaginar con AM en mente? Echemos un vistazo a los principales productos y procesos en DfAM hoy.

En un seminario web reciente organizado por el profesor John Hart, quien dirige el Centro de fabricación digital y aditiva del MIT, dijo que el diseño para AM incluye tres áreas:

- Conocimiento de los procesos y materiales de AM.
- Una comprensión de las herramientas DfAM (principalmente software) y la adopción de una mentalidad DfAM
- Una apreciación de los problemas de diseño y las oportunidades adecuadas para AM

Aunque hoy en día existe una gran cantidad de software para ayudar a diseñar para AM, aún se necesita comprender las diferencias esenciales entre los procesos y tecnologías de impresión 3D, desde la fusión de lecho de polvo hasta la estereolitografía y la inyección de material. Cada uno de estos ofrece diferentes características de piezas y oportunidades de diseño.

Para diseñar para AM, también debe comprender los materiales disponibles (plásticos, metales, cerámica, etc.) y sus características durante y después de la etapa de impresión 3D.

Las herramientas que se utilizan para DfAM incluyen una variedad de productos de software, muchos de los cuales quizás ya se conocen, como Fusion 360 o Siemens NX, que toman un archivo digital de diseño asistido por computadora (CAD) y optimizan sus funciones para la fabricación aditiva. Estos programas permiten a los ingenieros crear iteraciones de piezas, simular tensiones en las piezas, generar las estructuras de soporte necesarias para el proceso de impresión 3D e incluso estimar el costo y el tiempo de impresión de la pieza en función de los materiales y la impresora disponible.

El software de optimización de topología y diseño generativo (a menudo integrado en el software CAD y DfAM mencionado anteriormente) le permite optimizar un componente para reducir la cantidad requerida de material mientras maximiza su resistencia y rendimiento. El software de nTopology y Siemens, además de módulos especializados de simulación para programas CAD como Solidworks y Creo, ayudan a los ingenieros a realizar los complejos cálculos necesarios para la optimización topológica.

Pero no es suficiente saber cómo optimizar un componente para la fabricación aditiva, se debe comprender si vale la pena, Son muchos los parámetros tanto de tecnologías de impresión como de materiales y softwares es necesario crear un nuevo know-how sobre estos procesos para saber cuándo aplicarlos.

Como responder a la pregunta ¿Es la fabricación aditiva adecuada para su producto? La promesa de piezas más livianas, resistentes y de mejor rendimiento que utilizan menos materia

prima y menos herramientas para producir es el atractivo de la fabricación aditiva, pero no es ideal para todo. Hoy en día, los principales usos de la fabricación aditiva son:

- Herramientas, plantillas y accesorios para la fabricación.
- Implantes dentales y alineadores transparentes
- Componentes aeroespaciales y de cohetes
- Dispositivos médicos personalizados y modelos médicos
- Piezas personalizadas para la industria energética
- Prototipos y prototipos funcionales

Otro de los principales beneficios de la fabricación aditiva es la facilidad de personalización de las piezas. Debido a que AM es un proceso que inicia desde el archivo digital hasta la fabricación sin herramientas, moldes o muchos equipos configurados, las personalizaciones son rápidas y sencillas. Donde brilla la fabricación aditiva es en piezas y productos personalizados, únicos y de cantidad limitada, aunque se está moviendo rápidamente hacia la fabricación de mayor volumen y la personalización en masa.

Otro punto para considerar al abordar el diseño para la fabricación aditiva es si el resultado final crea una ventaja suficiente sobre la pieza original para justificar el tiempo y los gastos de AM. El rediseño de una pieza para la impresión 3D requiere costos iniciales que deberían redundar en una fabricación más rápida, menos desperdicio de materiales y más eficiencia. Especialmente en la industria de las piezas de repuesto, los fabricantes están revisando sus inventarios de piezas en busca de piezas que se puedan rediseñar para imprimirlas en 3D bajo demanda, eliminando la necesidad de fabricar piezas de inventario de existencias que tal vez nunca se utilicen.

En última instancia, DfAM es otra herramienta para ayudar a los diseñadores e ingenieros a tomar decisiones de diseño para optimizar piezas y productos. Para dominar esta nueva herramienta, deberá familiarizarse con las tecnologías y los materiales de fabricación aditiva y aprender a pensar de manera diferente sobre cómo se fabrican las cosas.

2.2. IMPRESORAS INDUSTRIALES

La manufactura aditiva es un mercado creciente y en constante expansión existe una diversidad de impresoras tanto en formatos tamaños de impresión y materiales.

Las impresoras industriales a diferencia de las impresoras para el hogar o de hobbies son más robustas y adecuadas para una producción en masa y están preparadas para la impresión de

metal y una amplia gama de materiales técnicos y flexibles que necesitan mayor temperatura de fusión y la adición de filamentos continuos.

En la actualidad se destacan los siguientes 3 tecnologías de impresoras usadas en el mundo industrial:

- “La inyección de aglutinante (Binder Jetting) es un método de fabricación aditiva que crea piezas de forma aditiva con un agente aglutinante. El proceso utiliza un agente aglutinante líquido depositado sobre el material de polvo de metal, capa por capa, de acuerdo con su modelo 3D” (Sculpteo, s.f.).
- “La fusión de cama de polvo (PBF) es un término que resume todas las tecnologías que funden y fusionan de forma selectiva el polvo de metal y plástico para construir piezas complejas directamente a partir de archivos CAD. Los métodos de PBF utilizan un láser (impresión directa en metal DMP/ sinterización directa de metal por láser DMLS/ sinterización selectiva por láser SLS) o un haz de electrones (EBM)” (3dsystems, s.f.).
- Impresoras extrusoras Son todas aquellas impresoras que cuentan con una boquilla o nozzle montado sobre un sistema calefactor (hot-end) que es calentado a cierta temperatura (dependiendo del material a trabajar) y se hace pasar el filamento a través de él empujándolo a través por un sistema de engranajes conocido como Sistema extrusor, este sistema puede ser “Directo” Montado encima del conjunto hot-end (ideal para trabajar filamentos flexibles) o tipo “Bowden” Montado en la estructura de la máquina lejos del conjunto hot-end.

2.2.1 FABRICANTES DE IMPRESORAS 3D INDUSTRIALES

Existen un creciente número de fabricantes de impresoras para el sector industrial en la actualidad, El problema es que no todas son comercializadas a nivel nacional en este apartado se ha seleccionado algunas marcas que tienen representación, soporte oficial y son distribuidas por la empresa nacional DISEÑO 3D esta es una empresa especializada en proveer las mejores soluciones de ingeniería CAD, CAM, CAE, PDM, PLM, escáneres e impresoras 3d.

Fundada en el año 2012, cuenta a la fecha con una amplia experiencia en el mercado, dedicada a brindar soluciones, productos y servicios a empresas industriales de diversos rubros.

Las principales industrias en las cuales opera son: Empresas Metalmecánicas (Moldes, Matrices, Máquinas Especiales, Automotriz, Transporte, Productos de Consumo), Industria Pesada (Minería, Petróleo), Empresas proveedoras de servicio (Diseño, I + D).

Algunas de las marcas con las que trabaja son 3D Systems, markforged y otras como 3ntr, Trideo 3D, Smart 3D y Sindoh

A continuación, una breve reseña de los fabricantes 3D Systems y markforged

3D Systems

“3D Systems es la evolución y revolución de la impresión 3D desde el momento mismo en que se encargó de crear y desarrollar tecnología, pioneros en SLS, SLA, CJP, MJP, DLP y DMP.

3D Systems ofrece impresoras y soluciones para todo tipo de industrias, partiendo desde modelos conceptuales, prototipos y maquinado rápido hasta piezas de impresión metálica que simplemente son imposibles de fabricar de manera estándar.

Las impresoras 3D Systems no sólo se utilizan para la industria y el diseño, ramas como la medicina, joyería y hasta fundiciones tradicionales están incorporando las líneas de 3D Systems a sus procesos” (Disegno3d, 3D SYSTEMS, s.f.).



Ilustración 2-1. Línea de impresoras del fabricante 3D Systems

(Fuente: Sitio web del fabricante, Web 3D Systems)

Markforged

Markforged se fundó en 2013 “para cambiar la forma en que se fabrican los productos y que la fabricación aditiva puede transformar sectores enteros. En la intersección de la fabricación tradicional y la ciencia de materiales de vanguardia, Markforged cree en un futuro en el que pasar del diseño a las piezas terminadas sea fácil, simple, seguro y asequible. Es por eso por lo que Markforged creó el único ecosistema del mundo de impresoras 3D de plástico, metal y compuestos, para que pueda concentrarse en crear productos que cambien el mundo” (Disegno3d, Markforged, s.f.).

Esta empresa se destaca por integrar Inteligencia artificial a su ecosistema de software. Su ecosistema llamado “The Digital Forge” (plataforma basada en la nube), “la plataforma combina

tres elementos interconectados (software, impresoras 3D y materiales) para que ingenieros y diseñadores puedan convertir sus diseños en piezas industriales totalmente funcionales de una forma más eficiente” (Markforged, Reinventamos la fabricación, s.f.).



Ilustración 2-2. Línea de impresoras del fabricante Markforged

(Fuente: Sitio web del fabricante, Web Markforged)

Markforged cuenta con 3 líneas de impresoras actualmente resumidas de la siguiente tabla:

Serie de sobremesa para materiales compuestos	Serie industrial	Impresoras 3d para metal
Mark Two™	FX20™	Sistema Metal X™
Onyx Pro™	X7™	PX100™
Onyx One™	X7™ Field Edition	
	X3™	

Tabla 2-1. Detalle Gama de impresoras del fabricante Markforged

(Fuente: Sitio web del fabricante, Web Markforged)

El detalle de fabricantes de impresoras presentado anteriormente se compone de las marcas con representación oficial a nivel nacional lo que no significa que sean las únicas, en el mundo se distribuyen máquinas con marcas como Creality, Trilab Prusa, Ultimaker,

BCN3D, Formlabs, Meltio, MiniFactory, HP, Bambulab, Zortrax, Raise 3d, Snap Maker, TuMaker, WASP, entre muchas otras.

2.3. PROCESO DE CÓMO IMPRIMIR EN 3D

La impresión 3D es un proceso relativamente simple y altamente automatizado. Cualquiera sea la tecnología de fabricación aditiva seleccionada sigue prácticamente el mismo proceso de fabricación, este proceso se puede resumir en 8 pasos que revisamos a continuación:

1. CAD. Las piezas parten de un modelo virtual realizado mediante cualquier software de diseño CAD como Solidworks, Autodesk Fusion, Onshape, ANSYS y muchos otros, también estos modelos virtuales pueden provenir de softwares de modelado o esculpido en 3d como Zbrush o Blender. Hoy en día existen incluso escáneres 3D que permiten escanear un objeto y usar directamente su geometría sin necesidad de dibujarlo.

2. Conversión a formato Stereolithography (STL). Este archivo describe las superficies externas cerradas del modelo CAD original y constituye la base para el cálculo de las capas, este tipo de archivo es la entrada universal a los softwares de laminación de las impresoras 3D.

3. Después de exportar la pieza, se carga el archivo STL en el software de corte de la impresora (También llamados Laminador o Slicer). Para las impresoras Markforged, este software se llama Eiger, Dentro del laminador con el archivo ya cargado, En este paso se pueden hacer algunas manipulaciones del modelo para que tenga el tamaño o la posición adecuados.

4. Configuración de la máquina. Ajustes como los parámetros de impresión y materiales. Adición de soportes, parámetros de relleno, velocidades de impresión, temperaturas entre muchos otros se definen en este punto, aunque dependiendo del modelo de la impresora permite modificar algunos parámetros mientras la impresión ya ha comenzado, este paso finaliza con la acción de “Laminar o Segmentar” lo que genera un archivo con el lenguaje máquina con todas las instrucciones de fabricación.

5. Después de laminado el archivo Este se exporta a la impresora por la nube, a través de un cable o por un medio de almacenamiento extraíble, con esto se puede comenzar la fabricación, la cual es principalmente un proceso automatizado. Primero se fabrica la capa inferior de la pieza encima de la superficie de fabricación de la máquina. Posteriormente, se fabrica la siguiente capa encima de la anterior, repitiendo este proceso hasta lograr la geometría final.

6. Una vez que el proceso de impresión ha concluido se extraen las piezas de la cama de impresión y se pasa al Post procesado. Las piezas se deben limpiar y/o eliminar las estructuras de soporte, lo cual requiere una manipulación manual cuidadosa.

8. Uso. Finalmente, las piezas ya pueden ser utilizadas.

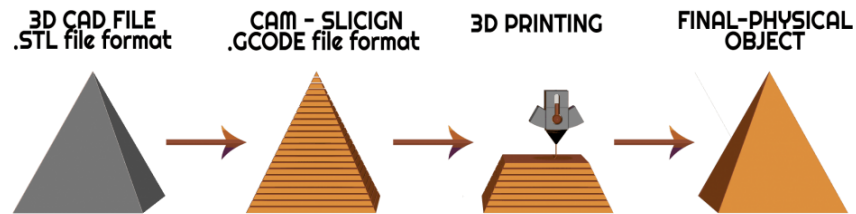


Diagrama 2-1. Resumen de proceso de impresión 3d

(Fuente: Artículo Web “how 3d printing works?”, Web my3dconcepts)

2.4. PRESENTACIÓN DEL CASO PRACTICO

Para un mejor entendimiento de las capacidades de la optimización topológica y como esta nos puede ayudar a sacar el máximo potencial a los procesos de fabricación aditiva (aunque los resultados pueden adaptarse a otros procesos de fabricación) desarrollaremos un caso práctico desde la optimización a la fabricación. La pieza seleccionada para este caso práctico corresponde al modelo de la competencia Model Mania® versión 2018.

Cada año, Dassault Systemes organiza una de las conferencias de ingeniería más importantes del mundo. Desde SOLIDWORKS World 2000, Model Mania® ha sido una atracción para muchos ingenieros y diseñadores que desean competir y mostrar sus habilidades en SOLIDWORKS. Model Mania, para aquellos que no están familiarizados, es un desafío de diseño en el que sus habilidades de modelado se miden tanto en precisión como en tiempo.

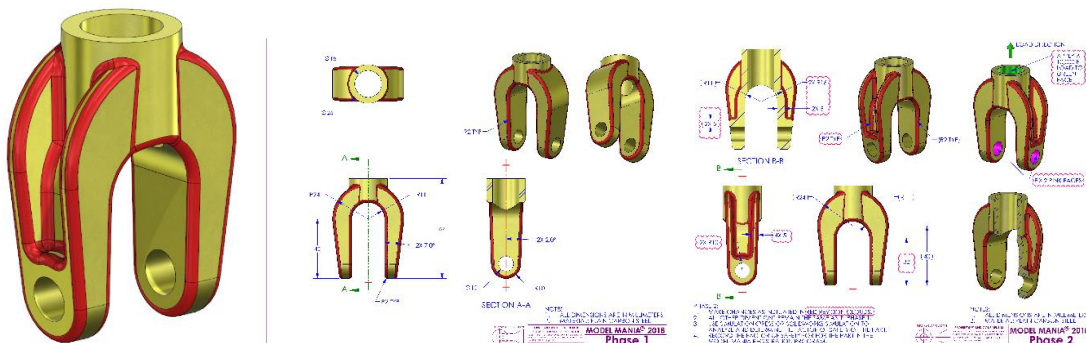


Ilustración 2-3. Resumen de proceso de impresión 3d

(Fuente: Artículo Web “23 Years of Model Mania®”, SOLIDWORKS Tech Blog)

El modelado de esta pieza se realizará según plano (Anexo 1) en software Solidworks 2022 SP5 versión premium

Una vez realizado el modelado se procederá a realizar la optimización topológica

La pieza original como la resultante del proceso de optimización topológica y un rediseño en base a los resultados de la optimización topológica serán analizadas desde el punto de vista de la fabricación aditiva

Se fabricará tanto la pieza original como la resultante de la optimización y la pieza rediseñada.

Se realizará un estudio de costos y tiempos de impresión de todas piezas.

2.4.1 PROCEDIMIENTO DE LA OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA

La herramienta de optimización topológica en Solidworks permite optimizar la geometría de un modelo con la finalidad de generar “componentes de masa mínima. Basándose en las cargas y limitaciones estáticas lineales, el estudio de topología eliminará elementos de la malla de elementos finitos hasta alcanzar el objetivo de masa o la mejor forma de relación rigidez-peso” (España, 2017), a continuación, presentaremos el desarrollo de un ejemplo práctico. La pieza para optimizar es El modelo de “Model Mania 2018”. Las restricciones y cargas se aplicarán según las indicaciones del Plano, Estará fijada por un pasador en las perforaciones inferiores, mientras la carga actuaría en el taladro superior.

El objetivo de nuestro estudio será conseguir una pieza aligerada, para lo cual debemos pasar por las siguientes etapas.

1º DISEÑO DE LA PIEZA INICIAL 2º ESTUDIO DE TOPOLOGÍA 3º DISEÑO DE PIEZA OPTIMIZADA

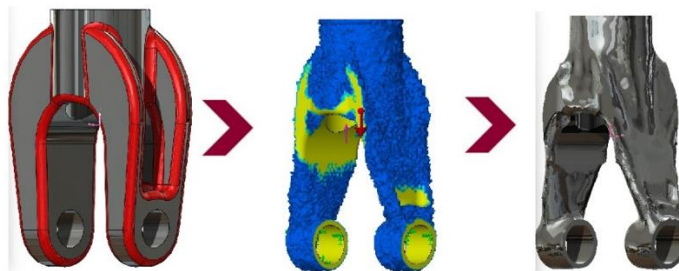


Diagrama 2-2. Resumen de proceso optimización topológica

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Disponemos del plano con el cual generaremos el diseño CAD inicial. En este caso el diseño inicial cumple perfectamente con su función, pero es macizo debido principalmente al método de fabricación (pensado para un proceso de arranque de viruta), Por lo que se infiere que existe un exceso de material en algún sitio. Como resultado del estudio nos propondrá una geometría aligerada tomando en cuenta las restricciones ingresadas. Teniendo en mente que cambiaremos el método de fabricación a aditiva.

“Es una buena costumbre ejecutar un estudio estático de la pieza antes de ejecutar un estudio de topología para asegurarse de que las cargas aplicadas no se traducen en una solución que infrinja las hipótesis estáticas lineales de pequeñas desviaciones y tensiones que están por debajo del límite elástico de los componentes” (España, 2017).

Para empezar el estudio activaremos los complementos de Simulation premium desde la pestaña complementos de Solidworks y seleccionaremos Nuevo estudio y luego en el apartado Percepción del diseño seleccionaremos “estudio de topología”.

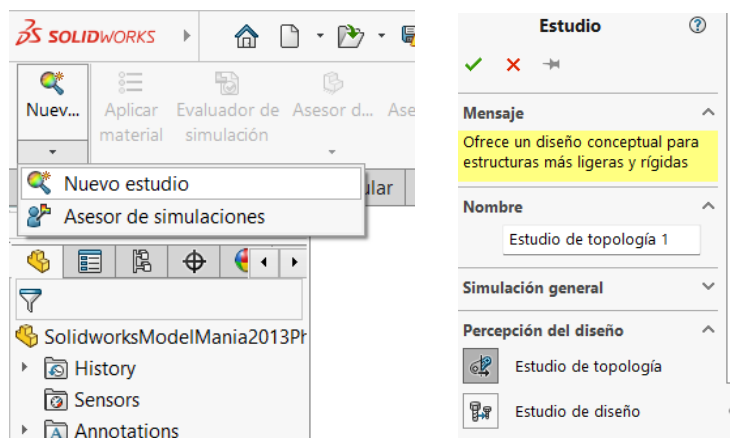


Ilustración 2-4. Nuevo Estudio y Estudio de topología

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Una vez iniciado el estudio, se deben definir las condiciones. “Estas le permitirán al software crear la mejor topología para nuestro caso particular” (S.L, 2020). En principio es muy similar a un análisis de elementos finitos, pero se agregan objetivos y restricciones específicas para la optimización topológica.

Las condiciones por definir para un estudio de topología son las siguientes:

(i) **Material**

Las propiedades mecánicas del material que usemos serán determinantes en el proceso de cálculo de esfuerzos y desplazamientos y, por lo tanto, en la optimización final. En este caso según el plano utilizamos el acero al carbono no aleado, de la librería de materiales de del software.

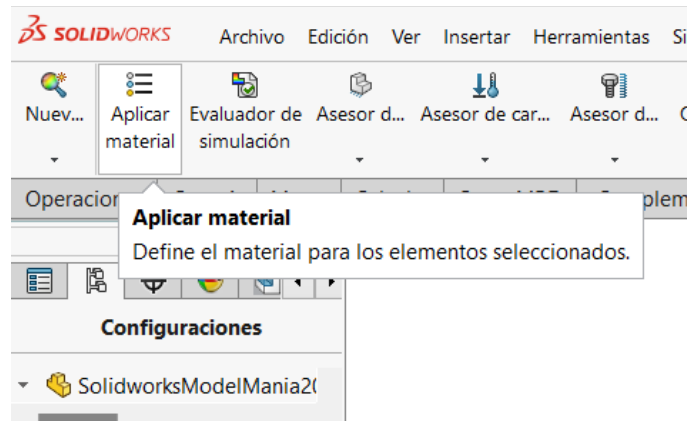


Ilustración 2-5. Selección de material

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

(ii) **Sujeción y cargas:**

“La geometría final depende directamente de las cargas y sujeciones que se definan en este punto. La posición de estas, junto con la dirección y magnitud de la carga, causarán una distribución concreta del material” (S.L, 2020).

En nuestro ejemplo, Siguiendo la indicaciones del plano aplicamos sujeciones de geometría fija en ambas perforaciones de la base.



Ilustración 2-6. Aplicación de sujeciones

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Como cargas Externas para este caso se definieron la fuerza de gravedad (en rojo) y además La carga de 10.000 N (en magenta) y aplicada al taladro principal en dirección y magnitud según plano. La dirección de la carga de gravedad la definimos a partir del plano del croquis creado previamente en el proceso de modelado quedando Normal al plano alzado.

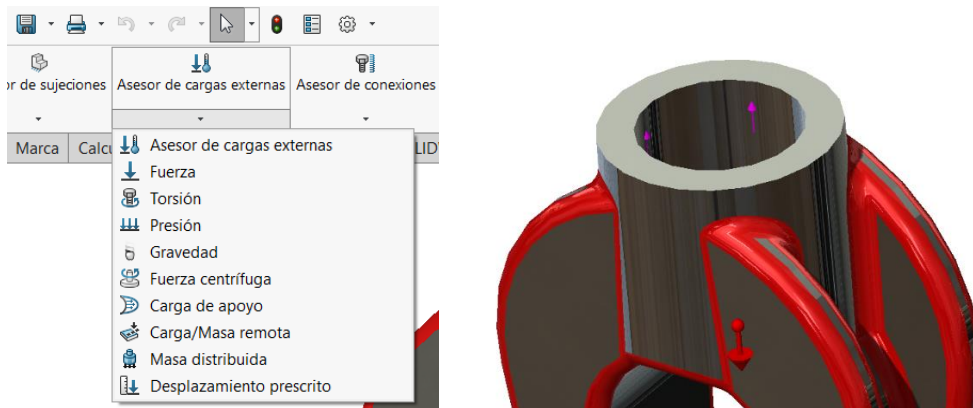


Ilustración 2-7. Aplicación de Cargas

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

(iii) Controles de fabricación:

“Con los controles de fabricación podremos restringir aún más la optimización en diferentes grados para que la geometría final cumpla con las limitaciones de nuestro proceso de fabricación. Este es un punto interesante de funciones para aquellos que vayan a fabricar su pieza por inyección de plástico, fundición, etc. Las restricciones incluyen la conservación de regiones, espesor mínimo, dirección de desmoldeo y planos de simetría”.

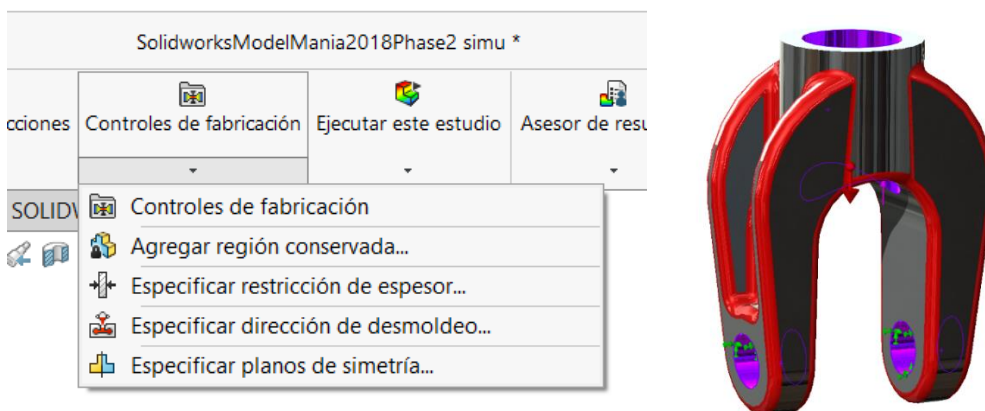


Ilustración 2-8. Aplicación de Controles de Fabricación

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Como el objetivo final es generar estas piezas mediante fabricación aditiva, limitaremos el retiro de material aplicando el comando "Agregar región conservada" por estimar que son regiones de contacto (Zonas en morado) configurando 3 mm como límite inferior para el cálculo de retiro de material

además, como nuestra pieza es simétrica se especifica el plano de simetría con el fin de reducir el tiempo de ejecución del estudio.

(iv) **Objetivos y restricciones:**

“Los objetivos del estudio nos permitirán optimizar la pieza según diferentes criterios” (S.L, 2020). Esto significa que el programa intentara encontrar la estructura más rígida posible en función de una cantidad de eliminación de material determinada por la definición del objetivo y las restricciones.

Al seleccionar un objetivo del estudios se selecciona una restricción por defecto, pero se pueden agregar restricciones adicionales según los requerimientos del diseño.

Los objetivos del estudios pueden ser los siguientes:

– **Mayor Rigidez al cociente de Peso.** (Disminuye la masa para conseguir la máxima rigidez, Conseguir la mejor relación peso/Rigidez como resultado de las cargas aplicadas)

– **Minimizar desplazamiento máximo** (nuevamente hace una redistribución de masa en la pieza, aligera la masa en zonas con exceso, con el fin de disminuir los desplazamientos por la cargas aplicadas ya sea en un eje específico o desplazamientos resultantes).

– **Minimizar la masa** (Se establece un valor objetivo de reducción de masa ya sea en porcentaje del peso inicial o en valor absoluto por ejemplo si una pieza pesa 1 kg se puede establecer como valor para la optimización que baje 100 gramos).

Cualquiera de estos objetivos se puede complementar con restricciones que estableces mínimos aceptables en cada categoría

Estas restricciones son las siguientes

- Restricciones de desplazamientos (Requiere estudio estático previo)
- Restricciones de masa

- Restricciones de frecuencia (Requiere estudio frecuencias naturales previo)
- Restricciones de tensión/factor de seguridad (Requiere estudio estático previo)

En este caso “la maximización del ratio rigidez/peso es la más recomendable para empezar y nos permite establecer en qué porcentaje queremos aligerar la pieza” (S.L, 2020). Una reducción de un 40% dará un buen resultado para nuestra pieza de ejemplo.

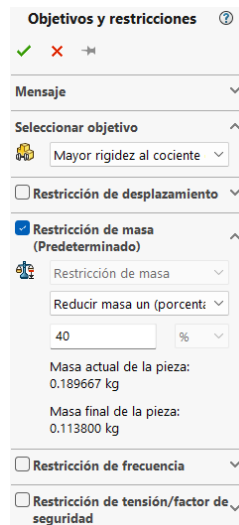


Ilustración 2-9. Selección de objetivos y restricciones

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

(v) Mallado:

Finalmente, procedemos a mallar la pieza. “Como en cualquier análisis de elementos finitos, la calidad de la malla influirá en la precisión del resultado final” (S.L, 2020), la densidad de la malla afecta proporcionalmente al tiempo de ejecución del estudio y a la precisión de este, en este caso seleccionamos la malla estándar con un tamaño de elemento medio.

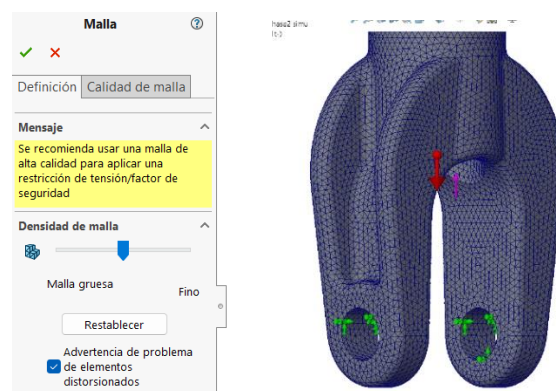


Ilustración 2-10. Aplicación de Malla

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

(vi) Ejecución del estudio:

Antes de ejecutar el estudio (El tiempo de ejecución puede variar según las configuraciones y la potencia del equipo utilizado) es importante verificar que todo esté en orden para eso ocuparemos una funcionalidad nueva de SolidWorks que es el evaluador de simulaciones que nos dirá si falta un parámetro o nos saltamos un paso de los anteriores, con el fin de corregirlo antes de ejecutar el estudio. Una vez verificado se puede iniciar el estudio, este proceso puede tardar bastante dependiendo del rendimiento del equipo.

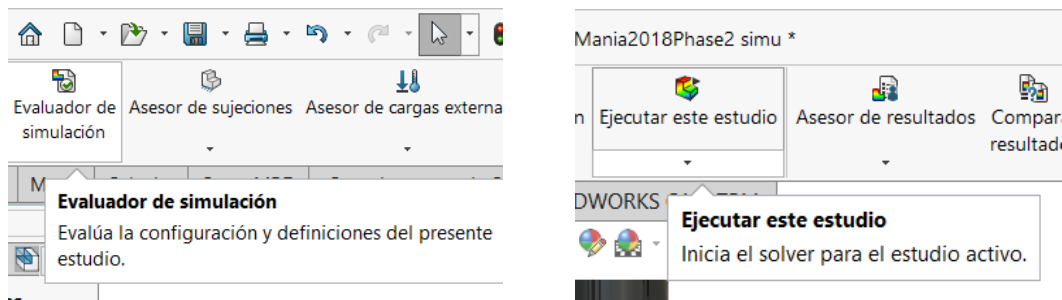


Ilustración 2-11. Evaluador de simulaciones y ejecución del estudio

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Una vez verificado todo ejecutamos el estudio esto iniciaría Solver y se puede verificar el progreso verificando el número de iteraciones o visualizando los gráficos de convergencia de los parámetros establecidos.

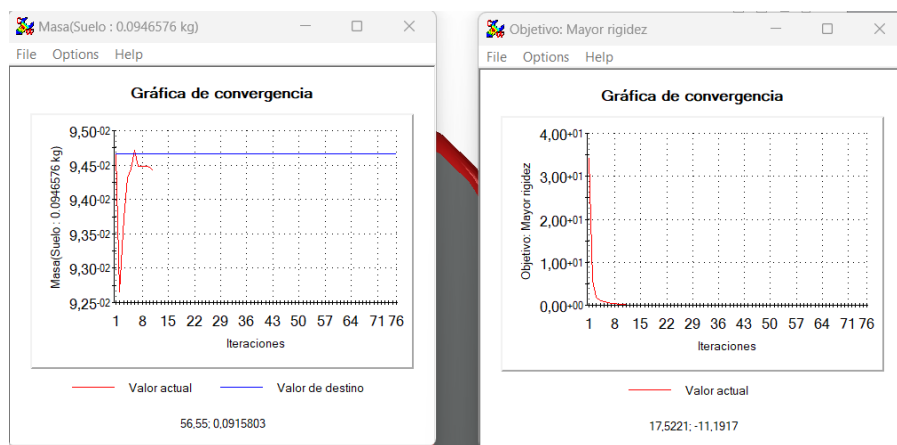


Ilustración 2-12. Gráficos de convergencia

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Una vez que la iteración alcance resultados estables se obtendrá una solución tosca que parece a una parte optimizada:

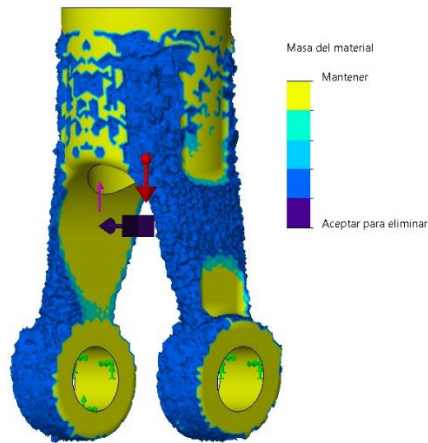


Ilustración 2-13. Resultados en bruto de la optimización topológica

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

En los resultados del estudio se puede modificar la masa final y hacer la pieza más pesadas o ligeras arrastrando la barra, en opciones de suavizado de malla avanzado seleccionamos “Calcular malla suavizada” y el software devolverá la malla de la pieza optimizada.

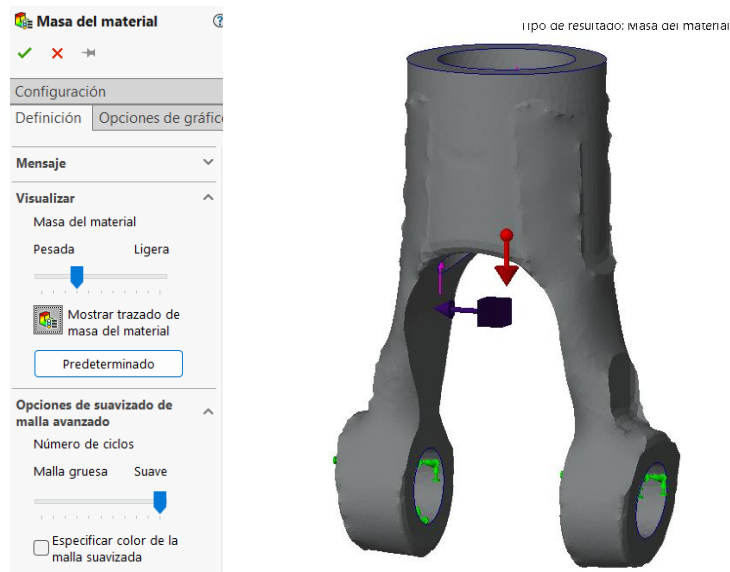


Ilustración 2-14. Ajustes de masa y malla suavizada

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Finalizado el proceso anterior, ya es posible guardar la pieza como STL e imprimir, ya que el método de fabricación será impresión 3d y no tiene mayores restricciones de diseño.

Si el resultado no convence por su geometría irregular, “Se puede exportar como malla de gráficos y usarla como guía para un rediseño CAD” (S.L, 2020).

**CAPÍTULO 3: REDISEÑO, IMPRESIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DE
FABRICACIÓN**

3.1. REDISEÑO BASADO EN RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN

Retomado lo anterior dado que nuestro modelo de fabricación es mediante manufactura aditiva es posible exportar directamente el resultado de la topología como un sólido con el fin de llevarlo a un proceso de impresión 3D, pero también mediante la exportación de los resultados como modo de visualización agregado al modelo existente es posible visualizar ambos estados superpuestos con el fin de realizar un rediseño y obtener una pieza mejor acabada tanto para impresión 3d como para un mecanizado CNC.

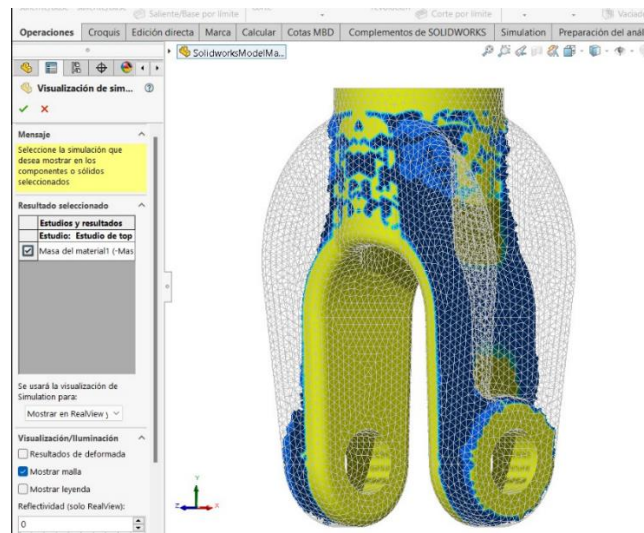


Ilustración 3-1. Estado de Visualización Superpuesto

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Obteniendo de este proceso de rediseño una nueva geometría con la reducción de peso aproximada a la de la optimización topológica, pero con una terminación más armónica.



Ilustración 3-2. Resultado del Rediseño

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Como paso final de las optimización y antes de la fabricación, cualquiera sea el método escogido, es recomendable comprobar el modelo resultante. La comprobación se realizará a través de un Estudio estático para confirmar que las tensiones están dentro de los límites admisibles.

Se puede ocupar la función copiar estudios y así copiar parámetros de un estudio anterior como previamente ingresados como los utilizados en el estudio de topología, Usando las mismas cargas y restricciones solo faltaría crear una malla nueva y ejecutar el estudio. Con esto se verifica que, efectivamente, las tensiones no superan el límite elástico del material en las 3 piezas de estudio.

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN REDUCCIÓN DE MASA

Tomando en cuenta los siguientes 3 diseños procederemos a realizar un análisis de la reducción de masa

- Pieza 1 Pieza original
- Pieza 2 Resultado de optimización topológica malla suavizada
- Pieza 3 Rediseño basado en optimización topológica

Para conocer los valores de peso final teniendo en cuenta que el material del elemento ya se había asignado previo a los estudios y análisis, se ocupara la herramienta propiedades físicas de la pestaña calcular en Solidworks

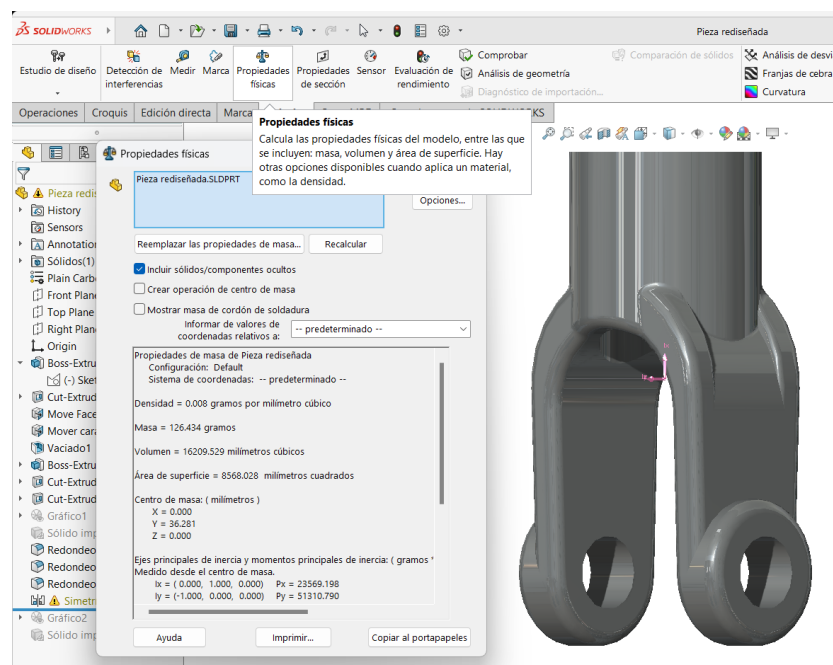


Ilustración 3-3. Propiedades Físicas

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

De esta manera se obtendrán la masa y el volumen de las 3 piezas en cuestión (Revisar anexo 2 para detalle completo) se presentan los valores resultantes en la siguiente tabla de resumen:

Item	Descripción	Volumen (mm ³)	masa (Gramos)	% de masa	Reduccion de peso %
Pieza 1	Original de Plano modelmania 2018	24316,305	189,667	100%	0%
Pieza 2	Resultado de optimización topológica malla suavizada	15818,637	123,385	65,05%	34,95%
Pieza 3	Rediseño basado en optimización topológica	16209,529	126,434	66,66%	33,34%

Tabla 3-1. Resumen Resultados Reducción de Masa

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Un punto importante para destacar es que cuando se realizó la optimización topológica el objetivo era la reducción de un 40%, como se aprecia en la tabla de resumen (Tabla 3-1) la pieza 2 que es el resultado directo de la optimización, solo alcanzo un 34,95% de reducción de masa en comparación con la pieza original, esto es debido a que el programa determino en base a la restricciones de fabricación (conservación de regiones por estimar que son superficies de contacto para la función principal de la pieza), que no podía seguir retirando material con el fin de conservar las capacidades de la pieza resultante para soportar las tensiones a las cuales estaba sometida.

La pieza 3 en este caso es el rediseño que se realizó en base a la optimización en bruto (pieza 2) y se puede observar por los resultados que fue un acercamiento acertado tomando en cuenta que solo tiene una diferencia de 3 gramos con la pieza 2.

Todas las piezas fueron sometidas a un análisis estático para verificar sus capacidades para soportar las cargas de estudio, por lo cual se puede proceder a la fabricación de las piezas.

3.3. CONSIDERACIONES DE FABRICACIÓN

Si este fuera un caso real de aplicación industrial lo ideal sería fabricar esta pieza en una impresora con tecnología de impresión de metal (PBF), considerando un material de características técnicas y propiedades físicas similares o superiores al acero usado para la simulación con el fin de mantener los resultados de estas.

Es importante también tomar en consideración la dirección de las capas (Orientación de la pieza con referencia al plano de impresión del equipo) en la fabricación, ya que la forma de distribución de la capas afecta la resistencia de la pieza final, para entender mejor este fenómeno se puede pensar en la similitud con la madera, esta “es mucho más resistente a la tracción en el sentido paralelo a las fibras que en el sentido perpendicular. En el sentido paralelo tratamos de estirar las fibras hasta cortarlas y en el perpendicular despegamos los manojos de fibras uno de

otros” (plata, s.f.), se presenta exactamente el mismo comportamiento con las capas en impresión 3d.

Otra característica interesante de la madera y que se puede aplicar a las capas de impresión 3d es que, si estas piezas son sometidas a compresión perpendicular a sus fibras, a medida que el material se deforma, “se hace más denso por la eliminación de sus espacios y, por lo tanto, más resistente. Un ejemplo de esto, son los durmientes de madera del ferrocarril” (plata, s.f.).

3.4. ANÁLISIS DE COSTO 1: IMPRESORA CREALITY

Tomando en cuenta las condiciones de fabricación ideales expuestas en la sección anterior, para la fabricación de la piezas con el objeto de realizar un estudios de costos del proceso, se dispone de un equipo de impresión de grado industrial, pero del tipo FFF, con el fin de que las piezas resultantes muestren mejor la geometría de la optimización se imprimieran de tal forma que disminuyan la necesidad de soportes, obviando la resistencia del material, además estas serán escaladas al 200% de su tamaño original con el mismo fin.

El análisis de costos se realizará de la siguiente manera según los datos entregados por el slicer al procesar la pieza

- Tomará en cuenta tiempo de impresión final (Costo de impresión)
- Cantidad de material utilizado en gramos y costo del material (Costo de material)
- Costos anteriores más Costos de operación preparación, etc. (Costos finales de fabricación).

3.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO A UTILIZAR

CR5 Pro-Versión H (Alta temperatura) del fabricante Creality Es una impresora 3D de la línea industrial del fabricante chino Shenzhen Creality 3D Technology Co, Ltd. Esta impresora en particular es completamente cerrada, y fabricada completamente en estructura metálica lo que le brinda mayor estabilidad. La temperatura máxima de la boquilla aumenta de 260 ° C a 300 ° C (en comparación con el modelo CR5 normal) este cambio en el extrusor le permite imprimir materiales técnicos que exigen alta temperatura, con un ventilador de alta potencia y excelente disipación de calor y extrusión suave.



Ilustración 3-4. Ficha Modelo CR-5 Pro

(Fuente: Sitio web del fabricante, Web Creality)

Molding technology: FDM(Fused Deposition Modeling)	Layer thickness: 0.1mm-0.3mm
Machine size: 530 X 487 X 612mm	Screen: 4.3-inch touch screen
Print size: 300 X 225 X 380mm	Nozzle temperature: ≤300°C
Package size: 625 X 545 X 780mm	Rated power: 350W
N.W.: 32.5Kg	File format: STL/OBJ/AMF
G.W. : 40Kg	Filaments: PLA/ABS
Printing accuracy: ±0.1mm	File transfer: USB/SD card
Nozzle diameter: 0.4mm(standard)	Diameter of filament: 1.75mm
Hotbed temperature: ≤110°C	Supported language: Chinese/English
Number of nozzles: 1	Motherboard: Silent motherboard
Filament detector: Yes	Computer system: Linu/Windows XP/Vista/7/8/10
Power supply: AC 115/230V/DC 24V	Slicer software: Cura/Repetier-Host/Simplify3D/Creality slicer

Características técnicas:

Tabla 3-2. Ficha Técnica CR- 5 Pro

(Fuente: Sitio web del fabricante, Web Creality)

3.4.2 OBTENCIÓN DE ARCHIVOS STL

Se exportarán los modelos a fabricar directamente desde SolidWorks exportando los archivos como STL de la siguiente manera desde el botón guardar, se selecciona guardar como, en tipo de archivo se selecciona “.STL” Stereolithography (estereolitografía) como extensión del

archivo ,se nombra el archivo, se escoge ubicación de destino y se da clic en guardar como se muestra en la siguiente imagen.

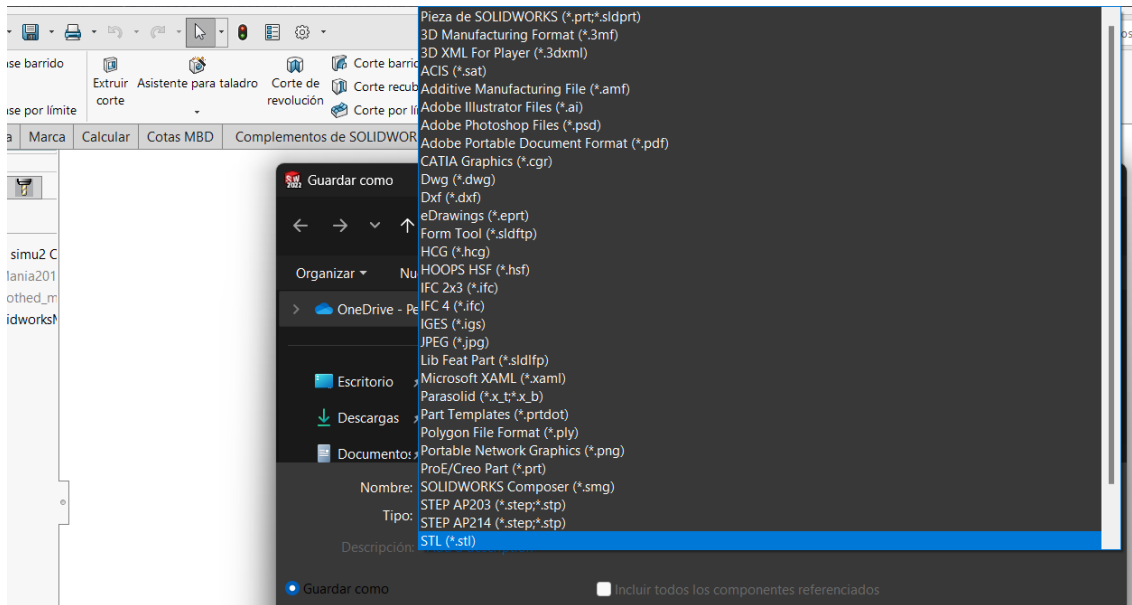


Ilustración 3-5. Procedimiento de exportación STL en Solidworks

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Esto generará un archivo que pueda reconocer nuestro slicer que es el software encargado de transformar el modelo 3d en lenguaje máquina, en este caso utilizaremos Ultimaker Cura.

3.4.3 PROCESO DE IMPRESIÓN IMPRESORA CR-5

Para comenzar a imprimir existen una serie de parámetros previos que se deben configurar en el slicer con el fin de establecer los parámetros tanto de impresión, materiales y datos de la impresora.

(i) Configuración de impresora

Antes de comenzar a imprimir se debe configurar la impresora en el slicer, esto quiere decir ingresar parámetros para que el slicer reconozca datos como el volumen de impresión márgenes de impresión altura máxima, sistema operativo de la impresora y parámetros del extrusor como diámetro de la boquilla o nozzle entre otros, según el laminador escogido la mayoría de las máquinas de marcas populares ya vienen pre configuradas, el procedimiento para configurar una

máquina en cura es el siguiente: Ir al apartado preferencias luego impresoras, seleccionar una impresora o configurar una manualmente algunos de los parámetros a tomar en cuenta son los siguientes:

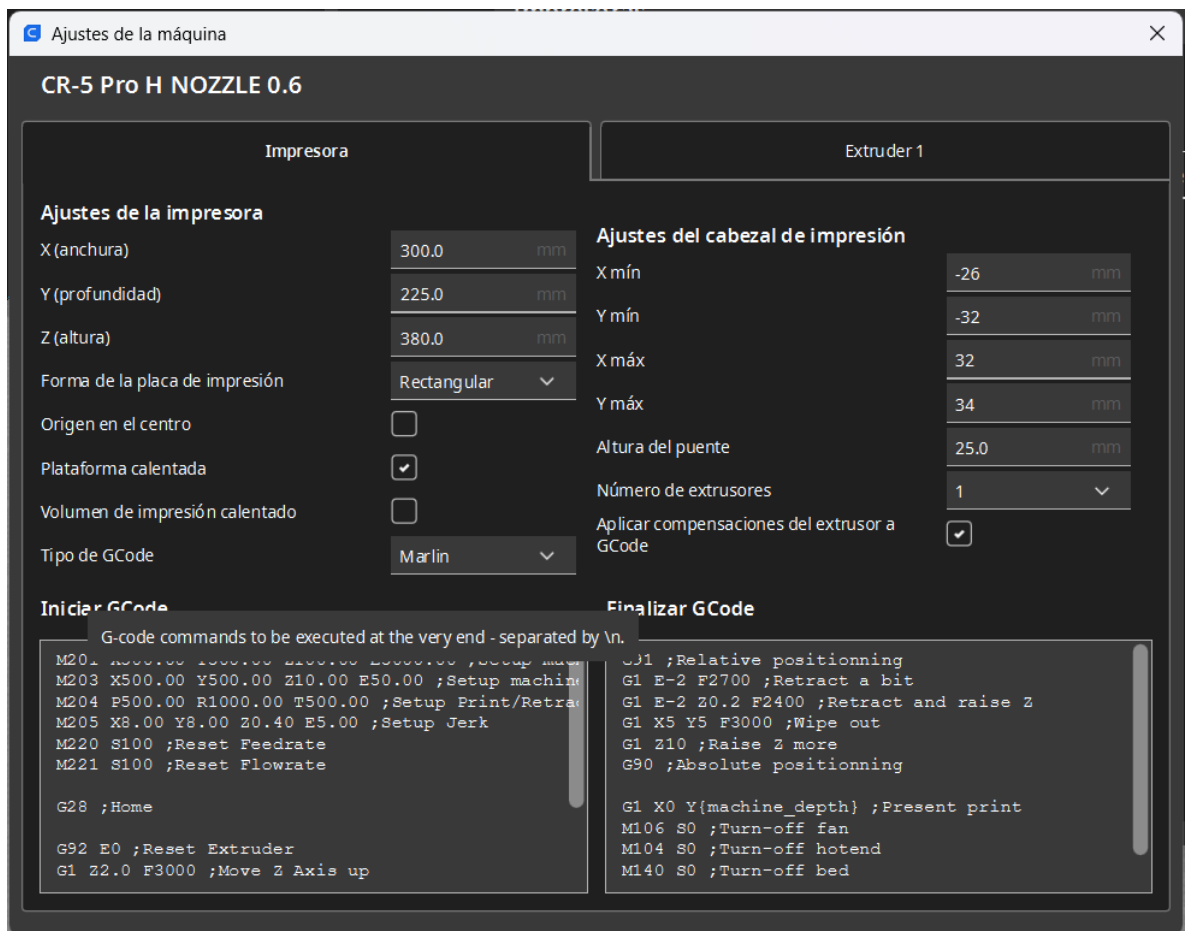


Ilustración 3-6. Parámetros de configuración de la maquina en slicer

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

En este punto se debe configurar los códigos con las acciones que realizara la impresora antes y después de terminar de imprimir estos deben estar escritos en código G que es el lenguaje de las máquinas basadas en el sistema operativo MARLIN, en el apartado extrusor se debe configurar el diámetro de la tobera y el diámetro de los materiales compatibles en este caso se ocupara una tobera de 0,6 mm y los materiales aceptados para esta máquina son de 1,75 mm de diámetro.

(ii) Configuración de materiales

Para obtener valores de costos por material directamente desde el software se deben ingresar en el apartado materiales datos como peso de la bobina de filamento a utilizar y costo de esta, con estos datos el softwares calculara directamente el costo del material. Los datos ingresados

para este concepto serán los siguientes, Filamento de Nylon para Impresión 3D bobina de 1 KG marca Creality Valor de 28490 \$ CLP (Ref. de costo obtenida de PC Factory).

Este es uno de los materiales con mayor resistencia mecánica en impresión 3d doméstica

También en este apartado se deben configurar los ajustes de impresión por material se recomienda usar los ajustes por defecto que ya vienen precargados por cada material y marca.

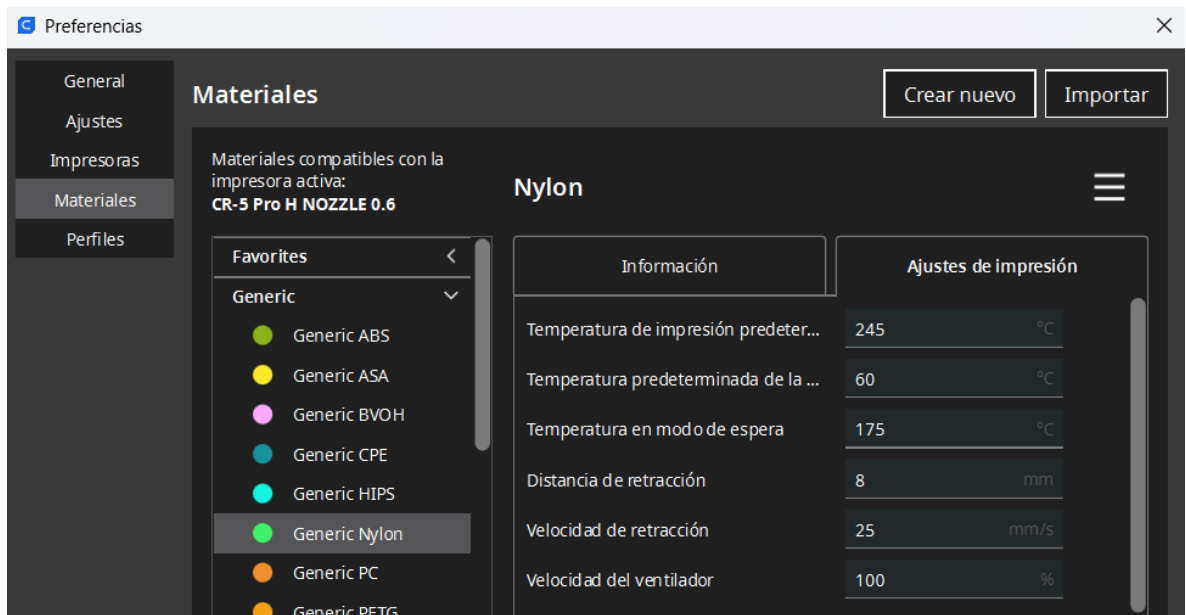


Ilustración 3-7. Parámetros de configuración de Materiales en slicer

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

(iii) Configuración de parámetros de impresión

Si no se tiene mucha experiencia se recomienda usar los parámetros por defecto, estos se dividen según altura de capa en acabados desde el Extrafino (H= 0,06 mm) hasta un acabado basto (H= 0,6 mm) esta última no se recomienda, ya que al usar una altura con el mismo valor del diámetro de la boquilla se producen problemas de flujo, en este caso llevo trabajando tiempo con la máquina y he realizado varias pruebas de impresión con diferentes materiales con el fin de mejorar tanto los resultados de calidad como la velocidad de impresión.

Como recomendación general usar parámetros por defecto. Si se tiene un nivel más avanzado antes de cambiar otros parámetros se deben realizar pruebas de impresión, algunos ejemplos de estas pruebas son las siguientes:

- Test de retracciones

- Test de flujo
- Test de temperaturas
- Dado de calibración de ejes
- Test de ángulos voladizos
- Test de calibración de la cama

Cada una de estas pruebas sirve para modificar uno o varios parámetros con el fin de mejorar la calidad, disminuir los tiempos, o evitar defectos en la impresión.

Cura tiene casi 600 ajustes de impresión que se pueden personalizar con el fin de modificar parámetros en la impresión.

Estos se dividen en 13 categorías diferentes según la siguiente ilustración:

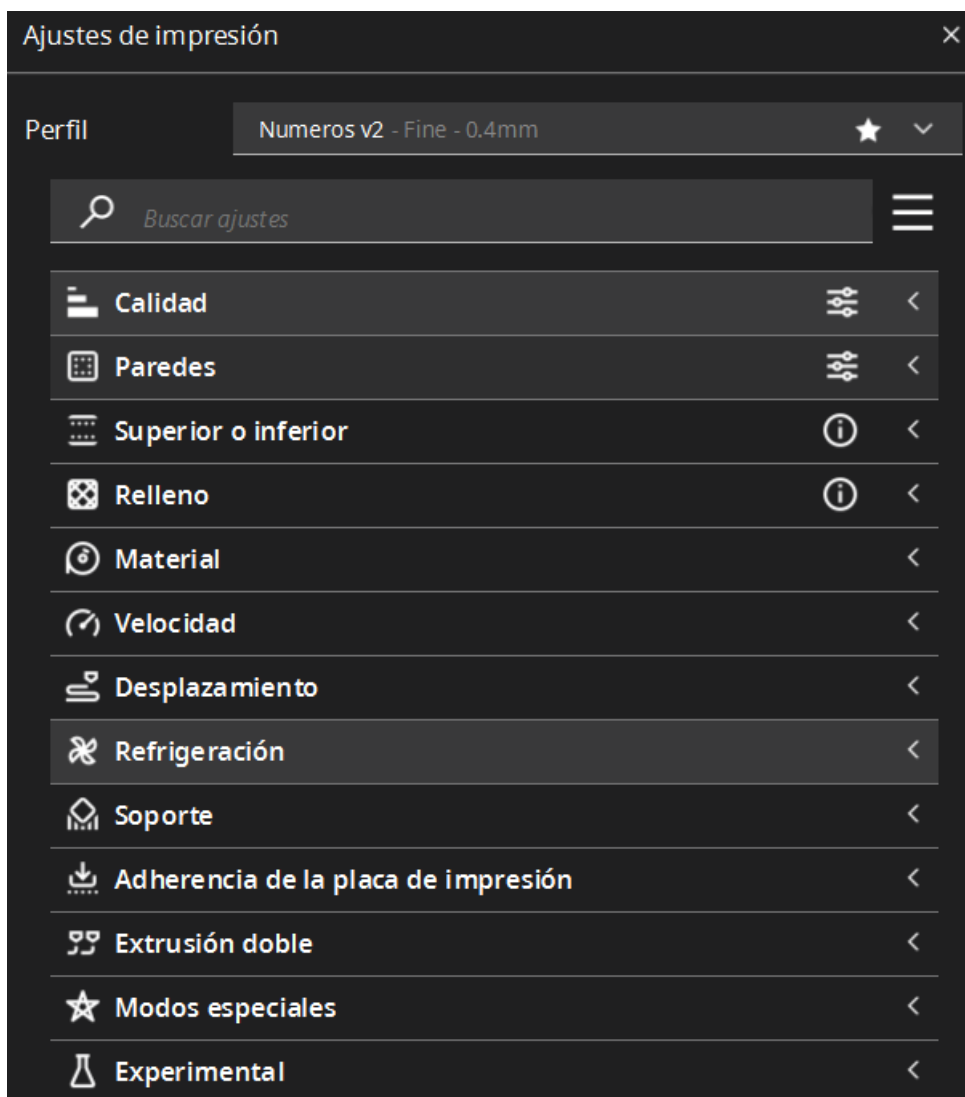


Ilustración 3-8. Parámetros de Ajustes de impresión en slicer

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

Es importante recalcar que la personalización de perfiles de impresión se debe realizar para cada tipo de material y entre cada marca para obtener resultados óptimos.

Los ajustes de impresión deben personalizarse para cada pieza, esto depende de la orientación de impresión, tamaño, nivel de detalle del modelo, calidad que se busca, tiempos de impresión, generación de soportes, etc.

Algunos de los ajustes utilizados para la impresión de las piezas serán los siguientes:

Altura de capa de 0,3 mm dará una excelente relación tiempo de impresión calidad, con una tobera de 0,6 mm la máxima altura de impresión que se puede permitir por regla general sin tener problemas de flujo o pérdida de calidad es un 80% de la anchura de la boquilla es decir $0,6 \text{ mm} \times 80\% = 0,48 \text{ mm}$ de altura por cada capa, esto reduciría mucho los tiempos de impresión, pero repercutiría en la calidad final de la pieza en especial en piezas con muchos radios y voladizos.

Para la impresión de estas piezas simulando una condición real de fabricación para la industria usaremos configuración de relleno al 100% con el fin de evitar que se generen espacios interno que disminuyan la resistencia de la pieza.

El patrón de relleno escogido será líneas da un excelente resultado de resistencia en piezas totalmente sólidas.

Líneas de pared 2, capas superiores e inferiores 4 y 3 respectivamente.

Velocidades de impresión , desplazamientos , uso del ventilador y generación de soportes valores personalizados.

(iv) **Carga de archivo STL y Segmentación**

Una vez configurado los parámetros mencionados con anterioridad (tanto la impresora como el material y los ajustes de impresión). El proceso de laminación es relativamente sencillo solo se debe cargar la pieza posicionarla dentro del área de impresión (mover, rotar, duplicar, etc.) escalar y luego darle al botón de segmentación, esta acción indica al software que calcule según la altura de capa escogida el recorrido que realizara la tobera de impresión considerando todos los parámetros ingresados para generar cada capa y generara el archivo “.Gcode” con el programa para que lo pueda ejecutar la impresora, además de entregar como resumen los tiempos de impresión y cantidad de material a utilizar. En este punto se puede previsualizar cada capa en con la finalidad de hacer una revisión capa por capa en búsqueda de algún problema en la impresión.

Una vez revisado todo y no encontrando errores en la previsualización de capas solo queda guardar el archivo en un medio extraíble para ingresar el archivo a la impresora, si está se encuentra conectada por cable se envía el archivo directamente desde el slicer.

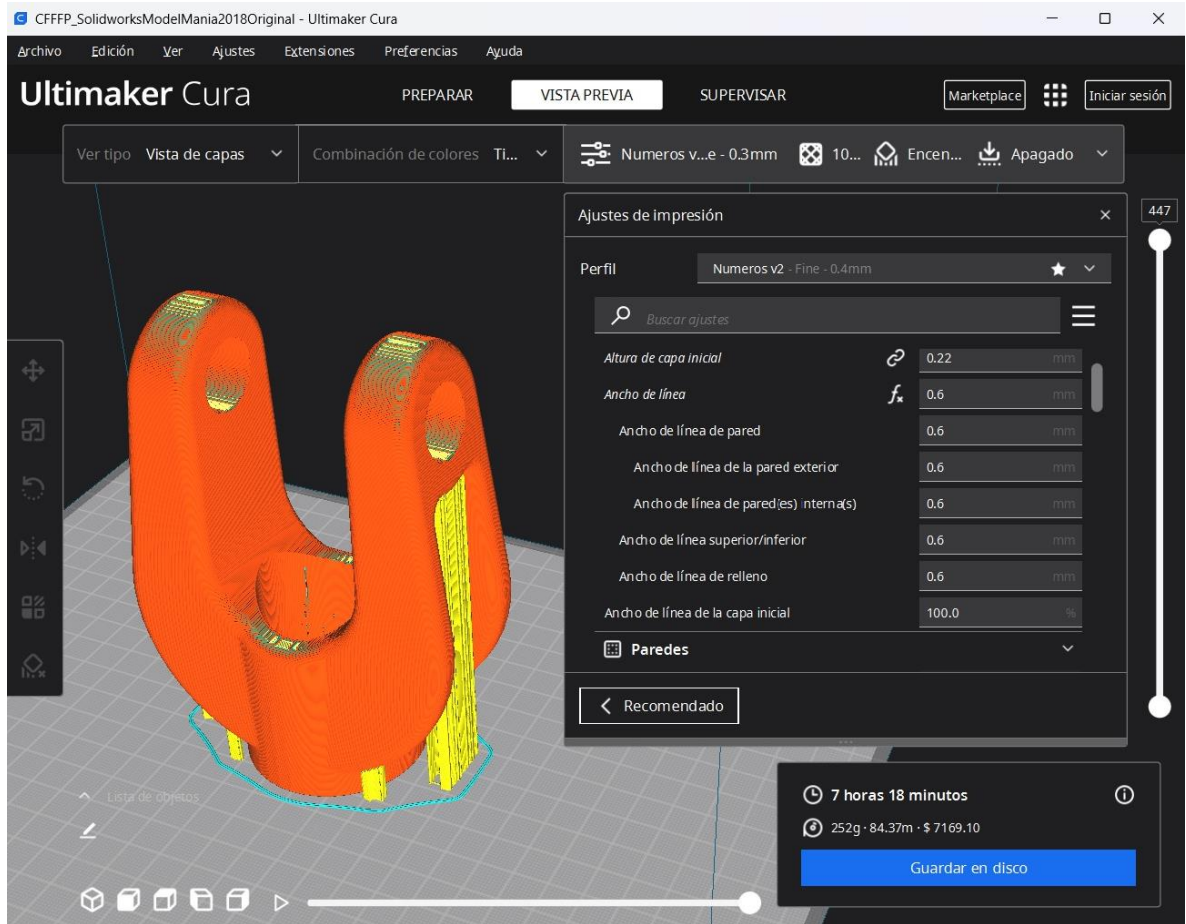


Ilustración 3-9. Resultados de Segmentación

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

3.4.4 RESULTADOS ANÁLISIS DE COSTO 1

El procedimiento anterior de configuración, carga y segmentación se realizará para las 3 piezas a imprimir (ver anexo 3 resultados de segmentación), los valores obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Item	Descripción	Tiempo de impresión (h:min)	Peso pieza + Soportes (g)	Cantidad de filamento (m)	Valor filamento (CLP)
Pieza 1	Original de Plano modelmania 2018	7:18 + 5 min	252	84,37	7169,1
Pieza 2	Resultado de optimización topológica malla suavizada	5:52 + 5 min	171	57,21	4861,02
Pieza 3	Rediseño basado en optimización topológica	5:02+ 5 min	169	56,78	4824,4

Tabla 3-3. Resumen de Resultados de Segmentación

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

El tiempo de impresión siempre es un valor aproximado, varía según factores de temperatura ambiente flujo de aire y capacidad de la fuente de poder, todos estos factores influyen en el proceso de calentamiento tanto del nozzle como de la cama de impresión. El tiempo de impresión solo empieza a contar luego de que tanto el nozzle como la cama de impresión alcanzan la temperatura objetivo, es por esto por lo que se deben considerar aproximadamente 5 min más al tiempo para tener un valor más preciso de tiempo total de impresión.

También de la tabla 3-3 se pueden desprender conclusiones importantes, por ejemplo aunque anteriormente revisamos las masas de los elementos y se demostró que la pieza 2 era la que poseía menor masa, en el proceso de impresión no necesariamente significa una reducción en los tiempos de fabricación, ya que esta pieza al tener una geometría tan irregular requiere para su correcta fabricación soportes complementarios los cuales requieren más material y a su vez hacen que el proceso de fabricación en general tome más tiempo. En este sentido la pieza que toma menor tiempo es la pieza número 3, la pieza producto del rediseño, esta pieza tiene una reducción de 50 min en tiempo de impresión en comparación con la pieza 2 Ocupando aproximadamente la misma cantidad de material y de 2:16 horas en comparación con la pieza original (pieza 1).

Esta diferencia se puede traducir a costos netos de fabricación si suponemos el caso de un taller de impresión 3d con un operador los costos asociados a la impresión de una pieza serían los siguientes

Estos costos solo contemplan los costos de impresión, suponiendo que el cliente entregue los archivos STL listos para imprimir, costos de diseño o rediseño y estudios de topología no están contemplados.

*DE LUNES A VIERNES 40 hrs semanales

GASTOS TALLER		GRANJA 1 IMP 3D CR5 PRO H		CASO REAL (ACTUAL)			
GASTOS administrativos	\$25.000	Gastos	\$966.700	CLP/ hora	\$6.042		
Gastos Varios	\$15.000	horas impresión	160	Factor error	\$ 906	15 % Error	85% Bueno
Gasolina	\$20.000	Coste Granja	\$6.042	Mantenimiento	\$ 1.208	20% del costo por hora	
Seguro Auto	\$30.000	Nº Impresoras	1	Recu INVERSION	\$ 1.631	20% de la suma costos anteriores	
		CLP/ hora	\$6.042		\$ 9.788	Costo total por hora de impresión	
Costo Operario (Técnico)		GRANJA 2 IMP 3D CR5 y ENDER S1		Pieza 1 (Original)			
Cotizaciones INDE	\$176.655	Gastos	\$966.700	CLP/ hora	\$9.788		
Salario Liquido	\$700.045	horas impresión	160	nº horas	7,38	Mas Tiempo de Preparacion antes de imprimir	
Gastos totales	\$966.700	Coste Granja	\$6.042	IVA	1,19		
		Nº Impresoras	2	Coste Impresión	\$85.994		
		CLP/ hora	\$3.021	Material	\$7.169	Material MAS IVA DE CURA	
				Coste STL			
				COSTE Final	\$93.163		
TIEMPO DE IMPRESIÓN		GRANJA 3 IMP 3D					
h/día	8,00	Gastos	\$966.700				
días/mes	20,00 *	horas impresión	160				Diseño 3d
h/mes	160,00	Coste Granja	\$6.042				Post Procesado
		Nº Impresoras	3				Transporte se cobra aparte
		CLP/ hora	\$2.014				
				Cantidad de Piezas	1		
				Coste Total	\$ 93.163		

Tabla 3-4. Costos de Fabricación Imp. CR-5

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

La tabla anterior presenta el coste en el caso de la pieza 1 (original) considerando el caso de un taller con 1 impresora capaz de soportar trabajar con materiales técnicos, para la pieza 2 y 3 se puede Revisar el anexo 4 con los detalles para cada pieza, los costes finales por pieza se pueden resumir en la siguiente tabla:

Item	Descripción	Costo final Fabricación (CLP)
Pieza 1	Original de Plano modelmania 2018	\$ 93.163
Pieza 2	Resultado de optimización topológica malla suavizada	\$ 74.164
Pieza 3	Rediseño basado en optimización topológica	\$ 64.413

Tabla 3-5. Resumen de Costos finales de Fabricación Imp. CR-5

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

De esta tabla anterior podemos concluir que la pieza número 2 alcanza un costo de un 20,4 % menor en comparación con la pieza original, y la pieza número 3 alcanza un 30,85 % de ahorro en comparación con la pieza original.

Esto demuestra que si bien en una primera instancia se hacía llamativo decantarse por la optimización topológica debido a una reducción de masa mayor el verdadero ahorro se produce en dedicar tiempo previo a la fabricación y generar un rediseño de la pieza (basado en la optimización), esto permite tanto el ahorro en material al generar menos soportes como la reducción de los tiempos generales de impresión lo que finalmente se traduce en un ahorro considerable de los costos de fabricación, esto queda demostrado al analizar los pesos de finales de las piezas se puede apreciar que la geometría que más material ocupa en soportes es la pieza número 2, el resumen de pesos se presenta en la siguiente tabla:

Item	Descripción	Peso pieza Material Nylon (g) (No Supp)	Peso pieza + Soportes (g)	Peso Soportes (g)
Pieza 1	Original de Plano modelmania 2018	241	252	11
Pieza 2	Resultado de optimización topológica malla suavizada	146	171	25
Pieza 3	Rediseño basado en optimización topológica	161	169	8

Tabla 3-6. Resumen de Pesos de Fabricación Imp. CR-5

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

Finalmente, a continuación, algunas imágenes del proceso de fabricación:



Ilustración 3-10. Imágenes proceso de Fabricación Imp. CR-5

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

3.5. ANÁLISIS DE COSTOS 2: IMPRESORA MARK TWO

El caso de ejemplo anterior es replicable a la mayoría de los procesos de impresión por filamento, para demostrarlo se procedió a pedir una cotización a la empresa Diseño 3D ellos son los representantes en Chile de la marca Markforged, esta cotización será tanto de costos de materiales técnicos e impresoras con el fin de realizar una comparación de costos de impresión. (Cotización completa se puede encontrar en el anexo 5).

Una de las características que hace interesante esta comparativa es que estas impresoras trabajan con el sistema de doble cabezal que permite imprimir materiales incorporando fibras continuas de hebras largas en las piezas. Se puede controlar si se utiliza o no fibra continua, en qué cantidad y cómo se aplica dentro de la pieza.

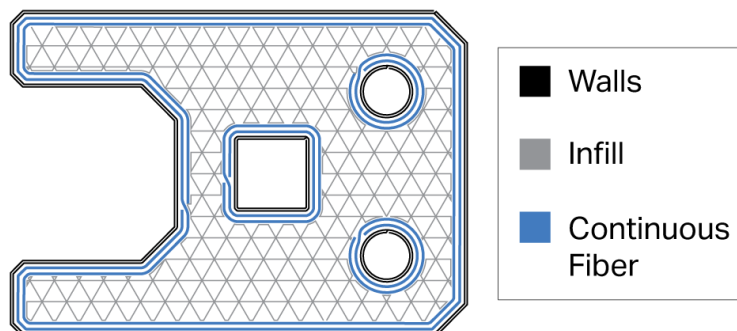


Ilustración 3-11. Sección Transversal pieza impresa con CFF

(Fuente: Biblioteca de aprendizaje, Web Markforged)

Las piezas 3D impresas en FFF rara vez son sólidas. Normalmente, suelen ser shells (Cascarones) rellenos de celdas. La impresión con esta geometría reduce tanto el tiempo de impresión como el coste de material, la densidad del relleno afecta directamente la resistencia de la pieza es por esto por lo que al agregar fibras continuas es posible generar piezas rellenas con celdas que lleguen a resistir tanto o más que piezas al 100% del relleno.

3.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO SELECCIONADO

Para este segundo proceso tomaremos como referencia un equipo tope de la línea de sobremesa El llamado Mark TWO con las siguientes características:



Ilustración 3-12. Fotografía de equipo seleccionado

(Fuente: Sitio web del fabricante, Web Markforged)

Modelo: Mark Two de Markforged (Gen 2)

Tecnología de impresión: Refuerzo continuo (CFR)

Volumen de construcción: 320x132x154 mm

“Gracias a su tecnología, fusiona hebras continuas de fibras de carbono en las piezas, lo que las convierte en adecuada para aplicaciones de ingeniería muy exigentes.

Esta impresora 3D es de lo más robusta gracias a su chasis de aluminio construido en una sola pieza. Su cabezal doble permite trabajar simultáneamente el plástico y la fibra continua y es

que, además de imprimir el material Onyx de Markforged, la Mark Two puede utilizar fibra de carbono, fibra de vidrio y kevlar para reforzar las piezas” (Sicnova, 2023).

Los valores de la cotización tanto de los equipos como filamentos están en USD y no incluyen IVA para obtener una referencia del valor del equipo seleccionado en moneda nacional se realizará una transformación simple lo cual nos da como resultado lo siguiente:

	Costo (USD)	Cambio USD a CLP*	Costo (CLP)
Costo del equipo	\$ 25.000	795,8	\$19.895.000
Envío e instalación	\$ 500	795,8	\$ 397.900
IVA	\$ 4.845		\$ 3.855.651
Costo total	\$ 30.345		\$24.148.551

Tabla 3-7. Valor del equipo seleccionado

(Fuente: Elaboración propia en base a cotización)

*Valor de cambio referencial dólar interbancario dato del mercurio online al 16-04-2023

En comparación con el equipo utilizado para imprimir las piezas que en el mercado nacional se encuentra alrededor de 1.000.000 CLP (Valor de referencia en tienda PC Factory) el equipo de la marca Markforged tiene un precio 24 veces mayor.

Este valor se ve afectado fuertemente por el cambio, los costos de internación, aduana y el IVA, el porcentaje que se lleva el intermediario en este caso la empresa Disegno 3d, en portales especializados dentro de estados unidos el valor de la impresora ronda los 13. 500 USD que en pesos chilenos son 10.743.000 CLP menos de la mitad del valor en el mercado chileno, estos valores también afectan fuertemente a los insumos de este tipo de impresoras.

3.5.2 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE IMPRESIÓN EN SLICER

Para realizar el proceso comparativo con esta empresa, el proceso de impresión es similar al visto con la impresora anterior, variando el proceso y configuración del slicer dado que las impresoras de Markforged trabajan con su propio laminador este es una plataforma en la nube, llamada “Eiger” y trabaja con todo el ecosistema de impresoras y materiales, para acceder a este slicer en la nube se debe solicitar la habilitación de una cuenta (en este caso se solicitó acceso de prueba), una vez en la web logueado se trabaja normalmente como un slicer instalado localmente.

Alguna de las configuraciones ingresadas serán las siguientes para tener una comparación válida entre el estudio anterior y este caso nuevo se cargan los mismo 3 archivos STL , se escalará la pieza al 200%, se configurará el relleno al 100% en este caso el software se encarga de configurar

la mayoría de los parámetros automáticamente como ubicación de soportes alturas de capa velocidades de impresión etc. Seleccionaremos materiales de impresión el ONYX y el refuerzo con fibras continuas de carbono en el 50% del total de las capas.

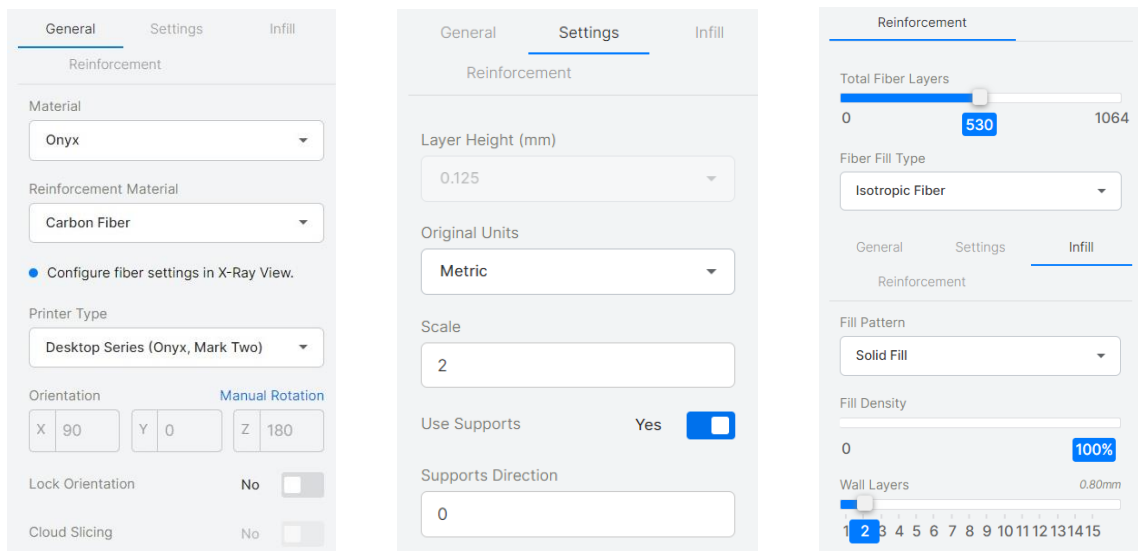


Ilustración 3-13. Configuración de parámetros de impresión

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Una vez configurados estos parámetros se procederá a realizar el laminado de la pieza con los siguientes resultados.

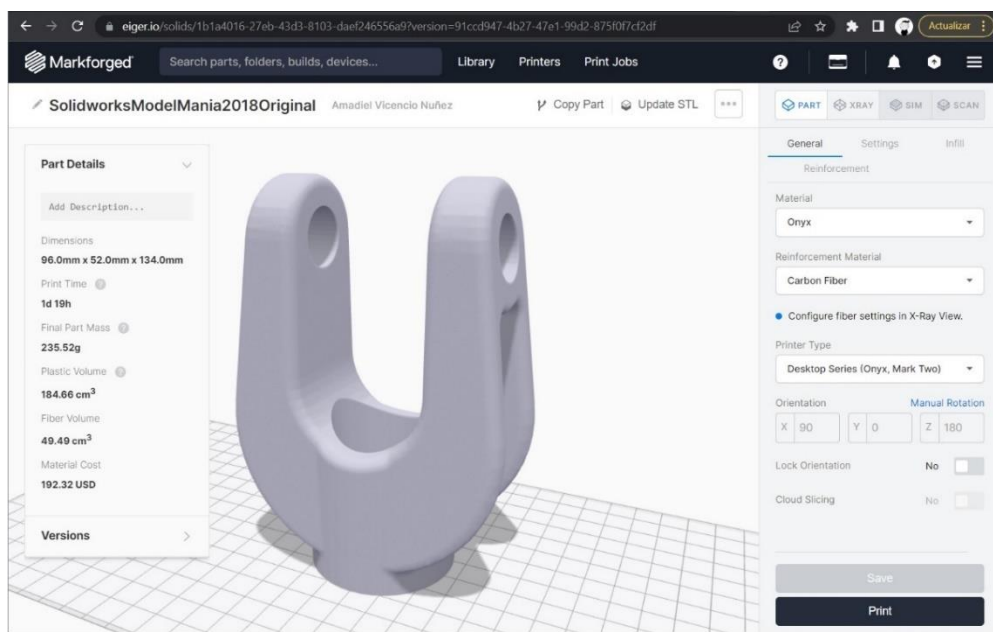


Ilustración 3-14. Resultado de laminación en Slicer Eiger

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Como se puede apreciar el software calcula automáticamente los volúmenes de plástico a utilizar la masa final de la pieza, tiempo de impresión y un costo de los materiales aproximado (usando valores vigentes en su tienda online), para obtener la vista en detalle de la pieza con los soportes y las capas de refuerzo de fibra se debe acceder a la vista de rayos x (XRAY)

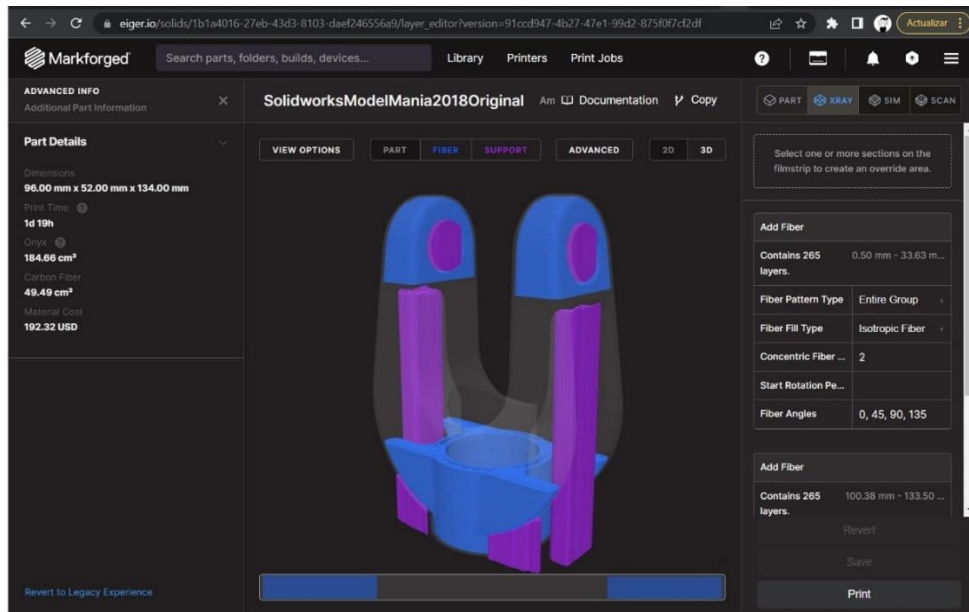


Ilustración 3-15. Resultado de laminación en vista XRAY Slicer Eiger

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

En este apartado se puede apreciar la configuración de las capas de refuerzo (en azul) y los soportes de impresión en morado, también se entrega información más detallada de la cantidad de material utilizado. Este procedimiento se realizará con los 2 modelos restantes (ver anexo 6)

3.5.3 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE COSTOS 2

El resumen con los resultados de las 3 piezas del proceso anterior se puede observar en la siguiente tabla:

Item	Descripción	Tiempo de impresión (Días:h)	Peso pieza Sin soportes (g)	Cantidad de filamento Onyx (cm³)	Cantidad de Fibra carbono continua (cm³)
Pieza 1	Original de Plano modelmania 2018	1d 19h	235,52	184,66	49,49
Pieza 2	Resultado de optimización topológica malla suavizada	1d 13h	144,02	144,9	28,25
Pieza 3	Rediseño basado en optimización topológica	1d 7h	158,07	137,84	32,07

Tabla 3-8. Tabla resumen Resultados Tiempos y materiales Slicer Eiger

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Analizando estos resultados nuevamente el menor tiempo de impresión es para la pieza producto del rediseño, esto se debe a la geometría más acabada en contraste de la geometría poco regular del resultado directo de la topología que, aunque sea la pieza con menor peso final en términos de tiempo solo reduce en 6 horas el tiempo de impresión total en comparación con la pieza original.

El peso de final de la pieza 2 es el menor (Pieza final sin soportes) de todos esto aplica en ambos casos de estudio.

Para llevar los costos de material se omitirán los resultados entregados por el software y se calcularán según la cotización solicitada a disegno3d de esta manera se obtienen siguientes valores por concepto de material:

Material	Cantidad carrete (cc)	Costo USD + IVA	Costo CLP	Costo por g	
Onyx	800	\$ 261	\$ 207.393	\$ 259	
Carbon Fiber	150	\$ 616	\$ 490.547	\$ 3.270	
Item	Cantidad de filamento Onyx (cm ³)	Costo de filamento Onyx (CLP)	Cantidad de Fibra carbono continua (cm ³)	Costo de Fibra carbono continua (cm ³)	Costo total de materiales
Pieza 1	184,66	\$ 47.872	49,49	\$ 161.848	\$ 209.719
Pieza 2	144,9	\$ 37.564	28,25	\$ 92.386	\$ 129.950
Pieza 3	137,84	\$ 35.734	32,07	\$ 104.879	\$ 140.613

Tabla 3-9. Tabla Costos por concepto de materiales Slicer Eiger

(Fuente: Elaboración propia en base a cotización Disegno 3d)

Se puede deducir de los resultados de esta tabla, como era de esperarse la pieza 1 es la más costosa por ocupar un mayor volumen de material, para el caso de las pieza 2 y 3 aunque la pieza 2 necesita más material onyx para generar soportes, este es considerablemente más barato que la fibra de carbono continua y solo ocupa 28,07 cc de este material por lo cual en la sumatoria total de costos lo vuelve la opción más económica. Seguido de cerca por la pieza 3 que es solo 10.663 CLP más cara.

Una de las ventajas del ecosistema de markforged es que el slicer en su versión completa trae un módulo de simulación que permite realizar simulaciones estáticas de cargas, esto es muy útil debido a que se toman en cuenta parámetros directos de porcentaje de relleno y patrones con el fin de conseguir la mejor relación resistencia patrón de relleno, esto repercute en la reducción y optimización tanto de materiales como de tiempos de impresión, a su vez evita los procesos de ensayo y error, validando la resistencia y rigidez de las piezas para saber si tendrán el rendimiento adecuado antes de imprimir.

3.6. COMPARACIÓN DE ESTUDIOS

La diferencia principal entre ambos procesos son los materiales, una comparativa más a detalle de las características técnicas de estos los encontramos en una comparativa echa por el mismo fabricante markforged en su web uno de los motivos para incluirlos como ejemplo es que “La fibra de carbono continua ultrarresistente es exclusiva de Markforged. Cuando se aplica en un material base para compuestos, como Onyx, puede producir piezas tan resistentes como el aluminio 6061-T6. Es extremadamente rígida y resistente, y puede aplicarse automáticamente en una amplia gama de formas geométricas mediante las impresoras 3D de Markforged” (Markforged, Fibra de carbono, s.f.).

La mayoría de las impresoras tanto industriales como domesticas hoy en día son capaces de imprimir materiales como Nylon, aunque sus características mecánicas son muy buenas tomando en cuenta su relación precio calidad, podemos observar que la combinación Onyx- fibra de carbono continua de markforged es ampliamente superior tanto en resistencia a la flexión como en rigidez a la flexión.

Resistencia
a la flexión

540MPa

Carbon Fiber Reinforced

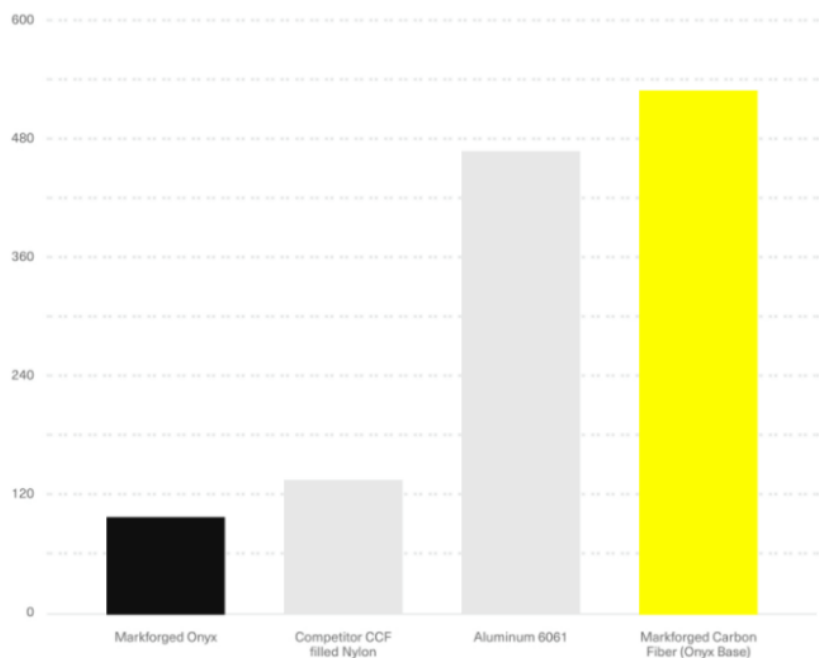


Gráfico 3-1. Gráficos comparativo Resistencia a la flexión

(Fuente: Biblioteca técnica en línea, markforged)

Como se puede apreciar en el gráfico anterior compara la combinación de onyx reforzado con fibras de carbono tiene el mejor rendimiento en término de resistencia a la flexión.

Para mayor detalle comparativo de los materiales técnicos consultar el Anexo 8.

Para el estudio de costos de caso 1 se usó Nylon, el cual tiene un rendimiento mejor al material Onyx, y en términos de costos y disponibilidad en el mercado es muy accesible.

Rigidez a la flexión

60 GPa

Carbon Fiber Reinforced

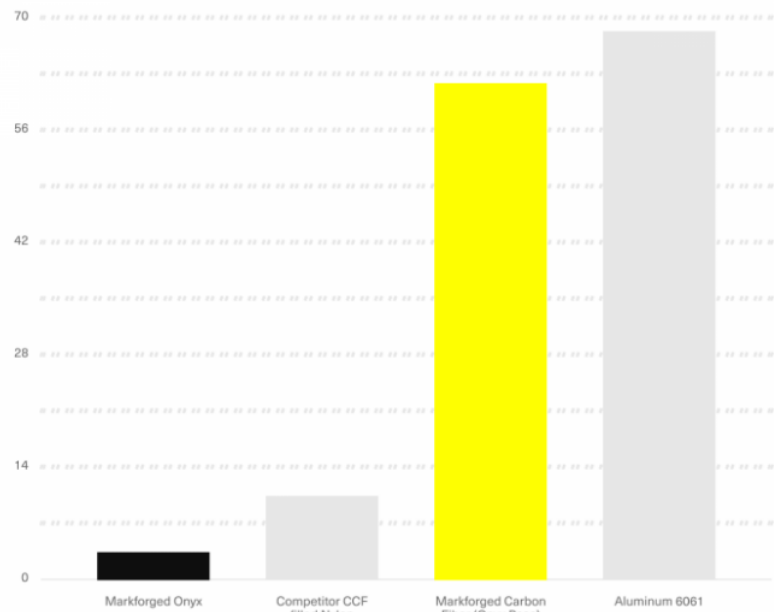


Gráfico 3-2. Gráficos comparativo Rigidez a la flexión

(Fuente: Biblioteca técnica en línea, markforged)

La posibilidad de impresión con una amplia gama de materiales posibilita la creación de piezas para fines diversos tales como

- Herramientas y utillajes de alta resistencia
- Soportes
- Accesorios de inspección y MMC
- Piezas de uso final personalizadas
- Prototipos funcionales

Realizando un análisis de costos como el presentando anteriormente podemos responder la pregunta ¿Se justifica la inversión en una impresora de este tipo?, la respuesta es, depende del contexto operacional de la empresa, y los planes de mantenimiento, si bien el tener una impresora como esta tiene una inversión inicial muy alta por los costos del equipo (y más si se adquiriera a

través de un intermediario), las grandes empresas pueden ahorrarse estos costos importando por ellos mismos el equipo ahorrándose en el proceso una importante suma del costo total.

La flexibilidad que brinda tener una máquina de estas características es la cantidad de materiales técnicos especializados que se pueden utilizar en ella, como se demostró antes incluso alcanzando niveles de resistencia de algunos tipo de aluminio.

En el contexto por ejemplo de una empresa de producción masiva donde la mayoría de los equipos son importados, tener una máquina detenida significa un importante menoscabo al negocio, sería factible tanto técnica como económicamente la utilización de este tipo de máquina, para reducir el tiempo de fabricación de repuestos a un par de días, versus los que demoraría importar el repuesto OEM del fabricante original (proceso que puede llevar meses).

Como los costos tanto de materiales como de la máquina Markforged son muy elevados esta solución no se hace factible para todos, pero esto no significa que no se pueda introducir soluciones de manufactura aditiva más económicas como las presentadas en el estudios de costos con la impresora CR-5 de Creality, existen múltiples ejemplos de piezas impresas en 3d que no requieren gran resistencia mecánica, pero si son un aporte significativo a los procesos productivos, por ejemplo creación de herramientas más ergonómicas, repuestos específicos en plásticos técnicos, toberas personalizadas, mejoras en seguridad ,etc. Esto es debido a que con este proceso se puede crear prácticamente cualquier pieza, empresas como SICNOVA en conjunto con la empresa argentina Hornero 3DX, tienen múltiples ejemplos de soluciones industriales utilizando equipos de impresión de todo tipo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el desarrollo de este trabajo se logró contextualizar la situación industrial actual de la manufactura aditiva, diferenciando las distintas tecnologías, además de identificar softwares de los desarrolladores más relevantes del mercado con la capacidad de realizar dicha optimización, con el desarrollo de un ejemplo práctico usando el software Solidworks se logró demostrar las ventajas de la optimización topológica en la fabricación aditiva mediante un estudio de costos.

Si bien el resultado de la optimización topológica representa a la hora de la fabricación un importante ahorro tanto en costos de materiales como en tiempos de fabricación, mediante los análisis de costos se pudo demostrar que el resultado directo de la optimización es una pieza tosca y para que realmente se aprovechen los beneficios de dicho análisis y obtener una rebaja significativa en tiempo y materiales esta debe ser rediseñada con el fin de obtener una pieza con terminación más pulida que se adapte a cualquier proceso de fabricación y que obtenga la máxima rebaja tanto en tiempos de fabricación como de costo de materiales en el proceso de fabricación aditiva, sin olvidar que la pieza objeto de este rediseño debe ser validada por un nuevo análisis estático.

Una de las principales ventajas de la optimización topológica en la impresión 3D es que puede reducir significativamente el peso de una pieza, lo que puede ser especialmente importante en aplicaciones aeroespaciales o de vehículos donde la reducción de peso es esencial para mejorar la eficiencia y el rendimiento. Además, la optimización topológica también puede ayudar a reducir el tiempo y los costos de fabricación, ya que se reduce la cantidad de material necesario y el tiempo de impresión.

A medida que las soluciones de diseño asistido por ordenador (CAD) sigue evolucionando e integrando diferentes clases de optimizaciones destinadas a técnicas de fabricación avanzada como la impresión 3D (DFAM) hacen posible crear piezas complejas de forma más sencilla que nunca, los diseñadores y los ingenieros pueden aprovechar el software de optimización topológica para explorar nuevas posibilidades y encontrar nuevas formas de maximizar la eficiencia del diseño.

En resumen, las herramientas de optimización son valiosas en el diseño de piezas para impresión 3D, ya que puede mejorar la eficiencia y reducir el tiempo y los costos de fabricación.

Los diferentes tipos de optimizaciones con énfasis en la optimización topológica se han integrado en lo que hoy se conoce como Diseño para manufactura aditiva (DFAM), esta tendencia busca crear diseños específicos que puedan aprovechar todo el potencial de estas tecnologías, es relevante tener los conocimientos base de cada una de estas optimizaciones para poder aplicarlos correctamente. El conocimiento de las diferentes técnicas de optimización actuales habilita el

llamado diseño generativo, este tipo de diseño lleva el proceso un paso más allá y elimina la necesidad de que el modelo inicial sea diseñado por humanos, donde una IA asume el papel del diseñador en función del conjunto predefinido de restricciones.

Se debe adaptar el paradigma de fabricación actual (procesos de arranque de viruta y soldadura, fundición, etc.) a uno dinámico donde se pueda escoger el mejor proceso de fabricación disponible, los procesos de arranque de viruta y soldadura, etc. deben coexistir con los procesos de fabricación actuales como impresión 3d con el propósito de escoger el mejor proceso según los propósitos finales de la pieza o componente a diseñar y es responsabilidad de los diseñadores manejar el know-how en una amplia variedad de procesos de fabricación con el fin de optimizar los costes y recursos.

Como recomendaciones finales es innegable que, en la industria actual, en especial a nivel nacional existe una muy lenta adaptación de las tecnologías que componen la cuarta revolución industrial, con énfasis en la introducción de los procesos de manufactura aditiva, esto es debido principalmente a que aun a nivel nacional existen muy pocos planes de formación orientados a la fabricación aditiva, la carrera de proyecto y diseño mecánico tiene un potencial enorme para introducir estos conocimientos en las nuevas generaciones con el fin de mejorar sus capacidades de crear soluciones innovadoras e introducirlas a la industria actual. Algunos ejemplos de instituciones de educación superior que imparten programas relacionados con la manufactura aditiva son el diplomado en impresión 3d de la universidad UNIACC y la nueva carrera creada por el instituto profesional AIEP “técnico superior en fabricación aditiva”.

BIBLIOGRAFÍA

- 3dsystems. (s.f.). *¿Cómo funciona la impresión 3D en metal?* Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://es.3dsystems.com>: <https://es.3dsystems.com/how-does-metal-3d-printing-work>
- BitFab. (s.f.). *Tipos de Impresoras 3D, la guía definitiva de Bitfab*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://bitfab.io>: <https://bitfab.io/es/blog/tipos-de-impresoras-3d/>
- Disegno3d. (s.f.). *3D SYSTEMS*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://disegno3d.cl>: <https://disegno3d.cl/3d-system-impresoras.php>
- Disegno3d. (s.f.). *Markforged*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://disegno3d.cl>: <https://disegno3d.cl/markforged.php>
- España, S. L. (18 de Diciembre de 2017). *Estudios de Topología con SOLIDWORKS Simulation 2018*. Obtenido de <https://blogs.solidworks.com>: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/estudios-de-topologia-con-solidworks-simulation-2018/>
- Gartner. (s.f.). *Information Technology Glossary*. Recuperado el 14 de 04 de 2023, de <https://www.gartner.com>: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/additive-manufacturing>
- Intelligy. (22 de Agosto de 2019). *Análisis de topología y optimización con SOLIDWORKS*. Obtenido de <https://blogs.solidworks.com/>: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/analisis-de-topologia-y-optimizacion-con-solidworks/>
- Markforged. (s.f.). *Fibra de carbono*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://markforged.com>: <https://markforged.com/es/materials/continuous-fibers/continuous-carbon-fiber>
- Markforged. (s.f.). *Reinventamos la fabricación*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://markforged.com>: <https://markforged.com/es/about/company>
- plata, U. n. (s.f.). *Introducción a las estructuras de madera. Esfuerzos y Solicitaciones*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://unlp.edu.ar>: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/93/27493/dc730fc71db43a52eed5b8133bb2f8c8.pdf>
- Prusa3d. (s.f.). *Tipos de impresoras y sus diferencias*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://help.prusa3d.com>: https://help.prusa3d.com/es/article/tipos-de-impresoras-y-sus-diferencias-_112464
- S.L, C. (07 de Enero de 2020). *¿Cómo funciona la herramienta de optimización topológica en SOLIDWORKS Simulation?* Obtenido de <https://blogs.solidworks.com/>:

https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/solidworks_simulation/como-funciona-la-herramienta-de-optimizacion-topologica-en-solidworks-simulation/#:~:text=El%20estudio%20va%20a%20indicarnos%20qu%C3%A9%20zonas%20de,crear%20

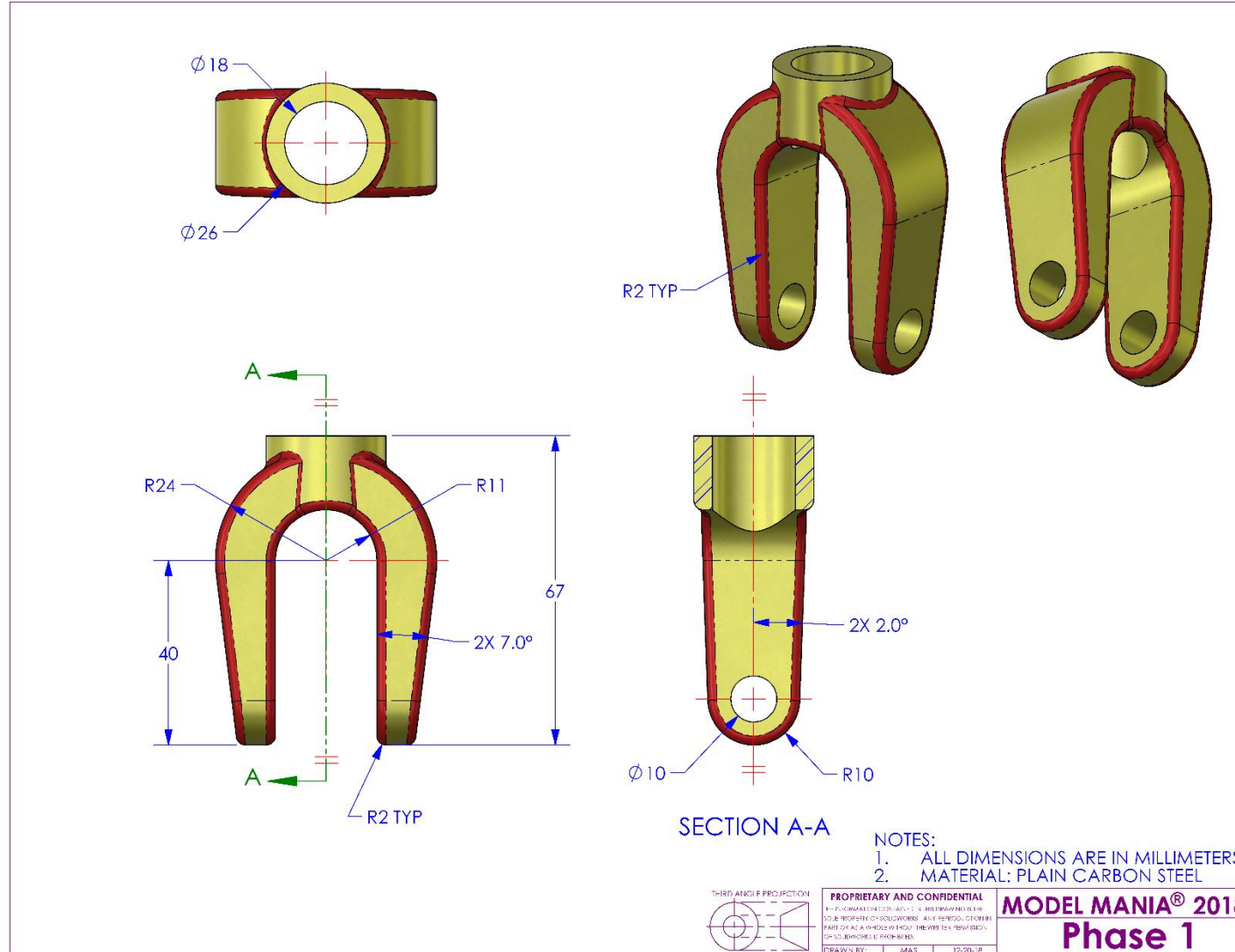
Sculpteo. (s.f.). *Impresión 3D por inyección de aglutinante*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://www.sculpteo.com>: <https://www.sculpteo.com/es/materiales/materiales-binder-jetting/>

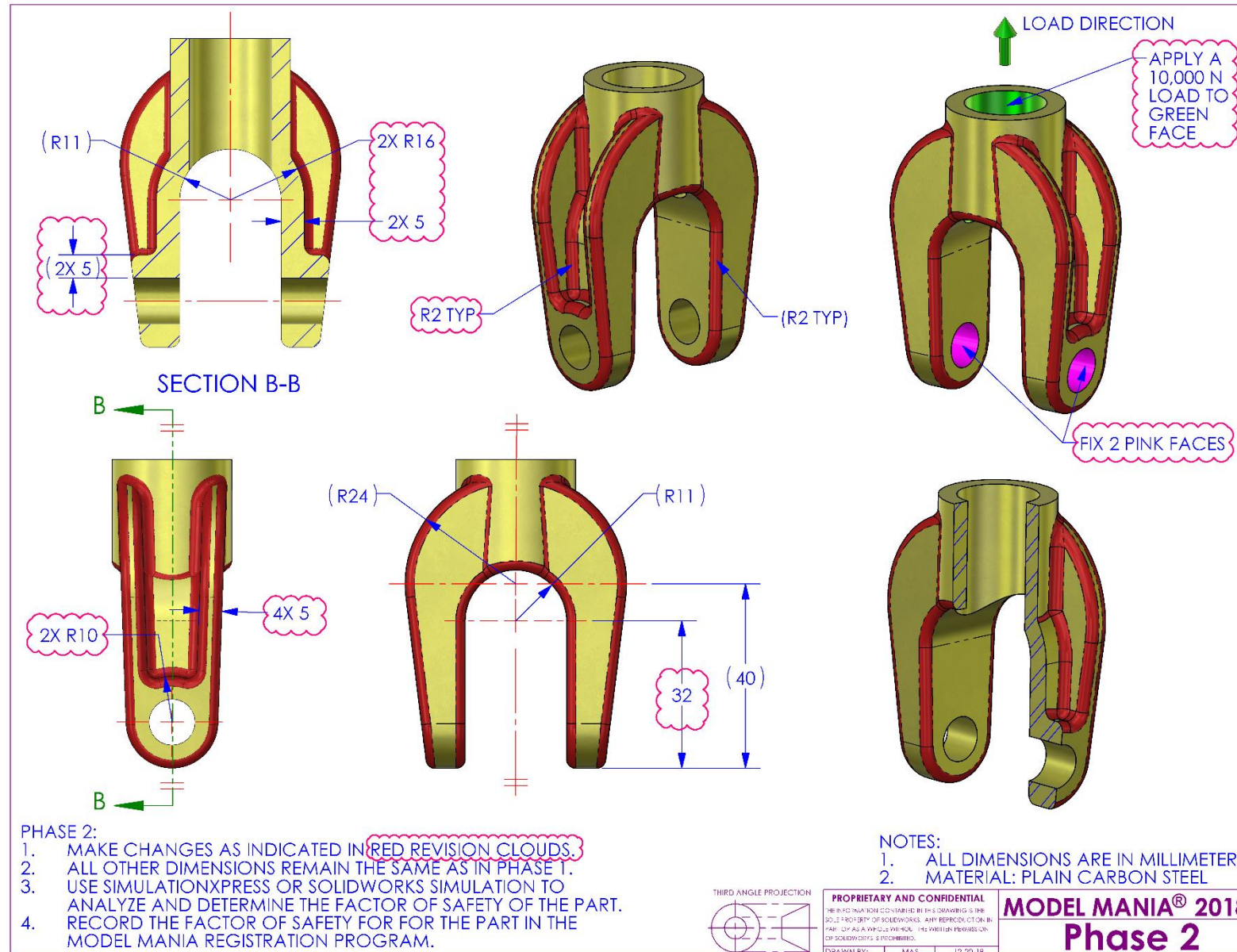
Sicnova. (20 de Febrero de 2023). *Las mejores impresoras 3D industriales de 2023*. Obtenido de <https://sicnova3d.com>: <https://sicnova3d.com/blog/las-mejores-impresoras-3d-industriales/#:~:text=Esta%20impresora%203D%20es%20de%20lo%20m%C3%A1s%20robusta,de%20vidrio%20y%20kevlar%20para%20reforzar%20las%20piezas.>

Systemes, D. (s.f.). *3DEXPERIENCE Works 2023 - Expanda los horizontes con la simulación avanzada*. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://www.solidworks.com/>: <https://www.solidworks.com/es/media/3dexperience-works-2023-expand-horizons-advanced-simulation>

ANEXOS

Anexo 1





ANEXO 1 "Planos Model Mania versión 2018"

(Fuente: SOLIDWORKS Tech Blog)

Anexo 2

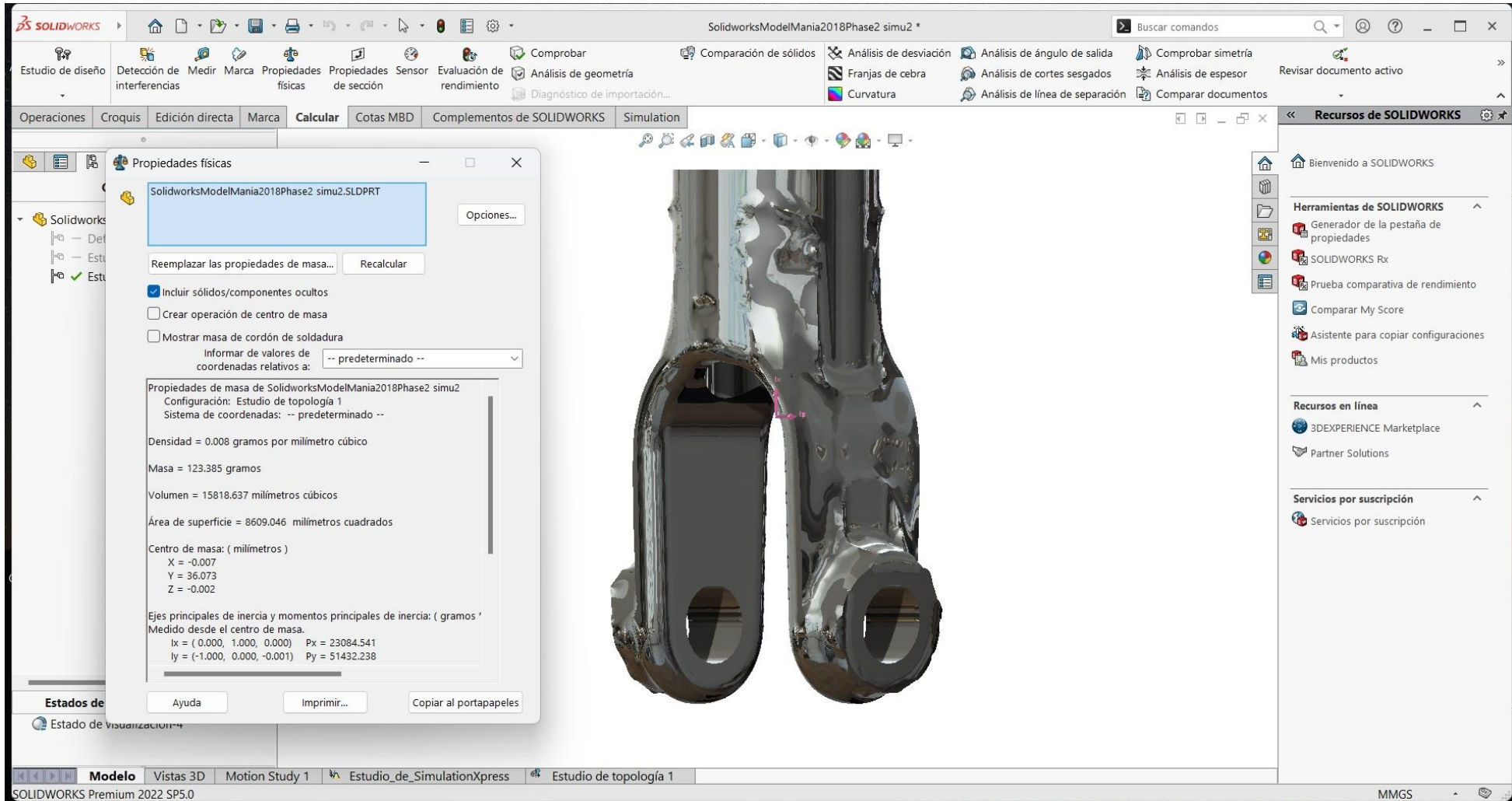
The screenshot shows the SolidWorks interface with the 'Propiedades físicas' (Physical Properties) dialog box open. The dialog displays the following information for the part 'SolidworksModelMania2018Phase2 simu.SLDPRT':

- Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular
- Incluir sólidos/componentes ocultos
- Crear operación de centro de masa
- Mostrar masa de cordón de soldadura
- Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --
- Propiedades de masa de SolidworksModelMania2018Phase2 simu
Configuración: Default
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
- Densidad = 0.008 gramos por milímetro cúbico
- Masa = 189.667 gramos
- Volumen = 24316.305 milímetros cúbicos
- Área de superficie = 11176.017 milímetros cuadrados
- Centro de masa: (milímetros)
X = 0.000
Y = 36.972
Z = 0.000
- Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos²)
Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.000, 1.000, 0.000) Px = 47808.948
Iy = (-1.000, 0.000, 0.000) Py = 68087.729

The 3D model of the part is shown in the background, rendered in red and grey. The part has a complex, curved shape with a central vertical shaft and two side arms.

ANEXO 2-1 "Propiedades físicas Pieza 1"

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)



The screenshot displays the SolidWorks interface with the 'Propiedades físicas' (Physical Properties) dialog box open. The dialog shows the following data for the part 'SolidworksModelMania2018Phase2 simu2.SLDPRT':

- Densidad = 0.008 gramos por milímetro cúbico
- Masa = 123.385 gramos
- Volumen = 15818.637 milímetros cúbicos
- Área de superficie = 8609.046 milímetros cuadrados
- Centro de masa: (milímetros)
 - X = -0.007
 - Y = 36.073
 - Z = -0.002
- Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetro⁴)
 - Medido desde el centro de masa.
 - lx = (0.000, 1.000, 0.000) Px = 23084.541
 - ly = (-1.000, 0.000, -0.001) Py = 51432.238

The 3D model of the part is visible in the background, showing a complex mechanical structure with two large circular openings. The software interface includes the SolidWorks logo, a search bar, and various toolbars and panels.

ANEXO 2-2 "Propiedades físicas Pieza 2"

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Propiedades físicas
Calcula las propiedades físicas del modelo, entre las que se incluyen: masa, volumen y área de superficie. Hay otras opciones disponibles cuando aplica un material, como la densidad.

Pieza rediseñada.SLDPRT

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos
 Crear operación de centro de masa
 Mostrar masa de cordón de soldadura
 Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Pieza rediseñada
 Configuración: Default
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.008 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 126.434 gramos
 Volumen = 16209.529 milímetros cúbicos
 Área de superficie = 8568.028 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
 X = 0.000
 Y = 36.281
 Z = 0.000

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos *
 Medido desde el centro de masa.
 Ix = (0.000, 1.000, 0.000) Px = 23569.198
 Iy = (-1.000, 0.000, 0.000) Py = 51310.790

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

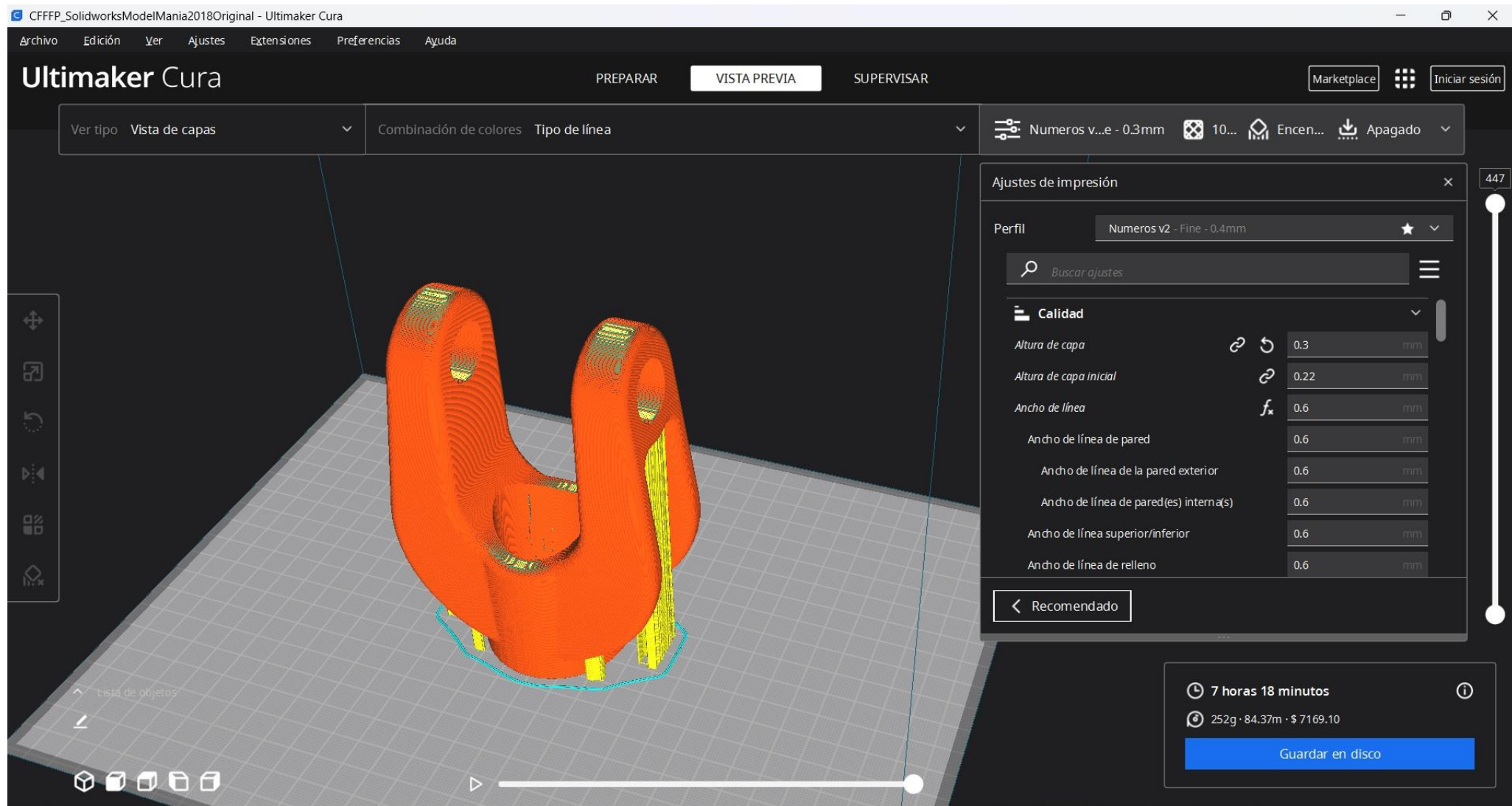
Modelo Vistas 3D Motion Study 1

Calcula las propiedades físicas del modelo, entre las que se incluyen: masa, volumen y área de superficie. Hay otras opciones...

ANEXO 2-3 "Propiedades físicas Pieza 3"

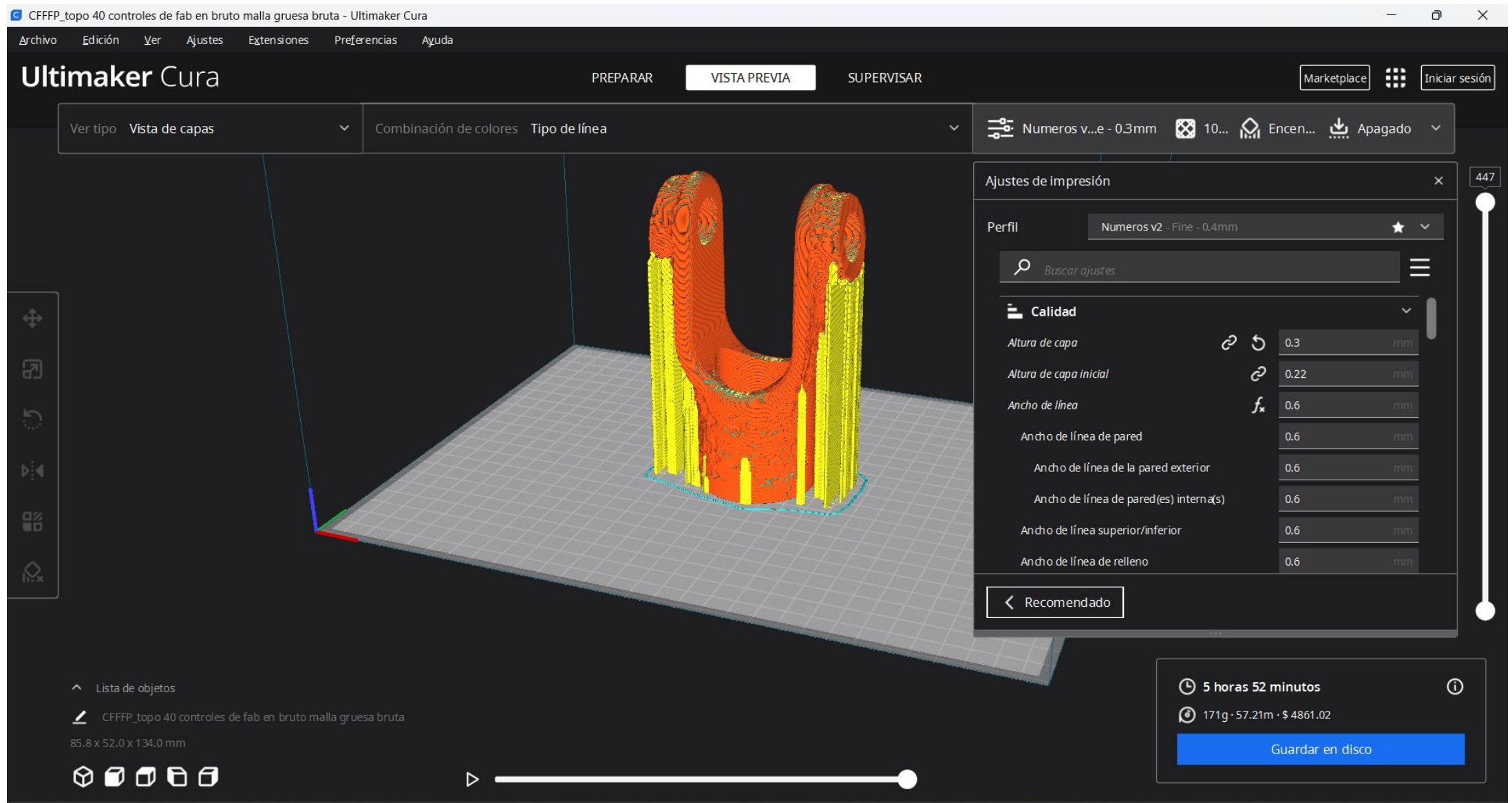
(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Anexo 3



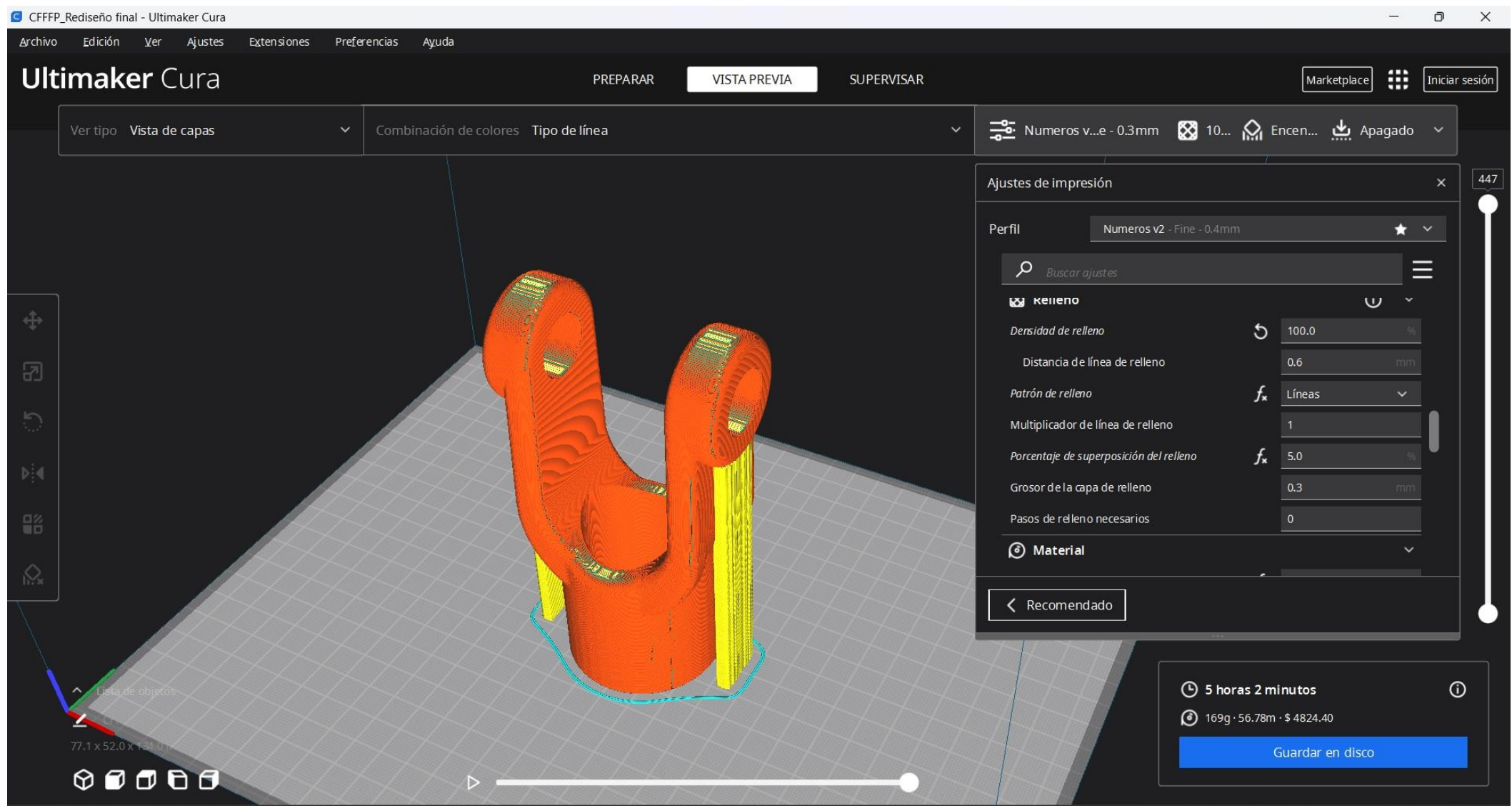
ANEXO 3-1 "Resultados de Segmentación pieza 1"

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)



ANEXO 3-2 "Resultados de Segmentación pieza 2"

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)



ANEXO 3-3 "Resultados de Segmentación pieza 3"

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

*DE LUNES A VIERNES 40 hrs semanales

GASTOS TALLER	
GASTOS administrativos	\$25.000
Gastos Varios	\$15.000
Gasolina	\$20.000
Seguro Auto	\$30.000
Costo Operario (Técnico)	
Cotizaciones INDE	\$176.655
Salario Liquido	\$700.045
Gastos totales	\$966.700

TIEMPO DE IMPRESIÓN	
h/día	8,00
días/mes	20,00 *
h/mes	160,00

GRANJA 1 IMP 3D CR5 PRO H	
Gastos	\$966.700
horas impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	1
CLP/ hora	\$6.042

GRANJA 2 IMP 3D CR5 y ENDER S1	
Gastos	\$966.700
hora impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	2
CLP/ hora	\$3.021

GRANJA 3 IMP 3D	
Gastos	\$966.700
hora impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	3
CLP/ hora	\$2.014

CASO REAL (ACTUAL)	
CLP/ hora	\$6.042
Factor error	\$ 906
Mantenimiento	\$ 1.208
Recu INVERSION	\$ 1.631
	\$ 9.788

15 % Error 85% Bueno
 20% del costo por hora
 20% de la suma costos anteriores
 Costo total por hora de impresión

Pieza 2 (Optimización topológica)	
CLP/ hora	\$9.788
nº horas	5,95
IVA	1,19
Coste Impresión	\$69.303
Material	\$4.861
Coste STL	
COSTE Final	\$74.164

Mas Tiempo de preparación antes de imprimir

Material MAS IVA DE CURA

Diseño 3d
 Post Procesado
 Transporte se cobra aparte

Cantidad de Piezas	1
Coste Total	\$ 74.164

ANEXO 4-2 "Costos finales de Fabricación Imp. CR-5 Pieza 2 "

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

*DE LUNES A VIERNES 40 hrs semanales

GASTOS TALLER	
GASTOS administrativos	\$25.000
Gastos Varios	\$15.000
Gasolina	\$20.000
Seguro Auto	\$30.000
Costo Operario (Técnico)	
Cotizaciones INDE	\$176.655
Salario Liquido	\$700.045
Gastos totales	\$966.700

TIEMPO DE IMPRESIÓN	
h/día	8,00
días/mes	20,00 *
h/mes	160,00

GRANJA 1 IMP 3D CR5 PRO H	
Gastos	\$966.700
horas impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	1
CLP/ hora	\$6.042

GRANJA 2 IMP 3D CR5 y ENDER S1	
Gastos	\$966.700
hora impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	2
CLP/ hora	\$3.021

GRANJA 3 IMP 3D	
Gastos	\$966.700
hora impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	3
CLP/ hora	\$2.014

CASO REAL (ACTUAL)	
CLP/ hora	\$6.042
Factor error	\$ 906
Mantenimiento	\$ 1.208
Recu INVERSION	\$ 1.631
	\$ 9.788

15 % Error 85% Bueno
 20% del costo por hora
 20% de la suma costos anteriores
 Costo total por hora de impresión

Pieza 3 (Rediseño)	
CLP/ hora	\$9.788
nº horas	5,12
IVA	1,19
Coste Impresión	\$59.589
Material	\$4.824
Coste STL	
COSTE Final	\$64.413

Mas Tiempo de preparación antes de imprimir

Material MAS IVA DE CURA

Diseño 3d
 Post Procesado
 Transporte se cobra aparte

Cantidad de Piezas	1
Coste Total	\$ 64.413

ANEXO 4-3 "Costos finales de Fabricación Imp. CR-5 Pieza 3 "

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de impresión)

Anexo 5

16/4/23, 00:14

Gmail - Informacion Markforged



Amadiel Vicencio Nuñez <amadielvn@gmail.com>

Informacion Markforged

6 mensajes

asibert@disegno3d.cl <asibert@disegno3d.cl>
 Para: amadielvn@gmail.com
 Cc: aurealdesing@gmail.com, aescarraga@disegno3d.cl

6 de junio de 2022, 16:40

Buen día estimado,

Como le solicito a nuestro equipo de markforged a continuación le envío la informacion de los distintos modelos de escritorio con su valor mas el valor de los materiales que utiliza el equipo.

Una vez analizados los modelos, me avisa y le cotizo formalmente el equipo elegido, por otro lado con todo gusto podemos coordinar una reunión para conversar sobre la tecnología y los distintos modelos.

En nuestras oficinas de Santiago tenemos una Mark Two por si quiere acercarse a verla.

Todos los precios son final en Chile sin IVA e incluyen capacitacion, puesta en marcha, calibración y garantía.

Valores:

Mark one: USD 6.325,00 + IVA

Mark pro: USD 12.650,00 + IVA

Mark Two: USD 25.000 + IVA

Materiales:

Material Faily & Materia	Material Name	Printer Compatibility	Product Code	Precio
Onyx	800cc Onyx Spool	O1, OP, M2, X3, X5, X7	F-MF-0001	\$219,00
Carbon Fiber	150cc Carbon Fiber Spool	M2, X7	F-FG-0005	\$518,00
Carbon Fiber	50cc Carbon Fiber Spool	M2, X7	CF-BA-50	\$173,00
Kevlar	150cc Kevlar CFF Spool	M2, X7	F-FG-0006	\$345,00
Kevlar	50cc Kevlar CFF Spool	M2, X7	KV-AB-50	\$115,00
Fiberglass	150cc Fiberglass CFF Spool	OP, M2, X5, X7	F-FG-0003	\$265,00
Fiberglass	50cc Fiberglass CFF Spool	OP, M2, X5, X7	FG-AB-50	\$92,00
HTHS Fiberglass	150cc High Temp Fiberglass CFF Spool	M2, X7	F-FG-0004	\$345,00
HTHS Fiberglass	50cc High Temp Fiberglass CFF Spool	M2, X7	F-FG-0002	\$115,00
Nylon	800cc Nylon Filament Spool	M2, X7	F-MF-0002	\$196,00
Nylon White	800cc Nylon White Filament Spool	M2, X7	F-MF-0003	\$196,00

Cualquier consulta estoy a tu entera disposición.

Muchas gracias.

Saludos cordiales,

Agustín Thomas Sibert

Representante Comercial
 +54 9 11 2256-1182

Skype: Agustín Sibert



Huérfanos 1294, of 72 CP (8320000), Santiago, Chile
 Tel.: +56 2 2897 9162
 www.disegno3d.cl



ANEXO 5-1 "cotización de Materiales y equipos Markforged "

(Fuente: Solicitud de cotización empresa Disegno 3d)



DISEGNO 3D S.P.A. - RUT: 76254821-6 - Huerfanos 1294 of 72 - Santiago - Chile



CONDICIONES COMERCIALES (Valores expresados en dólares americanos)

Propuesta Markforged

Cód.	Cant	Producto	Precio Unitario	Valor
F-PR-4012	1	Mark Two Gen 2	25.000 USD	25.000 USD
20906	1	Mark Two (Gen 2) - success plan - 1 year	-	-
	1	Envío e instalación (incluido viáticos del técnico)	500 USD	500 USD
			Subtotal	25.500 USD
TOTAL, PRESUPUESTO SIN IVA				25.500 USD
			IVA 19%	4.845 USD
PRESUPUESTO FINAL				30.345 USD

Propuesta válida hasta el 31/07/2022

1.1. Formas de Pago:

- **FORMA DE PAGO: 50% con Orden de Compra y 50% con entrega del producto.**
- **Se factura en PESOS**
- **TIPO DE CAMBIO: Tomar dólar observado según Banco Central de Chile al día de emitir la Orden de Compra.**

2.1. Plazo de entrega: 10-20 días desde emisión de Orden de Compra.

PARA CONFIRMAR COMPRA, FAVOR ENVIAR ORDEN DE COMPRA A AGUSTIN SIBERT

asibert@disegno3d.cl

Agustin Sibert
Responsable comercial

Huerfanos 1294 of 72
CP (7510124), Santiago, Chile
Tel. pers: +54 (11) 2256 1182
Tel. oficic: +56 (2) 2897 3570
asibert@disegno3d.cl
<http://www.disegno3d.cl/>



Huerfanos 1294 of 72
CP (8320000), Santiago, Chile
+56 (2) 2897 3570 | +56 (2) 2632 7503
+56 (2) 2897 7669 | +56 (9) 9167 2708
marketing@disegno3d.cl | ventas@disegno3d.cl
www.disegno3d.cl

ANEXO 5-2 "cotización de Materiales y equipos Markforged "

(Fuente: Solicitud de cotización empresa Disegno 3d)

Anexo 6

The screenshot displays the Eiger XRAY Slicer interface for a part named "SolidworksModelMania2018Original". The interface is divided into three main sections:

- Left Sidebar (Part Details):**
 - Dimensions: **96.00 mm x 52.00 mm x 134.00 mm**
 - Print Time: **1d 19h**
 - Onyx: **184.66 cm³**
 - Carbon Fiber: **49.49 cm³**
 - Material Cost: **192.32 USD**
- Central 3D View:** Shows a blue 3D model of a part with two vertical purple fiber-reinforced sections. The interface includes "VIEW OPTIONS" (PART, FIBER, SUPPORT, ADVANCED) and "2D 3D" view toggles.
- Right Sidebar (Add Fiber Settings):**
 - Contains 265 layers. 0.50 mm - 33.63 m...
 - Fiber Pattern Type: Entire Group
 - Fiber Fill Type: Isotropic Fiber
 - Concentric Fiber ...: 2
 - Start Rotation Pe...
 - Fiber Angles: 0, 45, 90, 135
 - Buttons: Revert, Save, Print

ANEXO 6-1 "Resultado de laminación Pieza 1 en vista XRAY Slicer Eiger "

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

← → ↻ eiger.io/solids/1ea4838d-3b32-4d17-86fa-58abc3f60fb5/layer_editor?version=d5bf0241-4765-4d29-9f53-e9a00586b002

Markforged Search parts, folders, builds, devices... Library Printers Print Jobs ? [Icons] Actualizar

ADVANCED INFO Additional Part Information ×

Part Details ▾

Dimensions
85.80 mm x 51.99 mm x 134.00 mm

Print Time ?
1d 13h

Onyx ?
144.90 cm³

Carbon Fiber
28.25 cm³

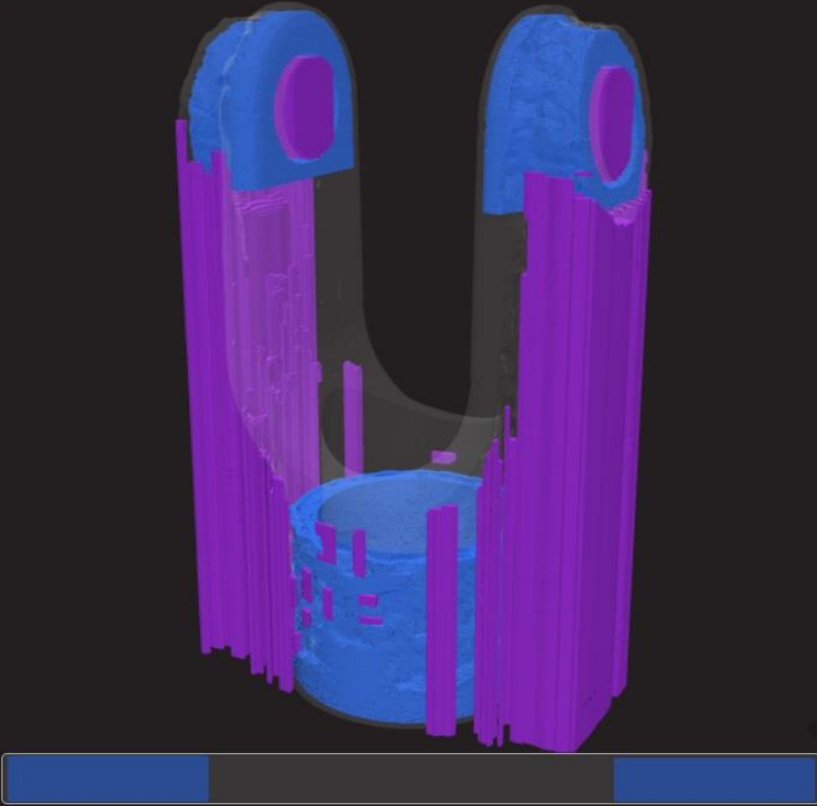
Material Cost
119.18 USD

Revert to Legacy Experience

topo 40 controles de fab en bruto | Documentation Copy die Vicescra Nite XRAY SIM SCAN

VIEW OPTIONS PART FIBER SUPPORT ADVANCED

2D 3D



Select one or more sections on the filmstrip to create an override area.

Add Fiber

Contains 265 layers.	0.50 mm - 33.63 m...
Fiber Pattern Type	Entire Group ▾
Fiber Fill Type	Isotropic Fiber ▾
Concentric Fiber ...	2
Start Rotation Pe...	
Fiber Angles	0, 45, 90, 135

Add Fiber

Contains 265 layers.	100.38 mm - 133.50 ...
Revert	
Save	
Print	

ANEXO 6-2 "Resultado de laminación Pieza 2 en vista XRAY Slicer Eiger "

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

← → ↻ eiger.io/solids/b53e8333-6abe-4000-a2b7-25dc6d0ac390/layer_editor?version=07b94c5b-369e-4684-9d46-ccaa37e... Actualizar

Markforged Search parts, folders, builds, devices... Library Printers Print Jobs ? [Home] [Notifications] [User] [Menu]

ADVANCED INFO Additional Part Information × **Rediseño final** Amadiel Vicencio Nuñ Documentation Copy PART XRAY SIM SCAN

Part Details ▾

Dimensions
77.08 mm x 52.00 mm x 134.00 mm

Print Time ?
1d 7h

Onyx ?
137.84 cm³

Carbon Fiber
32.07 cm³

Material Cost
128.95 USD

VIEW OPTIONS PART FIBER SUPPORT ADVANCED

2D 3D

Select one or more sections on the filmstrip to create an override area.

Add Fiber

Contains 265 layers. 0.50 mm - 33.63 m...

Fiber Pattern Type Entire Group ▾

Fiber Fill Type Isotropic Fiber ▾

Concentric Fiber ... 2

Start Rotation Pe...

Fiber Angles 0, 45, 90, 135

Add Fiber

Contains 265 layers. 100.38 mm - 133.50 ...

Revert

Save

Print

Revert to Legacy Experience

ANEXO 6-3 "Resultado de laminación Pieza 3 en vista XRAY Slicer Eiger "

(Fuente: Elaboración propia en base a simulación)

Anexo 7

*DE LUNES A VIERNES 40 hrs semanales

GASTOS TALLER		GRANJA 1 IMP 3D MK2-2° Gen		CASO REAL (ACTUAL)	
GASTOS administrativos	\$25.000	Gastos	\$966.700	CLP/ hora	\$6.042
Gastos Varios	\$15.000	horas impresión	160	Factor error	\$ 906
Gasolina	\$20.000	Coste Granja	\$6.042	Mantenimiento	\$ 1.208
Seguro Auto	\$30.000	Nº Impresoras	1	Recu INVERSION	\$ 1.631
		CLP/ hora	\$6.042		\$ 9.788
Costo Operario (Técnico)		GRANJA 2 IMP 3D		Pieza 1 (Original)	
Cotizaciones INDE	\$176.655	Gastos	\$966.700	CLP/ hora	\$9.788
Salario Liquido	\$700.045	hora impresión	160	nº horas	43,00
Gastos totales	\$966.700	Coste Granja	\$6.042	IVA	1,19
		Nº Impresoras	2	Coste Impresión	\$500.844
		CLP/ hora	\$3.021	Material	\$209.719
				Coste STL	
				COSTE Final	\$710.563
TIEMPO DE IMPRESIÓN		GRANJA 3 IMP 3D			
h/día	8,00	Gastos	\$966.700		
días/mes	20,00 *	hora impresión	160		
h/mes	160,00	Coste Granja	\$6.042		
		Nº Impresoras	3		
		CLP/ hora	\$2.014		
				Cantidad de Piezas	1
				Coste Total	\$ 710.563

15 % Error 85% Bueno
 20% del costo por hora
 20% de la suma costos anteriores
 Costo total por hora de impresión

Mas Tiempo de preparación antes de imprimir

Material Calculado cotización

Diseño 3d
 Post Procesado
 Transporte se cobra aparte

ANEXO 7-1 "Costos finales de Fabricación Pieza 1 Impresora Mark 2 "

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de simulación)

*DE LUNES A VIERNES 40 hrs semanales

GASTOS TALLER	
GASTOS administrativos	\$25.000
Gastos Varios	\$15.000
Gasolina	\$20.000
Seguro Auto	\$30.000
Costo Operario (Técnico)	
Cotizaciones INDE	\$176.655
Salario Liquido	\$700.045
Gastos totales	\$966.700

TIEMPO DE IMPRESIÓN	
h/día	8,00
días/mes	20,00 *
h/mes	160,00

GRANJA 1 IMP 3D MK2-2° Gen	
Gastos	\$966.700
horas impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	1
CLP/ hora	\$6.042

GRANJA 2 IMP 3D	
Gastos	\$966.700
hora impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	2
CLP/ hora	\$3.021

GRANJA 3 IMP 3D	
Gastos	\$966.700
hora impresión	160
Coste Granja	\$6.042
Nº Impresoras	3
CLP/ hora	\$2.014

CASO REAL (ACTUAL)	
CLP/ hora	\$6.042
Factor error	\$ 906
Mantenimiento	\$ 1.208
Recu INVERSION	\$ 1.631
	\$ 9.788

15 % Error 85% Bueno
 20% del costo por hora
 20% de la suma costos anteriores
 Costo total por hora de impresión

Pieza 2 (Optimización Topológica)	
CLP/ hora	\$9.788
nº horas	37,00
IVA	1,19
Coste Impresión	\$430.958
Material	\$129.950
Coste STL	
COSTE Final	\$560.908

Mas Tiempo de preparación antes de imprimir

Material Calculado cotización

Diseño 3d
 Post Procesado
 Transporte se cobra aparte

Cantidad de Piezas	1
Coste Total	\$ 560.908

ANEXO 7-2 "Costos finales de Fabricación Pieza 2 Impresora Mark 2 "

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de simulación)

*DE LUNES A VIERNES 40 hrs semanales

GASTOS TALLER		GRANJA 1 IMP 3D MK2-2° Gen		CASO REAL (ACTUAL)	
GASTOS administrativos	\$25.000	Gastos	\$966.700	CLP/ hora	\$6.042
Gastos Varios	\$15.000	horas impresión	160	Factor error	\$ 906 15 % Error 85% Bueno
Gasolina	\$20.000	Coste Granja	\$6.042	Mantenimiento	\$ 1.208 20% del costo por hora
Seguro Auto	\$30.000	Nº Impresoras	1	Recu INVERSION	\$ 1.631 20% de la suma costos anteriores
		CLP/ hora	\$6.042		\$ 9.788 Costo total por hora de impresión
Costo Operario (Técnico)		GRANJA 2 IMP 3D		Pieza 3 (Rediseño)	
Cotizaciones INDE	\$176.655	Gastos	\$966.700	CLP/ hora	\$9.788
Salario Liquido	\$700.045	hora impresión	160	nº horas	31,00 Mas Tiempo de Preparación antes de imprimir
Gastos totales	\$966.700	Coste Granja	\$6.042	IVA	1,19
		Nº Impresoras	2	Coste Impresión	\$361.073
		CLP/ hora	\$3.021	Material	\$140.613 Material Calculado Cotización
				Coste STL	
TIEMPO DE IMPRESIÓN		GRANJA 3 IMP 3D		COSTE Final	\$501.686
h/día	8,00	Gastos	\$966.700		
días/mes	20,00 *	hora impresión	160		Diseño 3d
h/mes	160,00	Coste Granja	\$6.042		Post Procesado
		Nº Impresoras	3		Transporte se cobra aparte
		CLP/ hora	\$2.014		
				Cantidad de Piezas	1
				Coste Total	\$ 501.686

ANEXO 7-3 "Costos finales de Fabricación Pieza 3 Impresora Mark 2 "

(Fuente: Elaboración propia en base a proceso de simulación)

Anexo 8

HOJA INFORMATIVA DE MATERIAL

**Materiales compuestos**

Base para compuestos	Prueba (ASTM)	Onyx	Onyx FR	Onyx ESD	Nylon	
Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)	D638	2,4	3,0	4,2	1,7	<p>Las piezas de Markforged están formadas principalmente por materiales base para compuestos. Se pueden reforzar con un tipo de fibra continua.</p> <p>Dimensiones y construcción de las probetas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tracción: Barras de tipo I o IV de la norma ASTM D638 Flexión: Flexión de 3 puntos, 4,5 pulg. (l.) x 0,4 pulg. (an.) x 0,12 pulg. (al.) Temperatura de deflexión térmica a 0,45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 método B) <p>1. Se mide mediante un método parecido a ASTM D790. Las piezas solo con base para compuestos no se rompen antes del fin de la prueba de flexión.</p> <p>2. Onyx retardante de llama (FR) tiene la certificación Blue Card y cumple la especificación UL94 V-0 en espesores con un mínimo de 3 mm.</p> <p>3. La resistencia superficial se mide en diferentes superficies de la pieza a partir de los ajustes de impresión recomendados por un laboratorio externo homologado. Para obtener más información, consulte la hoja informativa de Onyx ESD.</p>
Esfuerzo de tracción a la deformación (MPa)	D638	40	41	52	51	
Esfuerzo de tracción a la rotura (MPa)	D638	37	40	50	36	
Resistencia a la rotura por tracción (%)	D638	25	18	25	150	
Resistencia a la flexión (MPa)	D790 ¹	71	71	83	50	
Módulo de flexión (GPa)	D790 ¹	3,0	3,6	3,7	1,4	
Temperatura de deflexión térmica (°C)	D648 B	145	145	138	41	
Resistencia a las llamas	UL94	—	V-0 ²	—	—	
Ensayo de Izod - con mella (J/m)	D256-10 A	330	—	44	110	
Resistencia superficial (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 ³	—	—	10 ⁵ - 10 ⁷	—	
Densidad (g/cm ³)	—	1,2	1,2	1,2	1,1	
Fibra continua	Prueba (ASTM)	Carbono	Fibra de carbono FR	Kevlar®	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio HSHT
Resistencia a la tracción (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Resistencia a la rotura por tracción (%)	D3039	1,5	1,6	2,7	3,8	3,9
Resistencia a la flexión (MPa)	D790 ¹	540	540	240	200	420
Módulo de flexión (GPa)	D790 ¹	51	50	26	22	21
Resistencia a la rotura por flexión (%)	D790 ¹	1,2	1,6	2,1	1,1	2,2
Resistencia a la compresión (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Módulo de compresión (GPa)	D6641	62	59	25	24	21
Resistencia a la rotura por compresión (%)	D6641	0,7	0,5	1,5	—	0,8
Temperatura de deflexión térmica (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Ensayo de Izod - con mella (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Densidad (g/cm ³)	—	1,4	1,4	1,2	1,5	1,5

Dimensiones y construcción de materiales compuestos de fibra
 Probetas:

- Las placas de prueba utilizadas en estos datos están reforzadas con fibra de forma unidireccional (capas de 0°)
- Probetas de las pruebas de tracción: 9,8 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,048 pulg. (an.) (composites de fibra de carbono), 9,8 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,08 pulg. (an.) (composites de fibra de vidrio y Kevlar®)
- Probetas de las pruebas de compresión: 5,5 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,085 pulg. (an.) (composites de fibra de carbono), 5,5 pulg. (l.) x 0,5 pulg. (al.) x 0,12 pulg. (an.) (composites de Kevlar® y fibra de vidrio)
- Probetas de las pruebas de flexión: Flexión de 3 puntos, 4,5 pulg. (l.) x 0,4 pulg. (an.) x 0,12 pulg. (al.)
- Temperatura de deflexión térmica a 0,45 MPa, 66 psi (ASTM D648-07 método B)

Los datos de tracción, compresión, resistencia a la rotura y temperatura de deflexión térmica proceden de un laboratorio externo homologado. Los datos de flexión proceden de Markforged Inc. y representan los valores típicos.

Las placas de prueba de Markforged tienen un diseño exclusivo para maximizar el rendimiento de la prueba. Las placas de fibra de prueba están reforzadas con fibras unidireccionales e impresas sin paredes. Las placas de plástico de prueba se imprimen con relleno. Para obtener más información sobre condiciones de prueba específicas o para solicitar piezas a fin de realizar pruebas internas, póngase en contacto con un representante de Markforged. Los clientes deben probar las piezas con sus propias especificaciones.

Las prestaciones de los materiales y las piezas variarán

en función de la disposición de las fibras, el diseño de las piezas, las condiciones de carga, las condiciones de prueba y las condiciones de fabricación, entre otros factores.

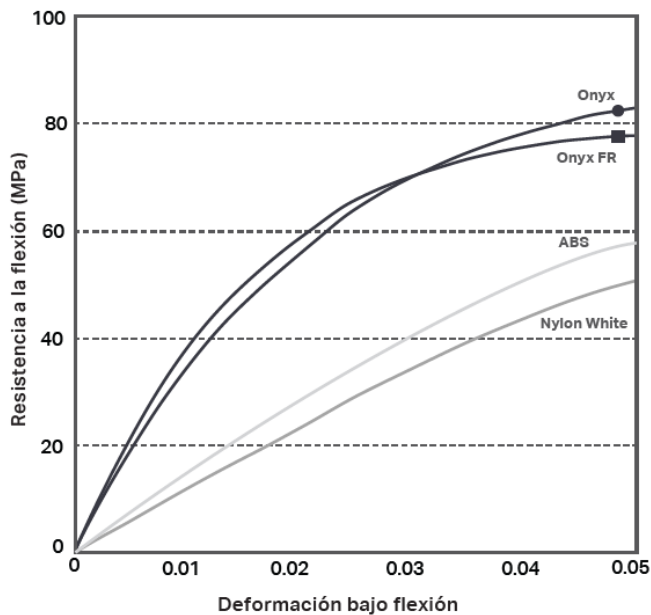
Estos datos representativos se han probado, medido o calculado utilizando métodos estándar y pueden cambiar sin previo aviso. Markforged no ofrece garantías de ningún tipo, ni expresas ni implícitas, como por ejemplo las garantías de comerciabilidad, idoneidad para un uso particular o garantía contra la violación de patentes. Tampoco asume ninguna responsabilidad en relación con el uso de esta información. Los datos aquí indicados no deben utilizarse para establecer límites de diseño, control de calidad o especificaciones, y no pretenden sustituir las pruebas que realice para determinar la idoneidad en aplicaciones específicas. El contenido de esta hoja informativa no debe interpretarse como una licencia de uso ni una recomendación para infringir derechos de propiedad intelectual.

Materiales compuestos

Las impresoras de materiales compuestos de Markforged imprimen con reforzamiento de fibra continua (CFR), un proceso exclusivo que refuerza con fibras continuas de alta resistencia las piezas de fabricación con filamento fundido (FFF). Este tipo de máquinas utilizan dos sistemas de extrusión: uno para extrudir el material base para compuestos en un proceso de FFF estándar y otro para las fibras continuas de hebras largas que se aplican en capas y sustituyen el relleno de FFF.

Base para compuestos

Los materiales base para compuestos de Markforged se imprimen como los termoplásticos de FFF convencionales. Se pueden imprimir solos o reforzarse con nuestras fibras continuas, como fibra de carbono, Kevlar o fibra continua.



● Onyx Resistencia a la flexión: 71 MPa

Onyx es un nylon reforzado con microfibras de carbono. Es 1,4 veces más resistente y rígido que el ABS y se puede reforzar con cualquier fibra continua. Onyx marca el estándar por lo que respecta al acabado de superficie, la resistencia química y la tolerancia al calor.

■ Onyx FR Resistencia a la flexión: 71 MPa

Onyx retardante de llama (FR) es un material con la clasificación V-0 del estándar UL94 y certificación Blue Card que ofrece unas propiedades mecánicas parecidas a Onyx. Se utiliza en aplicaciones en las que se requiere un material retardante de llama, ligero y resistente.

◆ Onyx ESD Resistencia a la flexión: 83 MPa

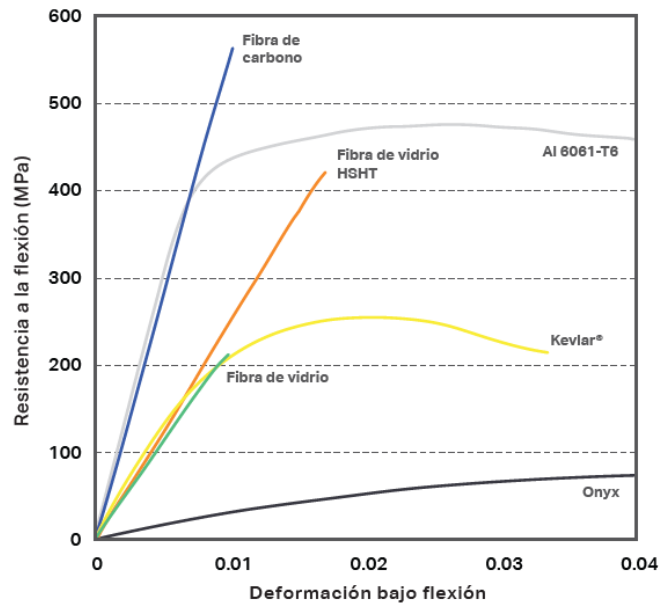
Onyx ESD es una variante disipadora de estática de Onyx, que cumple unos requisitos de seguridad antiestática muy estrictos y ofrece unas características excelentes de resistencia, rigidez y acabado de superficie. Se utiliza en aplicaciones que requieren materiales antiestáticos.

● Nylon Resistencia a la flexión: 50 MPa

Las piezas de Nylon White son lisas y no abrasivas, y se pintan con facilidad. Este material se puede reforzar con cualquier fibra continua y es adecuado para la sujeción de piezas que se dañan con facilidad, para el contacto prolongado y para fabricar piezas cosméticas.

Fibra continua

Las fibras continuas se aplican dentro de las piezas a través de una segunda boquilla de fibra. No se pueden imprimir por sí solas, sino que sirven para reforzar las piezas impresas con un material base para compuestos, como Onyx.



● Fibra de carbono Resistencia a la flexión: 540 MPa

La fibra de carbono tiene la mayor relación peso/resistencia de todas nuestras fibras de refuerzo. El refuerzo de fibra continua es seis veces más resistente y dieciocho veces más rígido que Onyx, y habitualmente se utiliza para fabricar piezas que sustituyen al aluminio mecanizado.

● Fibra de vidrio Resistencia a la flexión: 200 MPa

La fibra de vidrio es nuestra fibra continua de nivel básico, que ofrece una alta resistencia a un precio económico. Con el refuerzo de fibra de vidrio se pueden fabricar herramientas de gran resistencia (2,5 veces más resistentes y ocho veces más rígidas que con Onyx).

● Kevlar® Resistencia a la flexión: 240 MPa

El Kevlar® tiene una durabilidad excelente y es perfecto para fabricar piezas sometidas a cargas constantes y repentinas. Es un material tan rígido como la fibra de vidrio y mucho más dúctil, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones.

● Fibra de vidrio HSHT Resistencia a la flexión: 420 MPa

La fibra de vidrio de elevada resistencia a altas temperaturas (HSHT) permite producir piezas con la resistencia del aluminio y una alta tolerancia al calor. Este material es cinco veces más resistente y siete veces más rígido que Onyx, y permite fabricar piezas para entornos de altas temperaturas.