

Implementación de nuevas tecnologías en el proceso de creación de monumentos falleros

Alain Ferrer Carrasco

Máster de formación permanente en Inteligencia Artificial y fabricación
aditiva para el desarrollo de productos

Universidad CEU Cardenal Herrera

Dr. Manuel Ibañez

17 Julio 2026



Trabajo Fin de Máster

Índice

Lista de Figuras.....	3
Lista de Tablas.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
1. Introducción.....	9
1.1 Contexto y planteamiento del problema	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Alcance y estructura del documento	11
2. Estado del Arte	13
2.1 Marco Teórico.....	13
2.1.1 Evolución de la fabricación de monumentos falleros	13
2.1.2 Análisis técnico del proceso de fabricación actual	19
2.1.3 Fabricación aditiva y materiales.....	29
2.1.4 Inteligencia artificial generativa	41
2.1.5 Antecedentes del uso de nuevas tecnologías en el proceso fallero	50
2.1.6 Marco socio-legal y ético	58
2.2 Análisis crítico	64
3. Metodología.....	65
3.1 Diseño general del estudio	65
3.2 Métodos, herramientas y equipos.....	67
3.3 Elementos adicionales	72
4. Desarrollo	74
4.1 Ideación y Conceptualización asistida.....	75
4.2 Desarrollo Tridimensional y Composición	83
4.3 Validación visual y presentación comercial	89
4.4 Ajuste topológico y Análisis estructural	96
4.5 Optimización y simulación de impresión 3D.....	106
4.6 Ejecución física y validación de acabados.....	116
5. Resultados y Discusión	125
6. Conclusiones	131
6.1 Conclusiones.....	131
6.2 Trabajo futuro.....	132
7. Referencias	134
ANEXO A: Listado de Bocetos de los Ninots.....	136
ANEXO B: Medidas y Modelados en crudo	152

Lista de Figuras

Figura 1: teoría de la creación de los primeros "ninots" (ValenciaBonita, 2026).....	14
Figura 2: Figuras de cartón realizadas a partir de moldes de escayola (Dominguez, 2022)	14
Figura 3: Figuras realizadas con la técnica del cartón íntegro (Anónimo, 2026)	15
Figura 4: Proceso de fabricación de monumentos falleros con poliéster expandido	17
Figura 5: Fresado por CNC de lamina de poliéster expandido para el modelado de una falla (Aida, 2019)	18
Figura 6: evolución de la fabricación de monumentos falleros (Colomina, 2011).....	18
Figura 7: Flujo de Trabajo del proceso de monumento fallero (Elaboración Propia).....	19
Figura 8: Figura de "Icónica", Propuesta de Paco Camallonga para la falla del Pilar 2025 (Cendra Digital, 2025)	20
Figura 9: Diseño del ninot "El poble salva al poble" de Paco Camallonga para la falla del Pilar 2025 (Camallonga, 2025)	21
Figura 10: Escultura Digital del ninot "El poble salva al poble" de Paco Camallonga para la falla del Pilar 2025 (Camallonga, 2025)	21
Figura 11: Piezas Pilar 25 e15-40 del catálogo 2025 Falles 3D	22
Figura 12: Ejemplo de cálculo de estructuras En el monumento de Falla Cuba-Literaro Azorín 2024 (UPV, 2026)	23
Figura 13: Dibujo expliativo de la variación de tamaño (Capuz, 2022).....	23
Figura 14: dibujo explicativo compresión y tracción generados por voladizo (Capuz, 2022)	23
Figura 15: Dibujo Explicativo del vuelco en una falla (Capuz, 2022).....	24
Figura 16: Dibujo explicativo de la anisotropia de la madera (Capuz, 2022)	24
Figura 17: Dibujo explicativo de la higroscopicidad de la madera (Capuz, 2022)	24
Figura 18: Generación de las curvas de nivel del Ninot (Orozco-Messana, 2008).....	25
Figura 19: Superficie de corte ajustada y optimizada (Orozco-Messana, 2008).....	25
Figura 20: Planos de Corte CNC con las superficies anidadas (Orozco-Messana, 2008).....	26
Figura 21: Piezas de poliespán cortadas por CNC (Orozco-Messana, 2008).....	26
Figura 22: Estructura montada de las distintas curvas de nivel (Orozco-Messana, 2008).....	26
Figura 23: Vista del ninot con la superficie lista para el modelado manual final (Orozco-Messana, 2008)	26
Figura 24: Proceso de postlijado de la CNC (González, 2018)	27
Figura 25: Proceso de empapelamiento de los ninots (Riol, 2026)	27
Figura 26: Imprimación de la pieza previa a la pintura (Riol, 2026).....	28
Figura 27: Proceso de pintura y detalles (Riol, 2026)	28
Figura 28: Proceso de fabricación aditiva (AIDIMME, 2026)	29
Figura 29: Tabla comparativa de procesos de fabricación (AIDIMME, 2026)	30
Figura 30: Tabla comparativa procesos de fabricación aditiva en plásticos (AIDIMME, 2026).....	31
Figura 31: esquema ilustrativo de la fabricación por extrusión y sus componentes: a) filamento b)Extrusor c)figura d)soportes e)cama caliente f) ambiente (Weerg, 2025)	32
Figura 32: Impresoras 3D asequibles en el mercado (AIDIMME, 2026)	33
Figura 33: distintos tipos de capas en la impresión 3D (AIDIMME, 2026)	33
Figura 34: Soportes en la impresión 3D (AIDIMME, 2026)	33
Figura 35: Concepto de la anisotropia para la fabricación aditiva (AIDIMME, 2026)	34
Figura 36: Efecto warping en una pieza impresa 3D (AIDIMME, 2026)	34
Figura 37: Rellenos y densidades (AIDIMME, 2026)	34
Figura 38: Pieza de Grego Acebedo impresa en fabricación aditiva (Acebedo,2025).....	35
Figura 39: Pieza de Poliexpan junto a detalles en PLA (Acebedo,2026)	36
Figura 40: Primer ninot fabricado en paja de arroz (Ajuntament de València, 2021)	38
Figura 41: Imagen Planchas de EPS (Anónimo, 2026)	40
Figura 42: Imagen bobina de PLA (Esun, 2026)	40
Figura 43: Imagen Bobina de PHA (Esun, 2026)	40

Figura 44: Imagen de bobina de filamento PLA con aditivos biocompuestos de madera (Esun, 2026)	40
Figura 45: Prototipo de impresión mediante paja de arroz (Ajuntament de València, 2021)	40
Figura 46: Esquema visual del proceso de los modelos de difusión (Ibañez, 2025)	42
Figura 47: Modelado 3D asistido por IA mediante Autodesk (OVACEN 2024)	44
Figura 48: Gaussian Splatting con Luma 3D AI	45
Figura 49: Interfaz de Spline AI	46
Figura 50: Interfaz de Tencent Hunyuan 3D	47
Figura 51: A la derecha, Modelado 3D optimizado para la fabricación en impresión 3D. a la izquierda, el mismo modelo fabricado y listo para ser plantado en la falla cuba literato azorín 2024, junto al equipo de ECO-FALLES	51
Figura 52: Fases del flujo de trabajo de CHOP-CHOP (UPV, s.f.)	52
Figura 53: Comparativa entre pieza sólida y optimizada (UPV, s.f.)	52
Figura 54: Impresión con un 90% de material reciclado (UPV, s.f.)	53
Figura 55: Escamas de material reciclado PET procedente de planta de reciclaje de SP-BERNER y figura impresa con dicho material. (UPV, s.f.)	54
Figura 56: Ejemplo de uso del programa STRUC-FALLES (UPV, s.f.)	54
Figura 57: Ninot indultat 2026 falla serranos por David Ojeda, modelado asistido por IA por Tencent Hunyuan V3.1 (Romero,2026).	55
Figura 58: Ninot indultat Falla Sueca literato azorín 2024 (Romero,2024)	56
Figura 59: Figura asistida por IA de "Onirica", Falla Sueca literato azorín 2026. Su promoción en redes utilizó videos con IA (Romero,2024)	57
Figura 60: Diagrama de flujo general del proyecto	72
Figura 61: Primeras iteraciones del bocetado asistido por IA generativa	76
Figura 62: Iteraciones sobre el bocetado con estilo propio	78
Figura 63: Vistas del diseño final del Ninot Indultat	79
Figura 64: Diseño final completo de la propuesta de monumento infantil asistida por IA	82
Figura 65: Imagen generada del modelado 3D	83
Figura 66: Comparativa de modelados 3D	84
Figura 67: Interfaz de Tencent Hunyuan y Modelo 3D generado	85
Figura 68: Detalles del modelado 3D del ninot Indultat	86
Figura 69: Vista frontal del monumento fallero generado por IA	87
Figura 70: Vista trasera del monumento fallero generado por IA	87
Figura 71: defectos superficiales del mallado de los ninots	88
Figura 72: Imagenes fotorrealistas del acabado del Ninot realizado con IA	89
Figura 73: Imagen renderizada del Modelado 3D Frontal	91
Figura 74: Imagen renderizada del Modelado 3D trasera	91
Figura 75: Imagen fallida del monumento fallero pintado en su totalidad	92
Figura 76: Imagen contextual del monumento fallero para la volumetría general	93
Figura 77: Cartel estilo Sneak Peek de la propuesta de monumento fallero	93
Figura 78: Cartel principal de la presentación de la propuesta del monumento fallero	94
Figura 79: Renderizado fotorrealista 1	94
Figura 80: Renderizado fotorrealista 2	95
Figura 81: Renderizado fotorrealista 3	95
Figura 82: Modelo 3D Suavizado en Blender	96
Figura 83: Error de solapamientos entre dos superficies del modelo	97
Figura 84: Arreglo del solapamiento mediante eliminación y recomposición del mallado	98
Figura 85: Esquema de estructura interna de varillas del ninot	99
Figura 86: Modelado de Engranajes	100
Figura 87: Modelado de Tvs	100
Figura 88: Modelado de la tienda de campaña	100
Figura 89: Esquema de fuerzas frontal simplificado	101
Figura 90: Esquema de fuerzas trasero simplificado	101
Figura 91: Características del Material PLA High Speed	102

Figura 92: Condiciones de el estudio de la pieza	103
Figura 93: Resultados de Desplazamientos de la estructura del monumento fallero	104
Figura 94: Resulados del estudiode frecuencias de la estructura principal del monumento fallero .	105
Figura 95: Importación del modelo con el add-on CHOP-CHOP	107
Figura 96: Corte por apéndices junto al add-on CHOP-CHOP	107
Figura 97: Parámetros de corte para la cubificación con el add-on CHOP-CHOP.....	108
Figura 98: Cubificación del Ninot con el add-on CHOP-CHOP	109
Figura 99: Z01.....	109
Figura 100: Z01.001.....	110
Figura 101: Z01.002.....	110
Figura 102: Z01.003.....	110
Figura 103: Z01.004.....	110
Figura 104: Z02.....	110
Figura 105:Z02.001.....	110
Figura 106:Z02.002.....	110
Figura 107: Z03.....	110
Figura 108: Z03.001.....	110
Figura 109: Z03.002.....	110
Figura 110: Distribución de las placas de impresión en el software Bambu Studio.....	111
Figura 111: Resultado del slicing placa de impresión 1	112
Figura 112: Resultado del slicing placa de impresión 2	112
Figura 113: Resultado del slicing placa de impresión 3	113
Figura 114: Resultado del slicing placa de impresión	113
Figura 115: Realización de la optimización del ninot 4.1-Robot.....	114
Figura 116: Vaciado y cubificación del modelo 4.1-Robot.....	115
Figura 117:Proceso de Impresión de las distintas partes del Ninot.....	116
Figura 118: teardown de las partes del ninot impresas.....	117
Figura 119: Posicionamiento previo para la visualización post impresión del ninot	117
Figura 120: Proceso de Lijado inicial	118
Figura 121: Proceso de pegado de las difer entes piezas en sus apéndices	118
Figura 122: Desgarre de material derivado del proceso de lijado	119
Figura 123: Proceso de masillado.....	119
Figura 124: Apéndices del modelo masillados y apéndiz del lapiz masillado y lijado	120
Figura 125: Proceso de imprimación y lijado de los apéndices	120
Figura 126: Proceso de unión de los apéndices.	121
Figura 127: Baseado en blanco con spray de pintura blanco.	121
Figura 128: Baseado a color con sprays de pintura	122
Figura 129: Proceso de detallado del pintado del Ninot	122
Figura 130: Resultado final del pintado.....	123
Figura 131: Resultado final del Ninot	124
Figura 132: Boceto conceptual de 01.1-Estructura	136
Figura 133: Boceto conceptual de 01.2-Diseño.....	137
Figura 134:Boceto conceptual de 01.3-Textil.....	137
Figura 135: Boceto conceptual de 01.4-Engranaje.....	138
Figura 136: Boceto conceptual de 01.5-Industriales	139
Figura 137: Boceto conceptual de 01.7-Mecanica	139
Figura 138: Boceto conceptual de 01.8-Electrico.....	140
Figura 139: Boceto conceptual de 01.9-Astro	140
Figura 140: Boceto conceptual de 01.10-Forense.....	141
Figura 141: Boceto conceptual de 02.1-TVs.....	141
Figura 142: Boceto conceptual de 02.2-Teleco	142
Figura 143: Boceto conceptual de 02.3-Audiovisuales.....	142
Figura 144: Boceto conceptual de 02.4-Multimedia	143
Figura 145: Boceto conceptual de 02.5-Sonido.....	143

Figura 146: Boceto conceptual de 03.1-Viga.....	144
Figura 147: Boceto conceptual de 03.1.1-Edif.....	144
Figura 148: Boceto conceptual de 03.1.2-Urban.....	145
Figura 149: Boceto conceptual de 03.1.3-Topo	145
Figura 150: Boceto conceptual de 03.2-Naval.....	146
Figura 151: Boceto conceptual de 03.3-Forestal.....	146
Figura 152: Boceto conceptual de 03.4-Agro	147
Figura 153: Boceto conceptual de 03.5-Ambientales.....	147
Figura 154: Boceto conceptual de 03.6-Arboles	148
Figura 155: Boceto conceptual de 03.7-Tienda.....	148
Figura 156: Boceto conceptual de 03.8-Química	149
Figura 157: Boceto conceptual de 03.9-Biotec.....	149
Figura 158: Boceto conceptual de 04.1-Robot.....	150
Figura 159: Boceto conceptual de 04.2-Robotica.....	150
Figura 160: Boceto conceptual de 04.3-Infor	151
Figura 161: Boceto conceptual de 04.4-Electro	151
Figura 162: Modelado 3D y medidas de 01.1-Estructura	152
Figura 163: Modelado 3D y medidas de 01.2-Diseño.....	153
Figura 164: Modelado 3D y medidas de 01.3-Textil	153
Figura 165: Modelado 3D y medidas de 01.4-Engranaje.....	154
Figura 166: Modelado 3D y medidas de 01.5-Industriales	154
Figura 167: Modelado 3D y medidas de 01.7-Mecánica	155
Figura 168: Modelado 3D y medidas de 01.8-Eléctrico.....	155
Figura 169: Modelado 3D y medidas de 01.9-Astro	156
Figura 170: Modelado 3D y medidas de 01.10.Forense	156
Figura 171: Modelado 3D y medidas de 02.1-TVs	157
Figura 172: Modelado 3D y medidas de 02.2-Teleco	157
Figura 173: Modelado 3D y medidas de 02.3-Audiovisuales.....	158
Figura 174: Modelado 3D y medidas de 02.4-Multimedia	158
Figura 175: Modelado 3D y medidas de 02.5.Sonido	159
Figura 176: Modelado 3D y medidas de 03.1-Viga.....	159
Figura 177: Modelado 3D y medidas de 03.2-Naval.....	160
Figura 178: Modelado 3D y medidas de 03.3-Forestal.....	160
Figura 179: Modelado 3D y medidas de 03.4-Agro	161
Figura 180: Modelado 3D y medidas de 03.5-Ambientales.....	161
Figura 181: Modelado 3D y medidas de 03.6-Arboles.....	162
Figura 182: Modelado 3D y medidas de 03.7-Tienda	162
Figura 183: Modelado 3D y medidas de 03.8-Química.....	163
Figura 184: Modelado 3D y medidas de 03.9-Biotec.....	163
Figura 185: Modelado 3D y medidas de 04.1-Robot.....	164
Figura 186: Modelado 3D y medidas de 04.2-Robotica	164
Figura 187: Modelado 3D y medidas de 04.3-Infor	165
Figura 188: Modelado 3D y medidas de 04.4-Electro	165

Lista de Tablas

Tabla 1: Comparativa de Materiales para la fabricación de ninots.....	39
Tabla 2: Niveles de autoría de una obra generada por IA	59
Tabla 3: Distribución de los ninots en el monumento fallero.....	80
Tabla 4: Modelos excluidos de la impresión 3D	100
Tabla 5: Archivos exportados desde el add-on CHOP-CHOP	109
Tabla 6: Parámetros de impresión utilizados en el software de laminado Bambu Studio	111

Resumen

El sector artesanal de los monumentos falleros atraviesa una etapa crítica marcada por el incremento de los costes operativos y la exigencia de optimizar los tiempos de producción, lo que ha propiciado una adopción tecnológica desestructurada de nuevas herramientas digitales. En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo principal desarrollar y validar un marco metodológico estructurado que guíe la implementación eficiente de la Inteligencia Artificial (IA) generativa y la fabricación aditiva en el diseño y producción de fallas, preservando su valor artístico y artesanal. Para lograrlo, se aplicó un diseño metodológico experimental centrado en la creación digital de un monumento infantil completo y la materialización de un prototipo. El flujo de trabajo abarcó la ideación asistida mediante modelos de lenguaje y de difusión, la síntesis tridimensional y modelado 3D asistido por IA a partir de imágenes, el análisis de elementos finitos para la validación estructural, la optimización topológica algorítmica para la manufactura y la ejecución física mediante impresión 3D de un Ninot del monumento fallero infantil generado, el cual fue sometido a técnicas de postproceso tradicional. Los resultados demostraron una reducción en los tiempos de conceptualización y modelado digital gracias a la inteligencia artificial. Paralelamente, la simulación de cargas evidenció la necesidad técnica de adoptar un enfoque de fabricación híbrido, combinando estructuras de carpintería tradicional con partes impresas en fabricación aditiva. A nivel operativo, se alcanzó una notable eficiencia material y temporal, obteniendo un acabado superficial visual y materialmente indistinguible de la técnica convencional con poliestireno expandido. Se concluye que la integración de estas tecnologías de la Industria 4.0 es plenamente viable, moderniza la eficiencia de los talleres, promueve el uso de biomateriales sostenibles y asegura la continuidad del oficio al potenciar la capacidad creativa del artista.

Palabras clave: Inteligencia artificial generativa, Fabricación aditiva, Monumentos falleros, Industria 4.0, Optimización, Modelado Digital

Abstract

The artisanal sector of Fallas monuments is currently facing a critical stage marked by increasing operational costs and the demand to optimize production times, which has led to an unstructured technological adoption of new digital tools. In this context, the main objective of this Master's Thesis is to develop and validate a structured methodological framework that guides the efficient implementation of Generative Artificial Intelligence (AI) and additive manufacturing in the design and production of Fallas, preserving their artistic and artisanal value. To achieve this, an experimental methodological design was applied, focusing on the digital creation of a complete children's monument and the materialization of a prototype. The workflow encompassed assisted ideation using language and diffusion models, three-dimensional synthesis from images, finite element analysis for structural validation, algorithmic topological optimization for manufacturing, and the physical execution via fused deposition modeling of a fifty-five-centimeter component, which underwent traditional post-processing techniques. Empirical results demonstrated a drastic reduction in conceptualization and volumetric blockout times thanks to generative artificial intelligence. Simultaneously, load simulation evidenced the technical need to adopt a hybrid manufacturing approach, combining traditional carpentry load-bearing structures with polylactic acid printed ornamentations. At an operational level, remarkable material and temporal efficiency was achieved, obtaining a surface finish visually and materially indistinguishable from the conventional expanded polystyrene technique. It is concluded that the synergistic integration of these Industry 4.0 technologies is fully viable, modernizes workshop efficiency, promotes the use of sustainable biomaterials, and ensures the continuity of the trade by enhancing the artist's creative capacity.

KeyWords: Generative Artificial Intelligence, Additive Manufacturing, Fallas Monuments, Industry 4.0, optimization, 3D Modelling.

1. Introducción

1.1 Contexto y planteamiento del problema

La fiesta de las Fallas y la construcción de sus monumentos representan una de las expresiones artísticas y culturales más importantes de la Comunidad Valenciana, declaradas patrimonio cultural inmaterial de la humanidad en 2016, siendo una de las cuatro festividades españolas en lograr este reconocimiento (UNESCO, 2026). Desde sus inicios, la tradición fallera ha girado en torno a la construcción de los “monumentos falleros”, grandes esculturas alzadas en las calles, originalmente de cartón y madera, que los vecinos creaban como sátira social para celebrar la llegada de la primavera. Estos monumentos han estado en constante evolución; los artistas falleros aprendían a la vez que creaban, adaptando los materiales y las metodologías de creación de los “ninots” a los nuevos tiempos. A pesar de ser un oficio artesano, actualmente los monumentos falleros conviven con herramientas digitales y procesos propios de la ingeniería, como el mecanizado o la propia impresión 3D. De este modo, las connotaciones artesanales del mundo de las Fallas acabaron aproximándose cada vez más a los vínculos propios del diseño de productos (Colomina, 2011).

En la actualidad, los artistas falleros atraviesan una etapa de crisis profesional, marcada incluso por el temor a la desaparición del oficio. Las exigencias por parte de las comisiones para obtener monumentos con un alto nivel de detalle manteniendo los mismos presupuestos, choca de frente con el incremento constante de los costes operativos de producción, afectando gravemente al beneficio del taller. El gremio lucha diariamente por mejorar las condiciones de su sector, destacando la desilusión generada por algunas comisiones en las que el eje central de la fiesta, el monumento, ha quedado relegado a un segundo plano (Vázquez, 2025).

Ante esta situación, el sector artesano se encuentra en un claro punto de inflexión que determinará el futuro de su oficio. La optimización de la producción de los monumentos y su rentabilidad se han convertido en su objetivo principal, obligando a los talleres a ser más eficientes frente a las exigencias del mercado. Cada vez son más los artistas que integran la fabricación aditiva, llegando a considerarse una tecnología “normalizada” en sus procesos. A su vez, frente al recelo de los clientes ante lo “no humano”, se ha comenzado a utilizar la Inteligencia Artificial de manera casi secreta para poder cumplir con los presupuestos y plazos, evitando así dilemas éticos o de percepción artística. No obstante, esta adopción tecnológica se está produciendo de manera fragmentada, intuitiva y desestructurada (Amorós, 2026).

Actualmente, el uso de estas nuevas herramientas tecnológicas se lleva a cabo sin una metodología clara ni un flujo de trabajo estandarizado, generando un escenario de producción a menudo caótico. Esta falta de sistematización impide que los talleres aprovechen el verdadero potencial de las herramientas digitales y de la fabricación aditiva, convirtiendo lo que debería ser una solución óptima en un proceso continuo de ensayo y error.

Es en esta precisa situación donde nace el planteamiento central de este Trabajo de Fin de Máster: la ausencia de un marco metodológico definido que articule y guíe la implementación de las nuevas tecnologías en el proceso fallero. Existe una necesidad práctica y urgente de investigar la viabilidad de integrar estos sistemas, transformándolos en métodos óptimos para el sector que mejoren tanto la calidad del trabajo como la eficiencia operativa de los talleres.

1.2 Objetivos

Para dar respuesta a la problemática expuesta y establecer un marco de actuación claro, este Trabajo de Fin de Máster define un objetivo principal del cual se derivan una serie de objetivos específicos y una hipótesis central de investigación.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar y validar un marco metodológico estructurado que guíe a los artistas falleros en la implementación eficiente de nuevas tecnologías, específicamente la Inteligencia Artificial y la fabricación aditiva, para optimizar los procesos de diseño y producción del monumento fallero sin comprometer su valor artístico y artesanal. Para poder alcanzar este objetivo principal de manera desglosada y escalonada, se plantean las siguientes metas específicas:

- Investigar y analizar el estado actual de la fabricación aditiva y la Inteligencia Artificial generativa, evaluando sus posibilidades reales de integración y adaptación dentro de los flujos de trabajo convencionales de los talleres falleros.
- Investigar posibilidades de nuevos materiales para la creación de fallas en fabricación aditiva, con especial importancia a materiales sostenibles y ecológicos.
- Diseñar estrategias de optimización geométrica y estructural para las piezas que componen los monumentos, orientadas a reducir el consumo de material, costes operativos y los tiempos de producción.
- Plantear un caso práctico integral a medida que se va desarrollando la metodología, centrado en el diseño conceptual y la ideación de una falla infantil asistida mediante herramientas de Inteligencia Artificial, planificando su Modelado y Fabricación 3D.

- Materializar y verificar la metodología mediante la ejecución de un caso práctico real, consistente en la impresión 3D de un “ninot” infantil, lo que permitirá comprobar los resultados y evaluar la eficiencia operativa y la calidad del acabado final en comparación a métodos tradicionales.
- Realizar una comparativa de los resultados obtenidos por este nuevo método frente a los actuales métodos de creación de monumentos falleros.

Este trabajo de investigación parte de la siguiente hipótesis fundamental:

La viabilidad de utilizar procesos de Inteligencia Artificial y fabricación aditiva en el mundo fallero es alta y positiva; no solo logra reducir los tiempos y costes de producción frente a las exigencias actuales, sino que asegura la supervivencia del sector al proporcionar herramientas que potencian la eficiencia del artista sin sustituir su capacidad creativa.

1.3 Alcance y estructura del documento

El alcance de este Trabajo de Fin de Máster se centra en la investigación, desarrollo y validación de nuevos métodos que integren la Inteligencia Artificial y la fabricación aditiva dentro del flujo de trabajo habitual del artista fallero. El proyecto abarca desde la fase de ideación conceptual, bocetado, modelado 3D y renderizado, hasta el planteamiento de impresión y construcción de una falla infantil al completo, desarrollada íntegramente de manera virtual. A nivel de materialización física, el proyecto toma como caso práctico evaluable la producción e impresión 3D de un único “ninot” perteneciente a dicho conjunto.

En consecuencia, queda expresamente fuera del alcance la construcción integral del monumento infantil a escala real, permaneciendo el resto del conjunto escultórico exclusivamente en formato digital. A su vez, debido a limitaciones logísticas y temporales, se excluye del proyecto la investigación en profundidad sobre la aplicación de la fabricación aditiva en monumentos mayores (fallas grandes). Estos requieren un nivel de estudio estructural más detenido, ya que no siguen la misma metodología de construcción y ensamblaje que un monumento infantil. No obstante, cabe destacar que la metodología desarrollada para la fase de Inteligencia Artificial es transversal; por tanto, aunque en este documento se aplique a una falla infantil, resulta totalmente extrapolable y útil para proyectos de mayor envergadura.

Dado que este trabajo aborda la fabricación de la falla estrictamente desde el punto de vista de la ingeniería y el diseño de producto, no se abarcarán temas correspondientes a las fases de postproceso artesanal de los “ninots” (como los acabados superficiales, aplicación de masillas o pintura), más allá de los efectos químicos o propiedades mecánicas de los materiales que deban tenerse en cuenta durante la impresión. Por último, la investigación se centrará de forma exclusiva en la optimización operativa, el uso de materiales sostenibles y la reducción de tiempos en el taller, descartando la realización de análisis económicos exhaustivos sobre la viabilidad financiera, los cuales solo se abordarán desde una perspectiva general.

Para abordar estos propósitos y facilitar su lectura, el presente documento se estructura en seis capítulos principales. Tras esta introducción inicial, que establece el contexto, la problemática y los objetivos del proyecto, el Capítulo 2 presenta un Análisis del Arte, donde se revisa la información previa, la evolución de las metodologías tradicionales y el estado actual de las tecnologías digitales emergentes aplicables al sector. A continuación, el Capítulo 3 detalla la Metodología diseñada para articular de forma ordenada la integración de estas nuevas herramientas.

El Capítulo 4 recoge el Desarrollo Técnico del proyecto, documentando paso a paso la ejecución del caso práctico integral: desde el diseño conceptual asistido por IA hasta la optimización geométrica y la impresión 3D del ninot. Finalmente, el Capítulo 5 expone los resultados obtenidos tras la evaluación empírica de los resultados y su comparativa con los procesos artesanales, mientras que el Capítulo 6 sirve como conclusión y plantea posibles líneas de actuación y desarrollos a futuro para dar continuidad a la modernización del proceso fallero.

2. Estado del Arte

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Evolución de la fabricación de monumentos falleros

Para poder situarnos en el terreno de investigación de este trabajo, primero debemos hacer un breve recorrido por la historia de los monumentos falleros, su evolución y las justificaciones de sus diseños. Decretado en el BOE “Los monumentos falleros son el elemento central original de la Fiesta y también el elemento simbólico alrededor del cual se desarrolla todo el ciclo ritual. Se trata de un elemento artístico y efímero, con una evolución estética propia.” (Generalitat Valenciana, 2012)

Las Fallas o monumentos falleros, son composiciones de elementos artísticos llamados “ninots”, cargados con una gran crítica social e ironía sobre temas de actualidad, y su principal función es ser quemados (Estado, Decreto 44/2012, de 9 de marzo, del Consell, por el que declara bien de interés cultural inmaterial la Fiesta de las Fallas de Valencia., 2012); cerrando así un ciclo donde se elimina todo aquello malo y se celebra la llegada de la primavera.

Entre muchos de los orígenes, las fallas comenzaron como una acumulación de trastos y muebles de madera que se amontonaban en la calle con el fin de quemarlos (González, 2018). Este término es la denominada “Estoreta velleta”, montañas de trastos que los vecinos juntaban junto a los carpinteros, creando una participación popular de carácter abierto. Entre los elementos que se quemaban encontramos los parots, que servían para colgar las luminarias en los talleres pero, con la llegada del buen tiempo y más horas de sol, perdían su utilidad (Colomina, 2011). Estos parots sirvieron como esqueletos perfectos para la creación de los primeros “ninots”. Se utilizaban ropas viejas, madera y trozos de cartón, y rellenos de paja; para caracterizar a personajes, naciendo así el sentido crítico y satírico donde se quemaban a políticos, alcaldes o propios vecinos (Colomina, 2011). Con el tiempo se fueron introduciendo nuevos materiales que ayudaban a dar volumen a estas figuras, recubriéndolas de papel y cartón (González, 2018). Esta evolución se puede observar en la Figura 1.



Figura 1: teoría de la creación de los primeros "ninots" (ValenciaBonita, 2026)

Estas composiciones evolucionarían para poder dar más carácter a la figura y darle ese toque satírico, con intenciones de exhibición de vergüenza. Para ello empezaron la creación de máscaras de cartón inspirado en la fiesta de carnaval veneciano, cultura próxima a las fallas tanto geográfica como temporalmente (Colomina, 2011). La fabricación de estas máscaras de cartón (véase Figura 2) para la generación de caras y las estructuras de madera recubiertas de cartón perduraron durante el siglo XIX hasta mitades del XX. En este entonces se conocía como el oficio de “cartonero”, ya se necesitaba de destreza para este tipo de esculturas.



Figura 2: Figuras de cartón realizadas a partir de moldes de escayola (Dominguez, 2022)

Con esta nueva tecnología y forma de trabajar creada, la cantidad de “ninots” y escenas representadas en los monumentos fue multiplicándose a mayor grandiosidad, creando elementos compositivos mas conectados entre ellos y dando resultados coherentes en lo que antes eran trozos de madera para quemar. Las primeras fallas primitivas consistían en un escenario “catafalco” con una visión frontal, en el que se situaban los “ninots”. No obstante, las fallas consiguieron esa forma circular característica de la actualidad debido a que por riesgos de incendios se debieron de comenzar a instaurar en cruces de calles, parques, rotondas o plazas, dando lugar a nuevos diseños concebidos en 360 grados. En el interior de la pieza central, la que iba rodeada de los “ninots”; se llenaba de material combustible que sobraba por casa y madera.

Esta nueva complejidad generó la necesidad de un nuevo desarrollo de nuevas técnicas que depuraran el proceso creativo (Colomina, 2011). Es por eso que a mitades del siglo XIX se comienza a utilizar modelos de cera para las expresiones de la cara y extremidades, atribuido este avance tecnológico al artista Antonio Cortina quien introdujo la técnica ceroplástica al mundo fallero.

Durante la primera mitad del siglo XX, las técnicas de cartón y cera convivieron para modular figuras que resultaban la unión de varias piezas externas. Mientras que había un esqueleto interno de madera, se recubría con partes de cartón para crear las extremidades y torsos, y las cabezas y manos quedaban hechas con cera (Colomina, 2011). “Fue en los años 50 cuando el artista Juan Huerta introduce el modelado íntegro de las figuras en cartón (véase Figura 3), abriendo una nueva etapa material y estilística en el mundo fallero” (González, 2018). Este tipo de cartón, conocido también como cartón piedra, presenta alta tenacidad y dureza una vez seco, y tenía una gran ventaja, la utilización de moldes de manera fácil y rápida, lo que hizo que artistas falleros generaran moldes y se los intercambiaran entre ellos por tal de optimizar la producción de “ninots” no repetitivos (Colomina, 2011).

La serialización de los “ninots” garantizó la viabilidad económica de las fallas, fue una tecnología barata y de alta precisión en un momento histórico en el que no había desarrollo económico. Permitió la comercialización de moldes y la repetición, los famosos “refritos” de las fallas, donde las comisiones invierten menor cantidad por una falla con moldes ya existentes, volviendo el mercado fallero mas cercano a una industrialización de productos que algo único y efímero como lo es una pieza artesanal. El mercado del cartón piedra tuvo su auge en la década de los 70 y 80, teniendo un declive con la entrada del corcho blanco (González, 2018).

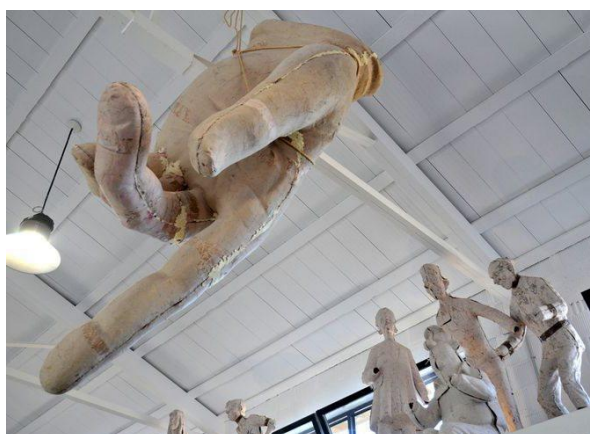


Figura 3: Figuras realizadas con la técnica del cartón íntegro (Anónimo, 2026)

En las últimas décadas del siglo XX se fueron incorporando materiales sintéticos como adhesivos aglomerantes o la pintura plástica. Entre los materiales de construcción de “ninots” surgieron la resina de poliéster, la fibra de vidrio y el poliestireno expandido, que relegaron al cartón piedra a un segundo plano. Una vez, las nuevas tecnologías conviven con los métodos ahora tradicionales.

Por una parte, la combinación de filamentos milimétricos de vidrio mezclada con resina de plástico, poliéster, consigue una gran solidez y estabilidad química. Como resultado se obtiene un material plástico con consistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor, pensado para la conservación a la intemperie. La fibra de vidrio es el sustituto directo del cartón piedra, ya que esos mismos moldes eran utilizados por ambos materiales. No hubo un cambio de tecnología sino un cambio de material (González, 2018).

El poliestireno expandido, o corcho blanco, marcó un antes y después en la creación de las fallas, siendo el material mas versátil y actualmente el mas utilizado.

“Entre sus muchas cualidades podemos destacar su escasa higroscopicidad, es decir, su reducida capacidad para la absorción de agua, su ligereza, y su baja conductividad térmica, lo cual le permite ser un excelente aislante del calor. Se trata, en definitiva, de un producto con una elevada estabilidad frente a los cambios de temperatura y humedad.” (González, 2018)

Sin embargo, una de sus principales desventajas radica en la toxicidad de su combustión, siendo totalmente perjudicial, especialmente al quemar grandes monumentos con un alto contenido de este material. Aunque realmente es mas car que otros materiales, se ha rentabilizado su uso en los talleres en términos de tiempo y horas de trabajo, además de una gran versatilidad de funcionalidades y acabados. Su ductilidad permite el uso de herramientas termo cortadoras, instrumentos abrasivos cortantes o punzantes como sierras, cepillos, metálicos o cúter. Su ligereza ayuda a su vez a eliminar la cantidad de estructura interna necesitada en los esqueletos internos. Su forma de trabajar viene dado por la talla de material con dichas herramientas, de forma escultórica, eliminando el corcho que sobra hasta conseguir el resultado esperado. El modelado con corcho necesita de un post procesado indispensable (véase Figura 4) previo a la pintura, el empapelado con papel de periódico o cartón fino y unas capas de gotelé que le den consistencia y sirvan como base para pintar (González, 2018).



Figura 4: Proceso de fabricación de monumentos falleros con poliéster expandido

En el Siglo XXI, las fallas dieron un gran salto eficiente gracias a las nuevas tecnologías. Por tal de buscar una eficiencia productiva, los “ninots” comenzaron a implementar la tecnología digital y mecanizados. El producto se ha convertido un archivo digital modelo 3D que puede ser manipulado, escalado, y comercializado entre artistas como antiguamente se hacía con los moldes. Gracias a programas informáticos se pueden mecanizar láminas de corcho para ser cortadas exactamente con la forma deseada, pero siempre con la necesidad de un artista para darle toques finales. Así, las fallas se convierten en una obra de ingeniería y diseño, capaz de ser replicado de forma exacta e industrializada. El proceso de mecanizado (véase Figura 5), como explica González (2018), funciona de la siguiente manera:

“El trazador térmico es un mecanismo controlado por ordenador que incorpora un filo de resistencia de níquel y cromo que puede alcanzar temperaturas próximas a los 800grados. El calor emitido por este filo provoca la evaporación del material que se encuentra cerca y practica secciones muy precisas. Gracias al riguroso procedimiento de control numérico que proporciona el ordenador, combinado con la posibilidad de establecer unos parámetros determinados de materiales y cortes, es posible conseguir unos resultados de increíble precisión que queden ajustados a las características de cada trabajo concreto. De esta manera, los trazadores térmicos permiten cortar cualquier objeto tridimensional en materiales de hasta 40Kg/m3 de densidad, que tengan que ser sometidos al proceso térmico, como son el poliestireno expandido (EPS), el poliestireno extruido (XPS), y la espuma de poliuretano, entre otros.”

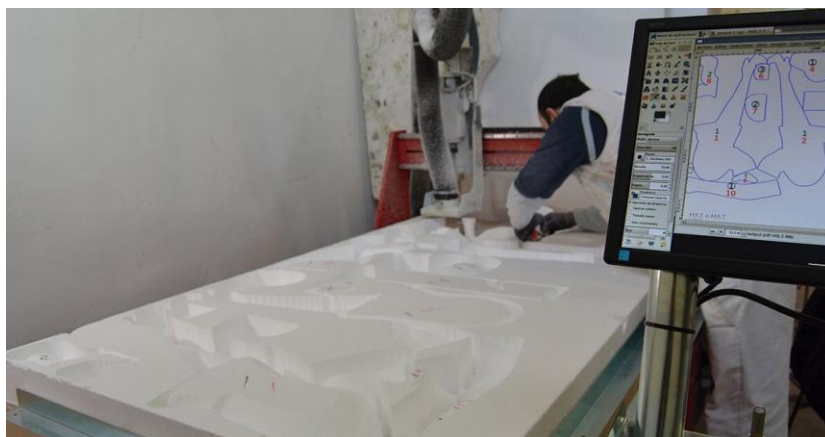


Figura 5: Fresado por CNC de lamina de poliéster expandido para el modelado de una falla (Aida, 2019)

Diversas nuevas tecnologías han ayudado a mejorar el proceso de creación de fallas y se han creado nuevos métodos que, actualmente, son la fabricación por excelencia de ellas. Es por eso que todos estos métodos serán comentados en el siguiente apartado “Análisis técnico del proceso de fabricación actual”.

Por concluir, el proceso de fabricación de monumentos falleros siempre ha estado en constante cambio, innovación y mejora continua de los procesos. Dichos cambios nunca han sido disruptivos, en cambio, fueron procesos lentos y convivientes, las nuevas tecnologías siempre intentaban adaptarse a las estandarizadas del momento. La evolución de las fallas ha estado totalmente ligada al cambio, a la mejora de la eficiencia en el taller y a encontrar una mejor calidad en el detalle sin perder tiempo invertido. Este apartado nos sirve de ayuda para entender el uso de la fabricación aditiva y la IA en el proceso fallero. La Figura 6 muestra de forma esquemática y resumida la evolución previamente explicada en este apartado.

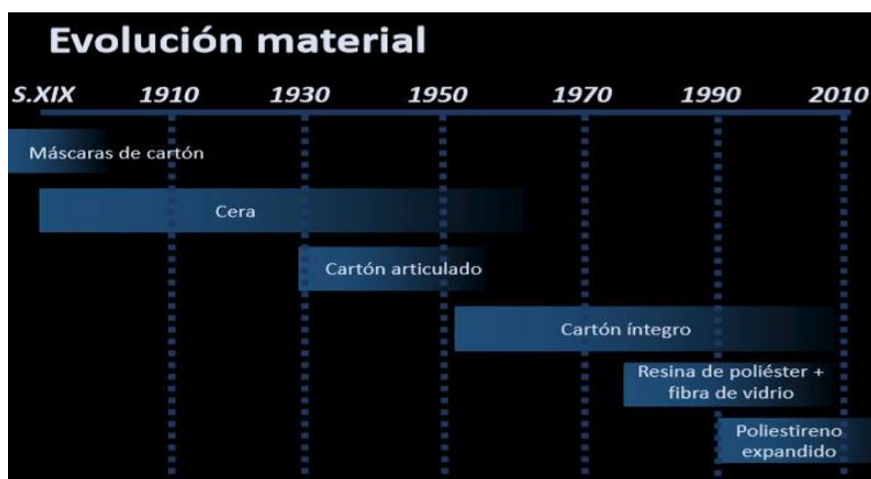


Figura 6: evolución de la fabricación de monumentos falleros (Colomina, 2011)

2.1.2 Análisis técnico del proceso de fabricación actual

Una vez vista la evolución histórica de la fabricación de los monumentos falleros, resulta fundamental entender al detalle el proceso actual de producción en los talleres. Este análisis permitirá identificar las áreas de mejora operativas y definir con exactitud cómo y dónde se pueden integrar metodologías basadas en Inteligencia Artificial y fabricación aditiva.

Con la llegada de las nuevas tecnologías digitales, la elaboración de monumentos falleros no solo cambió sus métodos y herramientas, sino que ha experimentado una profunda sectorización de sus flujos de trabajo. Por un lado, se encuentra la ideación e Figura de la falla, donde se genera el concepto y el boceto inicial. Esta es la fase más artística y creativa, en la cual se plasma el monumento desde una perspectiva visual, sin atender todavía a la tridimensionalidad real ni a cálculos estructurales. Seguidamente, encontramos la fase de modelado 3D digital del proyecto mediante software especializado, como Blender. Es en este punto de transición geométrica donde el proceso adquiere una faceta propia de la ingeniería y el diseño técnico, dejando a un lado la mirada puramente artística para empezar a considerar factores críticos de cargas, tolerancias, planimetría estructural y ensamblajes. Por último, se aborda la fabricación y ensamblaje de la estructura para materializar el proyecto. Mediante la utilización de procesos de mecanizado CNC (fresado) y técnicas manuales de taller, el diseño virtual toma forma volumétrica real gracias a la intervención y el trabajo físico del artista fallero y su equipo.

Esta nueva partición operativa genera la posibilidad de fragmentar el desarrollo, especializando los diferentes puestos de trabajo. La figura del artista fallero ya no exige necesariamente un perfil individual y absolutamente multidisciplinar (artístico-técnico), sino que a menudo coordina o se integra en un equipo de profesionales dedicados a ámbitos específicos. En la actualidad, son muchos los artistas falleros que trabajan de la mano de ilustradores, ingenieros y especialistas en modelado 3D, consolidando un flujo de trabajo altamente distribuido y especializado. Así, como muestra la Figura 7:



Figura 7: Flujo de Trabajo del proceso de monumento fallero (Elaboración Propia)

Toda falla nace de una fase inicial de conceptualización, una idea y concepto temático en torno al cual gira el monumento fallero y sobre el que se articula su crítica social. Es en esta etapa donde el artista genera un primer boceto general, un documento gráfico que funciona como cimiento del proyecto (véase Figura 8) y sirve como herramienta de comunicación visual para su presentación ante la comisión fallera. Este boceto se convierte en la guía de diseño principal para el artista.

Aunque históricamente estos bocetos han utilizado técnicas plásticas como la acuarela o el lápiz, las nuevas tecnologías han dado paso a la digitalización absoluta de los mismos. Esto facilita la iteración rápida de ideas, la prueba de distintas paletas cromáticas y la libre maquetación y disposición del monumento de manera sencilla. La característica principal de esta fase es su libertad estructural; al plantearse la idea desde una visión 2D, no se restringe por la volumetría real. A pesar de ello, el artista o ilustrador a cargo del boceto debe ser plenamente consciente de las técnicas de construcción de los monumentos falleros, las cargas estructurales y demás condicionantes para evitar posteriores fallos de coherencia estética y física respecto al modelo final.



Figura 8: Figura de "Icònica", Propuesta de Paco Camallonga para la falla del Pilar 2025 (Cendra Digital, 2025)

Este boceto general de la propuesta sirve como referencia visual global. A lo largo del proceso de ideación y su posterior modelado, suelen aparecer nuevas incorporaciones o cambios fruto de la improvisación y la adaptación técnica. A partir del boceto principal, se generan bocetos

individuales de cada una de las escenas y "ninots" a representar en el monumento, detallando diferentes vistas y perspectivas importantes antes de proceder a su modelado 3D (Platero, 2017).

Consolidado el diseño conceptual, es hora de pasarlo a un modelo 3D. Para ello pasamos a un diseño mas técnico, incluyendo dimensiones y volúmenes a las imágenes 2D. En la fase de modelado, no solo hay detrás un proceso artístico, sino un entendimiento del modelo como una estatua tangible pensada en ser expuesta a condiciones específicas. Es por ello que el trabajo de el artista o diseñador debe ser riguroso bien calculado.

El Modelado 3D digital fue un gran avance en comparación a los métodos tradicionales gracias a su reducción de tiempos, calidad de acabados y la eliminación de espacio en los talleres, además de poder generar modificaciones a la propuesta en cualquier momento (Falles 3D, 2026). Se utilizan softwares de modelado no paramétrico y modelado poligonal, generalmente Blender o Z-brush. Aquí es donde empieza un riguroso trabajo de modelado, intentando imitar al máximo detalle el boceto 2D para llevarlo al 3D. Este proceso suele ser tedioso y muchas veces implica una carga de trabajo importante ya que el modelado lleva muchas horas de trabajo. Es por eso que muchos artistas optan por la compra de modelos 3D ya existentes creados por otros artistas, o los reutilizan como "refritos" (donde anteriormente se utilizaban con moldes ahora con modelos). El proceso actual de modelado es costoso y muy dependiente de la interpretación humana. Las Figuras 9 y 10 muestra el proceso llevado para el modelado de los ninots.



Figura 9: Diseño del ninot "El poble salva al poble" de Paco Camallonga para la falla del Pilar 2025 (Camallonga, 2025)



Figura 10: Escultura Digital del ninot "El poble salva al poble" de Paco Camallonga para la falla del Pilar 2025 (Camallonga, 2025)

A esta dificultad temporal se le suma una exigencia técnica fundamental. durante esta fase puramente artística, el modelador no puede limitarse a esculpir de forma libre. Debe mantener una visión analítica del volumen y concebir el diseño anticipando su futura materialización física. Aunque el modelado sea orgánico, el artista debe previsualizar la futura segmentación del "ninot". Es decir, debe modelar pensando en las líneas de corte naturales (separación de brazos, cabezas, accesorios o torsos) que facilitarán el posterior despiece, como muestra la Figura 11. Una malla mal planteada desde su concepción artística, con intersecciones complejas o voladizos sin separación lógica, generará problemas insalvables en las siguientes fases de mecanizado o impresión 3D. Este proceso de segmentación de partes es muy importante debido a que es necesario minimizar al máximo el volumen de un ninot por tal de facilitar el fresado de las láminas de poliespán. Generalmente se segmentan las cabezas y extremidades, las zonas con mayor detalle, del cuerpo principal.

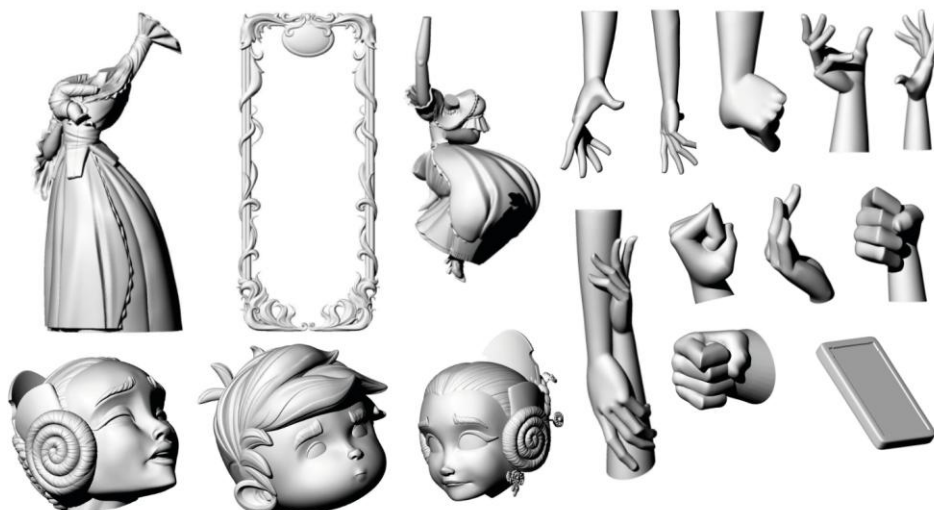


Figura 11: Piezas Pilar 25 e15-40 del catálogo 2025 Falles 3D

Una vez creado y segmentado el modelo 3D, es importante verificar su viabilidad mediante estudios físicos que demuestren su firmeza ante los procesos de fabricación seleccionados y las leyes de la estática. En esta fase entra en juego el cálculo y diseño de la estructura portante interna (véase Figura 12), comúnmente denominada "caballete". El software 3D permite seccionar y vaciar digitalmente las figuras para proyectar este esqueleto de madera. Mediante el análisis tridimensional, el ingeniero o artista técnico puede asegurar que el centro de masas de la composición esté correctamente posicionado, garantizando que el monumento final sea estable y capaz de resistir tanto su propio peso como las cargas dinámicas externas, principalmente la fuerza del viento. El diseño de estas estructuras cobra especial relevancia en

los monumentos de gran envergadura (fallas grandes), mientras que en los "ninots" estándar de menor tamaño suelen requerir armazones más sencillos debido a las menores cargas dinámicas a las que están sometidos.

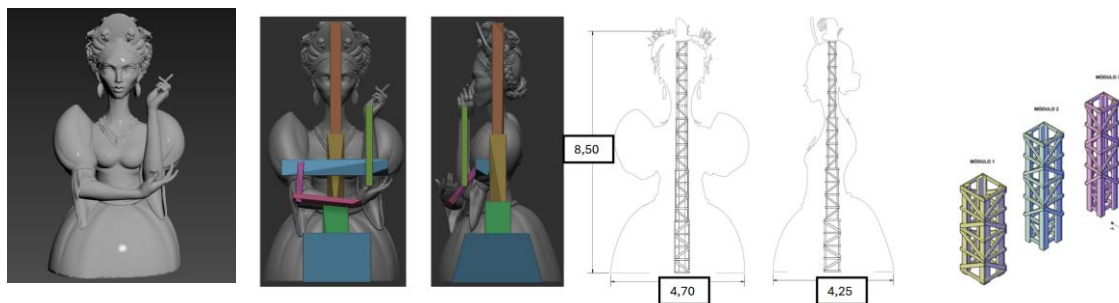


Figura 12: Ejemplo de cálculo de estructuras En el monumento de Falla Cuba-Literario Azorín 2024 (UPV, 2026)

Como guía básica de diseño de estructuras para fallas, según Capuz (2022), encontramos:

Disminución de la anchura de elementos estructurales con la altura. Las dimensiones de las barras y soportes deben adaptarse a las cargas que soportan, siendo más ligeras en las partes altas y más robustas en las bases, dificultando así el vuelco de la falla (véase Figura 13).



Figura 13: Dibujo explicativo de la variación de tamaño (Capuz, 2022)

Esfuerzos de compresión y tracción generados por un elemento volado. Es necesario que la estructura posea una resistencia y estabilidad que supere ampliamente los valores de las cargas que generan las piezas en voladizo debido a su propio peso (véase Figura 14).

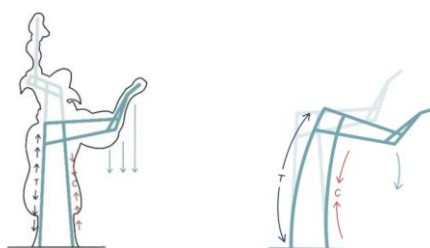


Figura 14: dibujo explicativo compresión y tracción generados por voladizo (Capuz, 2022)

La resultante generada por el viento y el peso propio. Se trata de una variable discontinua de vital importancia. La prevención es clave, ya que la carga horizontal del viento se combina con la carga vertical del peso, generando un momento de vuelco (véase Figura 15).

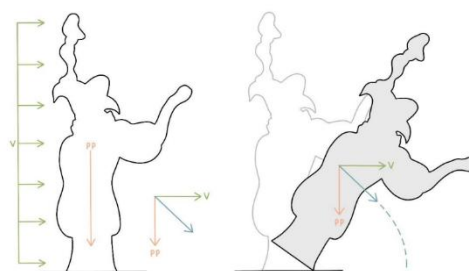


Figura 15: Dibujo Explicativo del vuelco en una falla (Capuz, 2022)

Anisotropía de la madera. Dada la naturaleza del material estructural, su resistencia a las cargas varía según la dirección de las fibras. Se deberá analizar la orientación de las piezas para evitar que trabajen en sus posiciones más débiles (véase Figura 16).

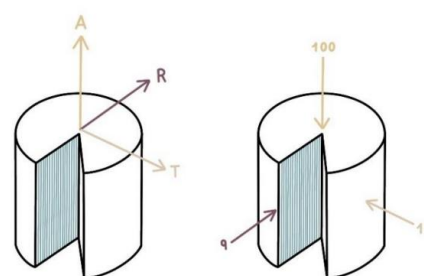


Figura 16: Dibujo explicativo de la anisotropía de la madera (Capuz, 2022)

Higroscopicidad de la madera. Capacidad de la madera para absorber la humedad ambiental, lo que provoca su hinchamiento, un aumento de su peso y una consecuente pérdida de resistencia mecánica. La estructura debe estar correctamente recubierta por el volumen exterior para minimizar este impacto (véase Figura 17).

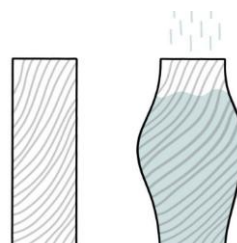


Figura 17: Dibujo explicativo de la higroscopicidad de la madera (Capuz, 2022)

Tras la validación estructural, se procede a la preparación del archivo para su fabricación asistida. Las máquinas de control numérico por computadora (CNC) utilizadas en la actualidad, como las fresadoras de tres ejes, poseen volúmenes de trabajo limitados. Asimismo, la materia prima, el poliestireno expandido (EPS), se suministra en bloques de dimensiones estándar. Por tanto, el volumen digital debe dividirse en proporciones que se ajusten a la maquinaria establecida.

Para ello, el modelo 3D se segmenta en "curvas de nivel" (proceso conocido como *slicing*), dimensionadas exactamente con el espesor de las planchas del material seleccionado (véase Figura 18). Durante este proceso, se ajustan las superficies para optimizar el EPS: se calculan los espesores internos (dado que los "ninots" no son macizos, sino huecos para aligerar peso), se determina el número exacto de planchas necesarias y se proyecta el ahorro de material. Una vez definidos los espesores, se planifican los puntos de encaje entre las diferentes piezas y los orificios auxiliares por donde se situarán las estructuras de madera encargadas de cohesionar y dar rigidez al conjunto (véase Figura 19). Frecuentemente, se añaden zonas de ensamblaje con geometrías específicas, como la cola de milano (Orozco-Messana, 2008).

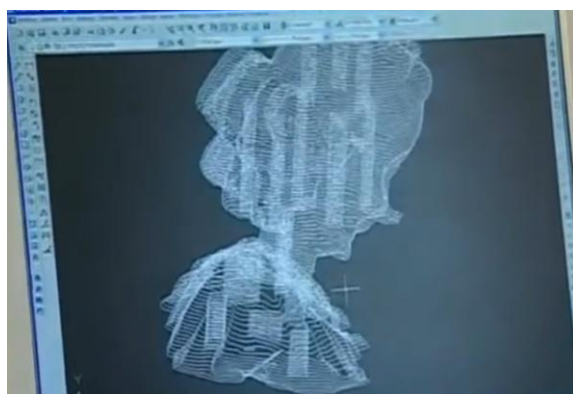


Figura 18: Generación de las curvas de nivel del Ninot (Orozco-Messana, 2008).



Figura 19: Superficie de corte ajustada y optimizada (Orozco-Messana, 2008).

Generadas las secciones de corte, estas se distribuyen en una mesa de trabajo virtual con el objetivo de aprovechar al máximo la superficie del material, empleando algoritmos de anidamiento o *nesting* (véase Figura 20). Se añade una identificación o codificación a cada pieza para facilitar su posterior ensamblaje. Posteriormente, la máquina CNC ejecuta la operación con un corte limpio y preciso, recorriendo la superficie de la plancha. Una vez finalizado el corte (véase Figura 21), la fase que mayor tiempo y recursos consume es el ensamblaje físico, un trabajo manual que exige identificar cada una de las piezas por su sección y unir las a sus adyacentes, conformando un rompecabezas 3D a gran escala (Orozco-Messana, 2008).



Figura 20: Planos de Corte CNC con las superficies anidadas (Orozco-Messana, 2008).



Figura 21: Piezas de poliespán cortadas por CNC (Orozco-Messana, 2008).

Las piezas de EPS se ordenan sección por sección y se apilan por alturas, adhiriéndose habitualmente con colas especiales con base de silicato. Este proceso técnico requiere un alto consumo de mano de obra. Durante el montaje, se integran los elementos de rigidización interna previamente calculados. El ensamblaje de estos bloques da como resultado una aproximación escalonada a la superficie final del "ninot". Las Figuras 22 y 23 muestran el resultado interior y exterior de este ensamblaje realizado.

El proceso de mecanizado y ensamblaje concluye aquí, dando paso a una fase más artística y manual. El artista fallero debe intervenir físicamente la pieza, lijando los escalones dejados por las planchas y aportando el modelado físico final que definirá la textura y el acabado volumétrico definitivo de la obra (Figura 23) antes de proceder a las labores de postprocesado y pintura (Orozco-Messana, 2008).



Figura 22: Estructura montada de las distintas curvas de nivel (Orozco-Messana, 2008).



Figura 23: Vista del ninot con la superficie lista para el modelado manual final (Orozco-Messana, 2008).

En primer lugar, el artista debe tallar y lijar físicamente la pieza para eliminar los escalones resultantes del corte de las planchas, esculpiendo los detalles finos y definiendo la textura

orgánica del modelo (véase Figura 24). Este proceso da totalmente el acabado a gusto del artista, destacando su destreza en el trabajo. Una vez conseguida la forma deseada, volvemos al método tradicional de fabricación de ninots, pero con una condición nueva especial: el EPS presenta un problema inherente: es un material estructuralmente blando en su superficie, altamente poroso y vulnerable a ciertos disolventes químicos presentes en las pinturas (Platero, 2017).



Figura 24: Proceso de postlijado de la CNC (González, 2018)

Para solucionar esta debilidad superficial, es estrictamente necesario someter la pieza a un proceso de empapelado (véase Figura 25). Este procedimiento consiste en recubrir la totalidad de la figura con capas de papel de periódico o cartón fino, adheridas de forma manual mediante engrudo. Se trata de un trabajo sumamente arduo, repetitivo y que consume una cantidad ingente de horas de mano de obra (Platero, 2017).



Figura 25: Proceso de empapelamiento de los ninots (Riol, 2026)

Tras el empapelado tradicional y su correspondiente tiempo de curado, la superficie se prepara mediante la aplicación sucesiva de varias capas de imprimación o gotelé (véase Figura 26). Estas capas de relleno se lijan alternando diferentes granulometrías, para otorgar a la figura una consistencia sólida. Este esfuerzo busca conseguir un acabado liso y pulido que sirva como base óptima para la absorción del color (Platero, 2017).



Figura 26: Imprimación de la pieza previa a la pintura (Riol, 2026)

Finalmente, la pieza entra en la fase de cromatismo y detallado final (véase Figura 27). Se aplican técnicas pictóricas utilizando pintura plástica, combinando el fondeado a pincel con el uso del aerógrafo para generar transiciones suaves, luces y sombras. En esta última etapa se integran también elementos de texturización externa y ornamentación, culminando la obra y dejándola lista para su embalaje, transporte y posterior *plantà* en la calle (Platero, 2017).



Figura 27: Proceso de pintura y detalles (Riol, 2026)

2.1.3 Fabricación aditiva y materiales

Para poder plantear una integración metodológica de la fabricación aditiva en el sector fallero, es necesario realizar un breve análisis del panorama actual de dicho proceso, evaluando qué tecnologías y materiales emergentes poseen la viabilidad necesaria para adaptarse a los volúmenes, costes y normativas exigidas por los monumentos falleros.

La fabricación aditiva, popularmente conocida como impresión 3D, engloba un conjunto de tecnologías basadas en el proceso de unión de materiales para crear objetos capa a capa provenientes de archivos 3D de un modelo digital (AIDIMME, 2026). Esta técnica puede ser considerada la opuesta a las tecnologías de fabricación sustractiva, que son las que actualmente predominan en la creación de monumentos falleros mediante fresado. La Figura 28 muestra el proceso de esta fabricación.



Figura 28: Proceso de fabricación aditiva (AIDIMME, 2026)

Sus orígenes se remontan a la década de 1980 con la invención de la estereolitografía. Inicialmente, la fabricación aditiva surgió como un método de prototipado rápido; su alto coste limitaba su uso a la validación geométrica y funcional de diseños en fases de ingeniería previas a la fabricación de moldes para la producción en masa. Sin embargo, en los últimos años ha experimentado un auge exponencial gracias al avance de la investigación en esta tecnología, pudiendo considerarse como uno de los procesos de fabricación industrial más importantes para el futuro (AIDIMME, 2026).

En comparación con otras tecnologías más utilizadas en el mercado (como muestra la Figura 29), la fabricación aditiva es un proceso habitualmente más lento y que necesita una gran optimización para conseguir la misma precisión superficial que otros métodos logran de serie. Sin embargo, la característica fundamental de la impresión 3D es su altísima capacidad de generar complejidad geométrica, pudiendo adaptarse a la gran mayoría de diseños. Mientras que en otras

tecnologías el diseño de las piezas se ve limitado por las restricciones de la producción, en la fabricación aditiva es la producción la que se adapta al diseño (AIDIMME, 2026).

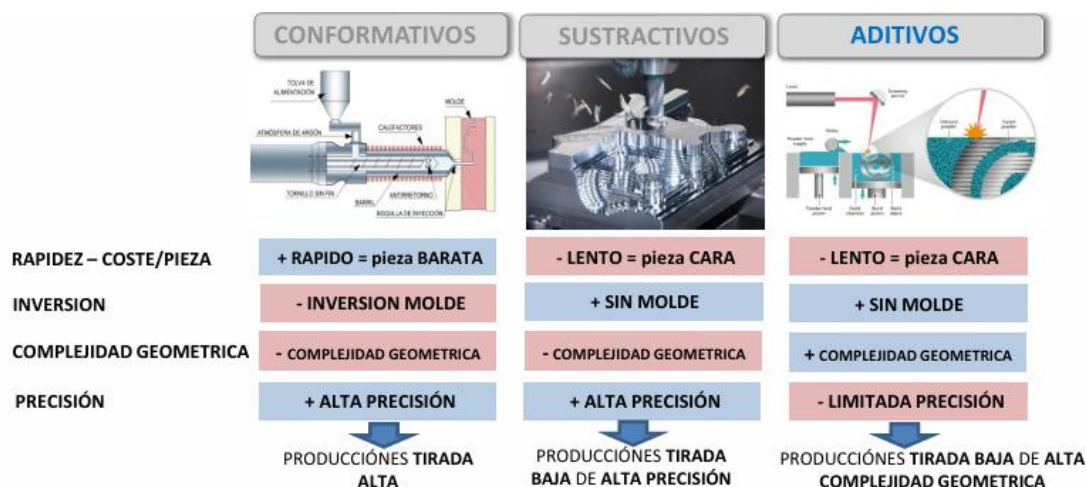


Figura 29: Tabla comparativa de procesos de fabricación (AIDIMME, 2026)

Así, la fabricación aditiva es ideal para producciones de tirada baja donde se busca una alta complejidad geométrica del modelo. Para el caso de los "ninots" falleros, esta tecnología resulta idónea, ya que las piezas impresas no necesitan de una precisión micrométrica al salir de la máquina, puesto que, como se analizó anteriormente, serán sometidas posteriormente a procesos de lijado, enmasillado y pintado.

Para el ámbito de este trabajo de investigación, se profundizará exclusivamente en aquellas tecnologías de fabricación aditiva de plásticos por una razón fundamental: el destino final de las fallas es la *cremà* (combustión), por lo que se descarta categóricamente toda tecnología de impresión metálica o cerámica. Dentro del ámbito de los materiales plásticos y poliméricos, la normativa internacional (ISO/ASTM 52900) clasifica la fabricación aditiva en diversas categorías (Figura 30 mostrando su comparación) según el principio físico utilizado para la deposición y consolidación de las capas, destacando tres métodos principales (AIDIMME, 2026):

- **Fotopolimerización en tanque (SLA / VPP-LED):** Se basa en la utilización de resinas líquidas fotosensibles contenidas en una cubeta, las cuales se solidifican capa a capa al ser expuestas a una fuente de luz ultravioleta. Ofrece la mayor resolución geométrica y un acabado superficial excepcionalmente liso, pero las resinas son altamente costosas, los volúmenes de impresión están severamente limitados por el tamaño de la maquinaria y las piezas resultantes suelen ser frágiles y degradables bajo la radiación UV al estar expuestas al sol (AIDIMME, 2026).

- **Fusión de lecho de polvo (SLS / PBF):** Emplea un láser de alta potencia para fundir y fusionar selectivamente partículas micrométricas de polvo de polímero, habitualmente Poliamida. Su gran ventaja operativa es la ausencia de soportes en su fabricación, ya que es el propio polvo no fundido el que sostiene la pieza. No obstante, esta tecnología presenta elevados costes de adquisición de máquinas y restricciones en los volúmenes de producción, haciéndola económicamente inviable para producciones a gran escala. Además, el polvo de poliamida requiere un manejo estricto por su toxicidad ambiental, necesitando ventilaciones homologadas y salas de aislamiento (AIDIMME, 2026).
- **Extrusión de material (FDM/ MEX-TRB/P):** Es el método más extendido a nivel global. Consiste en fundir un polímero termoplástico y extruirlo a través de una boquilla, depositando un cordón de material que se enfría y solidifica sobre la capa anterior. Debido a su escalabilidad, el bajo coste relativo tanto de la maquinaria como de las materias primas, y su capacidad de adaptación a formatos gigantes, esta es la rama tecnológica que centra el interés del presente trabajo de investigación.

		
EXTRUSION (MEX)	FOTO CURADO EN TANQUE (VPP)	LECHO DE POLVO (PBF)
- PROCESO LENTO	+ PROCESO RÁPIDO	+ PROCESO RÁPIDO
+ BAJA INVERSIÓN	-MAYOR INVERSIÓN	-MAYOR INVERSIÓN
- PRECISA	+PRECISA	+PRECISA
- COMPLEJIDAD GEOMÉTRICA	- COMPLEJIDAD GEOMÉTRICA	+ COMPLEJIDAD GEOMÉTRICA
+FLEXIBLE	-MENOR FLEXIBILIDAD DE PROCESO	-MENOR FLEXIBILIDAD DE PROCESO
- PRESTACIONES MECÁNICAS	+PRESTACIONES MECÁNICAS	+PRESTACIONES MECÁNICAS
-INFRAESTRUCTURAS	+INFRAESTRUCTURAS	+INFRAESTRUCTURAS
LOTES PEQUEÑOS, SIN EXIGENCIA MECÁNICA Y QUE NO REQUIERAN PRECISIÓN, COMPLEJIDAD MEDIA	LOTES MEDIOS O GRANDES QUE REQUIERAN PRECISIÓN, BUEN ACABADO Y TENGAN COMPLEJIDAD MEDIA	LOTES GRANDES, PIEZAS COMPLEJAS QUE REQUIERAN BUENAS PRESTACIONES MECÁNICAS.

Figura 30: Tabla comparativa procesos de fabricación aditiva en plásticos (AIDIMME, 2026)

Tras comparar las distintas tecnologías, se confirma que la extrusión es la tecnología más idónea, y la única factible en la actualidad para el proceso artesano fallero, debido a su baja inversión, flexibilidad y facilidad de implantación en talleres existentes. Aunque las tecnologías de SLA y PBF presentan una mayor resolución, sus elevados costes, rigidez operativa y el uso de materiales tóxicos las descartan directamente para el proceso de creación de monumentos falleros

El proceso de extrusión FDM consiste en alimentar un hilo continuo de polímero termoplástico sólido hacia un cabezal de extrusión calentado (comúnmente denominado *hotend*). En el interior de este cabezal, el material alcanza su punto de fusión y es extruido a través de una boquilla calibrada (*nozzle*). El cabezal se desplaza trazando la geometría de la pieza, depositando un fino cordón de plástico semihundido sobre una plataforma de construcción. Al entrar en contacto con el exterior o con la capa inferior, el material se enfría y se solidifica rápidamente, fusionándose termoplásticamente con el nivel anterior y construyendo el objeto tridimensional capa a capa (AIDIMME, 2026). La Figura 31 muestra este proceso enumerado.

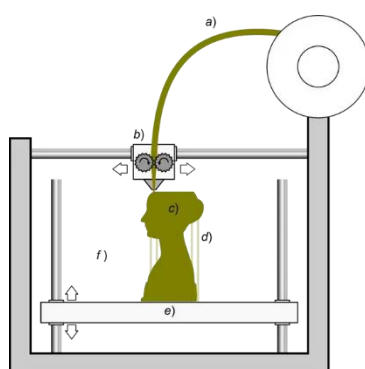


Figura 31: esquema ilustrativo de la fabricación por extrusión y sus componentes: a) filamento b) Extrusor c) figura d) soportes e) cama caliente f) ambiente (Weerg, 2025)

Las impresoras 3D FDM se componen de un sistema diseñado para posicionar el cabezal de extrusión en el espacio tridimensional. Estas máquinas utilizan motores paso a paso que garantizan una precisión tanto en el desplazamiento del cabezal como en la tracción del extrusor que empuja el material. Estas máquinas leen los archivos del modelo 3D creados con softwares slicers, el cual crean coordenadas de impresión. Lo bueno de esta tecnología es que es la mas grande en el mercado, con una gran variedad de máquinas y precios, rondando entre los 300€ y 700€ las mejores para este tipo de impresión de monumentos falleros (AIDIMME, 2026) (véase Figura 32).

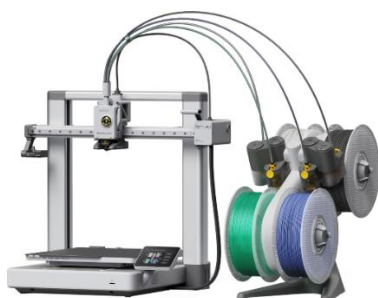


Figura 32: Impresoras 3D asequibles en el mercado (AIDIMME, 2026)

Hay diferentes parámetros y condiciones a tener en cuenta cuando se fabrica en sistemas de extrusión de filamento para poder conseguir una impresión limpia y precisa; además de poder optimizar al máximo la impresión y conseguir los máximos resultados con el menor coste de material y tiempo. Según la guía de (AIDIMME, 2026):

Capas

El software de laminado segmenta el modelo tridimensional definiendo diferentes zonas estructurales: las capas inferiores base (*bottom layers*), los perímetros o contornos exteriores (*walls*), el patrón de relleno interior (*infill*) y las capas superiores de cierre (*top layers*). La resolución y resistencia de la pieza dependerán de cómo se configuren los grosores y el número de pasadas en cada una de estas zonas (véase Figura 33).

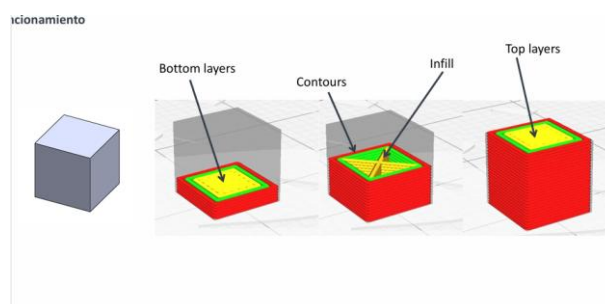


Figura 33: distintos tipos de capas en la impresión 3D (AIDIMME, 2026)

Soportes y posicionamiento de la pieza

Las geometrías que presentan voladizos con ángulos pronunciados requieren la creación de estructuras de soporte temporales y desechables. Un posicionamiento y orientación estratégica de la pieza sobre la plataforma de impresión es vital para minimizar la necesidad de estos soportes, ahorrando material, tiempo de impresión y labores de postprocesado. Se recomienda seguir la técnica “THEY” (véase Figura 34).

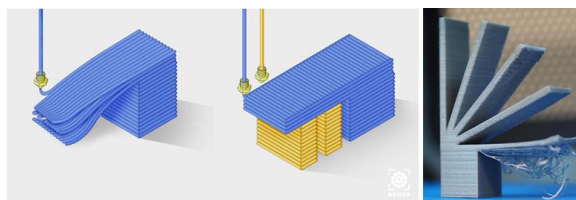


Figura 34: Soportes en la impresión 3D (AIDIMME, 2026)

Anisotropía

Las piezas impresas 3D no se comportan igual en todas las direcciones. Debido a la naturaleza constructiva capa a capa, la adherencia termoplástica entre los niveles es estructuralmente más débil que la resistencia a lo largo de los hilos continuos depositados en los ejes X e Y. Por tanto, la pieza debe orientarse en la máquina considerando la dirección de los esfuerzos o cargas mecánicas que vaya a soportar en su uso final (véase Figura 35).

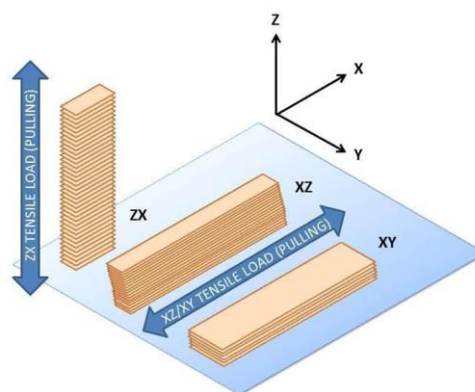


Figura 35: Concepto de la anisotropía para la fabricación aditiva (AIDIMME, 2026)

Warping

Se produce debido a la contracción térmica diferencial del plástico. Combeando las esquinas y base, levantándose y despegándose de la plataforma de impresión, lo que puede arruinar la viabilidad dimensional del modelo (véase Figura 36).

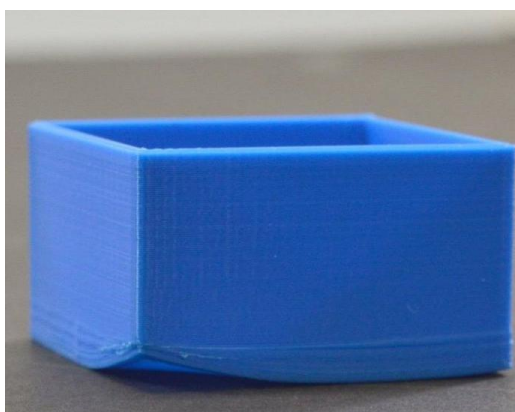


Figura 36: Efecto warping en una pieza impresa 3D (AIDIMME, 2026)

Relleno

Para optimizar los tiempos de fabricación, reducir el peso de la estructura y minimizar el gasto de material, el interior de los volúmenes cerrados no se imprime de forma maciza. Se genera un infill con un porcentaje de densidad variable. La elección del tipo de patrón y su densidad afectará directamente a la resistencia estructural y al peso final del

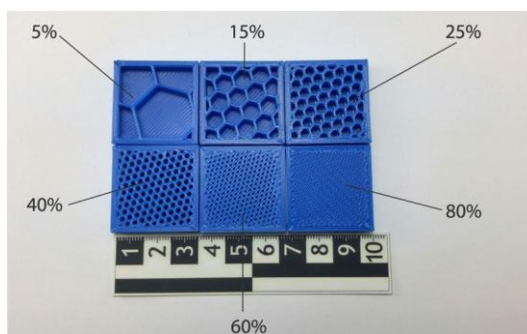


Figura 37: Rellenos y densidades (AIDIMME, 2026)

modelo impreso, así como su optimización (véase Figura 37).

La materia prima de esta tecnología se suministra en forma de un hilo calibrado (generalmente de 1.75 mm o 2.85 mm de diámetro) enrollado en bobinas. Los plásticos más utilizados en esta tecnología son el PLA, ABS, PETG entre otros. El PLA es un bioplástico de origen vegetal que presenta baja contracción térmica y ausencia de deformaciones severas o . Además, el formato de filamento permite la creación de *composites* o materiales compuestos, mezclando la base plástica con partículas de madera, corcho o fibras naturales, alterando tanto sus propiedades mecánicas como su textura y comportamiento ante la combustión (AIDIMME, 2026).

Respecto a la implementación empírica de la fabricación aditiva en el sector fallero, esta técnica experimentó un notable impulso de adopción en los años previos a la pandemia de COVID-19. En la actualidad, la tecnología se ha democratizado, siendo habitual que la gran mayoría de los talleres artesanos cuenten con, al menos, una máquina de impresión 3D en sus instalaciones. Como referente destacado en la aplicación de este método encontramos a Grego Acebedo, artista fallero pionero que, además, ha integrado la fabricación aditiva como línea de negocio profesional. La Figura 38 muestra una pieza impresa en 3D de dicho artista.



Figura 38: Pieza de Grego Acebedo impresa en fabricación aditiva (Acebedo, 2025)

Aunque el trabajo de Acebedo se ha centrado históricamente en fallas de sección infantil, en el año 2026 debutó en la categoría de monumento mayor incorporando la impresión 3D (véase Figura 39). No obstante, se evidencia una diferencia de escalabilidad: mientras que en los monumentos infantiles la fabricación aditiva puede abarcar gran parte de la volumetría, en las

fallas de gran formato su uso queda reservado principalmente a la producción de detalles, articulaciones, rostros o elementos que exigen una precisión geométrica superior.



Figura 39: Pieza de Poliexpan junto a detalles en PLA (Acebedo,2026)

Para comprender el impacto real de esta tecnología a pie de taller, el pasado 8 de abril de 2026 se realizó una entrevista al artista fallero David Ojeda Amorós, especializado en monumentos infantiles de Sección Especial y Sección 1ªA, e impulsor del uso de Inteligencia Artificial generativa y fabricación aditiva en el proceso creativo. De su experiencia empírica se extraen las siguientes ventajas competitivas para el sector:

- Eliminación del postproceso pesado: A diferencia del poliestireno expandido (EPS), que requiere ser empapelado para ganar rigidez superficial y resistir la agresividad química de las pinturas, las piezas impresas en FDM poseen una cáscara perimetral sólida desde el momento de su extrusión. Esto suprime las arduas labores manuales de empapelado, permitiendo el paso directo a las fases de lijado suave, imprimación y pintura.
- Complejidad geométrica: La extrusión termoplástica permite generar formas orgánicas intrincadas, voladizos y texturas que serían imposibles o estructuralmente demasiado frágiles si se tallaran en corcho blanco.
- Control estructural y de peso: La capacidad de parametrizar digitalmente el relleno interior (*infill*) y el grosor de los perímetros exteriores otorga a los artistas un control

absoluto sobre el centro de masas, facilitando la creación de volúmenes colosales con pesos optimizados.

A pesar de sus evidentes beneficios, la fabricación aditiva presenta desventajas operativas significativas que frenan su adopción total. En primer lugar, la limitación temporal de la producción. El artista que desee basar su flujo de trabajo en el FDM debe asumir que una sola impresora es insuficiente; se requiere la inversión y el mantenimiento de una "granja de impresión" (múltiples máquinas trabajando en paralelo) para amortizar los tiempos, lo que supone un incremento considerable de los costes fijos del taller.

En segundo lugar, existe un factor metodológico y cultural: el rechazo a la pérdida de improvisación. Una de las características inherentes al tallado tradicional de "ninots" en corcho blanco es la maleabilidad del proceso en tiempo real; el artista puede modificar volúmenes, corregir expresiones y alterar el diseño sobre la marcha. Por el contrario, la impresión 3D es una herramienta de ejecución determinista que requiere un preprocesado digital exhaustivo. El modelo 3D previo a la impresión debe ser definitivo y estar prácticamente acabado, eliminando el margen de libertad escultórica in situ y obligando al artesano a trasladar toda la toma de decisiones a la pantalla del ordenador.

La adopción de la fabricación aditiva en el ecosistema fallero no solo responde a una necesidad de optimización geométrica o de reducción del trabajo manual, sino que representa una oportunidad histórica para abordar el cambio de materiales y la disminución de la toxicidad. El poliestireno expandido (EPS), material predominante en las últimas décadas, presenta una combustión perjudicial, especialmente cuando se queman grandes monumentos con un alto contenido de este material derivado del petróleo (González, 2018).

Dentro de la oferta actual de materiales para la fabricación aditiva, destacan tres grandes grupos por su idoneidad para el sector:

- Ácido Poliláctico (PLA): Es el estándar de la impresión 3D actual. Se trata de un poliéster alifático termoplástico derivado de recursos renovables, como el almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar. Su principal ventaja, además de su facilidad de impresión y baja contracción, es que resulta compostable bajo condiciones industriales. Su uso masivo en sustitución del corcho blanco supone una reducción drástica de la huella de carbono en la producción del monumento (AIDIMME, 2026). Por otra parte, es el más

utilizado por artistas falleros debido a su bajo coste y rentabilidad (Amorós, 2026). Existe una variante rPLA consitiendo en una versión reciclada del material.

- Polihidroxialcanoatos (PHA): el PHA es un bioplástico producido en la naturaleza por la acción bacteriana mediante la fermentación de azúcares o lípidos. A diferencia del PLA, el PHA es biodegradable en entornos naturales sin requerir instalaciones de compostaje industrial. Presenta excelentes propiedades mecánicas, con una mayor resistencia al impacto, temperatura y Rayos UV, lo que lo convierte en un candidato óptimo para soportar la intemperie (Craftcloud, 2026).
- Biocompuestos o *Composites* orgánicos: La tecnología de extrusión permite utilizar una matriz de polímero base (como el PLA) enriquecida con aditivos de cargas de madera o elementos naturales. En la actualidad existen filamentos y *pellets* comerciales mezclados con hasta un 30% de polvo de madera, corcho natural, fibras de cáñamo e incluso posos de café (Maestro, 2026). La utilización de estos *composites* es especialmente interesante para las fallas.
- Paja de Arroz: Este material pionero es fruto de investigaciones en la propia Valencia, desarrolladonse en la Universitat Politècnica de València y en la empresa AIMPLAS. Consiste en una pasta densa compuesta por residuos agrícolas triturados y combinados con aglutinantes y monómeros (Maestro, 2026). Este material es referente actualmente, creando monumentos mas limpios y sostenibles. La Figura 40 muestra el primer ninot creado con esta tecnología.



Figura 40: Primer ninot fabricado en paja de arroz (Ajuntament de València, 2021)

Tabla 1: Comparativa de Materiales para la fabricación de ninots

Material	Imagen	Ventajas	Desventajas
EPS		Ligero, grandes volúmenes con rapidez.	Postprocesado largo, frágil en su superficie.
PLA		Rigidez estructural alta; eliminación de postprocesados.	Tiempos de impresión largos, preprocesado lento. Pensado para pocos volúmenes.
PHA		Alta resistencia al impacto y temperatura. Biodegradable.	Menor disponibilidad comercial que el PLA. Los parámetros de impresión son mas complejos y exigentes.
Biocompuestos		Muy similar a la madera; su textura facilita la imprimación y fase de pintado.	Las partículas orgánicas suelen ser abrasivas, aumentando el riesgo de atascos. Generalmente materiales caros.
Paja de Arroz		Aprovecha residuos agrícolas altamente disponibles en la región.	Material en desarrollo. Es propenso a la pudrición por humedad.

Material	Precio	Manejo	Combustion	Sostenibilidad
EPS	Económico	Excelente para corte manual y CNC, pero requiere mucho postprocesado	Perjudicial; genera humo negro denso y compuestos químicos.	Derivado del petróleo, no biodegradable.
PLA	Moderado	Excelente y preciso en el entorno digital. Resultados con alta complejidad	Limpia; humo blanco con emisiones de gases de efecto invernadero inferior a los de EPS	Origen vegetal, compostable en instalaciones industriales.
PHA	Alto	Similar al PLA	Limpia; no libera compuestos aromáticos intensos	Biodegradación natural por acción bacteriana.
Biocompuestos	Moderado/Alto	Excelente para lijado superficial fino.	Muy Limpia; emite olor a madera y emula la combustión orgánica	Combina una matriz bioplástica con el reciclaje de maderas y restos agrícolas.
Paja de Arroz	En Desarrollo	Resultados muy similares a las antiguas técnicas.	Excelente; tradicional y muy rápida sin toxicidad artificial.	Natural, fomento de la economía circular.

Figura 41: Imagen Planchas de EPS (Anónimo, 2026)

Figura 42: Imagen bobina de PLA (Esun, 2026)

Figura 43: Imagen Bobina de PHA (Esun, 2026)

Figura 44: Imagen de bobina de filamento PLA con aditivos biocompuestos de madera (Esun, 2026)

Figura 45: Prototipo de impresión mediante paja de arroz (Ajuntament de València, 2021)

2.1.4 Inteligencia artificial generativa

La fuerte irrupción de la Inteligencia Artificial (IA) generativa ha supuesto un cambio de paradigma sin precedentes en la gran mayoría de sectores. Los modelos de difusión se han consolidado como la arquitectura subyacente más eficiente para la síntesis de imágenes, desplazando a tecnologías anteriores y métodos tradicionales.

La IA generativa es una rama de la IA capaz de concebir ideas, mantener conversaciones y generar imágenes, vídeos, música o modelados 3D. Tiene un gran abanico de usos y fines, como los chatbots, la creación de contenido multimedia o el desarrollo de productos y diseño. Aunque frecuentemente se confunde con el término global de "Inteligencia Artificial" —un concepto que lleva entre nosotros varias décadas—, su principal distinción radica en la generación de contenidos nuevos de forma significativa e inteligente mediante el uso de datos. La IA generativa ha experimentado un gran avance a finales de la década de 2010 a partir de la investigación en modelos como las redes generativas antagónicas (GAN) y la arquitectura *Transformers*. Los continuos avances han propiciado que, desde 2022, sea un producto totalmente funcional y comercialmente viable (AWS, 2022).

Al igual que todas las inteligencias artificiales, la IA generativa utiliza modelos de *machine learning*, algoritmos de gran envergadura que deben entrenarse previamente con enormes cantidades de datos. Entre ellos encontramos los LLM (Grandes Modelos de Lenguaje), centrados específicamente en tareas basadas en el texto. La particularidad de estos modelos es su capacidad multitarea gracias a su inmensa cantidad de parámetros, lo que los hace capaces de entender conceptos avanzados. Los LLM (como GPT o Gemini) son el mayor exponente de la IA generativa a nivel social en la actualidad (AWS, 2022).

Los modelos de *machine learning* funcionan mediante la clasificación de datos y variables. Son modelos predictivos que calculan probabilidades y aprenden la distribución de diferentes características. Como ejemplo (AWS, 2022):

"Los modelos generativos analizan imágenes de animales para registrar variables como diferentes formas de orejas, formas de ojos, rasgos de la cola y patrones de piel. Aprenden las características y sus relaciones para comprender cómo son los diferentes animales en general. Luego, pueden recrear nuevas imágenes de animales que no estaban en el set de entrenamiento."

Para la generación de imágenes y modelados 3D se utilizan los modelos de difusión, un tipo de modelo generativo que se basa en un proceso iterativo que transforma el ruido en un objeto coherente. El proceso generativo es una secuencia inversa de la degradación de una señal; a partir de una representación ruidosa se va limpiando hasta generar una imagen. Estos modelos se basan en dos fases: la fase de difusión, donde el algoritmo toma un dato y lo somete a un proceso gradual de adición de ruido gaussiano; y la fase de *denoising* (eliminación de ruido), donde se sustrae el ruido paso a paso hasta generar una imagen coherente. Para ejecutar este proceso se deben emplear redes neuronales profundas, entrenadas exhaustivamente a partir de millones de datos (Ibáñez, 2025). La Figura 46 muestra el proceso que llevan a cabo los modelos de difusión.

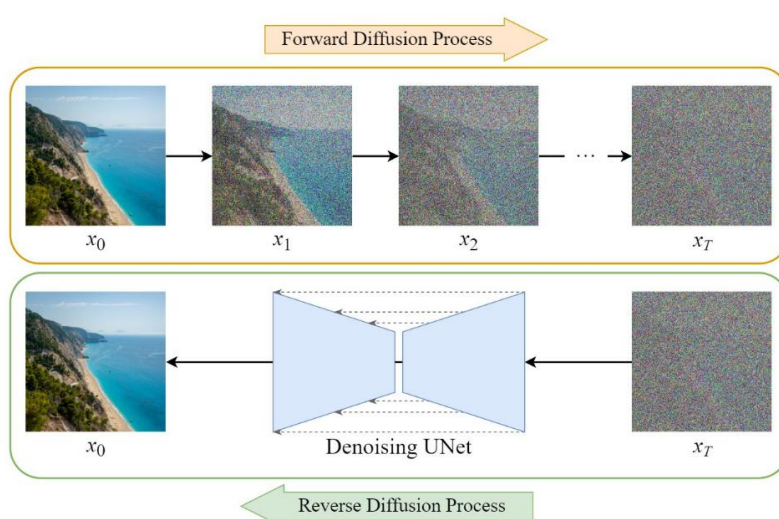


Figura 46: Esquema visual del proceso de los modelos de difusión (Ibáñez, 2025)

La IA generativa está siendo aplicada a nivel mundial por cerca del 88% de empresas u organizaciones. Entre los beneficios que justifican la apuesta por su utilización encontramos:

- Aceleración en la investigación y creación de nuevas tendencias, patrones e ideas.
- Mejora de experiencias y personalización de flujos de trabajo.
- Optimización de procesos y diseños, tanto empresariales como industriales y de manufactura.
- Aumento de la productividad y eficiencia de los trabajadores.
- Respaldo y asistencia en las tareas creativas.

Sin embargo, en la actualidad la IA generativa presenta unas limitaciones críticas a tener en cuenta. Puede resultar inexacta o engañosa, ya que, al basarse en la predicción estadística, depende intrínsecamente de la base de datos con la que fue entrenada. Entre sus principales carencias y retos destacan (AWS, 2022):

- Seguridad y Privacidad: Relacionado con la vulnerabilidad de datos y patentes; es imperativo trabajar en protocolos que garanticen respuestas que limiten el acceso no autorizado a información privada.
- Creatividad y Originalidad: La IA carece de originalidad humana intrínseca, generando en ocasiones resultados repetitivos o derivados. Reproducir la creatividad humana sigue siendo un desafío, ya que esta implica una comprensión profunda, contextual y emocional.
- Costo y Accesibilidad: Si bien es cierto que este tipo de IA ofrece variantes gratuitas, su privatización está escalando cada vez más, convirtiéndose en un modelo de negocio de alto coste en sus versiones profesionales.
- Explicabilidad (Caja Negra): Los modelos de IA generativa suelen comportarse como sistemas opacos (*black boxes*), donde los propios desarrolladores no siempre pueden llegar a interpretar con exactitud cómo el algoritmo ha llegado a un resultado específico, lo que genera desconfianza en su uso para sectores críticos.

En el ámbito de el proceso de creación de monumentos falleros, la IA puede formar parte de varios procesos:

- Ideación: IA conversacional para la generación de propuestas y validación de ellas
- Conceptualización: Bocetado asistido por IA, generación de diferentes perspectivas de los ninots, homogeneización de los ninots y escenas.
- Modelado: generación de mallas 3D para facilitar la cantidad de tiempo invertido de pasar de un boceto al modelo de impresión.
- Presentación: Mas allá de la creación de los monumentos, los artistas deben mostrar a sus comisiones y juntas de premios sus propuestas anuales. La creación de contenido multimedia de los monumentos puede ayudar a generar buenas sensaciones en los clientes y crear expectación.

.El artista fallero puede utilizar estas aplicaciones para la optimización de su zona de trabajo, teniendo en cuenta, como dice Sedberry (2026), la “30% AI Rule” donde se delimita el uso de la IA en 70% para la IA, donde se cubra todas las tareas repetitivas, búsqueda de datos o orden y administración; dejando el 30% restante crucial para la creatividad humana, el pensamiento crítico y la toma de decisiones mas complejas. Siguiendo esta regla, El proceso fallero se vuelve entonces una proceso de IA con intervención humana, donde el humano siempre tiene que estar

al mando de ella. Un proyecto liderado por solo la IA estaría condenado al fracaso (Sedberry, 2026).

Es importante destacar para el caso de los artistas falleros la evolución del modelado 3D asistido con IA y su comparación al modelado tradicional. La transición tecnológica en el diseño de monumentos falleros ha experimentado una constante evolución, pasando del tradicional modelado en corcho blanco o barro a la digitalización integral de los volúmenes. Históricamente, el modelado 3D tradicional, desarrollado a través de software de diseño como blender o zbrush, ha requerido de un dominio técnico exhaustivo. Este enfoque convencional exige que el artista dedique una cantidad significativa de horas a la creación de la malla, el ajuste de la topología y el refinamiento geométrico de cada Ninot o remate estructural.

La irrupción de la Inteligencia artificial plantea un cambio en estos flujos de trabajo. Diferentes investigaciones sobre el impacto de la IA en el modelado 3D concluyen en una redefinición de esta técnica gracias a la IA. La asistencia algorítmica permite automatizar las fases más mecánicas y técnicas del proceso de diseño, incrementando drásticamente la eficiencia operativa. Esto facilita que el creador concentre sus esfuerzos en las etapas de conceptualización y en la dirección artística (Puertollano, 2024).

El ecosistema actual de software cuenta con plataformas emergentes capaces de generar modelos tridimensionales a partir de indicaciones de texto (*text-to-3D*) o de imágenes bidimensionales (*image-to-3D*). Iniciativas experimentales, como *Project Bernini* de Autodesk (OVACEN, 2024), demuestran la capacidad de las redes neuronales para inferir nubes de puntos y estructuras de vóxeles a partir de diversas modalidades de entrada. Un artista puede generar modelos conceptuales 2D de alta calidad empleando modelos de difusión avanzados y, posteriormente, procesar dichos diseños mediante generadores 3D para obtener una geometría volumétrica base en cuestión de minutos (véase Figura 47).

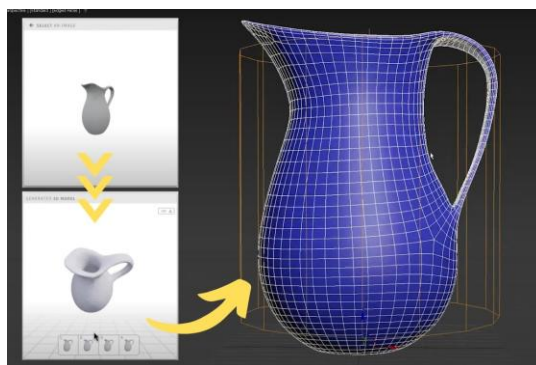


Figura 47: Modelado 3D asistido por IA mediante Autodesk (OVACEN 2024)

El rápido avance de las arquitecturas de aprendizaje profundo ha propiciado la transición de modelos experimentales de investigación a soluciones comerciales de Software como Servicio (SaaS) altamente accesibles (Chan, 2026). En el estado actual de la técnica, el mercado de la generación 3D mediante Inteligencia Artificial se vertebra principalmente en torno a tres paradigmas tecnológicos: la fotogrametría neuronal, y los modelos de difusión adaptados a la generación de mallas a partir de texto (*Text-to-3D*) o imágenes bidimensionales (*Image-to-3D*).

En primer lugar, los Campos de Radiancia Neuronal y, más recientemente, el *3D Gaussian Splatting* (véase Figura 48), han revolucionado la captura de la realidad. Estas tecnologías permiten sintetizar vistas reales y extraer nubes de puntos o mallas poligonales a partir de un conjunto de fotografías o vídeos tomados desde múltiples ángulos, obteniendo una información métrica y tridimensional del espacio. Esta tecnología de modelado permite la recreación de escenas complejas en realidad aumentada (Innoarea, 2025). Encontramos el caso de modelos como Luma 3D AI.

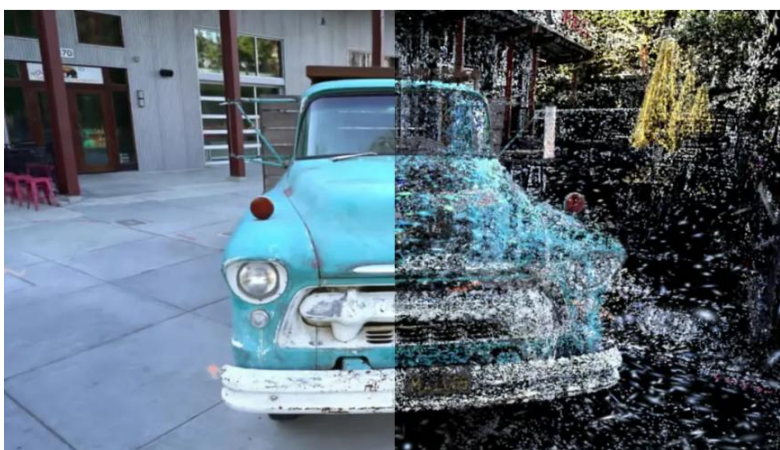


Figura 48: Gaussian Splatting con Luma 3D AI

Por otro lado, la generación *Text-to-3D* e *Image-to-3D* se fundamenta en la adaptación de modelos de difusión al espacio tridimensional. Tecnologías pioneras desarrolladas por entidades como Google o Nvidia introdujeron técnicas como el *Score Distillation Sampling* (SDS), que optimiza una representación 3D (como una red neuronal o campos de distancia signada - SDF) para que sus renderizados 2D coincidan con lo que un modelo de difusión espera ver. En la actualidad, han surgido arquitecturas *feed-forward* que logran inferir la geometría tridimensional en apenas unos segundos (Chan, 2026).

El mercado actual ofrece una amplia amalgama de plataformas, cada una optimizada para flujos de trabajo específicos dentro de la cadena de valor del diseño 3D. Como Chan (2026) explica, atendiendo a las capacidades analizadas en el sector industrial y creativo, destacan las siguientes soluciones:

- CSM (Common Sense Machines) y Meshy: Ambas plataformas lideran el segmento de *Image-to-3D*. Son capaces de tomar una imagen conceptual e inferir una malla poligonal completa con texturas PBR (*Physically Based Rendering*). Resultan especialmente útiles para el prototipado rápido de *modelos*, ya que reducen el tiempo de bloqueo volumétrico (*blockout*) de horas a escasos minutos.
- Tripo3D y Luma AI (Genie): Destacan por la velocidad de inferencia en la generación *Text-to-3D*. Luma AI, originalmente pionera en la implementación comercial de NeRFs para escaneo desde dispositivos móviles, ha expandido su oferta hacia la generación paramétrica basada en *prompts*, permitiendo la exportación en formatos estándar de la industria como .OBJ, .GLTF o .USDZ.
- Spline AI: Se diferencia por integrar un asistente de Inteligencia Artificial directamente dentro de un entorno de diseño 3D colaborativo basado en la web. Permite a los usuarios generar objetos, modificar materiales y aplicar animaciones paramétricas mediante comandos de texto, lo que facilita la iteración en tiempo real sin abandonar el espacio de trabajo. La Figura 49 muestra su interfaz.

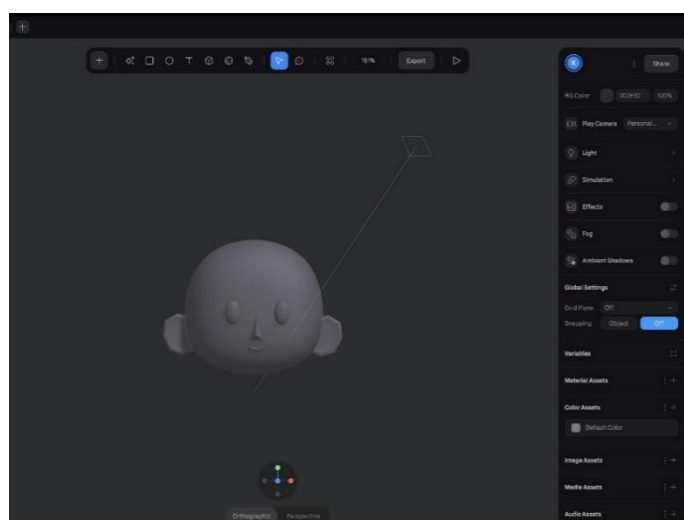


Figura 49: Interfaz de Spline AI

- Tencent Hunyuan 3D: se ha posicionado como una herramienta destacada para el modelado orgánico y de personajes. A diferencia de otras alternativas que a menudo generan mallas irregulares, este modelo es reconocido por producir geometrías excepcionalmente limpias y modelos de superficie lisa. Gracias a la alta calidad técnica de su topología, la herramienta requiere un nivel mínimo de posprocesamiento manual. Tencent respalda esta plataforma con fuertes capacidades técnicas y ofrece opciones de personalización y soporte a nivel empresarial. A nivel actual es la opción que mas abarca. La Figura 50 muestra la distribución de su web.

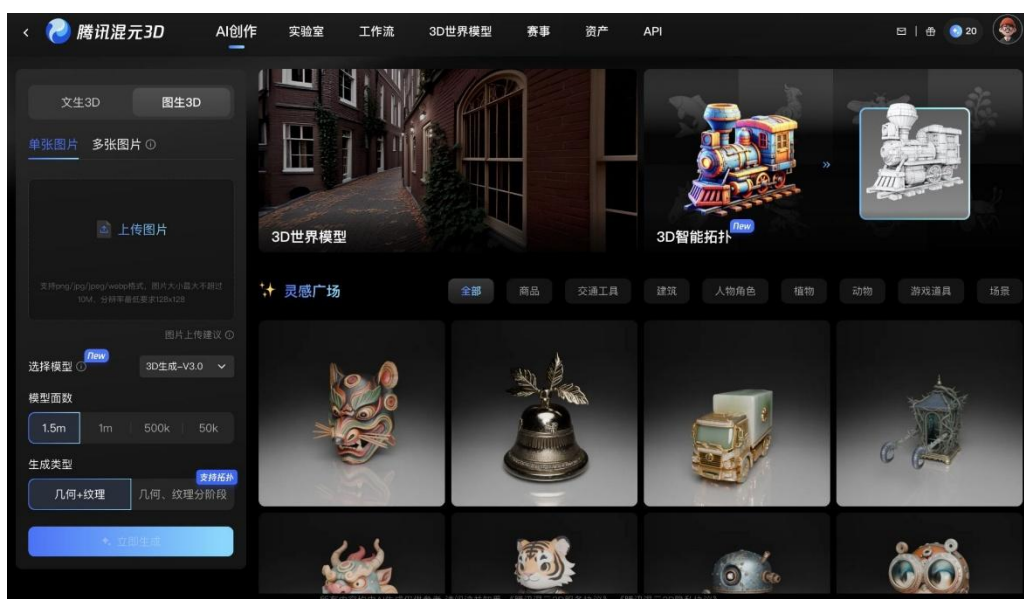


Figura 50: Interfaz de Tencent Hunyuan 3D

Los modelos de IA actuales, aunque logran un excelente aspecto visual mediante la aplicación de texturas de alta resolución, frecuentemente adolecen de deficiencias geométricas. Las mallas generadas suelen presentar topologías irregulares, triángulos degenerados, caras no *manifold* y variaciones impredecibles en los espesores de pared. Por consiguiente, los modelos crudos exportados de estas plataformas de IA exigen invariablemente una fase de intervención humana, utilizando software CAD o de esculpido digital (como SolidWorks o Blender) para ejecutar tareas de limpieza de malla, retopología booleana y verificación de tolerancias antes de proceder a la fase de laminado (*slicing*) (Chan, 2026).

La adopción de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de figuras complejas está redefiniendo los flujos de trabajo tradicionales, provocando una transición en el rol del diseñador, que pasa de ser un constructor manual a un director creativo. El modelado convencional se fundamenta en la

experiencia técnica del artista. Por el contrario, las herramientas impulsadas por IA operan mediante sistemas procedimentales y generación basada en datos que, si bien producen formas volumétricas de manera vertiginosa, lo hacen bajo conjeturas algorítmicas no deterministas (Stanisheva, 2026).

Uno de los debates centrales en esta dualidad reside en el compromiso técnico entre la velocidad de iteración y la integridad estructural de la malla final. En un flujo tradicional de esculpido digital, el creador define las proporciones de forma progresiva, garantizando una topología limpia y una geometría preparada para soportar deformaciones o exigencias físicas. Frente a esto, las soluciones emergentes con IA logran reducir procesos que habitualmente toman horas a apenas unos minutos. Sin embargo, la contrapartida de esta inmediatez es la generación de mallas que a menudo presentan ruido superficial, anomalías topológicas y una pobre resolución en las áreas ocultas por falta de información de profundidad (Stanisheva, 2026).

En consecuencia, el paradigma actual de diseño se consolida hacia un modelo metodológico híbrido. La Inteligencia Artificial demuestra una elevada eficacia al asumir tareas computacionalmente pesadas y repetitivas, como la ejecución de retopologías preliminares o el despliegue automático de coordenadas UV, liberando así valiosos recursos temporales para que el creador se concentre en la dirección artística. No obstante, el criterio experto y la destreza técnica en herramientas paramétricas y orgánicas siguen siendo insustituibles (Stanisheva, 2026).

La integración de la Inteligencia Artificial en el sector creativo ha suscitado un análisis profundo en el seno del gremio de artistas falleros. Tal y como documentan recientes debates y medios de comunicación especializados (Distrito Fallas, 2024), la discusión inicial se ha articulado en torno a un dilema fundamental: determinar si estas tecnologías representan una simple herramienta de asistencia o si, por el contrario, amenazan con convertirse en un sustituto de la labor artesanal. No obstante, frente a la incertidumbre tecnológica inicial, la percepción general del colectivo ha evolucionado hacia una postura de aceptación crítica y pragmatismo.

En la actualidad, los profesionales del sector conciben la Inteligencia Artificial de manera predominantemente positiva, despojándola de la etiqueta de "enemigo" del oficio tradicional (Forés, 2026). Según el sentir mayoritario expresado por los creadores como Vicente Julián García, los modelos generativos son asimilados como un recurso complementario de gran valor que enriquece el proceso proyectual. Lejos de percibir una amenaza de reemplazo, los artistas

valoran la IA como un instrumento de apoyo altamente eficaz que agiliza el bloqueo de ideas, la exploración y el modelado de Ninots.

En definitiva, la visión del artista fallero ante estas nuevas tecnologías es integradora. El gremio reconoce el indudable potencial algorítmico para optimizar el flujo de trabajo y reducir la carga en tareas rutinarias. Sin embargo, existe un consenso absoluto en que la esencia intrínseca del monumento reside ineludiblemente en el factor humano. Para el artista, el algoritmo carece de la sensibilidad cultural y del conocimiento empírico necesarios para trasladar un concepto digital a la realidad volumétrica de la calle, consolidando un escenario contemporáneo donde la máquina propone y asiste, pero es el creador quien interpreta, dirige y materializa.

2.1.5 Antecedentes del uso de nuevas tecnologías en el proceso fallero

Este trabajo académico pretende investigar sobre la inclusión de la fabricación aditiva y la inteligencia artificial en el proceso fallero y crear una buena metodología de trabajo y la rentabilidad de inclusión de estas tecnologías, pero eso no quiere decir que sea la primera vez en que estas tecnologías aparecen en el sector. Es por eso que este apartado se centrará en el análisis de antecedentes. Es importante investigar a otros autores que ya han hecho este mismo proceso para poder ver lo que funciona y lo que no, todo aquello que ya está bastante consolidado y que nuevas oportunidades a desarrollar pueden aplicarse.

Por una parte, la fabricación aditiva ya no es una nueva herramienta en el sector fallero, sino un estándar a seguir por muchos talleres. Como se ha comentado previamente y como dijo Amorós (2026), Actualmente la gran mayoría de los talleres (sobre todo de artistas de gran nombre o de secciones donde se compite) ya cuentan con este tipo de máquinas, tanto de pequeño formato como incluso de gran formato. Hoy en día su uso sí es cierto que está limitado por dos razones: la falta de conocimiento o consistencia en el proceso y las delimitaciones físicas.

Los artistas fallero modernos ya trabajan prácticamente en su totalidad con modelados 3D con softwares como blender o Z brush. El problema viene a la hora de optimizarlos para su impresión. Como mostró Amorós (2026) en la visita a su taller; sus impresiones no van más allá de cortar el ninot por la mitad para que quepa en la impresión, relleno automático y altura de capa extra fina para mejor resultado. Una falta de comprensión de la tecnología hace un mal uso de ella; sin embargo artistas con conocimientos de impresión 3D consiguen otros resultados, pero se topan con el segundo de los problemas.

Amorós (2026) comenta que una estructura de PLA con relleno mínimo no puede cubrir las cargas estructurales de un ninot de grandes dimensiones, es inviable. Siempre va a ser necesario maderas o incluso varas de metal para sujetar, y las impresiones 3D tienen una fragilidad muy alta a la hora de ser taladradas para ello. Es por eso que han quedado relegadas a tanto ninots pequeños de fallas infantiles como a detalles en los ninots grandes que son difíciles de conseguir.

Actualmente se puede hablar de una incorporación híbrida en todos los talleres de esta tecnología, donde es utilizada como una herramienta secundaria pero muy importante. Frente a este panorama, en 2026 surgió un proyecto que ha marcado un antes y después en la fabricación de ninots, ECO-FALLES 4.0.

ECO-FALLES 4.0 es un proyecto en desarrollo llevado a cabo por la Universitat Politècnica de València y financiado por el Instituto Valenciano de Competitividad e Innovación (IVACE) y trabajando en conjunto con la empresa SP berner, que se ha llevado a cabo en los últimos años donde van actualizando su investigación. El proyecto nació por una necesidad del sector de un impulso tecnológico 4.0 para hacer frente a las condiciones actuales. Así, sus finalidades principales son (Eco Falles, 2026): Conseguir una sostenibilidad económica en el sector de los artistas falleros, donde cada día se ven mas presionados por las comisiones y sus salarios no se ven reflejados en las cifras millonarias que dejan la fiesta de las fallas en la ciudad. Reducir el consumo de materiales poco respetuosos con el medio ambiente e implementar sistemas de producción que mejoren la sostenibilidad ambiental. Aumentar la seguridad estructural de monumentos gracias a la digitalización de sus cálculos y pruebas.

Para ello el proyecto deriva en 3 grandes ejes de trabajo: la digitalización de los monumentos, conocido como la industria 4.0; la búsqueda de sostenibilidad medioambiental con nuevos materiales y la garantía de seguridad estructural.

En su primer objetivo, se presente digitalizar todo el trabajo artesano del artista para poder agilizar su producción y ser mas eficientes. Esta nueva manera de fabricación puede ayudar a crear un flujo colaborativo entre diferentes miembros del proceso, mejorar la versatilidad, seguir un desarrollo continuo del proceso y en general conseguir mejores acabados. Para ello el equipo de ECO-FALLES desarrollo un plugin de el software Blender llamado “CHOP-CHOP”, el cual esta destinado a la optimización de modelos 3D para la fabricación aditiva y mas en especial pensado para los ninots falleros (Eco Falles, 2026). La Figura 51 muestra el uso real de esta aplicación.



Figura 51: A la derecha, Modelado 3D optimizado para la fabricación en impresión 3D. a la izquierda, el mismo modelo fabricado y listo para ser plantado en la falla cuba literato azorín 2024, junto al equipo de ECO-FALLES

El propósito general de CHOP-CHOP es la facilitación de corte y preparación de impresión para grandes modelos 3D para poder factibilizar su producción. Es una aplicación de código abierto que funciona para Blender (Eco Falles, 2026). CHOP-CHOP se divide en un flujo de trabajo estructurado en 4 partes (véase Figura 52): seccionado general de los apéndices; seccionado para impresión 3D o cubificación; optimización de formas para la impresión; organización de la granja de impresión (UPV, s.f.). En la primera parte, se debe seccionar el modelo 3D de manera estratégica para la mejora de fabricación, ensamblaje y postprocesado. Es muy crucial que el artista sepa donde se van a realizar los cortes. Una vez realizado la sección se pasa a la parte de cubificación, donde se divide el modelo en piezas cúbicas para la impresión en máquinas 3D convencionales.

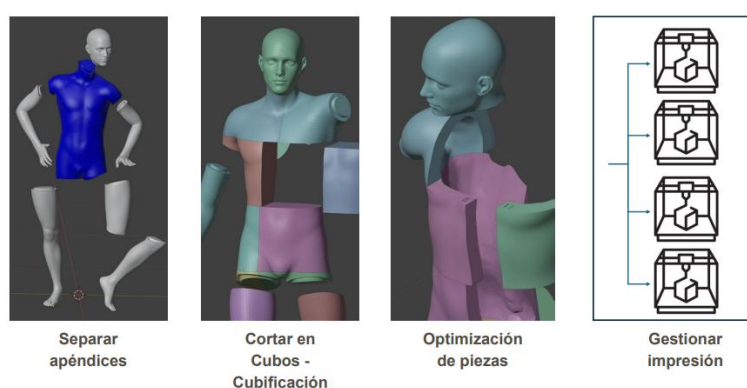


Figura 52: Fases del flujo de trabajo de CHOP-CHOP (UPV, s.f.)

El siguiente paso es la optimización de los bloques generados para reducir el tiempo de impresión y material necesario. Como hemos visto anteriormente, los ninots de EPS suelen ser huecos por dentro para facilitar el fresado; la misma metodología es usada en impresión 3D. El volumen interior es considerablemente denso e innecesario, por eso se procede a una operación de “Shell” o cáscara (véase Figura 53), haciendo que las figuras grandes no ocupen tanto espesor. El software además está pensado para evitar vaciados innecesarios, si una pieza es lo suficientemente pequeña que necesita un interior mínimo de rigidez, el programa lo detecta.

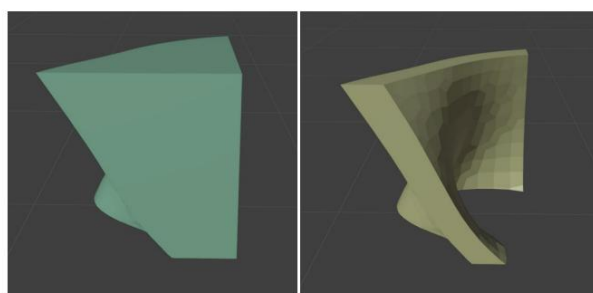


Figura 53: Comparativa entre pieza sólida y optimizada (UPV, s.f.)

Por último, una vez optimizadas las piezas hay que llevarlas a impresión. Es recomendable que, tras generar decenas de piezas para un solo ninot, el artista fallero debe de llevar un orden de impresión controlado y recomendable la creación de granjas de impresión para ello. ECO-FALLES también ha desarrollado un software unido a Octoprint para poder controlar digitalmente la producción de estas piezas por impresión 3D, automatizando el proceso y ayudando al artista fallero a controlar la producción. Este último avance es uno de los mas beneficiosos para el artista ya que puede ahorrar tiempos y material (UPV, s.f.).

“Este sistema permite al usuario centrarse en el diseño y ensamblaje de los modelos, incrementando la eficiencia, mejorando el orden y la previsión, y reduciendo errores y costes operativos”.

Como segunda rama del desarrollo de este proyecto encontramos la búsqueda de una sostenibilidad ambiental mediante el desarrollo de nuevos materiales para impresión 3D que puedan finalizar con el uso del EPS o corcho blanco. Su objetivo es buscar materiales que doten de acabados óptimos para la industria fallera, que puedan reducir volúmenes de material y los residuos que genera (Eco Falles, 2026).

Junto a SP Berner, el equipo de eco-falles ha conseguido formular y desarrollar bobinas para impresión 3D de materiales reciclados. Por una parte han desarrollado bobina de Polipropileno con 90% proveniente de plantas de reciclaje (véase Figura 54). Por otra, un PET creado con 40% proveniente de las plantas de reciclaje y 40% de desechos de fábrica (véase Figura 55). Estos materiales en desarrollo demuestran la posibilidad de crear un sistema circular dentro de las fallas, donde su consistencia efímera permite que puedan ser fabricadas a base de plásticos reciclados, reduciendo así la huella que dejan sus residuos.



Figura 54: Impresión con un 90% de material reciclado (UPV, s.f.)



Figura 55: Escamas de material reciclado PET procedente de planta de reciclaje de SP-BERNER y figura impresa con dicho material. (UPV, s.f.)

Por último, el equipo de ECO-FALLES busca desarrollar una app de diseño estructural para fallas, con el fin de ayudar al artista fallero al cálculo numérico de estructuras, los valores de resistencias y las uniones necesarias. La aplicación se llama STRUC-FALLES (véase Figura 56) y se basa en simulaciones matemáticas de prontuarios (de estructuras de madera) para poder analizar en cuantas particiones será necesario tener el eje de la pieza (Eco Falles, 2026).

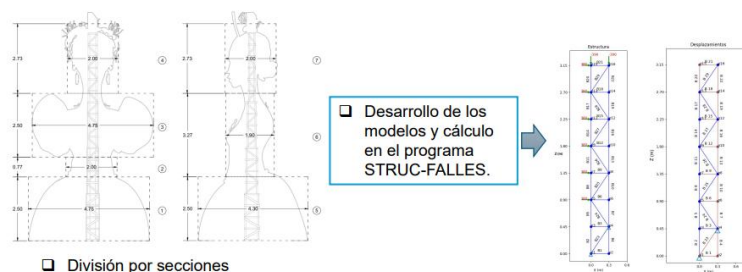


Figura 56: Ejemplo de uso del programa STRUC-FALLES (UPV, s.f.)

El programa ECO-FALLES demuestra esa necesidad real en evolucionar la fabricación de ninots a la actualidad, donde artesanía e industria pueden convivir mutuamente.

Respecto al uso de la inteligencia artificial en el sector fallero, en este caso su implementación no ha sido tan desarrollada como la fabricación aditiva debido a su reciente incorporación en la sociedad y, por otro lado, por un dilema ético. Como Amorós (2026) comentó, los clientes (las comisiones falleras) son muy puristas con el resultado de las fallas, deben considerarse como arte y son sagradas para ellos, aunque la realidad sea distinta. Hay una gran barrera generada entre el cliente que ve la falla como una expresión artística y considera la IA como la amenaza, y las

necesidades del artista fallero por producir monumentos de manera organizada y mejorando su productividad para llegar a los plazos de ellos. La implementación de la IA en el sector fallero es un tema tabú frente al público general. Sin embargo, como (Amorós, 2026) afirma, eso no quiere decir que ya se esté utilizando la IA para el desarrollo de monumentos falleros. David afirma que entre los artistas si se conoce que utilizan programas de modelado asistido por IA. El mismo afirma que en 2026 realizó su primer modelado 3D con IA junto al programa Tencent Hunyuan V3.1. (véase Figura 57). El uso de IA hasta el momento se centra sobretodo en el paso intermedio entre el boceto y modelado, la ayuda a generar un diseño 3D sin necesidad de contrataciones a modeladores de blender y optimizando tiempos.



Figura 57: Ninot indultat 2026 falla serranos por David Ojeda, modelado asistido por IA por Tencent Hunyuan V3.1 (Romero,2026).

Cabe destacar también el trabajo realizado por Pedro Santaaulalia, el primer artista fallero en incorporar IA al proceso de ideación, conceptualización y modelado 3D (véase Figura 58). En 2024, Santaaulalia presentó como ninot indultat una propuesta generada a través de IA, de manera cómica como burla y crítica hacia ella; siendo parte de su propuesta de falla criticando las nuevas tecnologías. Para ello utilizó una IA conversacional para el proceso de Ideación bajo la pregunta de “¿Qué debe tener un ninot indultat para ganar el concurso?”. La IA le dio parámetros bajo los cuales, en aquel entonces, entendía las instrucciones: Ancianos, niños, perros, arrugas, falleras. Estas son las instrucciones que recibió el artista sobre como ganar el concurso. Aunque

fuera de manera irónica, Santaaulalia marcó un hito con la integración de IA en el proceso fallero; a su vez demostrando lo comentado anteriormente, la IA es un soporte pero siempre necesitará la creatividad humana (Distrito Fallas, 2024).



Figura 58: Ninot indultat Falla Sueca literato azorín 2024 (Romero,2024)

Sin embargo el uso de la IA por parte de los artistas ha abarcado más sectores mas allá de la propia fabricación. Muchos artistas cada vez más la utilizan para el retoque de imágenes y bocetos para la presentación de las propuestas ante los clientes y audiencia. Siguiendo con el mismo caso, Santaaulalia utilizó IA generativa tanto para el retoque de bocetos como la generación de videos inmersivos y contextuales para poder darle más trasfondo a la falla. En la actualidad, las fallas se han convertido en experiencias sensoriales que cuentan historias, mas allá de un simple monumento bonito; es por ello que cada vez mas los artistas utilizan estas herramientas para ampliar el universo que están creando y lo que quieren transmitir. La Figura 59 muestra el monumento de la Falla Sueca 2026, donde su artista utilizó la IA generativa en varios procesos tanto de creación como de comercialización.



Figura 59: Figura asistida por IA de "Onirica", Falla Sueca literato azorín 2026. Su promoción en redes utilizó videos con IA (Romero,2024)

Por ultimo, es importante mencionar otros usos de la IA en los monumentos falleros, mas allá de el monumento en si, hablando mas sobre la crítica. Esta parte podría considerarse la mas importante del monumento, ya que le da un trasfondo a la idea y un sentido a las esculturas. Muchas comisiones han optado por el uso de IA para generar nuevas experiencias sensoriales en conjunto para explicar su crítica al mundo. Destacamos el caso de la comisión Falla Sant Vicent de Paül – Diputada Clara Campoamor que creó un sistema de códigos QR para crear un recorrido interactivo por el monumento (Barberá, 2026); y la Falla palleter que integró IA para la integración personas con diversidad funcional a la visita del monumento (Distrito Fallas, 2025).

2.1.6 Marco socio-legal y ético

La integración de tecnologías disruptivas como la Inteligencia Artificial generativa y la fabricación aditiva en un sector de profundo arraigo tradicional e identitario exige un análisis riguroso de sus implicaciones. El presente marco socio-legal y ético delimita las normativas, responsabilidades y debates morales que condicionan la adopción de esta metodología híbrida en los talleres artesanos. Las principales directrices legales para el desarrollo de esta investigación giran en torno al uso de la IA generativa para la creación de productos, las normativas medioambientales relativas a la combustión de plásticos y una evaluación ética de estos procesos.

El primer ámbito jurídico para desarrollar es el derecho de propiedad intelectual que asiste a los artistas falleros sobre sus obras generadas con asistencia de IA. La utilización de estos sistemas en los procesos creativos abre un profundo debate sobre los límites de la autoría frente al trabajo computacional.

A nivel nacional, la Ley de Propiedad Intelectual (LPI) en España establece en su artículo 5 que únicamente las personas naturales pueden ser autoras de una obra. Por consiguiente, todo texto, imagen o modelo 3D generado exclusivamente por IA carece de *copyright* por sí solo (Jefatura del Estado, 1996).

"Se considera autor a la persona natural que crea alguna obra literaria, artística o científica."

Sin embargo, el marco normativo prevé otros supuestos aplicables a este contexto:

- Obra colectiva (Art. 8 LPI): "Se considera obra colectiva la creada por la iniciativa y bajo la coordinación de una persona natural o jurídica que la edita y divulga bajo su nombre y está constituida por la reunión de aportaciones de diferentes autores cuya contribución personal se funde en una creación única y autónoma, para la cual haya sido concebida sin que sea posible atribuir separadamente a cualquiera de ellos un derecho sobre el conjunto de la obra realizada. Salvo pacto en contrario, los derechos sobre la obra colectiva corresponderán a la persona que la edite y divulgue bajo su nombre."
- Obra derivada (Art. 11 LPI): "Sin perjuicio de los derechos de autor sobre la obra original, también son objeto de propiedad intelectual; 1.º Las traducciones y adaptaciones. 2.º Las revisiones, actualizaciones y anotaciones. 3.º Los compendios, resúmenes y extractos. 4.º

Los arreglos musicales. 5.º Cualesquiera transformaciones de una obra literaria, artística o científica."

- Reproducción y transformación (Arts. 18 y 21 LPI): "Se entiende por reproducción la fijación directa o indirecta, provisional o permanente, por cualquier medio y en cualquier forma, de toda la obra o de parte de ella, que permita su comunicación o la obtención de copias. [...] La transformación de una obra comprende su traducción, adaptación y cualquier otra modificación en su forma de la que se derive una obra diferente. Los derechos de propiedad intelectual de la obra resultado de la transformación corresponderán al autor de esta última, sin perjuicio del derecho del autor de la obra preexistente de autorizar, durante todo el plazo de protección de sus derechos sobre ésta, la explotación de esos resultados en cualquier forma y en especial mediante su reproducción, distribución, comunicación pública o nueva transformación."

Tras el análisis de las normativas sobre propiedad intelectual y derechos de autor frente a la Inteligencia Artificial, se pueden extraer las siguientes conclusiones prácticas (UCA, 2025):

Tabla 2: Niveles de autoría de una obra generada por IA

Grado de interacción			Ejemplo	Protección	Riesgo práctico
IA	autónoma	(sin intervención)	Imagen generada con prompt genérico.	No	Sin derechos de autor
IA con intervención creativa			Ajuste de prompts, edición y supervisión.	Depende	Muy difícil de probar la autoría
IA	asistida (soporte de la creación)	(soporte de la creación)	IA como borrador, uso de loras personales o generación asistida	Si	Requiere la documentación de la intervención
Humano	principal, secundaria	IA	Diseño propio y uso de IA para mejoras o retoques.	Si	Fácil acreditación

El flujo de trabajo de un artista fallero que desee integrar la Inteligencia Artificial se enmarcaría principalmente en el tercer supuesto analizado: IA asistida como soporte de creación. El artesano utilizará la IA para ampliar y explorar sus propias ideas, partiendo siempre de bocetos preliminares propios. Asimismo, los modelos 3D generados por algoritmos actuarán invariablemente como una versión borrador (*base mesh*) que deberá ser revisada y retocada

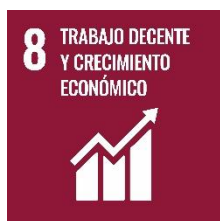
manualmente por el artista, asegurando que el resultado final nunca sea un trabajo generado al 100% por IA.

Para legitimar la autoría, el artista deberá documentar fehacientemente su intervención humana en el proceso mediante: la conservación de los *prompts* utilizados y las versiones intermedias, la documentación del proceso analógico (bocetos a lápiz, notas, esquemas estructurales), y la formalización de contratos donde se especifique con total transparencia ante la comisión cliente el uso de IA en el desarrollo del proyecto (UCA, 2025).

Por otro lado, resulta imperativo que el artista conozca las licencias de uso de los programas de IA que implementa, donde se estipulan los derechos sobre las obras resultantes. A modo de ejemplo, el modelo generativo tridimensional Tencent Hunyuan3D permite a los usuarios la explotación comercial de los activos 3D y reconoce la posesión de los derechos de autor sobre la obra final; sin embargo, impide registrar la propiedad intelectual sobre la malla originada de forma estrictamente automatizada. Por este motivo, el modelo digital en crudo debe someterse obligatoriamente a un proceso de limpieza y retopología en motores de modelado paramétrico o poligonal, como Blender y ZBrush, garantizando así tanto la autoría legal como la viabilidad técnica de la pieza.

En segundo lugar, resulta imprescindible considerar el marco medioambiental actual que rige en la ciudad y provincia de Valencia, así como su firme compromiso ecológico. Tras su reconocimiento como Capital Verde Europea, Valencia ha intensificado sus esfuerzos para reducir el impacto ambiental derivado de la celebración de las Fallas. Este proceso de transición ecológica implica la sustitución paulatina de ciertos materiales altamente contaminantes, la optimización en la gestión de residuos y el fomento de una mayor conciencia ambiental entre la ciudadanía, los visitantes, los artistas falleros y las propias comisiones.

El plan estratégico para el desarrollo de unas Fallas sostenibles se encuentra intrínsecamente ligado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. En el contexto de la digitalización y el uso de nuevos materiales en el taller fallero, destacan los siguientes objetivos fundamentales (Tomás Palacín, 2026):



ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento económico

Mejora del trabajo del artista fallero y sus condiciones de trabajo. La automatización de procesos dignifica el trabajo del artista fallero, mejorando sustancialmente sus condiciones laborales en el taller al reducir la exposición a riesgos físicos y agentes tóxicos. Asimismo, promueve la búsqueda de una economía circular que resulta económicamente beneficiosa tanto para los creadores como para las comisiones.



ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

Constituye un pilar fundamental en esta investigación. Fomenta el reemplazo de materiales contaminantes como el EPS para la creación de monumentos ecológicos, y justifica la búsqueda e implementación de nuevas tecnologías y procesos que impulsen al mundo fallero hacia los estándares de la Industria 4.0.



ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Persigue la mejora del entorno urbano mediante la paulatina eliminación del humo negro y los compuestos orgánicos volátiles, mejorando la calidad de la vida urbana y del aire. Al mismo tiempo, estas acciones buscan salvaguardar el patrimonio cultural de la fiesta.



ODS 12: Producción y Consumo Responsables

Exige reducir la generación de desechos desde las primeras fases de producción para alcanzar una mayor sostenibilidad. Esto se materializa a través de la reducción, el reciclado y la reutilización constante de recursos, priorizando la búsqueda de nuevos materiales ecológicos.



ODS 13: Acción por el clima

Se centra en garantizar una combustión limpia. El uso de polímeros y materiales compostables genera niveles de emisiones de gases de efecto invernadero drásticamente inferiores, promoviendo un uso casi nulo de derivados del petróleo.

Como hemos desarrollado en apartados anteriores, estas medidas medioambientales ya se están empezando a aplicar al sector fallero, teniendo como ejemplo claro al programa ECO-FALLES 4.0. Todo apunta a la digitalización del proceso y la fabricación aditiva como el futuro sostenible de las fallas.

Por último, resulta imprescindible abordar la dimensión sociológica y ética subyacente a esta investigación. La implementación de la Inteligencia Artificial y la fabricación aditiva irrumpe en un ecosistema fundamentado en valores tradicionales fuertemente arraigados.

Históricamente, el imaginario colectivo y las propias comisiones falleras han tendido a evaluar el mérito artístico de un monumento en proporción directa al esfuerzo físico y a la destreza manual invertidos en su ejecución. Sin embargo, como señala Amorós (2026), esta asociación plantea un sesgo limitante: evaluar la obra exclusivamente por el desgaste de su manufactura desvirtúa el propósito final del arte efímero, el cual debe ser juzgado por su capacidad comunicativa, su sátira y su impacto estético, independientemente de la herramienta empleada para su materialización.

Bajo esta premisa, es necesario recalcar que la tecnología no sustituye al artista, sino a la herramienta. Del mismo modo que la incorporación del control numérico computarizado (CNC), el pantógrafo de copiado y la sierra de hilo caliente industrializaron el desbastado de poliestireno a finales del siglo XX sin eliminar la figura del maestro mayor, la impresión 3D y los algoritmos generativos actúan hoy como nuevos instrumentos al servicio de la creatividad humana. El verdadero valor artístico no reside en la ejecución mecánica del lijado o vaciado de un bloque de polímero, sino en competencias críticas e insustituibles: la ideación del guion satírico, la composición volumétrica del remate, el cálculo estructural para desafiar la gravedad y el acabado pictórico. Estas disciplinas siguen dependiendo íntegramente del talento, la ironía y la dirección de arte del creador fallero.

A pesar de esta justificación técnica, existe una fricción evidente frente al cliente final. Como constata Amorós (2026), las comisiones falleras muestran una inherente resistencia al cambio metodológico. Si bien en la actualidad el cliente ha comenzado a normalizar y aceptar la impresión 3D como un método válido de fabricación para elementos arquitectónicos o detalles complejos, la Inteligencia Artificial sigue generando un profundo rechazo. Este estigma nace del miedo social a que la IA actúe como un ente sustitutivo del talento humano, en lugar de comprenderse como un asistente de ideación.

En consecuencia, el sector atraviesa una etapa de cierto oscurantismo tecnológico: gran parte de los artistas que emplean IA para el desarrollo de monumentos se ven obligados a ocultarlo por temor a la incompreensión del público o a la penalización por parte de los jurados. Superar este tabú requiere una profunda labor pedagógica. Resulta imperativo que el sector transite hacia una transparencia metodológica, educando a las comisiones desde una perspectiva positiva y demostrando que la asistencia digital agiliza el flujo de trabajo y enriquece el proyecto final.

La digitalización y la adopción de los principios de la Industria 4.0 en el ámbito fallero no persiguen, en ningún caso, la despersonalización de la obra de arte, sino la dignificación del sector. Su propósito es optimizar la eficiencia de los talleres, erradicar los procesos más lesivos para la salud del artesano y dotar al artista de los recursos tecnológicos necesarios para que el monumento efímero pueda seguir evolucionando. Solo a través de esta modernización se podrá garantizar una viabilidad económicamente competitiva y medioambientalmente sostenible, manteniendo intacta su inconfundible identidad artesanal.

2.2 Análisis crítico

A través de la revisión del estado del arte y el análisis técnico expuesto en los apartados anteriores, se constata que la creación de monumentos falleros se encuentra en un punto de inflexión tecnológico y operativo. La constante búsqueda de rentabilidad, eficiencia y sostenibilidad frente a las exigencias actuales del mercado ha impulsado la introducción paulatina de herramientas propias de la Industria 4.0. Específicamente, a la luz de los antecedentes expuestos, se evidencia que tanto la fabricación aditiva como la Inteligencia Artificial ya han penetrado en el sector fallero, pero lo han hecho de una forma completamente desestructurada y fragmentada.

De este análisis se desprende que el vacío metodológico actual radica en la falta de un flujo de trabajo integral y parametrizado. Al carecer de una sistematización que guíe al artista en la transición entre la creación digital y la materialización física, la implementación de estas herramientas impide aprovechar su verdadero potencial y convierte el desarrollo en un proceso continuo e ineficiente de ensayo y error.

Por ello, el presente Trabajo de Fin de Máster propone ir un paso más allá de la mera adopción de herramientas tecnológicas individuales. Como respuesta a la problemática identificada, este proyecto plantea el desarrollo y validación de una metodología unificada que conecte, de forma estructurada, la conceptualización generativa de la IA directamente con la optimización topológica y la fabricación aditiva de gran formato. La finalidad de este nuevo marco operativo es dotar al artista fallero de un proceso seguro y eficiente que garantice la viabilidad estructural, económica y sostenible del monumento fallero en su conjunto, asegurando la supervivencia y modernización del sector sin comprometer su valor artesanal.

3. Metodología

El presente capítulo describe la metodología empleada para el desarrollo práctico de este Trabajo Fin de Máster. Para alcanzar los objetivos planteados, se llevó a cabo un enfoque metodológico de carácter aplicado y experimental, centrado en el diseño y fabricación de un monumento fallero infantil mediante la integración de Inteligencia Artificial generativa y fabricación aditiva. A lo largo de esta sección se detallan las técnicas, los entornos de software y hardware utilizados en cada fase del proyecto. El procedimiento se estructuró en etapas delimitadas desde la ideación conceptual hasta la impresión 3D, ensamblaje y validación técnica; con el fin de garantizar el proceso y permitir la reproducibilidad de este flujo de trabajo.

3.1 Diseño general del estudio

El Proyecto realizado para este Trabajo Fin de Máster consistió en una investigación experimental sobre la implementación de la inteligencia artificial y la fabricación aditiva en el desarrollo de monumentos falleros.

Para ello, se planteó bajo un diseño metodológico mixto, integrando el diseño y fabricación de un monumento fallero infantil con la investigación experimental. El objetivo principal de este enfoque fue comprobar empíricamente la viabilidad de integrar las tecnologías analizadas previamente en el estado del arte, Inteligencia Artificial generativa y fabricación aditiva, dentro de un flujo de trabajo real, unificado y escalable para la creación de monumentos falleros.

La elección de esta metodología se justificó por la propia naturaleza del sector artesanal como son los monumentos falleros. La validación de un nuevo método productivo no puede quedarse en una simple teoría e investigación, requiere ir más allá de ella; resultaba indispensable someter la teoría recopilada a un escenario de producción tangible para evaluar la viabilidad técnica e identificar posibles fallos en la transición del entorno digital al físico. Para abordar el proyecto de forma sistemática y ordenada, el estudio se estructuró en seis fases de desarrollo consecutivas:

- Fase 1. Ideación y conceptualización asistida: Se generaron los bocetos iniciales y la conceptualización de la temática de la falla mediante el uso de herramientas de Inteligencia Artificial generativa.

- Fase 2. Modelado 3D asistido: Se llevó a cabo la traslación de los conceptos bidimensionales a un entorno de esculpido y modelado tridimensional asistido por inteligencia artificial.
- Fase 3. Renderizado y validación comercial: Se aplicaron herramientas de IA sobre los modelos tridimensionales para generar *renders* e imágenes de alta fidelidad, con el propósito de establecer un método eficiente para la presentación de propuestas conceptuales a los clientes (comisiones falleras).
- Fase 4. Análisis estructural y ajuste topológico: Se analizó el modelo tridimensional de la falla en su conjunto y se realizaron cálculos de estructuras para delimitar y seleccionar qué "ninots" o piezas volumétricas eran técnica y mecánicamente aptas para su manufactura mediante fabricación aditiva.
- Fase 5. Simulación de impresión 3D (Laminado): Se parametrizó y simuló computacionalmente el proceso de impresión de una selección de "ninots", evaluando la optimización de las piezas para su impresión, los tiempos de ejecución y las estrategias de soporte.
- Fase 6. Fabricación física y postproceso: Se procedió a la impresión 3D real de un "ninot" de prueba. Posteriormente, se aplicaron procesos de postprocesado y definición de Color, Material y Acabado (CMF) convencionales en la profesión fallera (masillado, lijado y pintura), verificando de forma tangible la viabilidad estética y material del flujo de trabajo propuesto.

3.2 Métodos, herramientas y equipos

Para la etapa inicial de la Fase 1 de ideación y conceptualización del monumento fallero, se implementó un flujo de trabajo paramétrico basado en Inteligencia Artificial generativa, combinando modelos conversacionales de procesamiento de lenguaje natural (NLP) y arquitecturas de difusión para la síntesis de imágenes.

Se empleó el modelo de lenguaje de gran tamaño (LLM) Gemini, fundamentado en una arquitectura de redes neuronales tipo Transformer. Esta herramienta actuó como asistente analítico y conversacional para la ideación de la temática, corroboración de elementos de diseño y estructuración narrativa de la propuesta del monumento. Su capacidad de procesamiento semántico fue clave para la ingeniería de *prompts* (prompt engineering), permitiendo traducir conceptos abstractos y requisitos técnicos en descripciones textuales precisas y estructuradas, consolidando así la coherencia de las ideas antes de su generación visual.

Para la traslación de estas ideas a conceptos visuales de alta fidelidad, se utilizó la plataforma de Inteligencia Artificial generativa Magnific, la cual opera como un entorno de ejecución para diversos modelos fundacionales de IA de código abierto y privativos. Dentro de este ecosistema, la generación y el procesamiento de las imágenes se basaron en:

- Modelos de difusión latente (Google Nano Banana 2 y Flu2 Flex): Estos algoritmos de generación texto-a-imagen (Text-to-Image) emplean un proceso iterativo de eliminación de ruido (denoising) en un espacio latente comprimido. Se utilizaron para materializar la estética, la volumetría base y la paleta cromática del monumento fallero, permitiendo controlar mediante hiperparámetros (como el CFG Scale y las semillas de generación) la fidelidad estructural frente a la creatividad algorítmica.
- Algoritmo de Upscaling: Se aplicó la red neuronal convolucional de superresolución nativa de Magnific. Este modelo no solo interpola píxeles para escalar geométricamente la imagen, sino que infiere y regenera texturas de alta frecuencia (como el grano del boceto o los degradados de color), aumentando la definición de la imagen sin pérdida de nitidez.

Para la transición de los conceptos bidimensionales a geometrías volumétricas, se recurrió a Tencent Hunyuan 3D (v3.1). Este avanzado modelo de IA generativa tridimensional opera mediante la inferencia de representaciones neuronales de campos de radiancia y mallas poligonales (Image-to-3D). Dependiendo de la oclusión y dificultad geométrica de cada *ninot*, se utilizó su modalidad *multiview*, la cual predice vistas ortogonales coherentes desde múltiples ángulos antes de consolidar la malla poligonal (mesh), garantizando así una mayor fidelidad volumétrica.

Una vez obtenidos los modelos tridimensionales en crudo (compuestos por vértices y caras triangulares), se utilizó el software de edición de mallas Meshmixer. Este programa operó exclusivamente como un entorno de ensamblaje digital (bloqueo espacial o *blockout*), sin aplicar restricciones físicas. A través de sus herramientas de manipulación de transformadas tridimensionales, se llevó a cabo la disposición espacial, el escalado proporcional y la intersección booleana visual de los diferentes *ninots* y elementos ornamentales, estructurando la composición volumétrica definitiva.

En cuanto a la validación estética y la generación de contenido multimedia para la presentación del proyecto (dossier comercial), se reintrodujo la plataforma Magnific, parametrizada específicamente con el modelo Google Nano Banana 2 en su modalidad de control por imagen (Image-to-Image / ControlNet). El software procesó las capturas planas del modelo 3D ensamblado, infiriendo mapas de profundidad y calculando un renderizado fotorrealista que simulaba la oclusión ambiental, el comportamiento especular de los materiales (barnices y pinturas acrílicas) y el impacto visual global.

Con el propósito de enriquecer la presentación mediante contenido interactivo, se recurrió al modelo generativo audiovisual Kling 3.0. Este algoritmo de difusión de video utiliza mecanismos de atención temporal para garantizar la consistencia fotograma a fotograma (frame-to-frame), generando secuencias multimedia dinámicas y rotaciones orbitales que facilitaron la percepción de escala, proporciones y composición espacial del monumento.

En la fase de ajuste topológico y cálculo de estructuras, se integraron dos plataformas de ingeniería y diseño divergentes:

- Blender 4.2 (Software de modelado poligonal y esculpido): Se importaron las mallas en crudo (.OBJ/.STL) generadas por la IA para realizar un riguroso refinamiento topológico. Utilizando herramientas de esculpido digital (algoritmos de suavizado laplaciano) y edición de vértices, se corrigieron elementos degenerados, se eliminaron auto-intersecciones y bordes no-manifold, y se reconstruyeron las superficies, asegurando que cada *ninot* fuera un sólido estanco e imprimible.
- SolidWorks 2024 Simulation (Software CAE): Para delimitar la viabilidad física del proyecto, se importaron las geometrías de las piezas estructurales críticas al entorno de SolidWorks para ejecutar un Análisis por el Método de Elementos Finitos (FEA). Se configuró un estudio estático lineal definiendo el material (PLA), las condiciones de contorno (fijaciones en la base) y la discretización por malla tetraédrica. El software simuló el campo de tensiones (criterio de Von Mises) y los desplazamientos bajo el peso gravitatorio y las cargas excéntricas de los *ninots*, permitiendo concluir de manera empírica si las piezas requerían rediseño, subestructuras de madera, o si estaban listas para la fabricación aditiva.

En la Fase 5, orientada a la optimización de los modelos y la simulación termomecánica de impresión, el flujo de trabajo se canalizó a través de dos programas:

- En primera instancia, se empleó Blender equipado con el complemento de código abierto CHOP-CHOP, desarrollado por el proyecto ECO-FALLES 4.0. Este algoritmo facilita la preparación de geometrías de gran formato para máquinas de volumen restringido. Sus funciones automatizaron la separación lógica de apéndices (mediante cortes booleanos con tolerancia ajustable), la cubificación de volúmenes masivos mediante planos de intersección paralelos, y el vaciado interior (*shelling*) para reducir la masa del modelo garantizando un espesor de pared estructural.
- Posteriormente, las matrices resultantes se exportaron al software de laminado (slicer) avanzado Bambu Studio. Este motor tradujo la geometría tridimensional en trayectorias de control numérico (G-Code). Se parametrizaron variables críticas para impresión a gran escala, tales como la altura de capa adaptativa, la velocidad cinemática (aceleración y

jerk), el patrón de relleno (*infill* cúbico adaptativo para absorber esfuerzos isotrópicos) y los algoritmos de soporte en árbol (*tree supports*). El simulador del software verificó la viabilidad de la extrusión y proporcionó estimaciones exactas del tiempo de ciclo y consumo volumétrico del filamento, asegurando la viabilidad del proyecto antes de encender la maquinaria.

Por último, se ejecutó una validación empírica mediante la producción física de un *ninot* prototipo de 55 cm de altura, integrando tecnologías de fabricación digital con procedimientos de postprocesado tradicionales del gremio de artistas falleros:

- Equipo de fabricación aditiva: La manufactura se llevó a cabo mediante Modelado por Deposición Fundida (FDM). Se empleó una Bambu Lab A1, una impresora 3D de cinemática tipo *bed-slinger* equipada con un sistema de extrusión directa, compensación activa de vibraciones (Input Shaping) y control dinámico del flujo de presión (Pressure Advance), lo que permite alcanzar altas aceleraciones sin pérdida de precisión dimensional en las paredes exteriores.
- Material de impresión: Se utilizó filamento termoplástico de Ácido Poliláctico (PLA) "High Speed" (línea "13D Tested Filament", suministrado por Impresoras3D.com). Este polímero ha sido modificado reológicamente para presentar un índice de fluidez (MFI) superior al PLA estándar, evitando la degradación térmica en extrusiones a alta velocidad. Presentado en bobinas de 1 kg (color blanco, acabado brillante), el material se extruyó de manera óptima dentro de una ventana térmica de 210 °C a 230 °C en el *hotend*, con una cama caliente (plataforma de adhesión magnética PEI) fijada entre 50 °C y 70 °C para prevenir la contracción diferencial y el consecuente *warping*.
- Instrumentos de verificación y desbastado: El control metrológico de las contracciones del termoplástico y la comprobación de tolerancias en los encajes (cajas y espigas de unión) se ejecutó mediante calibres pie de rey digitales y escuadras geométricas. La extracción mecánica de las estructuras de soporte y el desbarbado de los bordes se realizó manualmente empleando instrumental de corte de precisión (cúteres escalpelos) y espátulas de desbaste.

- Procesos de acabado y aplicación CMF (Color, Material y Finish): Para igualar la estética final del PLA a la de un *ninot* tradicional de poliestireno expandido o cartón piedra, se emplearon tratamientos analógicos. La soldadura de ensamblajes y la eliminación de las marcas de capa (efecto escalera) se resolvió mediante la aplicación espátulada de masilla de poliéster bicomponente. Tras su curado exotérmico y lijado al agua progresivo, se aplicó un aparejo de imprimación en aerosol (primer de alto espesor) para saturar la microporosidad del polímero y homogeneizar la energía superficial. La intervención cromática se ejecutó mediante técnicas mixtas: aerografía y pintura en aerosol para establecer fondos sólidos, volumetrías base y transiciones suaves (degradados), culminando con perfilados y sombreados de alta precisión técnica mediante pintura acrílica aplicada a pincel sintético.

3.3 Elementos adicionales

Para facilitar la comprensión global de la metodología aplicada y evidenciar la interconexión entre las diferentes fases, se elaboró un diagrama de flujo general del proyecto (véase Figura 60):

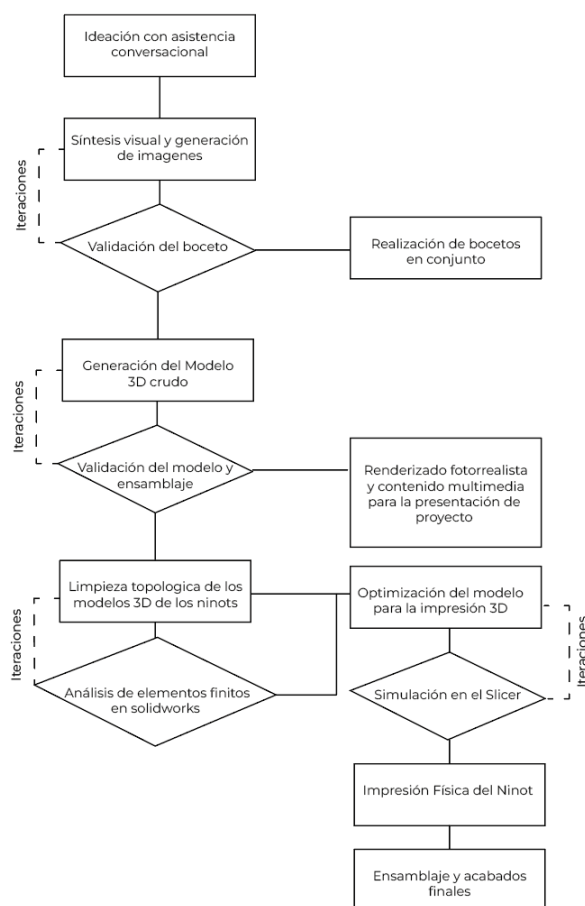


Figura 60: Diagrama de flujo general del proyecto

Dada la naturaleza híbrida de este proyecto, el proceso de validación se subdividió para evaluar cada área con sus métricas correspondientes.

La viabilidad técnica de los modelos generados por IA se validó por una parte, con el cálculo de elementos finitos de las estructuras principales y, por otra parte; se validó su correcto modelado y tiempo de creación para poder hacer una comparativa de tiempo optimizado por los artistas falleros en la creación de ideas y modelados. Asimismo, se utilizó el software de laminado para comparar los tiempos de producción y la reducción de masa volumétrica y material gastado.

Por otra parte, hay una demostración empírica de la metodología con el desarrollo integro de un “ninot” real de 55cm de altura. Para esta fase la comparación para la validación residía en un nivel

de acabado superficial y estético. La validación se consideró exitosa al comprobar que los procesos de aplicación de Color, Material y Acabado (CMF), masillado de poliéster e imprimación, lograron invisibilizar por completo la topología escalonada inherente a la tecnología FDM, permitiendo una adherencia perfecta de la pintura acrílica y logrando un resultado visualmente indistinguible de una obra artesanal tallada en EPS.

Para acotar el alcance de los resultados obtenidos y contextualizar la investigación, se definieron las siguientes limitaciones metodológicas y supuestos teóricos:

- Se asumió el comportamiento termomecánico del PLA High speed en el entorno controlado de simulación y de taller es extrapolable a las condiciones reales de exposición a la interperie.
- Limitaciones en la generación de modelados 3D con IA, aun no están listos para operar de forma totalmente autónoma sin una revisión topológica humana obligatoria.
- Se limitó el volumen de trabajo de impresión de los ninots debido a falta de maquinaria potente e industrial como impresoras de mayor tamaño, configurando el proceso a una versión mas lenta y pequeña de los resultados que desea obtener este trabajo.
- Se asumió la gran mayoría de cálculos estructurales de los ninots y sus pesos para la ligereza y densidad de este trabajo de investigación, solo haciendo hincapié en aquellos modelos que tienen una gran carga de fuerzas en el monumento fallero.
- Se asumió a su vez la mayoría de simulaciones de impresión de los ninots falleros para la ligereza y densidad de este trabajo de investigación, solo escogiendo una selección de ninots para simular su impresión debido a sus formas interesantes de analizar
- Se asumió que el trabajo manual realizado en la fase 6 era un desarrollo experimental. No se buscaba la realización final de un Ninot, sino un prototipo físico para mostrar las fases de fabricación; por ende el modelo queda “inacabado” para la presentación final. A su vez, se asume que el trabajo de este proyecto es analizar la fabricación de los ninots, todo postproceso que se realiza tras la fabricación es solo una estimación para emular el trabajo del artista fallero, no se pretende llegar al mismo nivel de detalle que un gran profesional del sector.

4. Desarrollo

Al inicio de esta fase de desarrollo, resulta pertinente retomar el objetivo principal de este proyecto, el cual consiste en desarrollar y validar un marco metodológico estructurado que guíe a los artistas falleros en la implementación eficiente de nuevas tecnologías, específicamente la Inteligencia Artificial y la fabricación aditiva. El propósito es optimizar los procesos de diseño y producción del monumento fallero sin comprometer su valor artístico y artesanal. Para poder alcanzar este objetivo principal de manera desglosada y escalonada, la ejecución práctica que se detalla en este capítulo persigue las siguientes metas específicas:

- Diseñar estrategias de optimización geométrica y estructural para las piezas que componen los monumentos, orientadas a reducir el consumo de material, los costes operativos y los tiempos de producción.
- Plantear un caso práctico integral a medida que se desarrolla la metodología, centrado en el diseño conceptual y la ideación de una falla infantil asistida mediante herramientas de Inteligencia Artificial, planificando su Modelado y Fabricación 3D.
- Materializar y verificar la metodología mediante la ejecución de un caso práctico real, consistente en la impresión 3D de un "ninot" infantil, lo que permitirá comprobar los resultados y evaluar la eficiencia operativa y la calidad del acabado final en comparación a los métodos tradicionales.
- Realizar una comparativa de los resultados obtenidos por este nuevo método frente a los actuales métodos de creación de monumentos falleros.

Todo el despliegue técnico expuesto a continuación busca poner a prueba la hipótesis fundamental de la investigación: que la viabilidad de utilizar procesos de Inteligencia Artificial y fabricación aditiva en el mundo fallero es alta y positiva. Se pretende demostrar que esta integración no solo logra reducir los tiempos y costes de producción frente a las exigencias actuales, sino que asegura la supervivencia del sector al proporcionar herramientas que potencian la eficiencia del artista sin sustituir su capacidad creativa.

Para materializar estos objetivos de forma ordenada, la ejecución técnica se estructuró siguiendo el diagrama de flujo general del proyecto presentado anteriormente en el apartado 4 Metodología.

4.1 Ideación y Conceptualización asistida

En esta primera etapa el objetivo era la ideación de un monumento fallero y su posterior conceptualización. Previamente al inicio de este apartado, se delimitó el tipo de falla que se iba a realizar. Para no realizar un trabajo muy extenso y a su vez no tener que preocuparte por cargas estructurales de gran envergadura, se decidió que se realizaría un monumento infantil frente a un monumento grande. Los monumentos infantiles presentan unas dimensiones mucho mas menores, de 3x3x3 metros de máximo; lo cual ayuda a poder enfocarse en el desarrollo de implantación de nuevas tecnologías sin necesidad de preocuparse por temas físicos y mecánicos. Para acortar mas el tipo de falla que se iba a realizar, se acotó un precio base que rondara entre los 10.000€, que supone fallas de sección 5 en infantiles. Esta acotación de presupuesto es una estimación para tener en cuenta la volumetría de la falla, para no generar fallas de alta calidad como sección especial pero no hacer un monumento de bajo presupuesto. En la realidad, el monumento generado en la realización de este trabajo tendría un precio diferente derivado del material y los acabados.

Antes de empezar con la ideación había que tener claro el concepto de Monumento fallero infantil. A diferencia de los monumentos grandes donde la sátira y la crítica social son la base de la estética, en los infantiles suelen liderar temáticas mas lúdicas y alegres. Utilizan normalmente imágenes mas infantiles como niños, animales o personajes con colores vivos y expresiones exageradas para llamar la atención de los pequeños. Además sus estructuras suelen ser diferentes, al ser mas pequeñas y con una volumetría cúbica, suelen ser mucho mas circulares y jugar con alturas. Mientras que los monumentos grandes hay un busto grande principal y pequeñas escenas en el suelo, En las infantiles el busto principal pasa a segundo plano, sirviendo de base para situar las escenas encima de el, dejando el suelo un poco mas limpio.

Teniendo los factores mencionados en cuenta comenzó el proceso de ideación de temáticas y posibles conceptos. Este proceso se llevó a cabo utilizando la IA conversacional Gemini de forma asistida, para la verificación de temáticas y posibles conceptos. El concepto elegido a desarrollar fue “Xicotets Inventors” , una temática que girara en torno a la ingeniería y sus ramas, las diferentes áreas de conocimiento. Como busto principal se situaría una columna de engranajes entrelazados, rodeados de niños de diferentes profesiones del campo. Como concepto inicial de partida era suficiente para ir desarrollando los conceptos. Para poder visualizar mejor si la idea tenia sentido era necesario una visión de ello.

Con esas primeras ideas se realizó bocetadas iniciales. Se evaluó empíricamente la viabilidad de sustituir el proceso tradicional de bocetaje analógico por un flujo de trabajo impulsado por Inteligencia Artificial generativa. El objetivo principal fue comprobar la capacidad de estos modelos para comprender la sátira, la estética volumétrica y las proporciones características del monumento fallero, transformando directrices de texto (*prompts*) y referencias visuales en conceptos de alta fidelidad. En una primera instancia, los resultados obtenidos por la IA generativa de Nano Banana 2 nos da resultados muy genéricos y poco propio de las fallas, sin esencia ni alma (véase Figura 61).



Figura 61: Primeras iteraciones del bocetado asistido por IA generativa

Para la correcta utilización de la IA en el bocetado de fallas es indispensable el Uso de recursos estilísticos y estéticas propias que los Artistas falleros utilicen. Cada artista fallero tiene su propia estética y trazado en su bocetado, es necesario transmitir las características propias de ese estilo al prompt. En el caso de este proyecto de investigación, debido a la falta de destreza por no pertenecer al gremio artesano, se optó por una creación de artificial de estética propia. Se definió la estética la cual se utilizaría para el conjunto del bocetado.

Esta estética creada se centró en una versión cartoon, con colores neutros vibrantes, movimientos dinámicos, cabezas y extremidades desproporcionadas en relación al cuerpo y rasgos muy expresivos; con un estilo de línea desgastado y colores de tinta digitales. Este estilo generado consigue generar una seña propia de identidad en el monumento desarrollado.

Una vez desarrollado el estilo a seguir para la realización del monumento, Se comenzó la fase de conceptualización de manera inversa a la manera tradicional. Como se ha comentado en el marco teórico, los artistas falleros tienden a generar una Figura general de el monumento que sirva como guía de diseño para el resto de los “Ninots”. Para el caso de la conceptualización asistida por IA, este proceso no es el más óptimo, debido a que la IA tiende a generar fallos cuanto mas quieres abarcar en una sola imagen. Es por ello que se realizaron primero los bocetos individuales de cada uno de los ninots previamente al bocetado final de la idea. Uno de los inconvenientes de seguir este proceso es la necesidad inicial de tener claro el número necesario de piezas y las escenas a representar, ya que de ellas dependerá el boceto final.

Para documentar la eficacia del proceso de generación, se ha seleccionado una muestra representativa del proyecto, ilustrada a continuación. El catálogo exhaustivo con las 26 figuras conceptualizadas a lo largo de esta investigación, junto con los parámetros exactos y los *prompts* utilizados, se encuentra debidamente documentado en el Anexo A del presente trabajo. Como pieza principal de presentación la cual perdura durante todas las fases de el desarrollo desde la ideación hasta la impresión física se acordó en que fuera el “ninot indultat”. Este ninot presente en todas las fallas tiene unas dimensiones estrictas para el concurso de 40 x 50 x 75 cm, por lo que tener una acotación real ayudó al proceso. Como resultado de la ideación, se decidió que el ninot a desarrollar en este trabajo sería un Niño diseñador, que representara fielmente la carrera realizada. La elección de esta temática fue puramente subjetiva y creativa.

Para lograr el nivel de precisión requerido, la metodología no se limitó a la generación puramente textual (Text-to-Image), sino que dependió en gran medida de la funcionalidad Image-to-Image. Tal y como se refleja en el Anexo A, la introducción de bocetos previos a mano alzada o imágenes de referencia (etiquetados como @img1 o @img2) en la estructura del *prompt* fue crucial para guiar al modelo. A partir de la definición de parámetros estrictos de relación de aspecto y resolución, el modelo algorítmico Nano banana 2 fue capaz de integrar elementos narrativos complejos manteniendo la pose y el estilo exigido. Así se obtuvo las primeras iteraciones del Ninot indultat con bocetado asistido por IA (véase Figura 62).



Figura 62: Iteraciones sobre el bocetado con estilo propio

El prompt utilizado para el bocetado de cada uno de los modelos utilizaba una secuencia similar e idéntica. Cada uno de los prompts utilizados se encuentra en el Anexo A junto a sus bocetos respectivos. De manera general el prompt seguía la siguiente estructura:

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young [nacionalidad] 7 years [rama de ingeniería] engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is wearing [descripción de el atuendo] and being [descripción de la acción que realiza el personaje] , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

La primera parte del prompt hace referencia al estilo artístico determinado utilizado. La segunda parte describe al personaje y su acción, es aquí donde el artista proporciona la información importante. Por ultimo se utiliza una imagen de referencia de estilo para remarcarlo y no perder consistencia entre bocetos. Utilizando el prompt mencionado se desarrolló los distintos bocetos Anexados al final de este documento.

No obstante, el análisis de esta fase también reveló ciertas limitaciones de la herramienta. A pesar de la precisión del modelo *Nano Banana 2*, ciertos elementos generados presentaron inconsistencias formales que requirieron intervención humana. Como se detalla en el registro documental del anexo A, determinadas generaciones de bocetos precisaron de una fase de

edición manual posterior mediante *software* de retoque fotográfico (Photoshop) para corregir errores y adecuar la imagen para su posterior transición al entorno tridimensional. Esta intervención reafirma el papel de la Inteligencia Artificial como una herramienta de asistencia al artista, y no como un sistema de reemplazo autónomo.

Se utilizó de nuevo la IA generativa en este caso para la creación de multiviews de un boceto ya generado. Esta herramienta ayuda al artista a poder realizar rápidamente versiones del mismo boceto en diferentes ángulos para poder entenderlo mejor y tener una concepción 3D mas detallada del modelo. La Figura 63 muestra la opción multiview.



Figura 63: Vistas del diseño final del Ninot Indultat

Siguiendo el mismo procedimiento realizado con el Ninot indultat, se realizó al detalle el diseño de cada uno de los ninots a desarrollar. Una vez realizados todos los bocetos, con ayuda de softwares de montaje como Photoshop se realizaron los bocetos a conjunto, dando sentido unificado a el monumento infantil y la creación de las escenas. La siguiente tabla muestra cada una de estas y los ninots implicados en ellas:

Tabla 3: Distribución de los ninots en en monumento fallero

Escena	Explicación
	01 ESCENA PRINCIPAL Esta escena sirve como eje principal de la falla y reúne el elemento de unión de ella, los engranajes, la estructura principal con la que se sustenta la falla. Representa las ingenierías base y derivados. Los Ninots en esta escena son: 01.1-Estructura 01.2-Diseño 01.3-Textil 01.4-Engranaje 01.5-Industrial 01.6-Lapiz 01.7-Mecanica
	01.1 AEREA La zona superior de la escena principal. Cuenta como una escena propia, pero es un derivado de la principal. Los ninots de esta escena son: 01.9-Astro 01.10-Forense





02 LATERAL DERECHO

Esta escena tiene como temática las herramientas digitales y multimedia. Su eje principal es una montaña apilada de dispositivos electrónicos.

02.1-TVs

02.2-Teleco

02.3-Audiovisuales

02.4-Multimedia

02.5-Sonido



03 TRASERA

Las traseras de las fallas suelen ser las zonas críticas de estas. En este caso se centra en englobar a las ingenierías de construcción y científicas. Los ninots de esta escena son:

03.1-Viga

03.2-Naval

03.3-Forestal

03.4-Agro

03.5-Ambientales

03.6-Arboles

03.7-Tienda

03.8-Química

03.9-Biotec



04 LATERAL IZQUIERDO

Esta escena representa las tecnologías eléctricas y electrónicas, teniendo un robot como eje principal de la escena. Los ninots de esta escena son:

04.1-Robot

04.2-Robotica

04.3-nfor

04.4-Electro

01.8-Electrico

Por ultimo, Se realizo mediante iteraciones con la IA con las composicones creadas y con programas de edición una versión final del diseño conceptual de la falla (véase Figura 64). Esta fase es esencial para el artista fallero ya que será la representación que da a conocer de su propuesta, debe plasmar la idea enseguida y tener un estilo propio de boceto. Para que todo eso se cumple se genero una imagen estilo boceto bajo el lema “Enginys del demà”, una frase que simplifica todo lo que el monumento quiere representar.

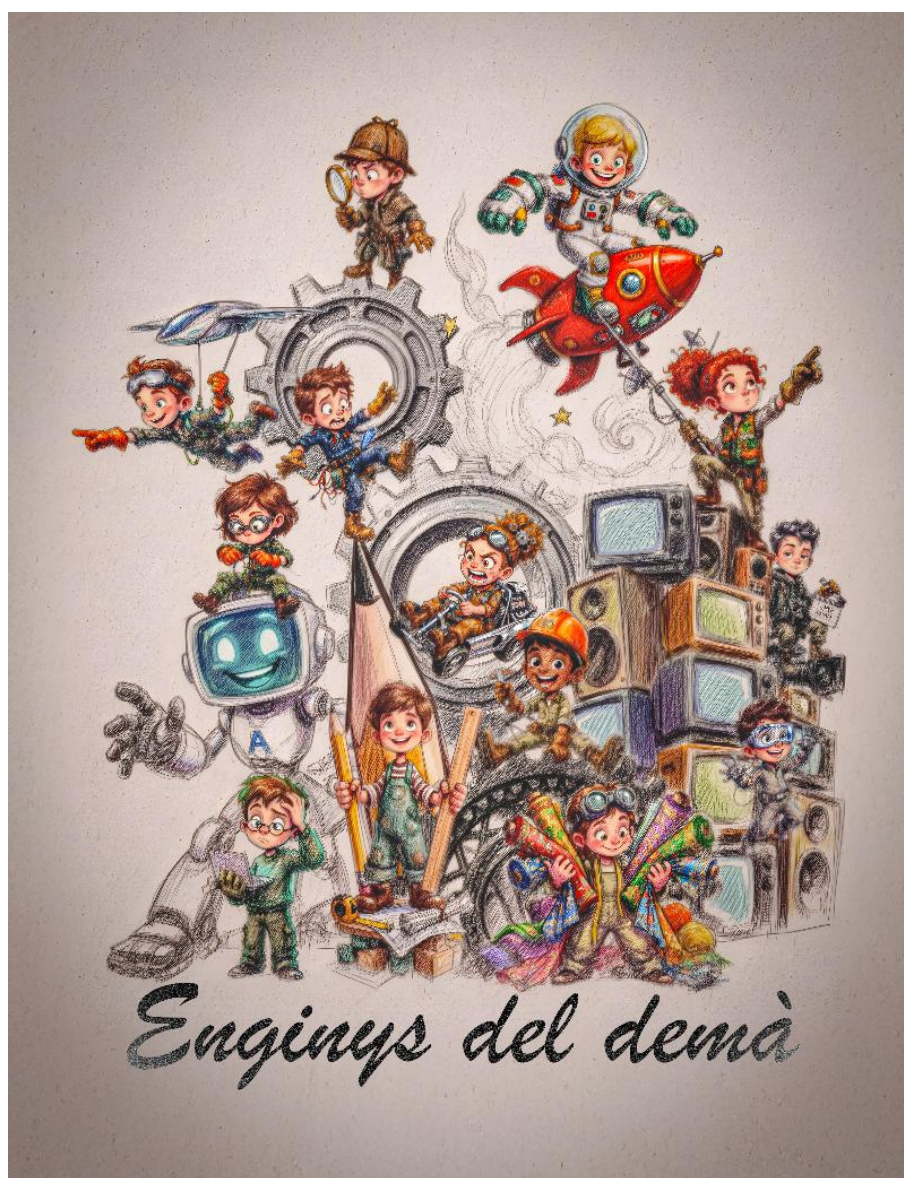


Figura 64: Diseño final completo de la propuesta de monumento infantil asistida por IA

4.2 Desarrollo Tridimensional y Composición

Una vez consolidados los bocetos individuales de cada uno de los ninots y sus respectivas vistas, el objetivo de esta segunda fase fue materializar dichas ideas a el entorno tridimensional. Para evaluar la automatización de este paso y conseguir modelados de manera rápida y efectiva se utilizó el modelo fundacional de Inteligencia Artificial Tencent Hunyuan 3D (v3.1).

Previo al modelado 3D asistido por IA, es importante realizar un último paso en la generación del boceto. Se debe diferenciar claramente el boceto realizado del ninot y la imagen que se utilizará para generar el modelo 3D. Los programas de generación de mallas por inteligencia artificial suelen ser muy sensibles y demasiado precisos con la imagen de referencia que se utiliza. Es por eso que se realizó una limpieza general del boceto de elementos que puedan generar confusión a el modelo de IA de interpretar. Por otra parte, se debe eliminar los elementos del ninot que no vayan a ser impresos en 3D o que vayan a ser impresos por separado. En este caso, para el ninot indultat se eliminó la base y los elementos de la base, ya que serán puestos a posterior de la impresión y de otros materiales. Para la mejor interpretación del boceto a una profundidad 3D, se utilizó un prompt con Nano banana 2 para convertir el boceto en una escultura 3D blanca (véase Figura 65). El modelo Tencent Hunyuan es un modelo detallado que crear la malla con colorimetría incluida, por lo que quitarle el color y generar una imagen con profundidad ayuda al entendimiento del modelo.



Figura 65: Imagen generada del modelado 3D

Se realizó una comparativa entre modelos para poder elegir cual sería el utilizado y por ende el de mayor calidad (véase Figura 66). Siguiendo la imagen, los modelos a comparar (de izquierda a derecha) fueron: Tencent Hunyuan V3.1 – Tencent Hunyuan V3.0 – Tripo V3.1 – Tripo P1. Analizando los mallados obtenidos, podemos ver una diferencia entre tanto los dos modelos utilizados como sus versiones. La calidad de mallado de Tripo se queda más corta en comparación con los resultados obtenidos por Tencent. Mientras que los modelos de Hunyuan (especialmente la V3.1) presentan una topología limpia, con una alta resolución en los detalles finos y superficies pulidas, las versiones de Tripo evidencian una mayor presencia de ruido superficial y artefactos geométricos.

Al observar elementos críticos como las herramientas (el calibre y el lápiz) o los pliegues de la ropa, se aprecia que los modelos de Tencent logran una mejor retención de las aristas y una mayor definición volumétrica. Por el contrario, los mallados generados por Tripo tienden a suavizar en exceso estas intersecciones, generando un efecto de 'fusión' o pérdida de agudeza (sharpness) en los detalles de alta frecuencia. Además, en superficies que deberían ser regulares o cilíndricas, como la bobina de filamento que sirve de base, los modelos de Tripo muestran irregularidades topológicas que requerirían un mayor trabajo de postprocesado y retopología.



Figura 66: Comparativa de modelados 3D

Para la ejecución de la conversión volumétrica, se configuró la herramienta en modo de generación a partir de imagen única (*Image-to-3D*), utilizando como base las ilustraciones conceptuales sin color para facilitar la interpretación de la luz y el volumen por parte del algoritmo. El motor seleccionado fue la versión 3.1 del modelo generativo.

Con el objetivo de obtener la máxima fidelidad posible en los detalles orgánicos e inorgánicos del personaje, el parámetro de densidad de malla se ajustó a su valor máximo permitido por el *software*. Como resultado, se generó un modelo tridimensional en crudo compuesto por una topología de mallas triangulares de altísima densidad, alcanzando un recuento exacto de 1.500.000 caras poligonales y 887.203 vértices, con un peso de 71,8 MB. Esta excesiva carga poligonal, si bien útil para capturar detalles, corroboró la ineludible necesidad de aplicar procesos de retopología y optimización manual en fases posteriores para hacer el archivo manejable en entornos CAD y de simulación. La Figura 67 muestra la interfaz, configuración y resultado final del modelo 3D.

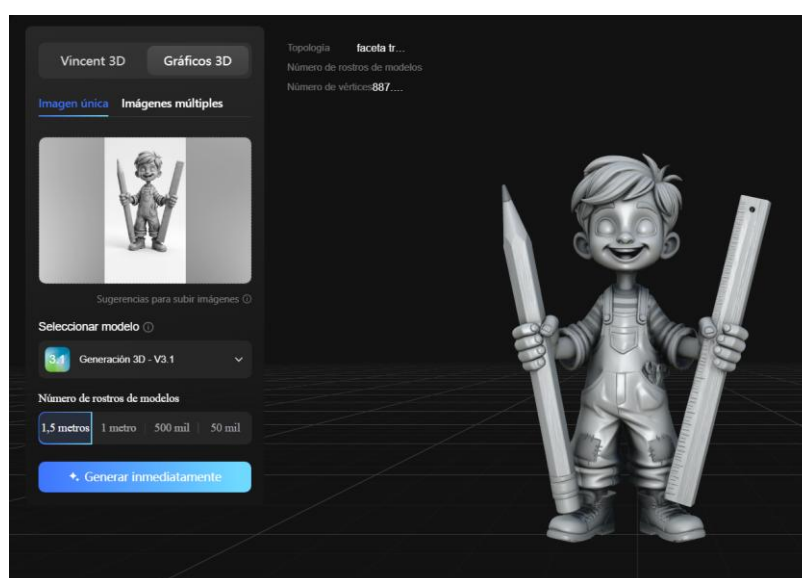


Figura 67: Interfaz de Tencent Hunyuan y Modelo 3D generado

Utilizando los mismo parámetros y metodología, se generaron los demás Ninots de el monumento fallero. Los modelos obtenidos con sus correspondientes medidas se pueden consultar en el ANEXO B al final de este documento.

Los resultados obtenidos de la generación de malla de la gran mayoría de ninots consiguieron un resultado muy bien detallado. La mayoría de zonas a las cuales se les suele asociar como puntos críticos del modelado como suelen ser los pelos, dobleces de la ropa, zonas no visibles o rasgos faciales; consiguieron muy buena resolución y calidad, prácticamente la gran mayoría de modelos 3D no necesitaron de un postprocesado arduo ni difícil. La Figura 68 muestra los detalles mas notorios del modelo.

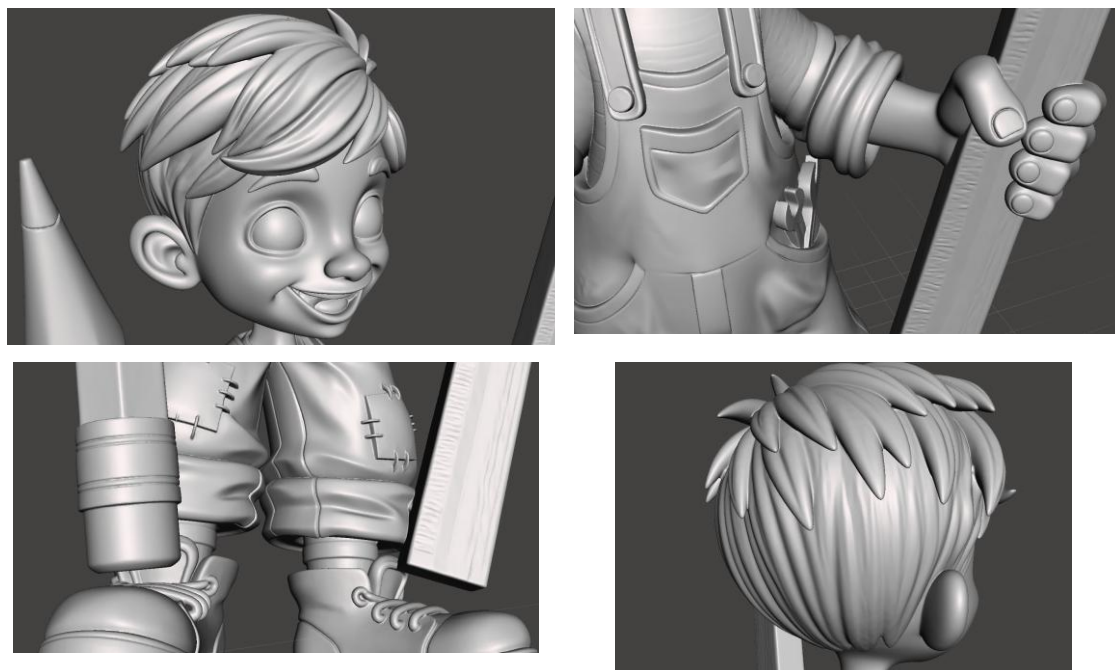


Figura 68: Detalles del modelado 3D del ninot Indultat

Una vez generados los ninots de las escenas a representar, se debía situarlos en un espacio en conjunto por tal de Visualizarlo íntegramente. Para ello se utilizó el programa meshmixer, debido a su facilidad y agilidad para poder mover modelos sin necesidad de complicaciones. Los modelos fueron situándose en respectivo orden como en los bocetos de las escenas. Al igual que en los monumentos falleros actuales, donde la gran mayoría de veces el boceto se convierte en una aproximación a la realidad; el monumento final generado tuvo cambios respecto a la idea original. Estos cambios se produjeron por 2 motivos: El primero es el relacionado con el entendimiento de la IA sobre algunos ninots, a veces la IA no logra captar la imagen y las profundidades de manera exacta; es por eso que hay zonas de modelos donde se puede notar como han tenido un ligero cambio respecto a la idea original. El segundo de los motivos viene dado por la visión 3D que le da el artista fallero a el monumento. Al verlo en un Boceto 2D no se puede lograr la misma sensación de profundidad de campo. Al convertir las ideas en objetos tridimensionales, el artista tiende a generar cambios relacionados con las perspectivas y volúmenes de los objetos. Las Figuras 69 y 70 muestran el conjunto unido frontal y trasero, respectivamente.

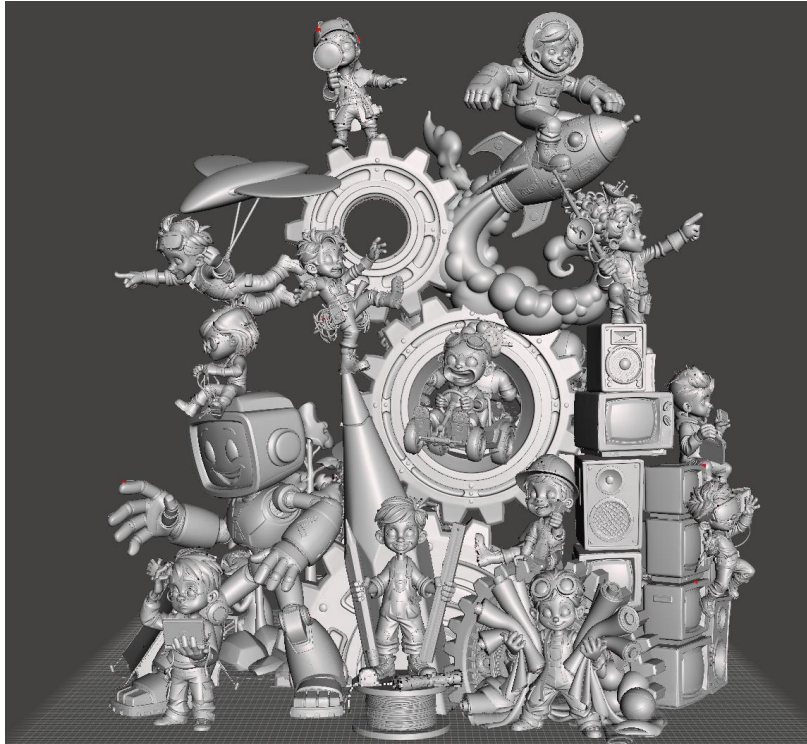


Figura 69: Vista frontal del monumento fallero generado por IA



Figura 70: Vista trasera del monumento fallero generado por IA

Otro de los aspectos a tener en cuenta respecto a esta unión de modelos es su valor puramente visual. En esta unión del modelo no se tienen en cuenta las uniones ni los soportes. Sin embargo, la posición en la que se sitúan los ninots sí que es importante de analizar, ya que a partir de esta posición virtual se realizarán posteriormente en versión física dichas uniones. Este concepto se desarrollará más adelante en el apartado 4 junto a la validación de piezas.

Aunque favorablemente la calidad de los modelados y las proporciones de los ninots es correcta, el modelado de IA mediante Tencent Hunyuan tiene un defecto relacionado a su vez con la calidad, y es la sobre detallismo que proporciona (véase Figura 71). La mayoría de los ninots presentan detalles demasiado sobrecargados, elementos que no deberían de existir o muchos otros que se deben de eliminar. A su vez, ese detallismo extremo que, por una parte consigue los ninots consigan un buen acabado, también genera superficies demasiado exactas tanto que genera irregularidades. Es el caso de los pliegos de la ropa, logos, manchas y otros efectos provenientes del boceto. Hay que tener en cuenta que tras la generación de las mallas existe un postproceso obligatorio de ajuste topológico, los mallados generados por IA deben ser solo un punto de partida, además de más procesos de lijado imprimación y masillado en su contraparte física, por lo que el detallismo sobreexagerado generado por la IA puede llegar a ser inservible o fastidioso.

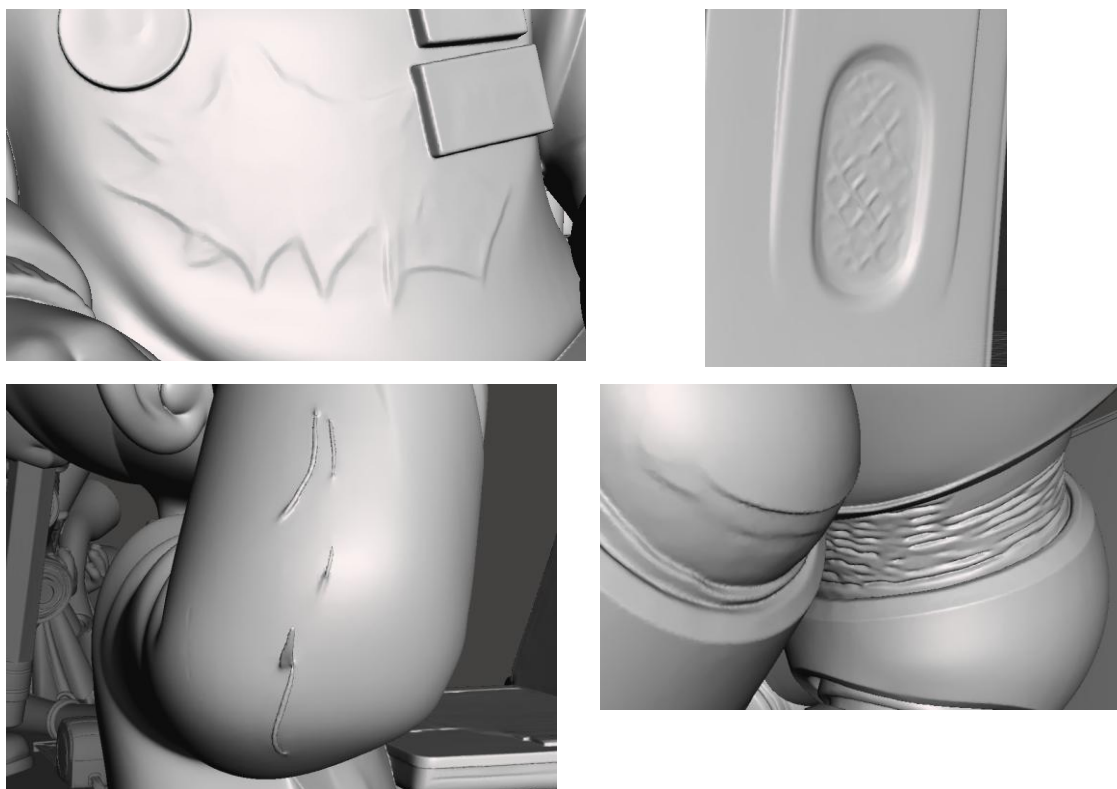


Figura 71: defectos superficiales del mallado de los ninots

4.3 Validación visual y presentación comercial

Tras finalizar la composición espacial de los diferentes modelos en sus respectivas posiciones, la siguiente fase consistió en la generación de imágenes fotorrealistas. Esta etapa cumple una doble función: la validación técnica visual por parte del artista y la elaboración del material de presentación o *dossier* destinado al cliente final (las comisiones falleras). Tradicionalmente, la comprobación de la colorimetría y el comportamiento de los brillos requiere la elaboración de maquetas a escala o la compleja parametrización manual de texturas, mapas de normales y luces en motores de renderizado estándar, lo que supone un elevado coste temporal.

Para optimizar este proceso, se implementó el uso de IA generativa (mediante la plataforma Magnific y el modelo *Nano Banana 2*) como herramienta de desarrollo visual (*lookdev*). La metodología consistió en utilizar capturas del modelo 3D en crudo generadas en la fase anterior y referenciarlas directamente con sus respectivos bocetos bidimensionales. Es imperativo que el boceto original posea una paleta de colores consolidada, ya que el algoritmo la utilizará como mapa base para proyectar la materialidad. En este caso de estudio, se solicitó explícitamente la aplicación de un acabado barnizado, emulando el efecto especular (*glossy*) característico de la pintura convencional de los "ninots". La Figura 72 muestra el resultado conseguido.



Figura 72: Imágenes fotorrealistas del acabado del Ninot realizado con IA

Al someter este concepto al modelo de IA generativa, generó un render final de alta calidad. En este resultado, el modelo Nano Banana 2 ejecutó las siguientes simulaciones materiales sin necesidad de intervención manual:

- Iluminación y volumetría: Proyección de un esquema de iluminación calculando la oclusión ambiental, sombras arrojadas del modelo y los rebotes de la luz, otorgando una percepción de volumen real a la figura.
- Simulación de Materiales y Colores: Aplicación de propiedades físicas a la superficie digital. Generación de reflejos emulando el acabado satinado y el barniz protector característico de la artesanía fallera tradicional. Asimismo, el modelo interpretó correctamente la materialidad de los accesorios, dotando de texturas y pinturas con sentido.
- Enriquecimiento del contexto: Integración coherente de los elementos no imprimibles de la figura. Gracias a esta representación visual, se pueden añadir los elementos que no van a ser impresos y poder realizar su visión correctamente, como es el caso de los elementos decorativos y la peana de la parte inferior.

Esta previsualización fotorrealista resultó ser una herramienta analítica muy útil, permitiendo establecer unos parámetros CMF (Color, Material y Acabado) definitivos que servirían como estándar visual de referencia para la posterior fase de manufactura física, teniendo en cuenta que se realizarán cambios a ultima hora ya que el acabado final del ninot siempre dependerá del trazo del artista. Las imágenes de validación se generaron parametrizando el siguiente *prompt* estructurado, donde se combinan variables de texto e imagen:

“[**Imagen Modelo 3D**] es un modelo 3D de un muñeco de falla. [**Imagen del Boceto**] es su boceto donde se pueden ver los colores y acabados que quieren conseguir. Foto editorial fondo blanco de este muñeco con acabados realistas, pintado y barnizado, HD 8k resolution professional camera realistic natural, elimina los elementos de detras. Añade los elementos que en el boceto se ven en la parte inferior, Utiliza [**Imagen Modelo 3D**] para la forma y [**Imagen del Boceto**] para los colores”

Una vez validada la colorimetría individual, se procedió a la presentación del conjunto monumental. En primer lugar, se extrajeron vistas limpias y renderizadas del modelo 3D unificado en acabado neutro (*clay render*). Estas vistas frontales y traseras resultaron cruciales para la comprensión volumétrica y espacial de la obra en su totalidad (véase Figura 73 y 74).

Para complementar estas imágenes estáticas y aportar un valor añadido a la presentación comercial, se generó un vídeo rotativo (*turntable*) del monumento. Para esta tarea, se empleó el modelo de generación de vídeo *Kling 3.0*, configurado con una relación de aspecto 1:1, resolución 1080p a 24 fotogramas por segundo (fps) y una duración de 5 segundos. Utilizando el modo de interpolación *start-end*, se logró definir un movimiento de cámara orbital fluido que facilita la previsualización tridimensional por parte de la comisión.



Figura 73: Imagen renderizada del Modelado 3D Frontal



Figura 74: Imagen renderizada del Modelado 3D trasera

Un hallazgo fundamental de esta fase investigativa fue identificar los límites operativos de la herramienta. Si bien la IA generativa demostró excelencia al aplicar color a "ninots" individuales, fracasó al intentar colorear la malla del monumento en su totalidad. Esta limitación técnica se debe a la excesiva carga de información (alta frecuencia de detalles, superposición de figuras y multiplicidad de expresiones faciales) que la red neuronal debe decodificar simultáneamente. Ante tal nivel de "ruido" visual y mezcla cromática, el modelo es incapaz de mantener la consistencia temporal y espacial, generando artefactos y desvirtuando la paleta de colores (véase Figura 75). Por consiguiente, se determinó que para la presentación comercial global del monumento resulta más efectivo mantener el modelo tridimensional en acabado neutro (crudo), reservando el color para las figuras aisladas.



Figura 75: Imagen fallida del monumento fallero pintado en su totalidad

Con el objetivo de respaldar la viabilidad del proyecto, se generaron imágenes de integración contextual. Empleando nuevamente el modelo *Nano Banana 2*, se situó la volumetría del monumento en un entorno fotográfico real de calle (véase Figura 76). El resultado proporcionó una aproximación de escala altamente precisa, permitiendo evaluar el impacto urbano de la falla.



Figura 76: Imagen contextual del monumento fallero para la volumetría general

Por otra, se realizó dos tipos de imágenes comerciales. En primer lugar las imágenes de la propuesta del monumento. Estas imágenes son generalmente utilizadas para presentar la idea a las comisiones, junto a los bocetos del monumento. Existen imágenes donde solo muestran un pequeño “Sneak peek” de la propuesta, enseñando parte de un ninot clave el cual contega la información necesaria para entender la propuesta (véase Figura 77). Además, las imágenes mas utilizadas son las del modelo 3D en su totalidad y la presentación tanto del artista como de la comisión a la que se realiza la propuesta (véase Figura 78). Junto con ayuda de programas de edición de fotos (Photoshop) se realizaron los carteles publicitarios de la propuesta.



Figura 77: Cartel estilo Sneak Peek de la propuesta de monumento fallero



Figura 78: Cartel principal de la presentación de la propuesta del monumento fallero

Como añadido de alto impacto, la IA permitió generar renderizados fotorrealistas de "acción" con los ninots en contexto. Esta innovadora forma de presentar las ideas trasciende el boceto estático tradicional, generando una potente inmersión narrativa. En conclusión, los resultados obtenidos en esta fase corroboran que la IA generativa, utilizada con rigor y complementada con edición manual, eleva drásticamente la calidad de la presentación comercial, facilitando el entendimiento espacial y estético entre el artista fallero y su cliente (véase Figura 79-81).



Figura 79: Renderizado fotorrealista 1



Figura 80: Renderizado fotorrealista 2



Figura 81: Renderizado fotorrealista 3

4.4 Ajuste topológico y Análisis estructural

En esta fase, el enfoque del proyecto transiciona desde la ideación estética hacia la ingeniería de detalle, estableciendo el puente técnico necesario para viabilizar la fabricación de los ninots. Si bien el motor generativo *Tencent Hunyuan 3D* proporcionó bases volumétricas con acabados superficialmente limpios, la naturaleza de estos modelos genera frecuentemente anomalías topológicas que inhabilitan la impresión 3D directa. Por consiguiente, se hizo indispensable una etapa de limpieza para eliminar artefactos no imprimibles, solventar auto intersecciones y garantizar que las mallas fueran completamente sólidas y cerradas.

Para ilustrar el procedimiento de ajuste topológico, este apartado detalla la intervención realizada sobre el *ninot indultat* (figura del niño diseñador), previamente validado para su manufactura. El refinamiento de los modelos se ejecutó en el entorno de modelado poligonal *Blender* y se estructuró en dos operativas fundamentales:

Primero, un suavizado superficial y purga de artefactos. La primera operativa consistió en un suavizado general (*smoothing*) de la geometría (véase Figura 82). Dado que los modelos de Inteligencia Artificial fueron generados priorizando una alta retención de detalle, las mallas presentaban micro-rugosidades inherentes a la densa triangulación inicial. Mediante las herramientas de esculpido digital de *Blender*, se eliminaron picos, vértices descontrolados y defectos de superficie, tapando pequeñas imperfecciones sin alterar las proporciones de la figura. Esta homogeneización facilitó enormemente el manejo de la topología.

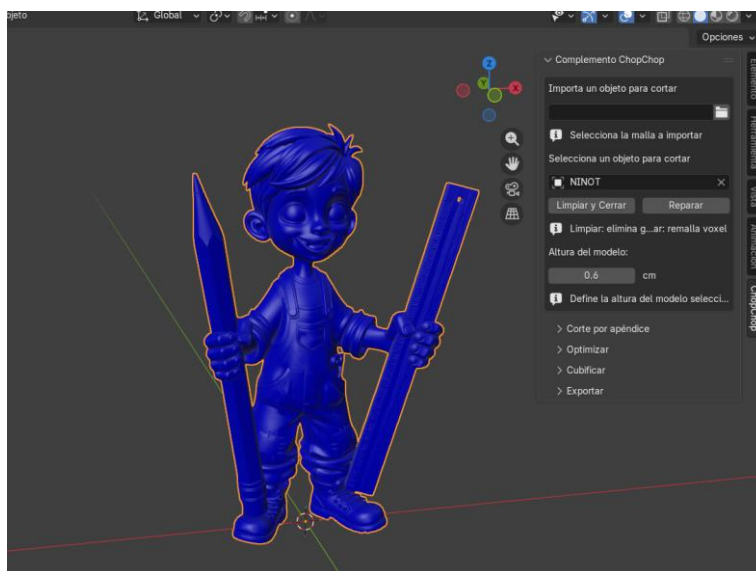


Figura 82: Modelo 3D Suavizado en Blender

El segundo paso, de carácter más crítico, abordó la corrección de errores estructurales graves generados por la IA. En el caso de ejemplo, se detectó una severa fusión geométrica entre el pantalón, el zapato y la regla que sostenía el personaje (véase Figura 83).

Este fenómeno de solapamiento es un error endémico en la síntesis 3D asistida por IA a partir de imágenes simples. Al carecer de información real sobre la profundidad de campo en las áreas ocluidas (zonas ocultas a la vista en el boceto 2D de referencia), el algoritmo no logra discriminar el espacio vacío entre los elementos, colapsándolos en una masa poligonal continua. Otros errores recurrentes de similar naturaleza incluyeron la extrusión indeseada de elementos del fondo de los bocetos, interpretados erróneamente por el motor como geometría tridimensional sólida.

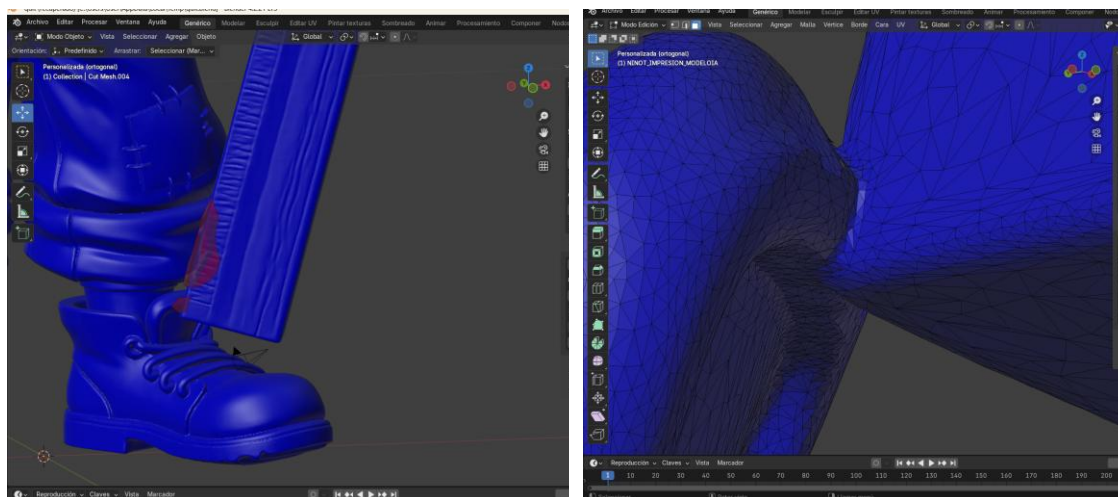


Figura 83: Error de solapamientos entre dos superficies del modelo

Para solventar esta fusión, se aislaron y eliminaron manualmente los polígonos correspondientes a la intersección, separando la regla de la pierna. Esta operación de corte dejó ambas mallas abiertas como “boundary edges”. Acto seguido, se utilizaron comandos de reconstrucción de caras (*Grid Fill* o relleno de huecos) para sellar la topología de ambos elementos de forma independiente.

Es importante señalar que la malla resultante de estos rellenos automáticos es básica y rompe el flujo natural de los polígonos (véase Figura 84). No obstante, desde la perspectiva de la manufactura fallera, se asumió estratégicamente que no era necesario invertir un tiempo excesivo en esculpir digitalmente un cierre perfecto. Cualquier leve deformidad poliédrica resultante de esta escisión sería fácilmente subsanada durante la fase de CMF (Color, Material y

Acabado), donde la aplicación manual de masilla de poliéster y el lijado físico del "ninot" impreso absorberían estas imperfecciones.

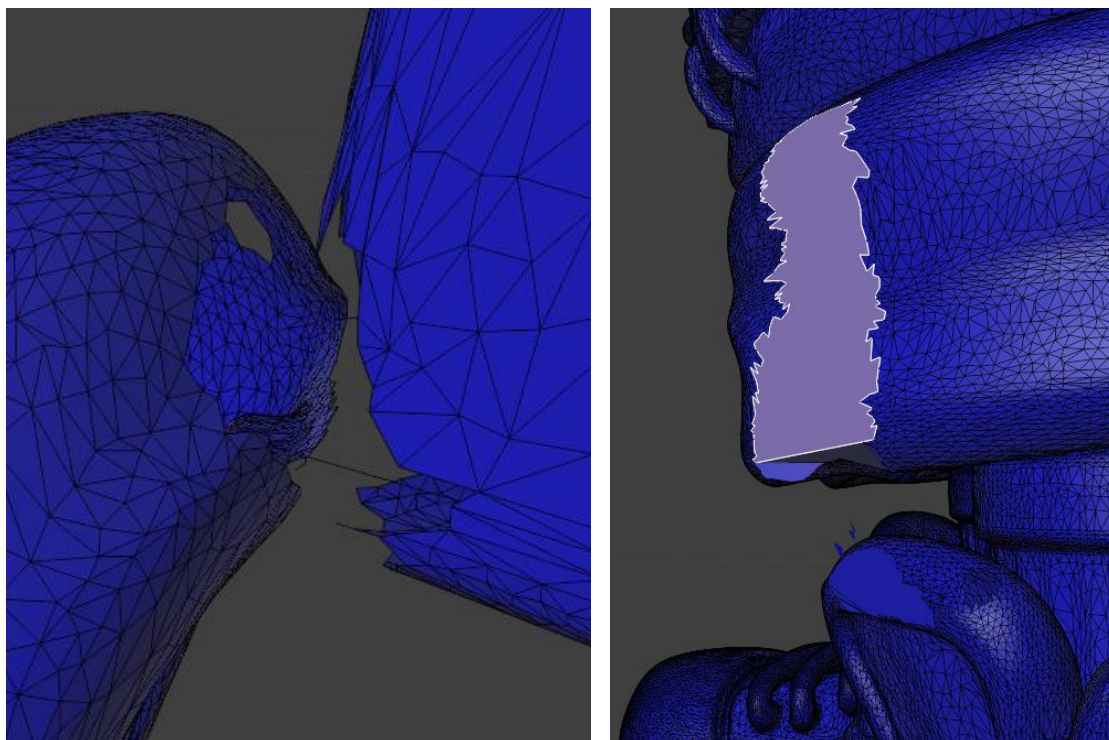


Figura 84: Arreglo del solapamiento mediante eliminación y recomposición del mallado

En conclusión, los arreglos topológicos documentados evidencian que, si bien los modelos nativos de IA de última generación no son aptos *out-of-the-box* para la fabricación aditiva, la base volumétrica que ofrecen reduce drásticamente los tiempos globales frente al modelado desde cero. El esfuerzo de postprocesado digital en *Blender*, centrado en separar solapamientos y purgar elementos no imprimibles, supone un trámite técnico ágil y altamente rentable para el artista fallero.

Una vez garantizado que todos los modelos presentaban una geometría topológicamente limpia e íntegra, los archivos se exportaron para dar inicio a la fase de cálculo estructural y simulación física de cargas.

Esta fase resulta fundamental para los objetivos del proyecto. Dado que se propone un paradigma innovador en la producción de ninots, es imprescindible verificar que la fabricación aditiva y los materiales seleccionados son capaces de soportar las condiciones exigidas en los monumentos falleros, tal y como se ha analizado previamente en el estado del arte.

Para optimizar el flujo de trabajo, se establecieron ciertas suposiciones y simplificaciones en el proceso. Los ninots de menor tamaño, como el modelo de ejemplo utilizado, están sometidos a cargas mecánicas muy leves, limitándose prácticamente a la fuerza de la gravedad, por lo que no presentan compromisos estructurales significativos. No obstante, se planteó una esquematización de su armadura interna para garantizar una correcta estabilización. Tal y como se ilustra en la Figura 85, se adaptó el método tradicional empleado por los artistas falleros para la generación de estructuras portantes. Este sistema se concibió mediante el uso de varillas de madera conectadas entre los distintos apéndices de las piezas. De este modo, los ninots adquieren un esqueleto con la rigidez geométrica necesaria para soportar su propio peso.

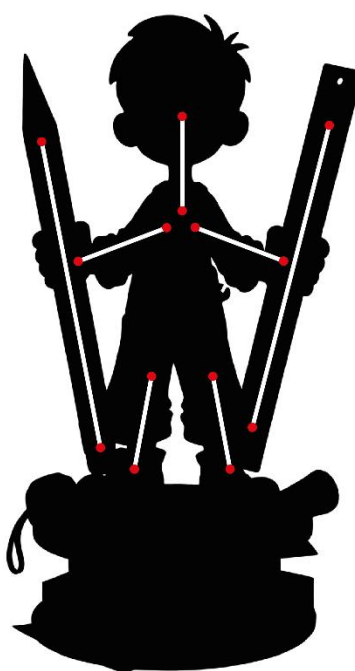


Figura 85: Esquema de estructura interna de varillas del ninot

Posteriormente, se evaluó de forma crítica la viabilidad de producir cada uno de los ninots mediante fabricación aditiva, tomando en consideración sus requerimientos mecánicos y funcionales. Como resultado de este análisis, se descartó la impresión 3D para ciertas piezas. Esto se debió, por un lado, a que algunos modelos presentaban una geometría tan simple que su fabricación aditiva resultaba ineficiente frente a métodos más directos; y por otro, a que determinados componentes formaban parte de zonas sometidas a cargas estructurales críticas que desaconsejaban el uso de esta tecnología.

Tabla 4: Modelos excluidos de la impresión 3D

Pieza	Motivo
	Su producción mediante impresión 3D resulta ineficiente, dado que no se lograría el acabado estético deseado. Su correcta fabricación requiere el empleo de una estructura interior revestida con materiales textiles.
	Fabricación híbrida. Las geometrías de esta zona son predominantemente simples y ortogonales, por lo que el uso exclusivo de fabricación aditiva complejizaría el proceso de manera innecesaria. No obstante, el conjunto contiene elementos con un alto nivel de detalle que pueden imprimirse en 3D para su posterior ensamblaje.
	La estructura principal presenta riesgos mecánicos significativos si se fabrica íntegramente mediante impresión 3D. En primer lugar, se trata de un elemento de 2 metros de altura con un grosor de 25 cm, lo que compromete su resistencia y demanda una configuración más maciza. En segundo lugar, actúa como base portante para una gran parte de los ninots, soportando las cargas gravitatorias de estos. Dadas estas condiciones, la estructura requiere propiedades mecánicas superiores que garanticen la estabilidad y eviten el vuelco del monumento.

Figura 86: Modelado de Engranajes

Figura 87: Modelado de Tvs

Figura 88: Modelado de la tienda de campaña

Para demostrar la inviabilidad técnica de fabricar la estructura principal del monumento exclusivamente mediante impresión 3D, se llevó a cabo un estudio estático de fuerzas, seguido de una simulación mecánica simplificada utilizando el software SolidWorks Simulation. El objetivo de este análisis preliminar fue evaluar la viabilidad de sostener el monumento empleando únicamente PLA procesado mediante modelado por deposición fundida (FDM), frente a la necesidad imperativa de integrar una subestructura portante.

En primer lugar, se elaboró un esquema de fuerzas para simplificar el modelo estructural. Tal y como se observa en dicho esquema (véase Figuras 89 y 90), se han simplificado las geometrías de la estructura base y se han posicionado los vectores de carga que los ninots ejercen sobre la misma. Dichas fuerzas representan el peso total de las figuras, el cual se transmite a la estructura principal mediante las uniones con varillas de madera. La dirección y el sentido de las fuerzas varían en función de la ubicación espacial de cada ninot: algunas piezas apoyan directamente sobre la superficie, transmitiendo la carga vertical por gravedad, mientras que otras se disponen en voladizo o con anclajes laterales, induciendo fuerzas excéntricas sobre el conjunto.

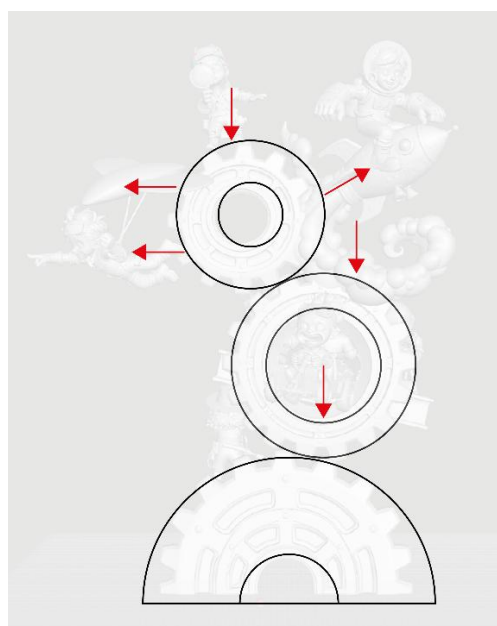


Figura 89: Esquema de fuerzas frontal simplificado

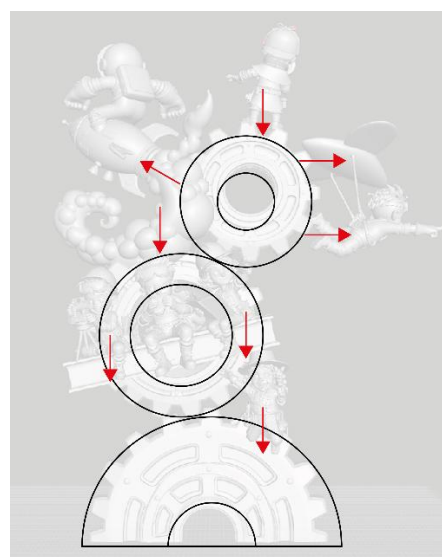
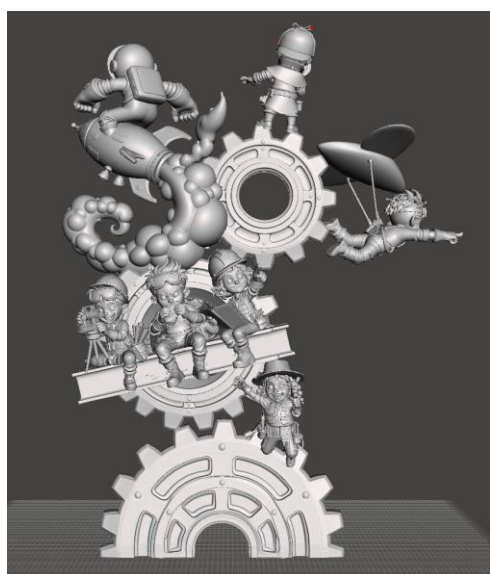


Figura 90: Esquema de fuerzas trasero simplificado

Para acotar el alcance de este estudio, se aplicaron simplificaciones sobre los pesos y las fuerzas ejercidas por los ninots. Se asumió una volumetría estándar para todas las figuras y se realizó un cálculo de masa aproximado, considerando una densidad de relleno de impresión del 10 % y las propiedades mecánicas intrínsecas del PLA. Las fuerzas resultantes derivan exclusivamente de la acción gravitatoria sobre los modelos. En consecuencia, las magnitudes de carga aplicadas por cada ninot son las siguientes:

- 01.10-Forense: 15 N (1,5kg) Fuerza vertical (↓).
- 01.7-Mecanica: 25 (2,5kg) Fuerza vertical (↓).
- 01.9-Astro: 50 N (5kg) Fuerza vertical y descentrada (↙).
- 03.1-Viga: 50 N (5kg) Fuerza vertical en el extremo (↓).
- 03.3-Agro: 15 N (1,5kg) Fuerza vertical en el extremo (↓).
- 04.2-Robotica: 25 (2,5kg) Fuerza vertical y descentrada (↙).

Para la simulación en SolidWorks se empleó la versión simplificada de la estructura. Sobre esta, se ejecutó un análisis estático lineal y un análisis de frecuencias, siendo ambos métodos fundamentales para evaluar el riesgo de vuelco y el comportamiento dinámico del conjunto. Con el fin de garantizar la fidelidad de la simulación, se configuró un nuevo material en la biblioteca del software correspondiente al "PLA High Speed", filamento seleccionado para la impresión de la falla. Este material presenta las siguientes características mecánicas según la Figura 91:

Propiedades de material		
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.		
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal	☐ Guardar tipo de modelo en la biblioteca
Unidades:	SI - N/mm ² (MPa)	
Categoría:	Plástico	
Nombre:	PLA HIGH SPEED	
Criterio de fallos predeterminado:	Tensión de von Mises máx.	
Descripción:		
Origen:		
Sostenibilidad:	No definido	Seleccionar...
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	3000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.36	N/D
Módulo cortante		N/mm ²
Densidad de masa	1240	kg/m ³
Límite de tracción	50	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	45	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)
Calor específico	1386	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 91: Características del Material PLA High Speed

Seguidamente, se procedió a la discretización del modelo en SolidWorks. La adopción de esta geometría simplificada obedeció a la necesidad de optimizar el coste computacional, dado que el modelo detallado original presentaba singularidades que generaban errores de mallado. Una vez preparado el modelo, se aplicaron las cargas previamente descritas en sus respectivas zonas de influencia y se estableció una restricción de geometría fija en la base. Esta condición de contorno simula el anclaje real al pavimento de la calle, resuelto habitualmente mediante pórticos estructurales y lastre con sacos de arena. Por último, se generó un mallado sólido estándar basado en la curvatura. La Figura 92 muestra las condiciones de la pieza.

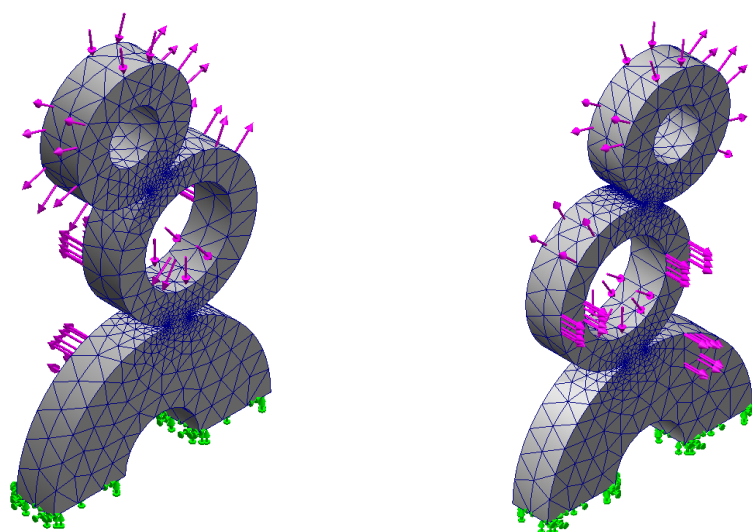


Figura 92: Condiciones de el estudio de la pieza

El estudio estático arrojó resultados críticos en términos de deformación (véase Figura 93). Tal y como se observa, la aplicación del sistema de cargas generó un desplazamiento máximo de 64,91 mm en el extremo superior de la pieza. Desde un punto de vista técnico, dicha deformación resulta inadmisibles por dos motivos principales:

En primer lugar, la superficie de la estructura incorpora tratamientos de masillado, imprimación y pintura. Una flexión de aproximadamente 65 mm supera con creces el límite de deformación elástica de estos recubrimientos, lo que induciría un agrietamiento severo e inmediato del acabado exterior por fatiga superficial.

En segundo lugar, esta magnitud de desplazamiento desvía significativamente el centro de masas respecto al eje vertical (eje Y) de la estructura, amplificando el momento flector en la base e incrementando el riesgo de vuelco. Adicionalmente, compromete la integridad estructural al inducir tensiones que podrían provocar la rotura por delaminación (tracción interlaminar) en las piezas impresas.

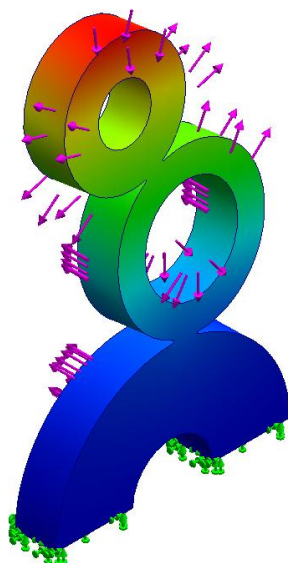


Figura 93: Resultados de Desplazamientos de la estructura del monumento fallero

Para completar el estudio, se ejecutó un análisis de frecuencias destinado a determinar los modos naturales de vibración de la estructura. Los resultados obtenidos para los primeros modos de resonancia (véase Figura 94) revelan una frecuencia fundamental de 15 Hz, exhibiendo un comportamiento cinemático característico de un péndulo invertido.

Los deformados modales evidencian que la estructura carece de la inercia lateral necesaria para resistir esfuerzos de flexión dinámica. Las masas concentradas correspondientes a los ninots superiores actúan como excitadores dinámicos del sistema. En el contexto operativo de los monumentos falleros, ubicados en la vía pública, convergen cargas dinámicas horizontales, tales como ráfagas de viento, capaces de excitar dichos modos de vibración. El PLA no posee la capacidad de absorber y disipar esta energía elástica de manera cíclica sin sufrir degradación mecánica, lo que conduciría inexorablemente a la fractura de las uniones.

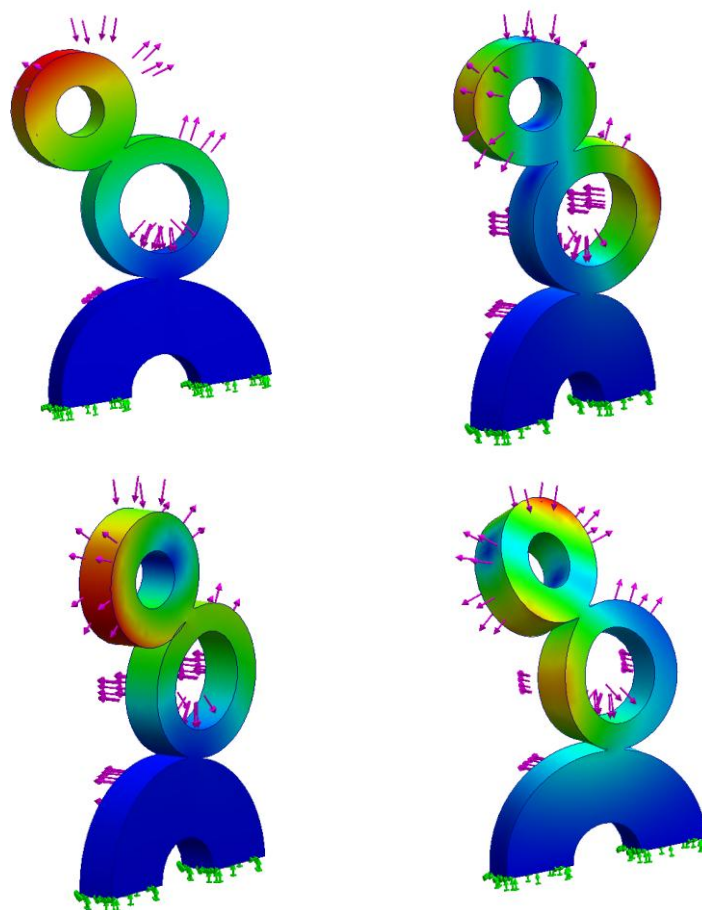


Figura 94: Resultados del estudio de frecuencias de la estructura principal del monumento fallero

La correlación entre los elevados desplazamientos estáticos y la vulnerabilidad dinámica evidenciada en el análisis modal, confirma la inviabilidad técnica de emplear PLA extruido como estructura primaria portante en geometrías verticales de gran formato sometidas a cargas asimétricas.

Por consiguiente, queda justificada formalmente la necesidad de adoptar un modelo de construcción híbrido para la materialización del monumento. Resulta un imperativo estructural la integración de un bastidor o "alma" portante basada en carpintería tradicional. Este elemento central será el encargado de proporcionar la rigidez direccional requerida, absorber los momentos flectores inducidos por el viento y las excentricidades de carga, y limitar los desplazamientos laterales a tolerancias milimétricas. De este modo, se relega el uso del PLA exclusivamente a funciones volumétricas y de recubrimiento estético.

La metodología de cálculo estructural empleada demuestra ser una herramienta sumamente práctica para la toma de decisiones relativas a las tecnologías de fabricación en el ámbito fallero. Como conclusión principal, se evidencia que, si bien una amplia proporción de ninots es susceptible de fabricarse mediante impresión 3D, en la realidad técnica actual esta tecnología no posee la madurez mecánica suficiente para conformar volúmenes monumentales sometidos a cargas estructurales críticas.

Por tanto, resulta preceptiva la transición hacia un paradigma de fabricación híbrida: reservando los métodos tradicionales (como la madera o el cartón) para la ejecución de las estructuras principales y elementos de gran envergadura; y optimizando el uso de la impresión 3D para la producción de ninots exentos de carga, así como para la elaboración del máximo nivel de detalle en piezas de gran tamaño que no han podido ser fabricadas aditivamente en su totalidad.

4.5 Optimización y simulación de impresión 3D

Una vez validada la integridad topológica y estructural de las mallas, el flujo de trabajo avanza hacia la preparación para la Fabricación Aditiva. El objetivo de esta fase es acondicionar y segmentar los modelos tridimensionales para maximizar la viabilidad de la manufactura, minimizando los tiempos de producción y el coste de material.

Para llevar a cabo esta optimización, se empleó el complemento (*add-on*) "CHOP-CHOP", un *software* de código abierto integrado en el entorno de modelado de *Blender*. Esta herramienta, desarrollada específicamente para asistir a los artistas falleros bajo el marco del proyecto de innovación ECO-FALLES 4.0, facilita la división de modelos de gran formato para su impresión en máquinas comerciales. El proceso de acondicionamiento se ejecuta siguiendo una metodología secuencial estructurada en el propio programa (UPV, s.f.). Para ilustrar este flujo de trabajo, se documenta a continuación el proceso aplicado sobre el *ninot indultat*:

El primer paso es la importación y parametrización de escala (véase Figura 95). Al importar la geometría a la herramienta, el sistema permite ejecutar una limpieza para garantizar que la malla sea un sólido cerrado sin errores topológicos. En este punto resulta crítico definir la escala real de impresión. Se estableció una cota de altura absoluta de 55 cm para el cuerpo de la figura. Esta dimensión responde a las restricciones de medidas: la altura máxima permitida para esta

categoría es de 70 cm, de los cuales se reservan 15 cm para la peana y los elementos compositivos de la base.

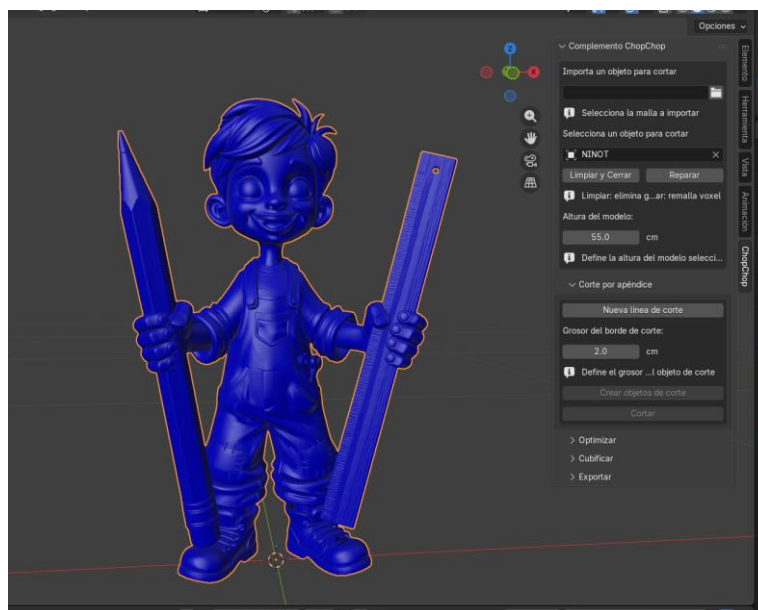


Figura 95: Importación del modelo con el add-on CHOP-CHOP

El siguiente paso consistió en la separación de apéndices (véase Figura 96). Esta funcionalidad permite aislar elementos esbeltos, periféricos o figurativos del cuerpo central. Mediante el trazado virtual de líneas de corte, se extrajeron la cabeza, el lápiz y la regla. Para garantizar un ensamblaje físico robusto y tolerar la contracción térmica del material impreso, se parametrizó un grosor de corte (*kerf* o margen de acople) de 2 mm. Esta separación previa facilita enormemente la orientación de las piezas en la bandeja de impresión.

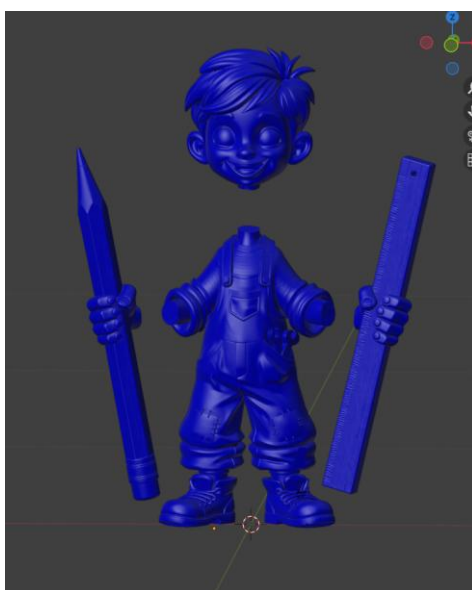


Figura 96: Corte por apéndices junto al add-on CHOP-CHOP

Seguidamente, el flujo de trabajo estándar del complemento propone una fase de "Optimización" basada en el vaciado interior del modelo para generar una carcasa exterior (*shell*), lo que reduce drásticamente el uso de filamento. Sin embargo, los requerimientos paramétricos del algoritmo exigen definir un espesor mínimo de pared de entre 3 y 5 cm para calcular la extrusión interna. Dado que los "ninots" a escala infantil poseen secciones transversales muy estrechas, la aplicación de estos parámetros resultaba incompatible, generando malformaciones y auto intersecciones en la topología interna al intentar vaciar una geometría ya de por sí delgada. Por consiguiente, bajo un criterio de ingeniería, se desestimó el vaciado algorítmico en esta etapa, delegando la configuración de la densidad interna a la posterior fase de laminado.

Para los elementos que seguían excediendo el volumen de construcción de la impresora, se procedió a la fase de "Cubificación" (véase Figura 98). Esta función fragmenta la malla de forma paramétrica en bloques ortogonales. El equipo de fabricación aditiva seleccionado para la producción física fue una impresora *Bambu Lab A1*, cuyo volumen útil es de 256 x 256 x 256 mm. Como medida de seguridad, y para dejar margen suficiente para la generación de faldas (*brims*) y estructuras de soporte, se configuró el tamaño de corte volumétrico en 200 ms. (véase Figura 97) Esta operación seccionó el torso principal del personaje en 3 fragmentos horizontales.

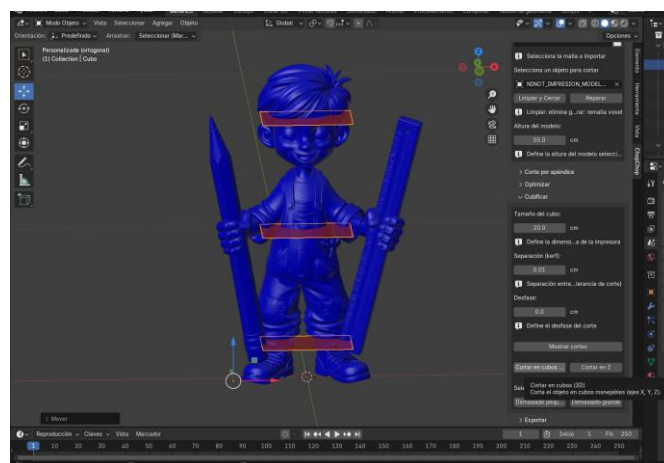


Figura 97: Parámetros de corte para la cubificación con el add-on CHOP-CHOP

Adicionalmente, se aplicaron principios de Diseño para Fabricación Aditiva. Aunque piezas como la cabeza del *ninot* encajaban perfectamente dentro del volumen de la impresora sin necesidad de cubificación, se decidió ejecutar un corte vertical manual para dividirla en dos hemisferios. Esta decisión estratégica elimina los voladizos críticos (como el mentón o las orejas), reduciendo exponencialmente la necesidad de material de soporte y mejorando la calidad superficial del acabado frontal.

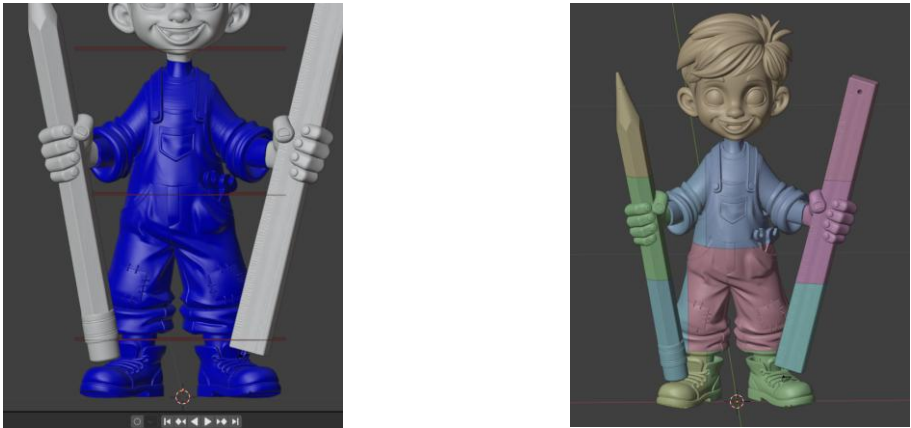


Figura 98: Cubificación del Ninot con el add-on CHOP-CHOP

Finalmente, tras validar las particiones, el proceso concluyó con la fase de exportación. El sistema generó de forma automatizada 11 archivos en formato STL independientes, correspondientes a cada fragmento. Gracias a esta metodología, se logró transformar un modelo masivo en un despiece altamente preciso y optimizado, listo para ser procesado por el *software* de laminado de la granja de impresión fallera.

Tabla 5: Archivos exportados desde el add-on CHOP-CHOP

Z01	Z01.001	Z01.002	Z01.003
Z01.004	Z02	Z02.001	Z02.002
Z03	Z03.001	Z03.002	

Figura 99: Z01

Figura 100: Z01.001

Figura 101: Z01.002

Figura 102: Z01.003

Figura 103: Z01.004

Figura 104: Z02

Figura 105:Z02.001

Figura 106:Z02.002

Figura 107: Z03

Figura 108: Z03.001

Figura 109: Z03.002

Una vez realizada la partición y optimización de las piezas con la herramienta CHOP-CHOP, se procedió a la preparación del entorno de Fabricación Aditiva. Los 11 modelos resultantes se importaron al *software* de laminado *Bambu Studio*. Para lograr la máxima eficiencia espacial, el conjunto se orientó y distribuyó en 4 placas de impresión distintas (véase Figura 110).

Para la ejecución física de este proyecto, se utilizó una impresora *Bambu Lab A1*. Si bien este equipo destaca por su precisión dimensional en estudios de diseño y maquetación, no está pensado para una producción a escala de un taller fallero. El motivo del uso de esta impresora en el trabajo viene dado por las limitaciones personales.

En el entorno de laminado, se configuraron los parámetros cinemáticos y de extrusión específicos para el material seleccionado, *PLA Basic*. Con el objetivo de equilibrar la resistencia estructural, la viabilidad temporal y el acabado superficial, se establecieron los siguientes parámetros críticos:

- Resolución y envolvente: Se definió una altura de capa estándar de 0,20 mm con una boquilla de 0,4 mm y 2 bucles de pared para reforzar la estructura. Las velocidades se ajustaron a 200 mm/s para la pared exterior y 300 mm/s para la interior, garantizando una superficie externa de alta calidad sin comprometer la velocidad general del proceso.
- Densidad y patrón de relleno: Se optó por una densidad volumétrica del 10% utilizando un patrón Cúbico Adaptativo. Desde la perspectiva de la ingeniería, este patrón es altamente eficiente, ya que densifica la estructura interna únicamente en las zonas cercanas a las paredes exteriores o techos, dejando el núcleo más hueco. Esto proporciona la resistencia mecánica necesaria reduciendo el peso y el material.

- Generación de soportes: se implementaron soportes tipo Árbol Híbrido con un ángulo de umbral de 30º, restringidos a generarse únicamente desde la placa de impresión, evitando que se generen sobre las propias piezas y facilitando el postprocesado.

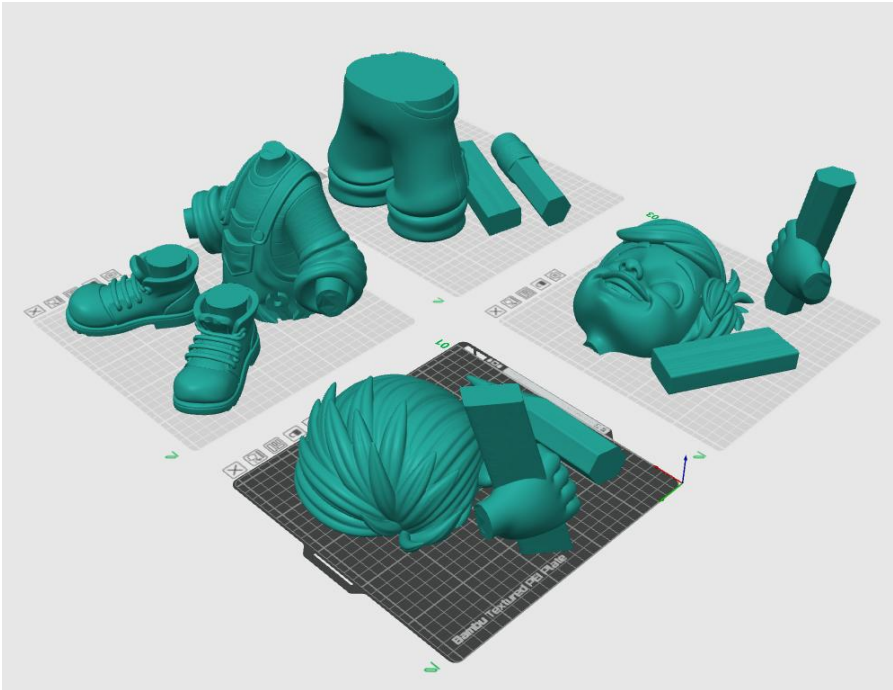


Figura 110: Distribución de las placas de impresión en el software Bambu Studio

Tabla 6: Parámetros de impresión utilizados en el software de laminado Bambu Studio

Impresora	Bambu Lab A1	Velocidad exterior	200mm/s
Medidas de la cama	256x256x256mm	Velocidad pared interior	300mm/s
Boquilla	0.4mm	Bucles de pared	2
Material	PLA Basic	Soportes	Árbol híbrido
Altura de capa	0.20mm standard	Ángulo de umbral	30°
Densidad de Relleno	10%	Soportes solo en placa	Opción marcada
Patrón de relleno	Cúbico adaptativo	Alisado	Sin planchado
Velocidad capa inicial	50mm/s	Separación de modelos	7mm

La simulación computacional de las 4 bandejas arrojó un resultado altamente optimizado (véase Figuras 111-114). El tiempo total de fabricación estimado fue de 1 día, 16 horas y 8 minutos. En cuanto al consumo de material, el *software* calculó un gasto total de 1.172,62 gramos de filamento, de los cuales tan solo 123,9 gramos correspondieron a estructuras de soporte, lo que evidencia una excelente eficiencia de desecho.

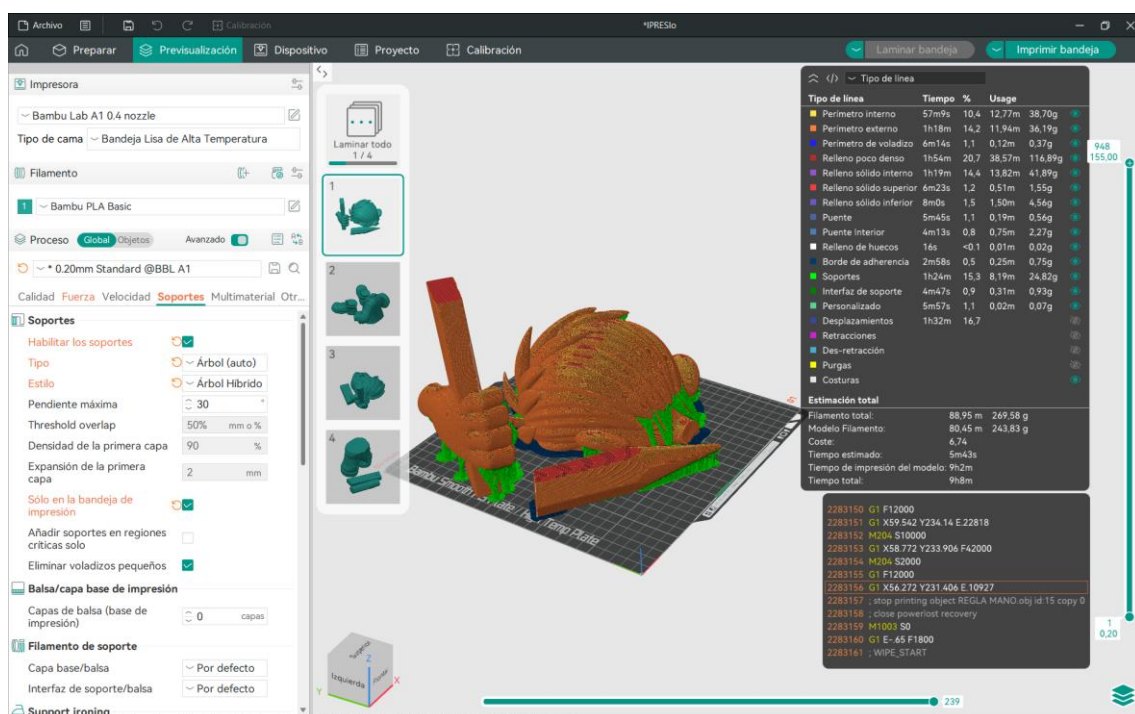


Figura 111: Resultado del slicing placa de impresión 1

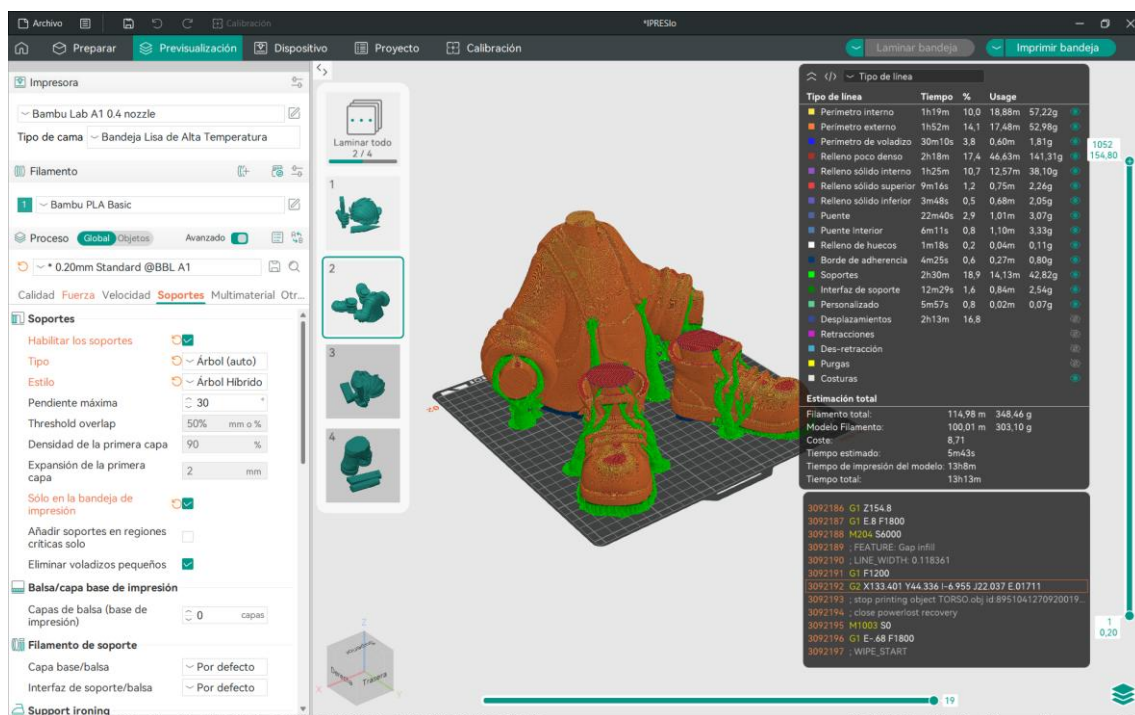


Figura 112: Resultado del slicing placa de impresión 2

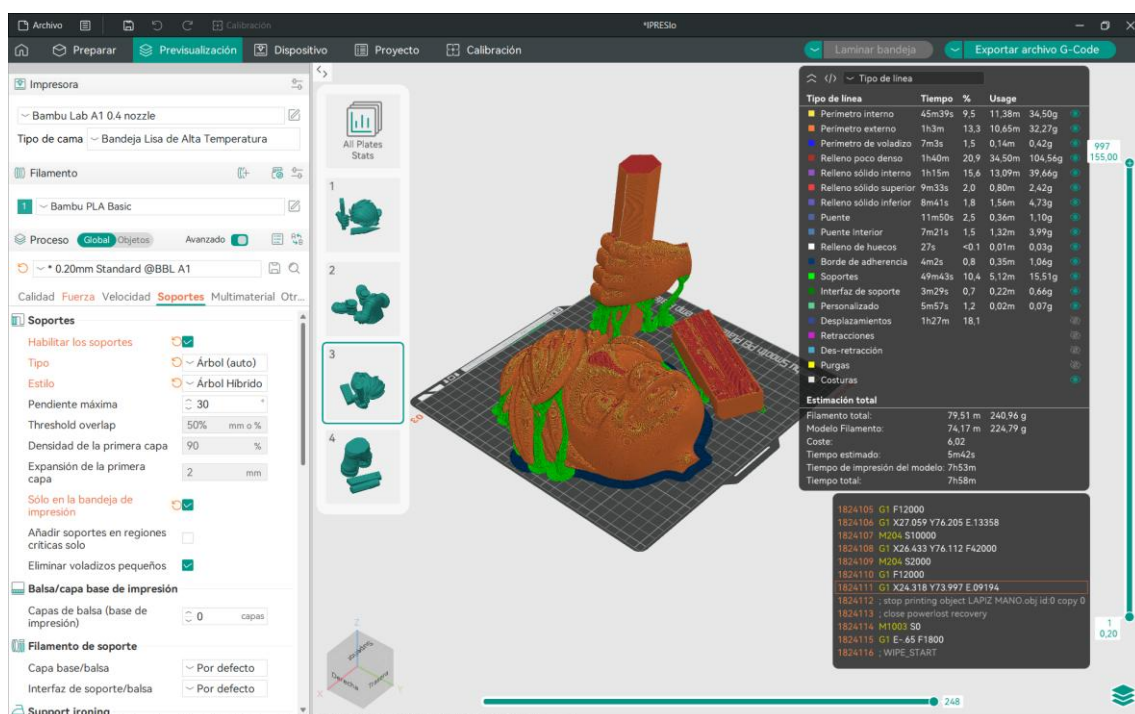


Figura 113: Resultado del slicing placa de impresión 3

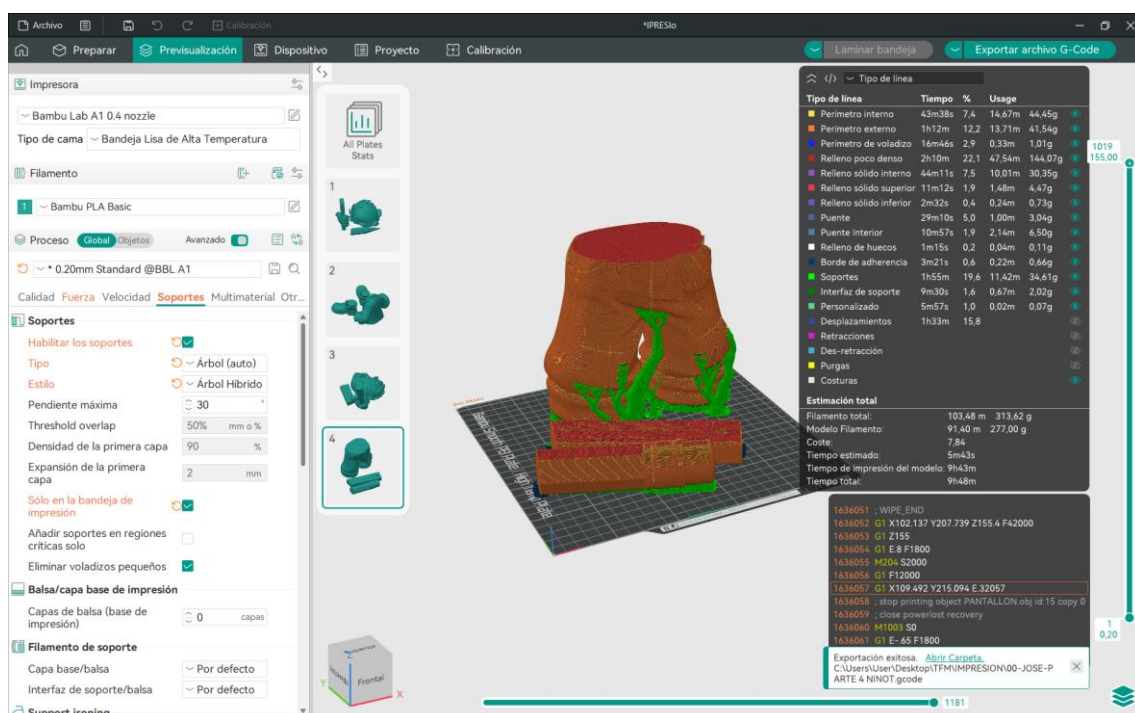


Figura 114: Resultado del slicing placa de impresión

La utilización del patrón Cúbico Adaptativo y los soportes de Árbol Híbrido han demostrado ser variables críticas para escalar la impresión 3D en el sector fallero, ya que logran fabricar un volumen equivalente a un *ninot* en menos de 41 horas y con apenas 1,17 kg de material. Estos resultados confirman que la impresión 3D mediante tecnología FDM, correctamente parametrizada, no solo iguala la precisión requerida en el oficio tradicional, sino que estandariza los tiempos de producción, reduce el desperdicio de material y ofrece una base sólida para la posterior fase de masillado y pintura.

Como se ha comentado anteriormente en este mismo apartado. Este ejemplo redactado no abarca el campo general de la fabricación de ninots, ya que ha sido adaptado a las capacidades personales de impresión. Es por eso que, en esta próxima sección del apartado se explica el proceso que se llevaría a cabo en un caso real de taller fallero. Para ello se ha simulado la impresión de un ninot de falla de dimensiones mas grandes y con impresoras de producción industrial. Con esta sección se pretende mostrar todo aquello que no ha podido ser demostrado anteriormente.

Para la brevedad de este trabajo, se ha simplificado la explicación de este apartado para comentar los resultados obtenidos y los cambios frente al ninot anterior. Para esta parte se va a optimizar con el add-on CHOP-CHOP el ninot 04.1-Robot (Ver ANEXO B). Esta figura presenta dimensiones suficientes para poder realizar la fase de vaciado que anteriormente no ha podido ser realizada. Se hace el mismo procedimiento seguido anteriormente de importación y definición de altura, seguro de la separación de aprendices. En este caso al ser un Ninot mas grande se puede observar con mas detalle las uniones que genera el programa, con un borde de 2cm (véase Figura 115).

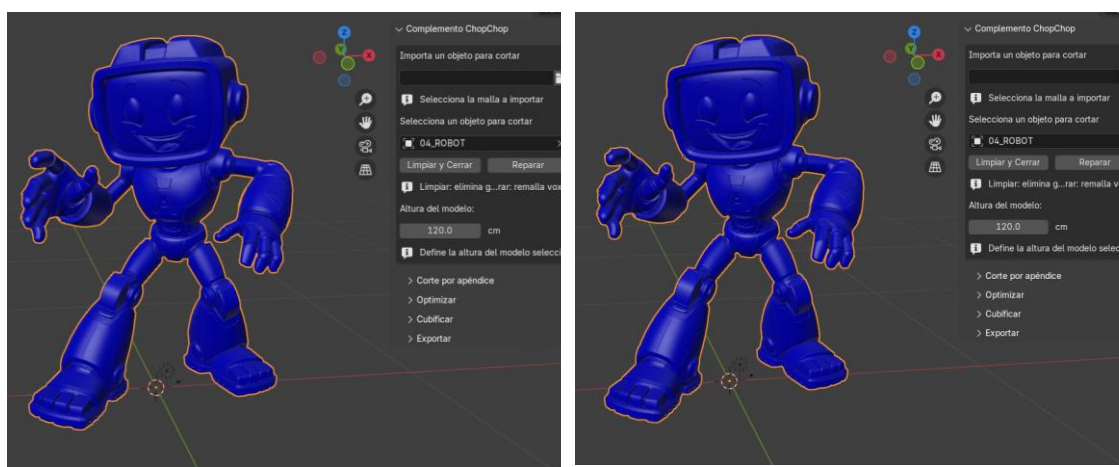


Figura 115: Realización de la optimización del ninot 4.1-Robot

Se realizó, esta vez sin errores, la cubificación y vaciado de el modelado. Como se puede observar en la Figura 116, el modelo queda vaciado por dentro perfectamente, haciendo mas fácil su impresión y optimizando drásticamente el uso de material y de tiempo. Se verifica que la optimización mediante el uso de CHOP-CHOP es correcta y se aprueba su metodología.

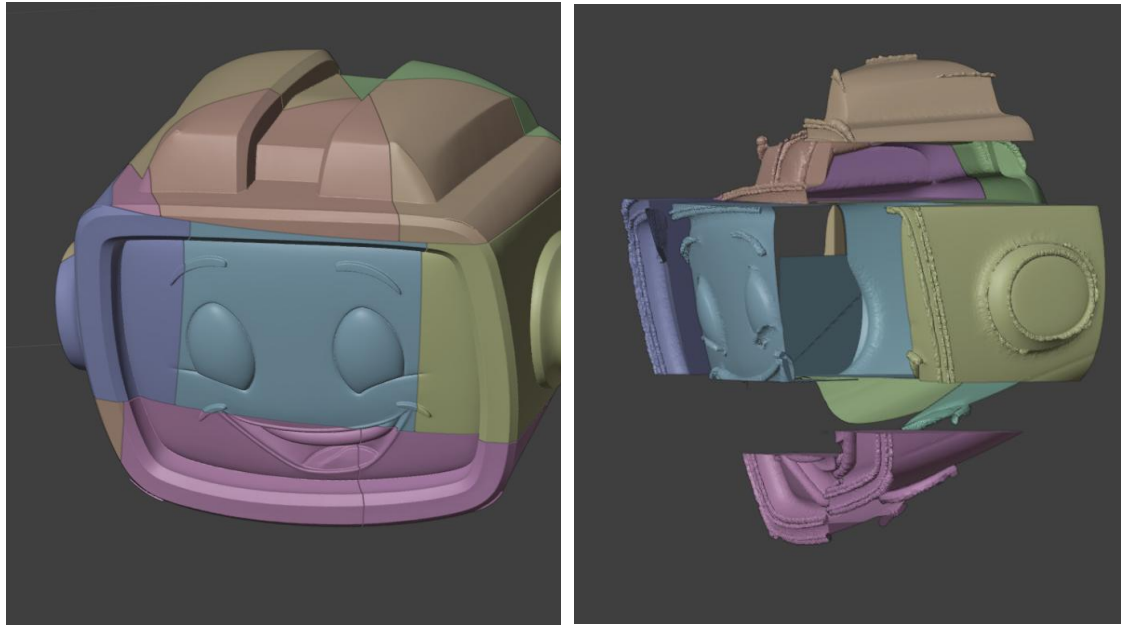


Figura 116: Vaciado y cubificación del modelo 4.1-Robot

4.6 Ejecución física y validación de acabados

Para concluir el desarrollo práctico del proyecto, se procedió a la materialización física del *ninot*. Tras finalizar la impresión de las bandejas detalladas en el apartado anterior, se aplicaron los procesos convencionales de acabado propios de los talleres falleros. Esta sección tiene un doble propósito: documentar la viabilidad de la impresión 3D en gran formato y validar que la calidad superficial del modelo no se ve mermada respecto al tradicional corcho blanco (Poliestireno Expandido, EPS), demostrando cómo la fabricación aditiva puede optimizar la metodología artesanal.

El proceso de manufactura aditiva se ejecutó de forma óptima y sin incidencias. La producción de las 4 camas de impresión consumió aproximadamente una bobina de filamento PLA White *High Speed* y 100 gramos de una segunda, completándose en un tiempo total de 2 días (véase Figura 117).

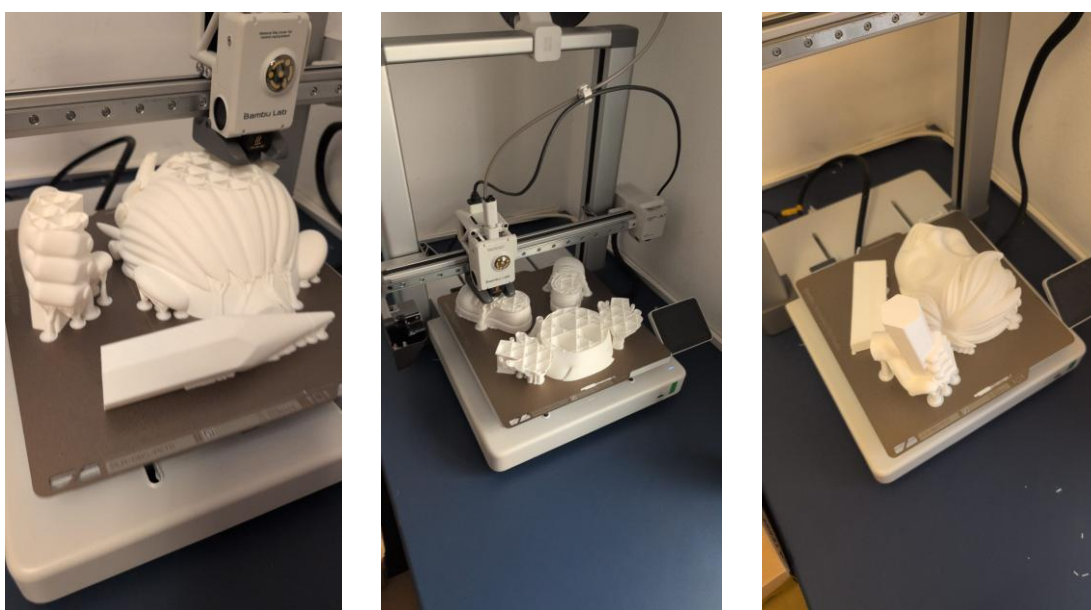


Figura 117: Proceso de Impresión de las distintas partes del Ninot

Se obtuvo un acabado superficial de alta calidad gracias a la precisión cinemática de la impresora Bambu Lab A1. La configuración de alturas de capa finas minimizó el efecto escalonado, reduciendo la necesidad de desbaste en gran parte de la geometría. Asimismo, la optimización algorítmica de los soportes evitó defectos de generación y facilitó su extracción manual o despiece sin dañar las superficies vistas de la pieza. En la Figura 118 se observan todas las piezas recién salidas de la placa de impresión.



Figura 118: teardown de las partes del ninot impresas

Un factor crítico para considerar en esta etapa fue la anisotropía geométrica inherente a la tecnología FDM. Si bien la orientación de impresión optimizó la estabilidad de la cara frontal, la disposición transversal de las capas generó un escalonamiento que requirió un mayor esfuerzo de postprocesado. Un caso particular fue el lápiz, el cual se imprimió con orientación horizontal para evitar la fragilidad estructural ante esfuerzos axiales, lo que incrementó significativamente la superficie plana a lijar. La Figura 119 muestra un preposicionamiento de las piezas.



Figura 119: Posicionamiento previo para la visualización post impresión del ninot

Tras numerar los fragmentos y verificar las tolerancias mediante un ensamblaje en seco con cinta adhesiva, se inició la fase de desbaste mecánico (véase Figura 120). Se utilizó papel abrasivo con granulometrías progresivas (P80, P120 y P360), intensificando el proceso en las zonas con mayor evidencia de escalonamiento topológico, como el rostro. Para las morfologías orgánicas y orificios se emplearon esponjas abrasivas flexibles. Resultó fundamental la aplicación de la técnica de lijado al agua (*wet-sanding*), la cual actúa como refrigerante evitando la deformación térmica del PLA por fricción y previniendo el embotamiento de la lija.



Figura 120: Proceso de Lijado inicial

A continuación, se procedió a la unión estructural de los apéndices previamente seccionados por el complemento *CHOP-CHOP* (véase Figura 121). Se empleó masilla de poliuretano como agente de adhesión, un componente de curado rápido que garantiza una unión de alta resistencia mecánica. Debido a las dimensiones contenidas de este *ninot*, no fue requerida la inserción de vástagos o estructuras internas de refuerzo. Si bien la viscosidad y volumen de la masilla generaron una ligera junta de solidificación que impidió un encaje milimétricamente exacto, el acople resultó mecánicamente estable y exitoso.

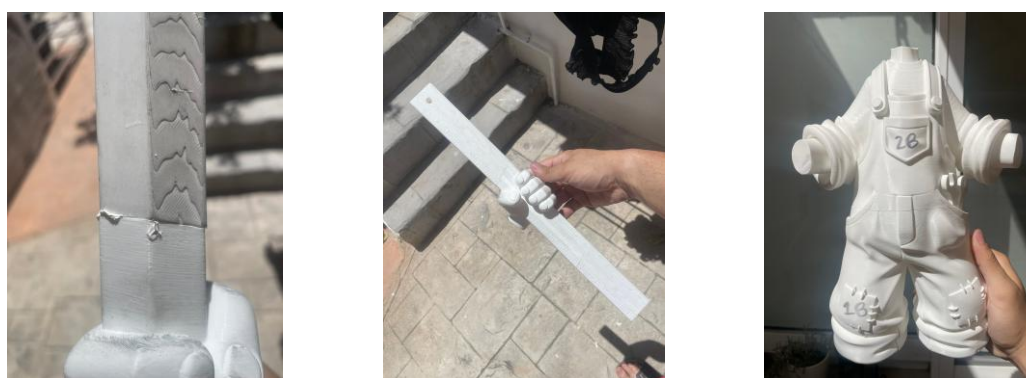


Figura 121: Proceso de pegado de las diferentes piezas en sus apéndices

Tanto la propia extrusión del material (debido a su anisotropía) como el proceso de desbaste provocaron micro defectos superficiales, tales como poros o pequeños desgarros (véase Figura 122). Para homogenizar la topología, se aplicó masilla de poliéster bicomponente (aditivada con un 3% de catalizador), un material estándar en la industria fallera. Mediante el uso de espátulas, se extendió una fina película sobre las irregularidades, como se muestra en la Figura 123.



Figura 122: Desgarre de material derivado del proceso de lijado



Figura 123: Proceso de masillado

Tras el tiempo de curado, se ejecutó un segundo lijado de refinamiento. En esta fase de la investigación se documentó un error metodológico relevante: la sobreaplicación de masilla (véase Figura 124). En la manufactura tradicional con EPS, los artistas falleros emplean grandes volúmenes de masilla para recubrir la extrema rugosidad del corcho. Sin embargo, las superficies impresas en 3D presentan una suavidad intrínsecamente superior. Aplicar la rutina tradicional a las piezas aditivas derivó en un exceso de recubrimiento (*sobremasillado*), lo que forzó un proceso de lijado redundante y tedioso. Pese a esta ineficiencia temporal, la corrección manual logró un acabado superficial viable.



Figura 124: Apéndices del modelo masillados y apéndiz del lapiz masillado y lijado

Homogeneizada la superficie, se llevó a cabo el proceso de imprimación (véase Figura 125) mediante pulverización (spray). Esta capa de preparación es crucial, ya que sella la porosidad residual, facilita la adherencia de las pinturas y revela imperfecciones subyacentes. El proceso requirió ciclos iterativos de imprimación y lijado fino (capeado) hasta obtener una superficie completamente tersa y óptima, aplicándose en los diversos elementos y apéndices. Posteriormente, se aplicó una nueva capa de masilla de poliuretano en las interfaces de conexión para ocultar las uniones y crear una volumetría continua (véase Figura 126).



Figura 125: Proceso de imprimación y lijado de los apéndices



Figura 126: Proceso de unión de los apéndices.

La etapa pictórica se inició con la aplicación de una capa base en color blanco puro mediante pulverización (véase Figura 127). Este paso es esencial para neutralizar el tono grisáceo de la imprimación, el cual podría alterar la luminosidad y saturación de la pigmentación final.



Figura 127: Baseado en blanco con spray de pintura blanco.

Seguidamente, se procedió a un segundo fondeado con los colores primarios correspondientes a cada área (véase Figura 128): un esmalte marrón chocolate para el cabello y una tonalidad crema para la tez. Esta técnica de pulverizado facilita enormemente el proceso, cubriendo los intersticios con una base uniforme de manera rápida antes de proceder al detallado fino.



Figura 128: Baseado a color con sprays de pintura

La fase final consistió en el detallado pictórico de la cabeza, ejecutado mediante pincelería y pinturas acrílicas (véase Figura 129 y 130). Se incidió en la recreación de las expresiones faciales, la acentuación de volúmenes mediante claroscuros y la generación de matices cromáticos. Aunque la ejecución de estas técnicas demanda la destreza y talento de un artista fallero profesional, los resultados obtenidos, aun considerando la falta de experiencia artesanal, fueron altamente satisfactorios y plenamente admisibles para la validación del estudio.



Figura 129: Proceso de detallado del pintado del Ninot



Figura 130: Resultado final del pintado

Como resultado empírico de esta investigación, el prototipo final fue concebido como un modelo didáctico que expone visualmente la trazabilidad del proceso de manufactura y postprocesado. El *ninot* muestra una progresión de acabados físicos:

- Los zapatos exhiben la pieza en crudo (extrusión directa sin lijado).
- La regla y la mano derecha muestran la fase de desbaste inicial y ensamblaje primario.
- El torso central ilustra la fase de enmasillado correctivo.
- El lápiz y la mano izquierda representan la etapa de imprimación.
- El cuello evidencia la resolución intermedia de las juntas de acople.
- La cabeza luce el acabado pictórico final.

Este resultado (véase *Figura 131*) certifica que el acabado superficial de los *ninots* fabricados mediante deposición fundida (FDM), una vez sometidos al postprocesado correspondiente, es totalmente fiable, estructuralmente sólido y estéticamente homologable a los estándares de calidad de la artesanía fallera convencional.



Figura 131: Resultado final del Ninot

5. Resultados y Discusión

En este apartado se analizan los resultados obtenidos mediante la metodología propuesta para verificar su viabilidad empírica. Asimismo, se evalúa si, tal y como postula la hipótesis fundamental de este trabajo, resulta factible la implementación de la inteligencia artificial (IA) generativa y la fabricación aditiva (FA) en el proceso de creación fallero. Retomando dicha hipótesis:

“La viabilidad de utilizar procesos de Inteligencia Artificial y fabricación aditiva en el mundo fallero es alta y positiva; no solo logra reducir los tiempos y costes de producción frente a las exigencias actuales, sino que asegura la supervivencia del sector al proporcionar herramientas que potencian la eficiencia del artista sin sustituir su capacidad creativa.”

Siguiendo las directrices metodológicas, la evaluación se estructura en torno a las dimensiones fundamentales que determinan el éxito del proyecto: la viabilidad técnica, la viabilidad de implementación real en el taller, la eficacia de la metodología propuesta y el impacto medioambiental. El propósito central es contrastar estos hallazgos con la hipótesis formulada.

En primer lugar, los resultados cualitativos y operativos de las fases 1 a 3 (conceptualización, modelado 3D y renderizado) confirman que el flujo de trabajo desarrollado con los diferentes modelos de IA generativa supone un avance disruptivo en la conceptualización de los monumentos. La IA ha demostrado una alta eficacia al asumir tareas computacionalmente exigentes y repetitivas, acelerando procesos clave como la ideación y el modelado de los *ninots*.

En cuanto a la asistencia de la IA en la generación de bocetos, mediante el ajuste paramétrico de los *prompts* se logró consolidar un estilo de Figura propio, fundamentado en una estética *cartoon*. Esto permitió la conceptualización de más de 20 *ninots* integrados en diferentes escenas, asegurando una composición cohesiva y temática del monumento. Se obtuvieron imágenes de alta calidad y bocetos multivista (*multiview*), facilitando la extracción de las diferentes perspectivas volumétricas de cada figura.

El resultado de esta segunda fase consistió en el modelado 3D íntegro de un monumento fallero infantil, dimensionado según las proporciones y el presupuesto medio de una falla de altas categorías. Este proceso se completó con una inversión de tiempo significativamente reducida, alcanzando un total de 18 *ninots* y 4 escenas distintas. A nivel técnico, las mallas tridimensionales adquirieron un grado de detalle y realismo excepcional.

Sin embargo, el análisis topológico de las mallas crudas arroja resultados que exigen una discusión crítica. Si bien los motores de IA lograron sintetizar geometrías de alta densidad (alcanzando 1,5 millones de polígonos en la gran mayoría de los *ninots*), se identificaron errores endémicos en la traducción a la tridimensionalidad. La falta de información sobre la profundidad en áreas ocluidas originó fusiones severas entre elementos, tales como el solapamiento aberrante entre las extremidades de los personajes, el calzado y los accesorios.

En consecuencia, se constata una reducción drástica del tiempo invertido tanto en la fase de ideación como en la de modelado. Esta ventaja es especialmente notable dado que, como se ha evidenciado en apartados anteriores, un usuario sin conocimientos avanzados en el bocetado tradicional de fallas o en modelado 3D orgánico ha logrado generar reproducciones tridimensionales sumamente precisas. Por consiguiente, los artistas falleros profesionales, poseedores de formación técnica y espacial previa, cuentan con la preparación óptima para maximizar el potencial de estas herramientas. Esto se traduce en un recorte definitivo de los tiempos de producción, tal y como señala Amorós (2026). No obstante, es imperativo considerar que toda geometría autogenerada requiere un proceso de limpieza y análisis en detalle previo a su impresión, a fin de subsanar los defectos topológicos inherentes a los actuales modelos de IA.

Resulta preceptiva una fase de intervención humana en entornos CAD (como Blender) para separar topologías, purgar elementos degenerados y sellar mallas abiertas. En contraste con las posturas que perciben a la IA como un elemento sustitutivo del creador, estos resultados prueban empíricamente que el criterio experto y la destreza técnica humana siguen siendo insustituibles. La IA se consolida, por tanto, como una herramienta de ideación y *blockout* volumétrico de extrema rapidez, pero es el artista quien mantiene el control absoluto sobre el refinamiento final.

La etapa de renderizado permitió generar de manera ágil una colección de imágenes y vídeos de alta fidelidad visual, posibilitando la previsualización del proyecto final antes de su manufactura física. Esta fase supone un avance cualitativo para el artista, ya que facilita la comunicación y presentación de la propuesta mediante recursos atractivos y de fácil comprensión.

En segundo lugar, se exponen los resultados derivados de la aplicación de la fabricación aditiva en el desarrollo de los monumentos.

Uno de los hallazgos más concluyentes de la investigación provino del Análisis de Elementos Finitos (FEA) ejecutado en SolidWorks. La simulación estática sobre la estructura principal, asumiendo una manufactura íntegra en PLA, reveló un desplazamiento máximo de 64,91 mm en su extremo superior bajo la acción de las cargas gravitatorias y excéntricas de los *ninots*. Adicionalmente, el análisis modal evidenció una frecuencia fundamental de resonancia de 15 Hz,

mostrando un comportamiento de péndulo invertido altamente vulnerable a excitaciones dinámicas externas, tales como el viento.

Estos datos cuantitativos demuestran la inviabilidad técnica de emplear PLA extruido como estructura primaria portante en ejes verticales de gran formato sometidos a asimetrías de carga. Tal y como apunta Colomina (2011), una estructura plástica con bajo porcentaje de relleno es incapaz de absorber estas tensiones sin colapsar. Este hallazgo avala la necesidad ineludible de adoptar un paradigma de fabricación híbrido: la integración de la carpintería tradicional (bastidores de madera) para las almas portantes del monumento, relegando la tecnología FDM a funciones estrictamente volumétricas y estéticas.

A pesar de ello, la metodología empleada para el análisis de los *ninots* y su simulación estructural se valida como sumamente importante. Gracias a estas simulaciones predictivas, el artista puede detectar con antelación las debilidades mecánicas, identificando los errores geométricos a rectificar o aquellos elementos que resultan inviables para su manufactura mediante impresión 3D.

A nivel de optimización para la manufactura, el empleo de la metodología propuesta por la Universitat Politècnica de València (s.f.) mediante el uso del *software* libre *CHOP-CHOP* demostró ser altamente viable, ofreciendo resultados ágiles y funcionales. El *ninot* destinado a impresión fue optimizado mediante su segmentación en 11 piezas y la incorporación de 4 apéndices de unión (ensamblajes). La interfaz de la herramienta resultó intuitiva y fácilmente escalable a la mayoría de las figuras. Cabe señalar que la optimización de gran parte de los volúmenes a través de este programa se limitó a una partición topológica sin vaciado interior (*hollowing*), debido a las dimensiones o pliegues complejos de las mallas, evidenciando que el *software* está especializado en volúmenes de mayor envergadura. Pese a esta limitación, su integración resulta ergonómica y se aprueba su uso dentro de la metodología propuesta.

La simulación del laminado (*slicing*) arrojó métricas operativas eficientes: un volumen equivalente a un *ninot* de 55 cm requirió un tiempo estimado de procesamiento de 1 día, 16 horas y 8 minutos. Mediante la configuración de un patrón de relleno cúbico adaptativo al 10 %, el consumo material total se redujo a 1.172,62 gramos de filamento, de los cuales únicamente 123,9 gramos correspondieron a estructuras de soporte descartables. Esto evidencia que una parametrización adecuada del laminador mitiga los principales obstáculos técnicos de la fabricación aditiva: los elevados tiempos de ciclo y el desperdicio de material.

Al contrastar estos datos con los tiempos inherentes a la talla tradicional en poliestireno expandido, el proceso de impresión puede resultar comparativamente más lento en función de

la complejidad del modelo. No obstante, la fabricación aditiva presenta ventajas competitivas decisivas. El beneficio primordial radica en la ratio entre la calidad del acabado y el tiempo de dedicación manual directa: al delegar la manufactura física en la máquina, el artista se libera de la carga operativa pesada, pudiendo redirigir esas horas hacia otras fases de valor añadido del proyecto. La impresión 3D automatiza el trabajo mecánico y monótono. Otro factor técnico de enorme relevancia es la supresión de los laboriosos postprocesos de empapelado y desbaste (lijado grueso). Sus resultados tangibles superan sustancialmente la precisión lograda mediante el trabajo manual tradicional.

Sin embargo, es importante subrayar que, como afirma Amorós (2026), no todos los *ninots* justifican su producción mediante impresión 3D. Resulta crucial aplicar un criterio selectivo para discernir qué elementos deben ser impresos y cuáles han de ser relegados a otros sustratos. La fabricación aditiva, por tanto, debe implementarse de forma innegociable como una técnica híbrida dentro del taller.

Por último, los resultados derivados de la impresión física y el ensamblaje del prototipo demostraron de manera categórica que el acabado superficial obtenido con estas nuevas tecnologías no presenta ninguna merma de calidad frente al de la fabricación convencional.

La manufactura del prototipo validó la viabilidad real de implementar esta tecnología a escala de taller. La calidad cinemática de los sistemas de extrusión actuales minimizó drásticamente el efecto "escalera" característico del FDM. No obstante, la etapa de postproceso visibilizó una curva de aprendizaje relevante documentada a lo largo del estudio: el error del sobre masillado.

En la tradición fallera, los artesanos acostumbran a aplicar gruesas capas de masilla de poliéster para sepultar la extrema porosidad y rugosidad del poliestireno expandido (EPS) (González, 2018). Al trasladar esta costumbre por inercia metodológica y aplicarla sobre el PLA, se generó un exceso de recubrimiento que obligó a ejecutar lijados correctivos redundantes e ineficientes. Una vez subsanada esta fricción procedimental, las fases de imprimación, fondeado y pintura aerográfica confirmaron que la superficie plástica presenta una adherencia cromática perfecta. Considerando la posible falta de experiencia de algunos artistas con estos nuevos sustratos de acabado, se concluye que la FA no solo no presenta problemas de fijación, sino que aligera notablemente la etapa de pintura.

El prototipo final demuestra que el acabado estético de un *ninot* impreso en 3D es visual y materialmente indistinguible de una obra tallada en EPS o cartón piedra convencional. Este hito posee un profundo valor cualitativo para el sector: aporta la evidencia empírica necesaria para

mitigar el escepticismo tecnológico y el miedo al "purismo" metodológico por parte de las comisiones falleras, entidades que históricamente han mostrado cierta resistencia al cambio.

Tras la exposición y análisis de los datos extraídos, procede emitir un dictamen sobre su viabilidad global. Se concluye que el marco de trabajo propuesto es plenamente viable y que la adopción conjunta de la inteligencia artificial y la fabricación aditiva reporta beneficios estructurales para el artista creador, tal y como remarcó Forés (2026).

Respecto a la viabilidad económica y temporal —si estos procesos suponen una optimización real para el artesano—, la implementación de estas herramientas reduce drásticamente el consumo de recursos. Por un lado, la digitalización del modelado 3D capacita al artista para gestionar la conceptualización y la preparación para la manufactura de forma autónoma, eludiendo la externalización de servicios y minimizando el tiempo invertido en modelado manual. La inteligencia artificial actúa, como asegura Forés (2026), estrictamente como un potenciador de las capacidades humanas, enriqueciendo el flujo productivo.

Por otro lado, la impresión 3D requiere ciertas matizaciones a la hora de evaluar su viabilidad temporal. Como se ha indicado previamente, esta tecnología conlleva tiempos mecánicos lentos; sin embargo, esto se compensa con una precisión excepcional y la supresión de fases críticas de la manufactura en corcho. Su viabilidad técnica se fundamenta en la rentabilidad de la calidad frente a las horas invertidas, dado que exige una mano de obra directa prácticamente nula durante la extrusión y garantiza un ahorro sustancial en los postprocesados.

Como se ha argumentado, la FA asume un rol secundario o de acompañamiento; el proceso constructivo del monumento no puede depender exclusivamente de ella, pero sí puede pivotar en torno a su uso estratégico. Mientras que las estructuras maestras o los volúmenes simples deben ejecutarse en materiales tradicionales, los elementos ornamentales de alta complejidad morfológica —y sin responsabilidad estructural— son idóneos para la impresión.

La hipótesis inicial también incide en la preservación del valor artístico y cultural intrínseco de las fallas. El desarrollo experimental ha demostrado que los prototipos obtenidos son fidedignos a la realidad, logrando esculturas análogas a los *ninots* convencionales. Paralelamente, una orquestación adecuada de la IA permite materializar ideas originales concebidas por la mente del propio artista, desmintiendo el estigma generalizado que asocia el uso de algoritmos con la carencia de creatividad.

Finalmente, se incluye una validación medioambiental para determinar si la implementación de estos procesos beneficia al ecosistema. Los ensayos demuestran que el empleo de ácido poliláctico (PLA), un biopolímero compostable derivado de recursos renovables, constituye una

alternativa plenamente funcional y estructuralmente superior para el modelado orgánico frente a los derivados del petróleo.

La adopción de este flujo de trabajo contribuye de manera directa al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, analizados en capítulos previos. En el marco de la "Acción por el clima" (ODS 13), el uso de PLA y de otros biomateriales en vías de investigación —como los compuestos a base de paja de arroz (UPV, 2026)—, garantiza una combustión más limpia y una drástica reducción de la huella de carbono durante la *cremà*.

Para concluir, resulta importante referirse a la "supervivencia" del sector derivada de la asimilación de estas tecnologías. Las evidencias recopiladas sostienen que los beneficios operacionales de la IA y la FA mejoran notablemente la calidad y la seguridad laboral en los talleres falleros, optimizando su capacidad productiva. Asimismo, la metodología estructurada en este trabajo racionaliza los ritmos de ejecución, acercando los obradores a dinámicas propias del diseño industrial y de producto. Esta transición responde a la tendencia contemporánea, señalada por Colomina (2011), mediante la cual la falla adquiere crecientemente características de producto comercializable frente a la mera pieza de arte efímero. Ante la coyuntura actual de máxima exigencia técnica y condiciones de precios ajustados, la viabilidad económica y el modelo de negocio de los artistas falleros experimentan un refuerzo estratégico imprescindible gracias a la integración de estas herramientas digitales.

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones

El presente Trabajo de Fin de Máster ha permitido validar empíricamente la viabilidad de un marco metodológico que integra la Inteligencia Artificial generativa y la fabricación aditiva en la creación de monumentos falleros. A continuación, se detallan las conclusiones específicas correspondientes a cada uno de los objetivos planteados:

- **Integración tecnológica en los flujos de trabajo:** La combinación de la Inteligencia Artificial mediante modelos como Nano Banana 2 y Tencent Hunyuan 3D, y la fabricación aditiva (FDM) supone un avance disruptivo que agiliza exponencialmente la ideación y el modelado tridimensional. Sin embargo, se demuestra que la intervención humana sigue siendo insustituible para el refinamiento topológico y la dirección artística, consolidando a la IA como una potente herramienta de asistencia y no de reemplazo de la capacidad creadora.
- **Viabilidad de materiales sostenibles:** Se ha verificado que el uso de PLA (Ácido Poliláctico) constituye una alternativa funcional y ecológica frente al tradicional poliestireno expandido (EPS) derivado del petróleo. Su utilización garantiza una combustión limpia que reduce drásticamente la huella de carbono del monumento, alineándose de forma directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.
- **Optimización geométrica y estructural:** El análisis mediante el Método de Elementos Finitos (FEA) reveló que las estructuras verticales de gran formato impresas en PLA son vulnerables a desplazamientos severos y frecuencias de resonancia críticas bajo cargas asimétricas. Esto confirma la necesidad ineludible de adoptar un paradigma de fabricación híbrido, donde la carpintería tradicional soporte las cargas principales y la impresión 3D se destine a las volumetrías ornamentales y de detalle. A su vez, el uso de herramientas como CHOP-CHOP permite segmentar y vaciar eficientemente los modelos para su impresión.
- **Aplicación en un caso práctico conceptual:** La metodología propuesta permitió generar de forma ágil e integral el diseño conceptual y el modelado de la falla infantil compuesta por 18 ninots y 4 escenas. Este proceso redujo significativamente el tiempo de ideación

y generó renderizados fotorrealistas de alta calidad para facilitar la presentación comercial ante las comisiones falleras. A su vez, mostró como la metodología propuesta sirve como caso para la mejora del trabajo en los talleres de los artistas falleros.

- **Materialización y eficiencia operativa:** La verificación física mediante la impresión 3D de un ninot prototipo de 55 cm demostró una alta eficiencia técnica. Se logró fabricar la pieza en un tiempo inferior a 41 horas y con un consumo optimizado de 1,17 kg de material, producto de la parametrización de un patrón de relleno cúbico adaptativo al 10% y el uso de soportes de árbol híbrido. Se demostró que el acabado de impresión es idéntico al de la fabricación convencional.
- **Comparativa y calidad del acabado:** Frente a los métodos de escultura tradicional, la nueva metodología automatiza el trabajo mecánico de desbaste y elimina por completo la necesidad del laborioso proceso de empapelado. Tras la aplicación de masilla de poliéster, imprimación y pintura, se validó que el acabado estético y superficial del ninot impreso en 3D es visual y materialmente indistinguible de una escultura tradicional en corcho blanco.

En síntesis, la principal aportación de este trabajo a la práctica profesional es un flujo de trabajo unificado que conecta de forma estructurada la conceptualización mediante algoritmos generativos con la optimización topológica y la impresión 3D a gran escala. Esta estandarización metodológica asegura la viabilidad económica y la sostenibilidad medioambiental de los talleres, protegiendo la supervivencia del sector al modernizar su producción sin comprometer su inconfundible identidad artesanal.

6.2 Trabajo futuro

El desarrollo y validación de la metodología propuesta ha demostrado la viabilidad operativa de integrar la Inteligencia Artificial y la fabricación aditiva en los talleres artesanos. No obstante, durante la investigación se identificaron ciertas limitaciones logísticas, temporales y técnicas que abren nuevas líneas de desarrollo tecnológico y profesional.

La presente investigación delimitó su alcance práctico a monumentos infantiles para acotar las variables de cargas dinámicas y estructurales, así como el tiempo invertido y la posibilidad de imprimir un prototipo físico. Una progresión natural del proyecto consistiría en aplicar este marco

metodológico a fallas grandes, requiriendo una investigación mucho mas densa sobre la parametrización de estructuras portantes internas y su integración fluida con piezas volumétricas impresas en 3D.

Debido a las limitaciones físicas, la validación se ejecutó en impresoras de volumen restringido, lo que exigió una segmentación intensiva de la malla. Como trabajo a futuro, se propone la experimentación con tecnologías de extrusión de mayor tamaño y granjas de impresión para poder optimizar mas el coste y los tiempos requeridos para los artistas falleros.

Se echa en falta además, un análisis técnico-comercial sobre la implementación de las tecnologías, debido a que su viabilidad solo queda registrada por su practicismo. Como trabajo a futuro se puede implementar un estudio de costes reales y la amortización que deben hacer los artistas para incluir estas tecnologías en su proceso.

Se evidenció que los modelos actuales de IA generativa originan mallas tridimensionales con solapamientos geométricos y un exceso en detalle que requiere forzosamente limpieza topológica manual. Una futura línea de investigación prioritaria debería centrarse en el entrenamiento y ajuste de algoritmos generativos diseñados exclusivamente para la manufactura, capaces de inferir automáticamente mallas cerradas sin autointersecciones y listas para el laminado.

Si bien el marco teórico analizó el potencial de nuevos materiales sostenibles, el prototipo físico se imprimió en PLA. Un desarrollo para consolidar el compromiso medioambiental del proyecto seria la impresión integral y el análisis del comportamiento mecánico, térmico y de combustión de biomateriales avanzados, como los filamentos aditivados con paja de arroz o el PHA.

En definitiva, estas propuestas de desarrollo evidencian que la modernización del taller fallero es un proceso continuo y dinámico. La exploración de estas futuras líneas de investigación permitirá consolidar la simbiosis entre la artesanía histórica y la Industria 4.0, garantizando que el artista disponga de herramientas cada vez más precisas, sostenibles y eficientes para proteger la esencia y la viabilidad de la fiesta frente a los desafíos tecnológicos del mañana.

7. Referencias

- Aida. (12 de Abril de 2019). *¿Cómo se hace una Falla?* Obtenido de Alòs Industrials: <https://alosindustrials.com/articulos/como-se-hace-una-falla/>
- AIDIMME. (2026). *Introducción a la fabricación aditiva*. Valencia: CEU Herrera.
- Ajuntament de València. (4 de Septiembre de 2021). *Un "Foc Penat" de paja de arroz e impreso en 3D prenderá la falla municipal infantil*. Obtenido de Ajuntament de València: <https://www.valencia.es/es/-/foc-penat>
- Anónimo. (3 de Junio de 2026). *Carón de falla*. Obtenido de Arts&Crafty: <https://www.artandcrafty.com/carton-de-falla/>
- AWS. (12 de Agosto de 2022). *¿Qué es la IA generativa?* Obtenido de AWS: <https://aws.amazon.com/es/what-is/generative-ai/>
- Barberá, J. (15 de Marzo de 2026). Una falla de València incorpora inteligencia artificial en el propio monumento para criticar las redes sociales. *Interdiario*.
- Camallonga, P. (28 de Enero de 2025). Diseño y escultura digital del ninot de la #exposicióndelninot2025 de la falla @falladelpilar para el gran @paco_torres_art. Valencia, Valencia, España.
- Capuz, D. (2022). *Guía básica de diseño de estructuras para las Fallas de València*. València: Universitat Politècnica de València.
- Chan, V. (13 de Mayo de 2026). *Los 8 mejores generadores de modelos 3D con IA en 2026*. Obtenido de Rapid direct: <https://www.rapiddirect.com/es/blog/best-8-ai-3d-model-generators/>
- Cococoders. (17 de Junio de 2026). *Understanding the 30% AI Rule - and Why AI Is a Good Thing When Used Well*. Obtenido de Cococoders: <https://www.cococoders.com/blog/understanding-the-30-ai-rule-and-why-ai-is-a-good-thing-when-used-well>
- Colomina, A. (2011). *Noves tecnologies en la creació artística fallera*. València: Universitat Politècnica de València.
- Craftcloud. (15 de Junio de 2026). *Material: PHA*. Obtenido de Craftcloud: <https://craftcloud3d.com/es/material-guide/pha>
- Distrito Fallas. (5 de Diciembre de 2024). *la IA, ¿Herramienta o sustituto?* Obtenido de Distrito Fallas: <https://www.districtofallas.com/2024/12/05/la-ia-herramienta-o-sustituto/>
- Distrito Fallas. (26 de Enero de 2024). *La inteligencia artificial llega a la Exposición del Ninot con Sueca*. Obtenido de Distrito Fallas: <https://www.districtofallas.com/2024/01/26/la-inteligencia-artificial-llega-a-la-exposicion-del-ninot-con-sueca/>
- Distrito Fallas. (14 de Marzo de 2025). La Falla Palleter usará la IA para hacer sus fallas accesibles. *Distrito Fallas*.
- Dominguez, M. (26 de Mayo de 2022). *Proponen una "moldeteca" para salvar los originales de ninots de falla de cartón*. Obtenido de Levante: <https://www.levante-emv.com/fallas/2022/05/26/proponen-moldeteca-salvar-originales-ninots-66577905.html>
- Eco Falles. (18 de Junio de 2026). *Finalidad del Proyecto*. Obtenido de Eco Falles: <https://eco-falles.com/>
- Estado, J. d. (12 de Abril de 1996). Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia. *BOE-A-1996-8930*. Madrid, España: Boletín Oficial del Estado.
- Estado, J. d. (9 de Marzo de 2012). Decreto 44/2012, de 9 de marzo, del Consell, por el que declara bien de interés cultural inmaterial la Fiesta de las Fallas de Valencia. *BOE-A-2012-4089*. Comunitat Valenciana, España: Boletín Oficial del Estado .
- Esun. (2026). *Filamento de Madera PLA*. Obtenido de Esun3d: <https://www.esun3d.com/es/wood-product/>
- Falles 3D. (7 de Junio de 2026). *Cómo se hace un monumento fallero*. Obtenido de Falles 3D: <https://falles3d.com/como-se-hace-un-monumento-fallero/>
- Forés, J. (15 de Febrero de 2026). *Los artistas falleros ven a la IA como una herramienta positiva: "No es el enemigo"*. Obtenido de Cadena SER: <https://cadenaser.com/comunitat->

- valenciana/2026/02/15/los-artistas-falleros-ven-a-la-ia-como-una-herramienta-positiva-no-es-el-enemigo-radio-valencia/
- González, Á. G. (2018). *Material para quemar: un recorrido por los procesos creativos empleados para hacer fallas*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Ibañez, M. (2025). *Los modelos de difusión*. Valencia: CEU Herrera.
- Innoarea. (2025). *Gaussian Splatting y el futuro de la fotogrametría*. Obtenido de innoarea: <https://innoarea.com/noticias/gaussian-splatting/>
- Maestro, P. (2026). *Materiales para la fabricación aditiva*. Valencia: AIMPLAS.
- Orozco-Messana, j. (14 de Abril de 2008). *Fabricación de Monumentos Falleros I*. Valencia, Valencia, España.
- Platero, J. (2017). *Propuesta de una metodología para la creación de monumentos falleros basada en la escultura digital*. València: Universitat Politècnica de València.
- Puertollano, V. (20 de Noviembre de 2024). *El impacto de la inteligencia artificial en el modelado 3D: eficiencia, creatividad y desafíos éticos*. Obtenido de NODOS: <https://2024.nodos.org/ponencia/el-impacto-de-la-inteligencia-artificial-en-el-modelado-3d-eficiencia-creatividad-y-desafios-eticos/>
- Riol, j. (26 de febrero de 2026). *Como empapelamos las fallas*. Valencia, Valencia, España.
- Romero, Á. (2 de Mayo de 2024). *Falla Sueca-Literato Azorín 2024, de Pedro Santaaulalia*. Obtenido de Cendra Digital: <https://www.cendradigital.com/2024/05/02/falla-sueca-literato-azorin-2024-de-pedro-santaaulalia>
- Romero, Á. (6 de Febrero de 2026). *Fallas de Valencia 2026: Exposición del ninot infantil*. Obtenido de Cendra digital: <https://www.cendradigital.com/2026/02/06/fallas-de-valencia-2026-exposicion-del-ninot-infantil>
- Sedberry, S. (17 de Marzo de 2026). *What is the 30% Rule in AI?* Obtenido de Generative: <https://www.generative.inc/what-is-the-30-rule-in-ai>
- Stanisheva, m. (5 de marzo de 2026). *AI for 3d Character Modeling and How It Compares to Traditional Workflows*. Obtenido de Medium: <https://blog.connectorapp.com/ai-for-3d-character-modeling-and-how-it-compares-to-traditional-workflows-4840b1f19b42>
- Tomás Palacín, J. (5 de Febrero de 2026). *Eco-Falles 4.0: la tradición choca con ninots hechos con impresoras 3D*. Obtenido de Innovaspain: <https://www.innovaspain.com/eco-falles-4-0-fallas/>
- UCA. (28 de Agosto de 2025). *Propiedad intelectual del contenido generado por IA: guía práctica para emprendedores, freelance y empresas innovadoras*. Obtenido de UCA Emprende: <https://emprende.uca.es/propiedad-intelectual-del-contenido-generado-por-ia-guia-practica-para-emprendedores-freelance-y-empresas-innovadoras/>
- UNESCO. (1 de Junio de 2026). *Patrimonio Inmaterial España*. Obtenido de UNESCO: <https://ich.unesco.org/es/estado/espana-ES?info=elementos-en-las-listas>
- UPV. (2026). *STRUC-FALLES: Aplicación Informática para el dimensionamiento de las secciones de madera*. València: Universitat Politècnica de València.
- UPV. (s.f.). *Aplicación chopchop guía de uso*. Generalitat Valenciana, IVACE+i, Valencia, España: Proyecto ECO-FALLES 4.0-INNEST/2023/201.
- ValenciaBonita. (13 de Marzo de 2026). *El verdadero origen de las Fallas, la historia del auténtico comienzo de la fiesta fallera*. Obtenido de ValenciaBonita: <https://www.valenciabonita.es/2016/12/01/el-origen-de-las-fallas/>
- Vázquez, J. (2 de Marzo de 2025). *Los artistas falleros luchan por salvar su oficio de morir en la hoguera*. Activos.
- Weerg. (14 de noviembre de 2025). *Qué es la Impresión 3D FDM y Cómo Funciona Fused Deposition Modeling*. Obtenido de Weerg: <https://www.weerg.com/es/guias/impresion-3d-fdm>

ANEXO A: Listado de Bocetos de los Ninots

El presente anexo contiene de forma detallada el conjunto de boceto conceptuales realizados para la ideación del monumento fallero infantil creado durante el desarrollo de este trabajo. Su presentación viene dada por 3 partes fundamentales: La imagen del Boceto, El prompt exacto se que utilizó para su creación y los parámetros utilizados para la creación, siendo estos:

[Modelo de IA generativa empleado], [Modo del modelo], [Aspecto de relación], [Tamaño de la imagen], [Referencias utilizadas], [postprocesados de la imagen necesarios].

- 01.1-Estructura



“Dibujo ilustracion de unos engranajes @img1, con estilo artistico de caricatura parecido al de @img2 vista frontal de este engranaje sobre fondo blanco. El engranaje es gris y tiene detalles de ingenieria no es simple y es hueco en el medio@img2”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 768 x 1376 px, @img1: Boceto anterior, @img2: 01.2.]

Figura 132: Boceto conceptual de 01.1-Estructura

- 01.2-Diseño



“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years old, with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is happy, r. , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there.”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 768 x 1376 px, @img1: Boceto anterior, @img2: 01.2]

Figura 133: Boceto conceptual de 01.2-Diseño

- 01.3-Textil



Figura 134: Boceto conceptual de 01.3-Textil

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A joyful 7 years old young girl with a disproportionately large, expressive head and large eyes, alongside oversized hands. The image is a pure boceto with loose, energetic lines and colourful washes. The girl is depicted wearing very loose, baggy work coveralls that seem too large for her, rolled up at the sleeves, with a measuring tape around her neck. On her head, she wears a pair of oversized, retro-futuristic technical engineering goggles. She is completely enveloped and wrapped in a chaotic abundance of colourful silk fabrics with traditional Falla patterns (espolín-style motifs, vibrant floral and geometric designs in deep blues, golds, reds, and oranges). She holds several large rolls of fabric in her oversized hands, and more fabrics are draped over her shoulders, piled around her feet, and wrapped around her body, along with large spools of thread and yarn. Her expression is one of jovial, focused, and slightly overwhelmed overwhelm. The background is a messy, sketchily drawn textile workshop/studio, filled with fabric bolts, measuring tools, scattered threads, and a messy sewing station. The entire composition is built on white background paper, with colorful line art and textures. The lighting is bright workshop light casting funny shadows.”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 16:9, 1376 x 738 px, @img1: Boceto a mano, @img2: 01.2]

- 01.4-Engranaje



Figura 135: Boceto conceptual de 01.4-Engranaje

“Dibujo ilustracion de medio engranaje, con estilo artistico parecido al de @img1 vista frontal de este engranaje sobre fondo blanco. El engranaje es gris y tiene detalles de ingenieria no es simple y es hueco en el medio los detalles no tienen nada que ver con @img1 img1”.

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 1:1, 1024 x 1024 px, @img1: Estilo, @img2: Boceto a mano, Boceto editado con Photoshop]

- 01.5-Industriales



Figura 136: Boceto conceptual de 01.5-Industriales

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young indian 7 years boy industrial Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, he is sitted in a cube and really happy with the feets in the air, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.1, Ediciones posteriores al prompt]

- 01.7-Mecánica



Figura 137: Boceto conceptual de 01.7-Mecanica

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young white 7 years girl Mechanical Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, she is driving a sports car a maximun speed, in the air gripping the steering wheel, and a adrenaline face, fully white background.”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5]

- 01.8-Electrico



Figura 138: Boceto conceptual de 01.8-Electrico

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years boy Electriian Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, standing only in one feet and looking frightened to the floor, is ion the top of a really tight line, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5]

- 01.9-Astro



Figura 139: Boceto conceptual de 01.9-Astro

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years old astronaut @img1 , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is happy,r , fully white background, use @img2 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 768 x 1376 px, @img1: Boceto anterior]

- 01.10-Forense



Figura 140: Boceto conceptual de 01.10-Forense

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years boy forensic Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, dressed as a detective he has a magnifying glass in the hand and looking through, leaning out from a top wall , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 01.8, Ediciones posteriores al prompt]

- 02.1-Tvs



Figura 141: Boceto conceptual de 02.1-TVs

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young white 7 years girl Telecommunication Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is on the top of a one huge speakers and tvs 5 times bigger than her, the tv and speakers are in perfect conditions and arranged well forming a squared tower, with an antenna and cables in the hand and pointing up to try to catch signal, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5 , Ediciones posteriores al prompt]

- 02.2-Teleco



Figura 142: Boceto conceptual de 02.2-Teleco

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young white 7 years girl Telecommunication Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is on the top of a huge speaker 5 times bigger than her with an antenna and cables in the hand and pointing up to try to catch signal, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px,

@img1: 03.5 , Ediciones posteriores al prompt]

- 02.3-Audiovisuales



Figura 143: Boceto conceptual de 02.3-Audiovisuales

"A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young spanish 7 multimedia Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, he is on a hoodie and with a camera, he is also sitted at the top of a cinema camera , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there"

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 768 x 1376 px, @img1: 01.2]

- 02.4-Multimedia



“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young spanish 7 years old gaming Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, he is wearing a vr glasses and a tech suit and looks amazed, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2,Thinking fast, AR 9:16, 768 x 1376 px, @img1: 01.2]

Figura 144: Boceto conceptual de 02.4-Multimedia

- 02.5-Sonido



Figura 145: Boceto conceptual de 02.5-Sonido

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young white 7 years sound engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is wearing headphones and a hat like a rapper, having a mixing board and being sitting on the top of a huge speaker , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5 , Ediciones posteriores al prompt]

- 03.1-Viga



Figura 146: Boceto conceptual de 03.1-Viga

generate an ilustration of a beam with these 3 characters there. @img2@img2 on the left @img1 in the middle and @img3 on the right [Nano Banana 2, Thinking fast, AR 16:9, 1376 x 738 px, @img1: 03.1.1, @img2: 03.1.2, @img3: 03.1.3, Boceto editado a posterior con Photoshop]

- 03.1.1-Edif



Figura 147: Boceto conceptual de 03.1.1-Edif

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young feminine 7 years girl civil engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is seated in a beam and looking at a plan that has in the hands, looks focused , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 738 x 1376 px, @img1: 01.2]

- 03.1.2-Urban



Figura 148: Boceto conceptual de 03.1.2-Urban

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young masculine caucasian 7 years boy urban engineer, with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is seated in the middle of a beam and eating a sandwich, focus and really serious, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 738 x 1376 px, @img1: 01.2]

- 03.1.3-Topo



Figura 149: Boceto conceptual de 03.1.3-Topo

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young masculine asian 7 years boy geomatics engineer, with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is seated in a beam and having in the hands a theodolite, silly face, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 738 x 1376 px, @img1: 01.2]

- 03.2-Nadal



Figura 150: Boceto conceptual de 03.2-Naval

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young chinese 7 years sailor Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, he is on a sailor engineer outfit and on the top of a half boat on the sea, with and anchor on the hand, seems proud and staring , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 01.2]

- 03.3-Forestal



Figura 151: Boceto conceptual de 03.3-Forestal

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young masculine irish 7 years boy forest engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is wearing an axe and a square style shirt and a helmet, with one hand touching the mint and looking at the sky think,ing , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5]

- 03.4-Agro



Figura 152: Boceto conceptual de 03.4-Agro

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young masculine blong 7 years girl agricultural engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is wearing agricultural accesories and a farme hat, is really happy and jumping (like mario bros) , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5]

- 03.5-Ambientales



Figura 153: Boceto conceptual de 03.5-Ambientales

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young masculine latin 7 years boy environmental recycling engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is driving a jeep, themed with bio and forest style, happy face but challenging eyes , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 01.2]

- 03.6-Arboles

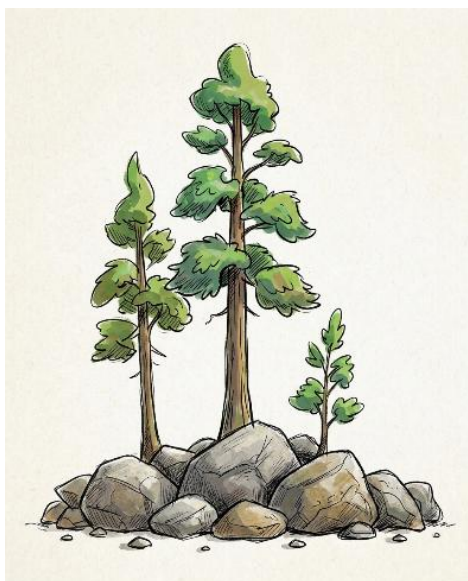


Figura 154: Boceto conceptual de 03.6-Arboles

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style. The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. 3 trees california style ones with different sizes but always the same line tree with some big rocks in the bottom, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: Boceto anterior]

- 03.7-Tienda



Figura 155: Boceto conceptual de 03.7-Tienda

“A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style. The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. a triangular style camp tent, fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there”

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 03.5]

- 03.8-Química



Figura 156: Boceto conceptual de 03.8-Química

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young blonde 7 years girl chemical Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, has a coat and some liquid on the hands he is doing experiments , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 01.2, Ediciones del boceto en Photoshop]

- 03.9-Biotec



Figura 157: Boceto conceptual de 03.9-Biotec

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young black 7 years boy biotech Engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, has a coat and doing experiments with plants in a large camping table , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 4:5, 928 x 1152 px, @img1: 01.2, Ediciones del boceto en photoshop]

- 04.1-Robot

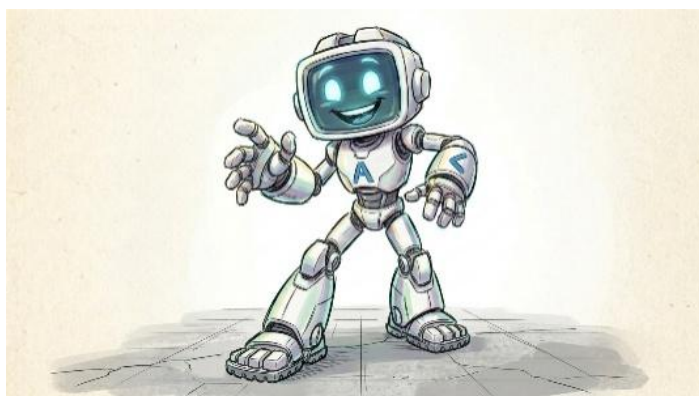


Figura 158: Boceto conceptual de 04.1-Robot

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. a robot @img2 , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is happy,r , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 16:9, 1376 x 738 px, @img1: 01.2, @img2: Boceto anterior, Boceto editado a posterior en Photoshop]

- 04.2-Robotica



Figura 159: Boceto conceptual de 04.2-Robotica

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years old, robotic engineer with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is happy, is suspended in the air. He is wearing a rumpled work jumpsuit and a heavy safety harness. The entire

engineering figure, suspended by kevlar thin ropes, is dangling beneath a high tech drone designed ., his right arm fully extended, with his index finger, which , white background, follow the aesthetic of @img1 . the kid has to look loke a robotic engineer, fully white background, futuristic and simple drone, not chunky is high modern

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 16:9, 1376 x 738 px, @img1: Estilo, Boceto editado a posterior en Photoshop]

- 04.3-Infor



Figura 160: Boceto conceptual de 04.3-Infor

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years informatic , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is he has a laptop in one hand and the other one touching the head, looking confused, like not knowing what to do, wearing glasses , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 738 x 1376 px, @img1: 01.2]

- 04.4-Electro



Figura 161: Boceto conceptual de 04.4-Electro

A vibrant, satirical full-color ink sketch drawing on textured paper, executed in a dynamic cartoon style with exaggerated character proportions (large heads and oversized hands). The image is a pure boceto, with loose, expressive lines and colored digital washes. A young 7 years girl electronic engineer , with a disproportionately large, expressive head and large eyes, is seated on the head of the robot @img2 and touching some cables from there, looks focused , fully white background, use @img1 as a style reference but dont include any from there

[Nano Banana 2, Thinking fast, AR 9:16, 738 x 1376 px, @img1: 01.2 ,@img2: Robot, Boceto con ediciones

posteriores al prompt]

ANEXO B: Medidas y Modelados en crudo

El presente anexo contiene de forma detallada Las medidas y vistas de cada uno de los Ninots que forman el monumento fallero infantil realizado en este trabajo. Para su simplificación en la interpretación, se optó por mostrar la vista frontal y lateral de todos. Las medidas dispuestas presentan las medidas crudas de estilo full box, es decir medidas en bruto de altura, anchura y profundidad.

Este Anexo sirve también como repositorio o catalogo de modelos creados para la conceptualización de este monumento fallero infantil. Sirve para poder apreciar los acabados de los modelos y sus posiciones. Todos los modelos se crearon utilizando los parámetros de Tencent Hunyuan redactados anteriormente en este trabajo.

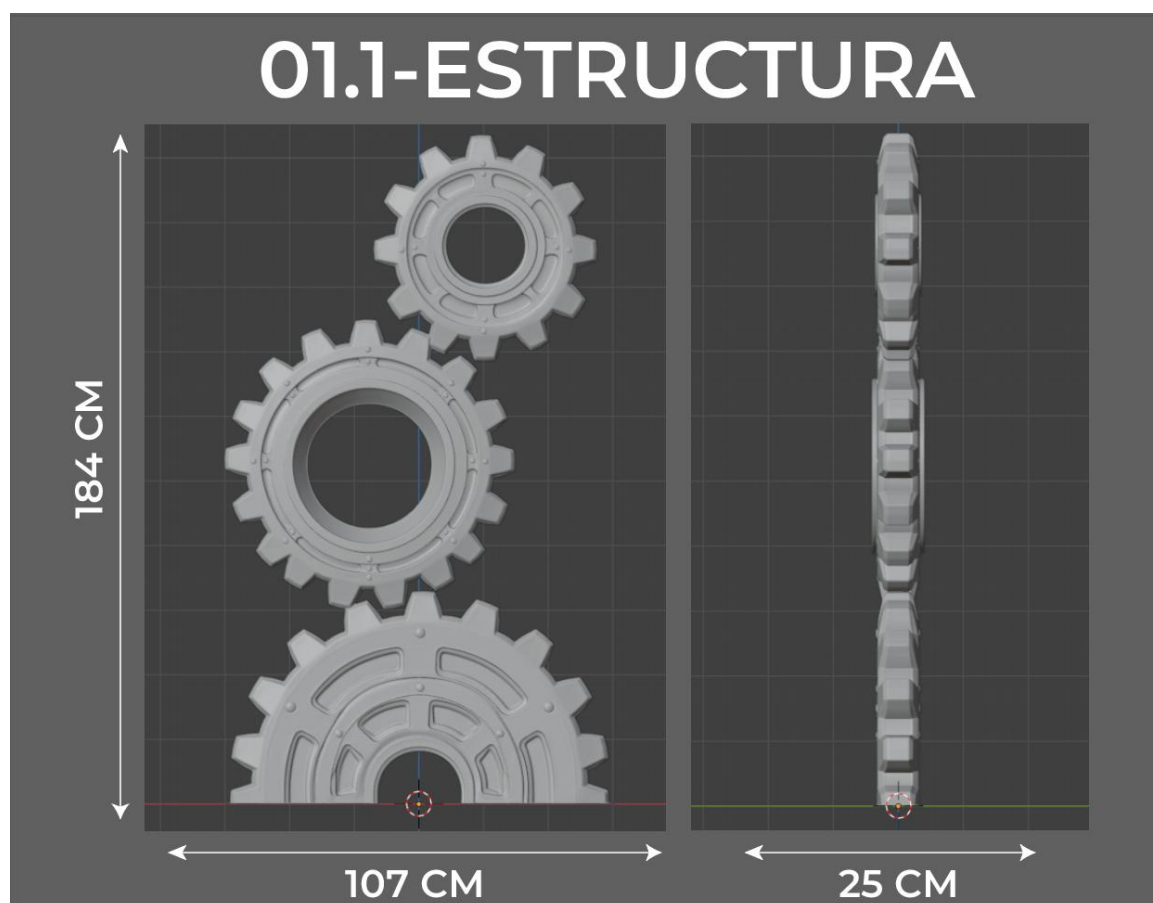


Figura 162: Modelado 3D y medidas de 01.1-Estructura

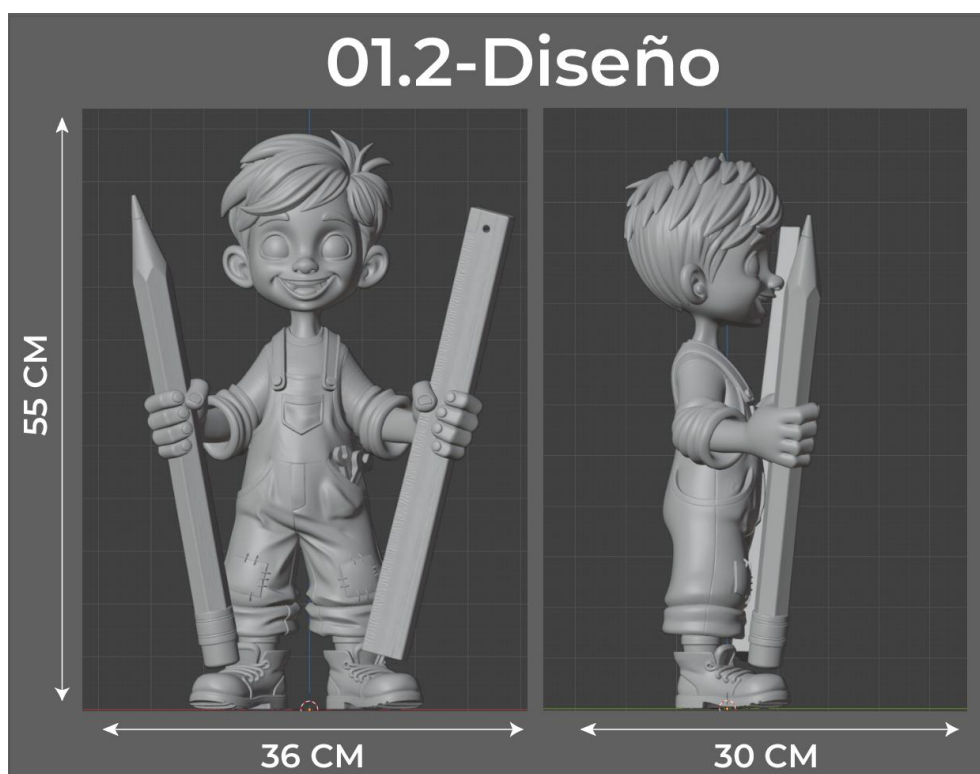


Figura 163: Modelado 3D y medidas de 01.2-Diseño

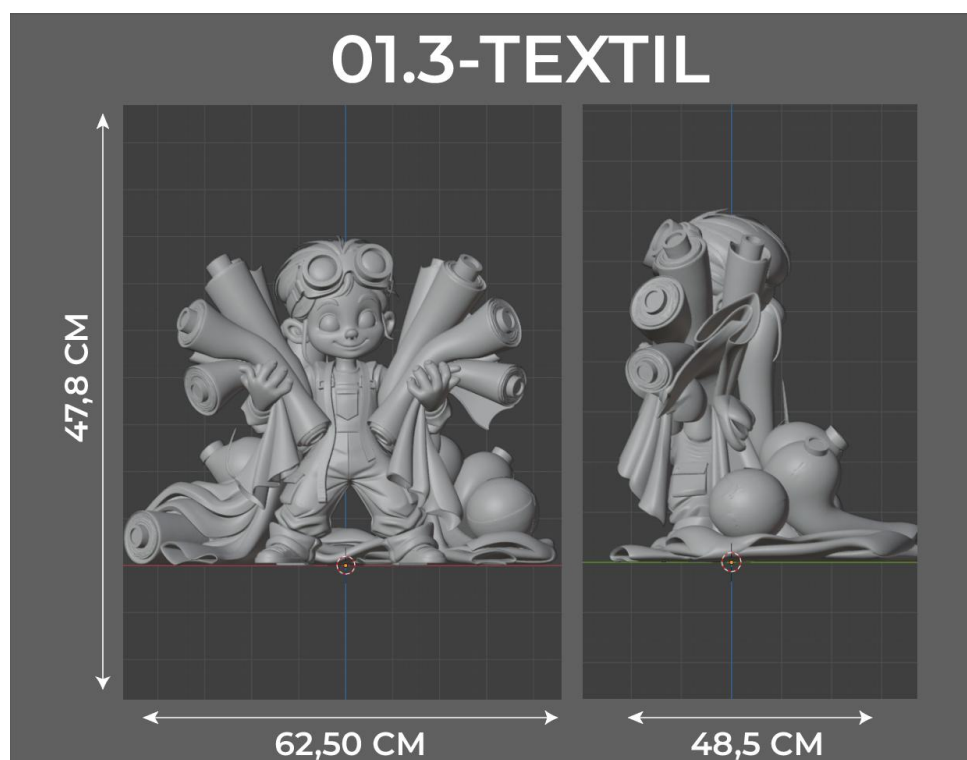


Figura 164: Modelado 3D y medidas de 01.3-Textil

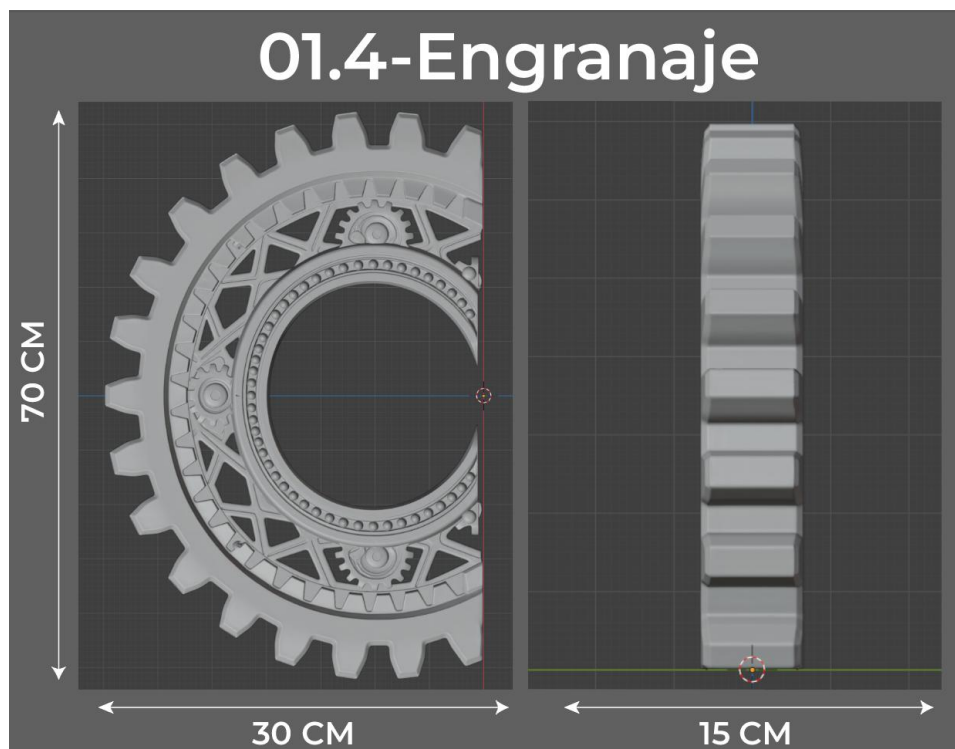


Figura 165: Modelado 3D y medidas de 01.4-Engranaje

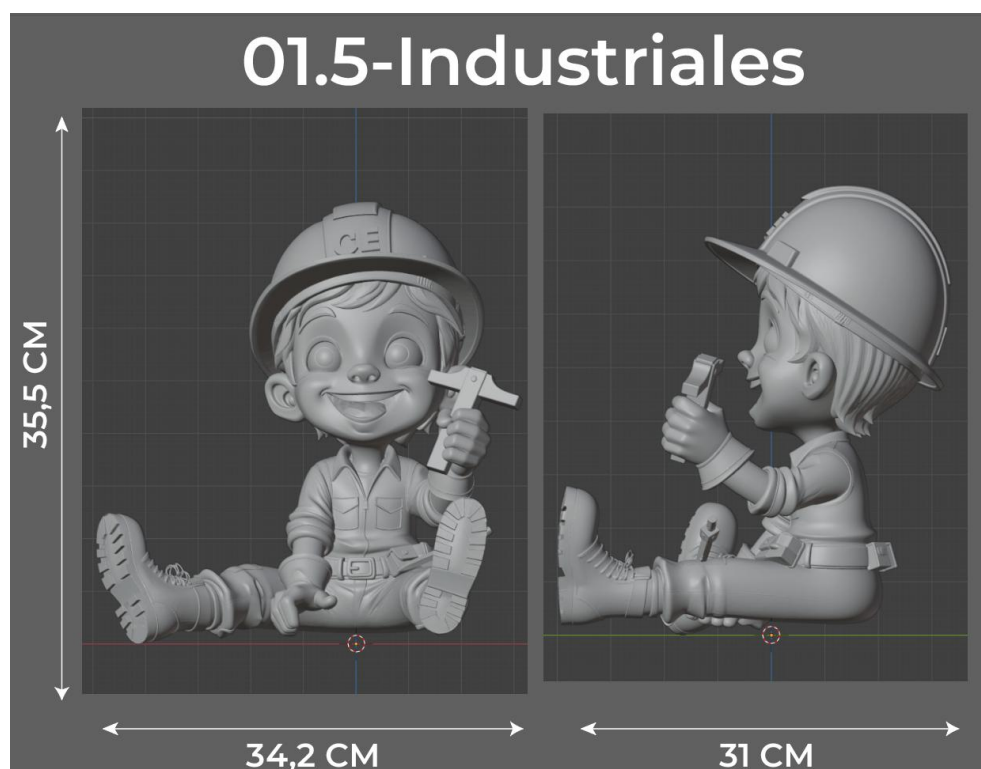


Figura 166: Modelado 3D y medidas de 01.5-Industriales

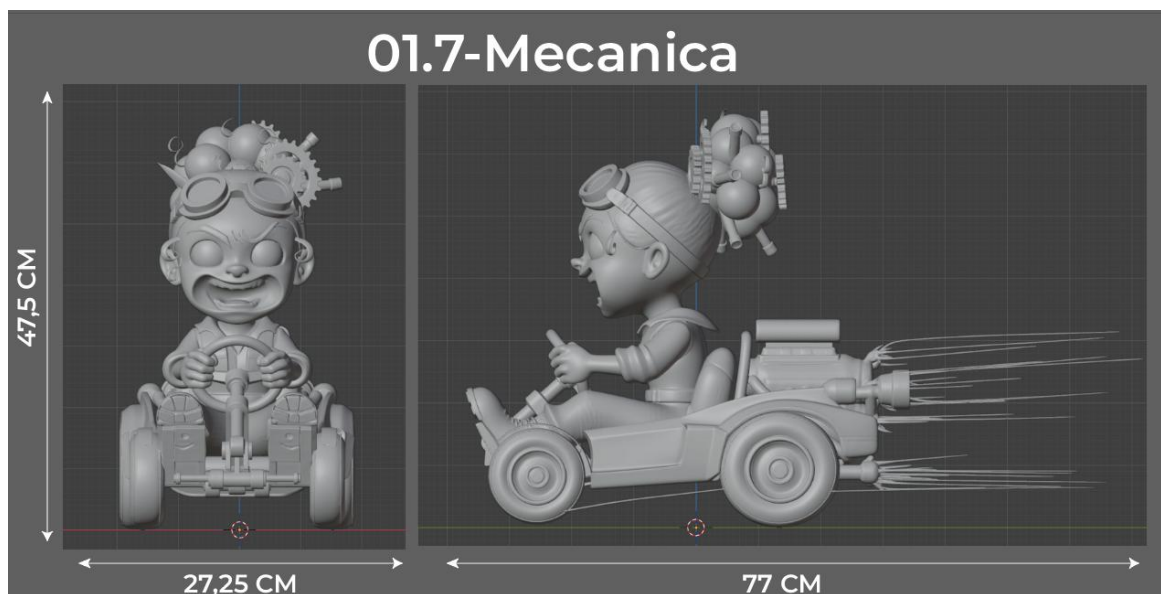


Figura 167: Modelado 3D y medidas de 01.7-Mecanica

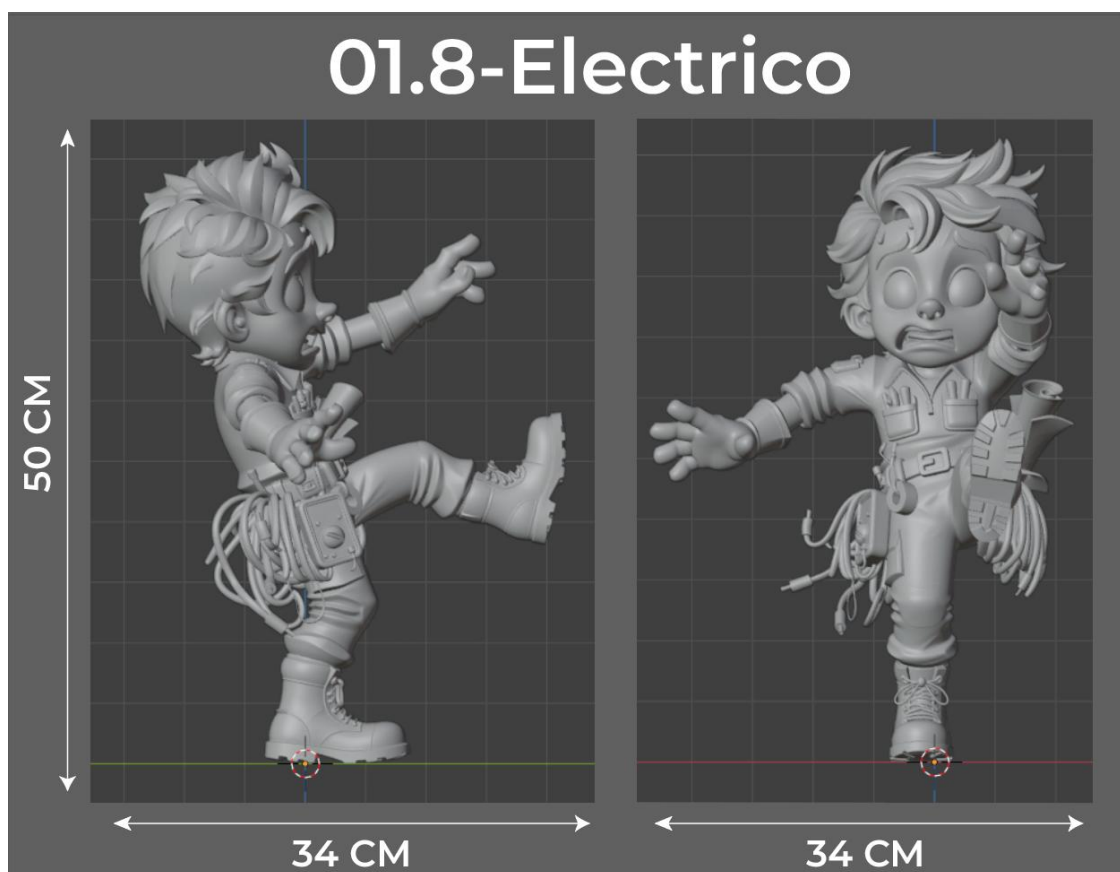


Figura 168: Modelado 3D y medidas de 01.8-Electrico

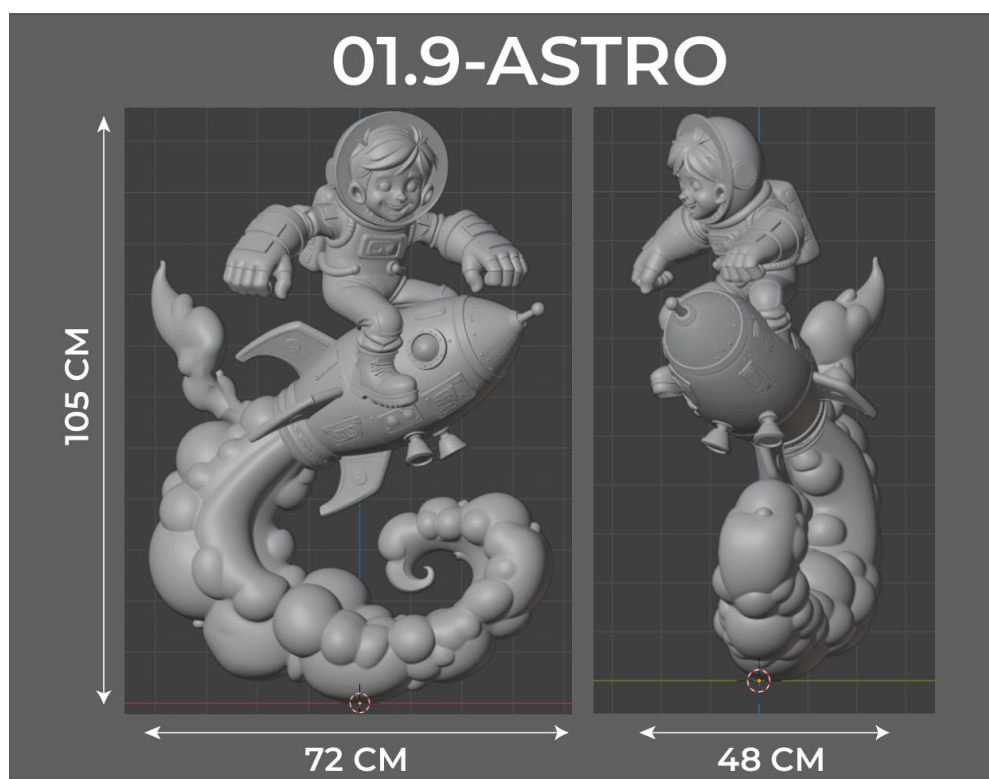


Figura 169: Modelado 3D y medidas de 01.9-Astro

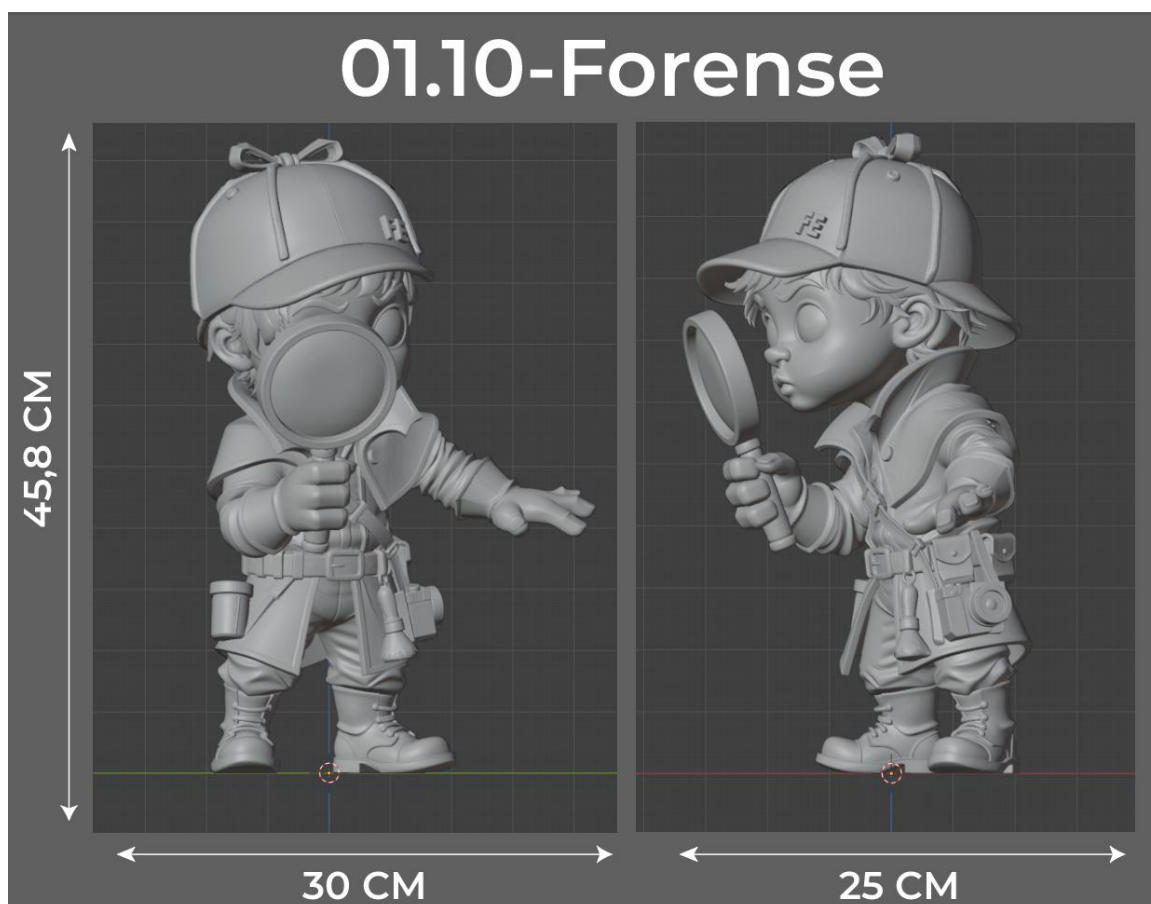


Figura 170: Modelado 3D y medidas de 01.10.Forense

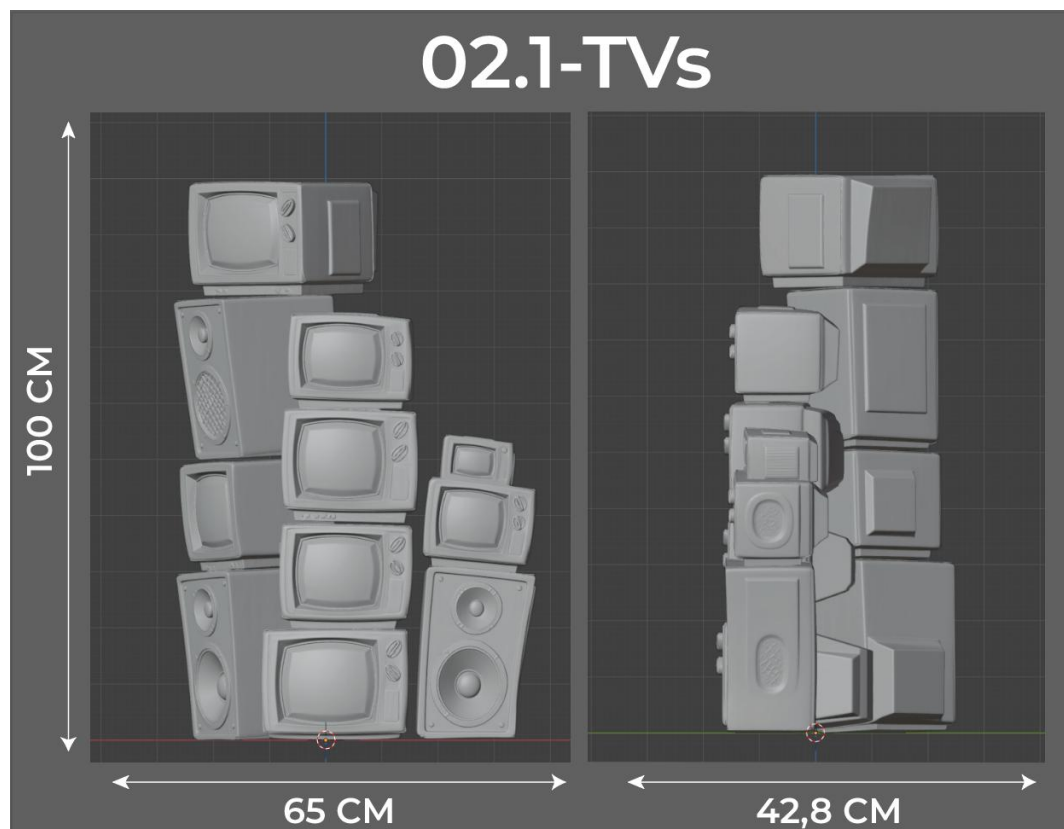


Figura 171: Modelado 3D y medidas de 02.1-TVs

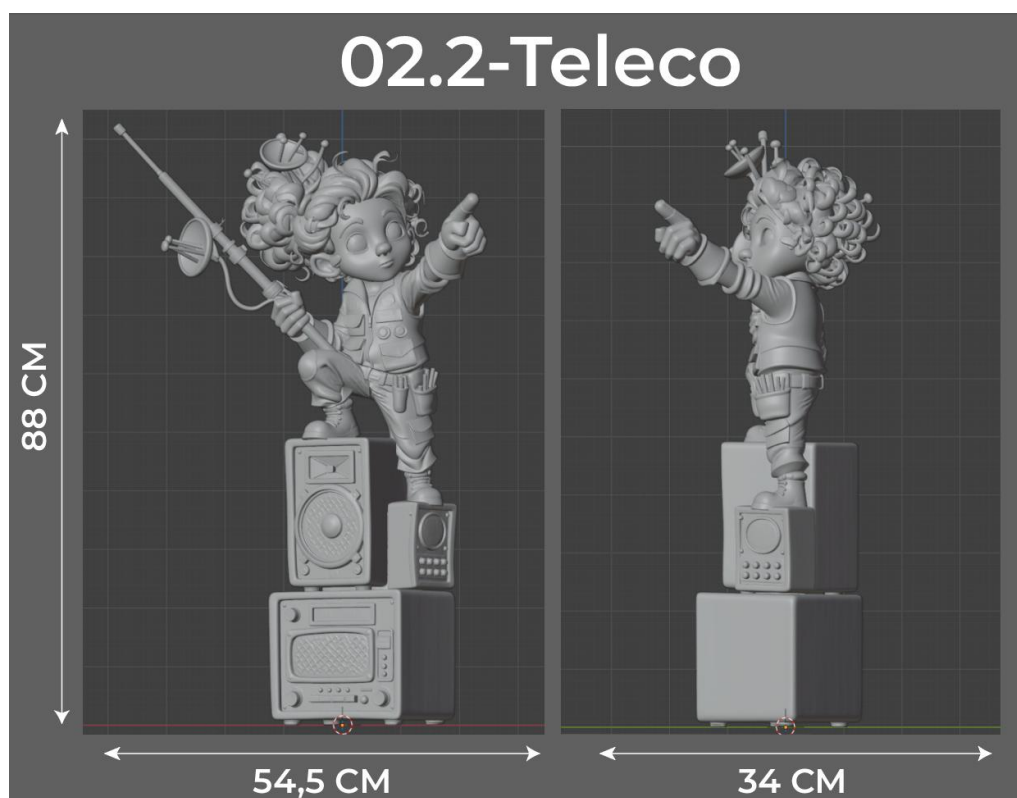


Figura 172: Modelado 3D y medidas de 02.2-Teleco

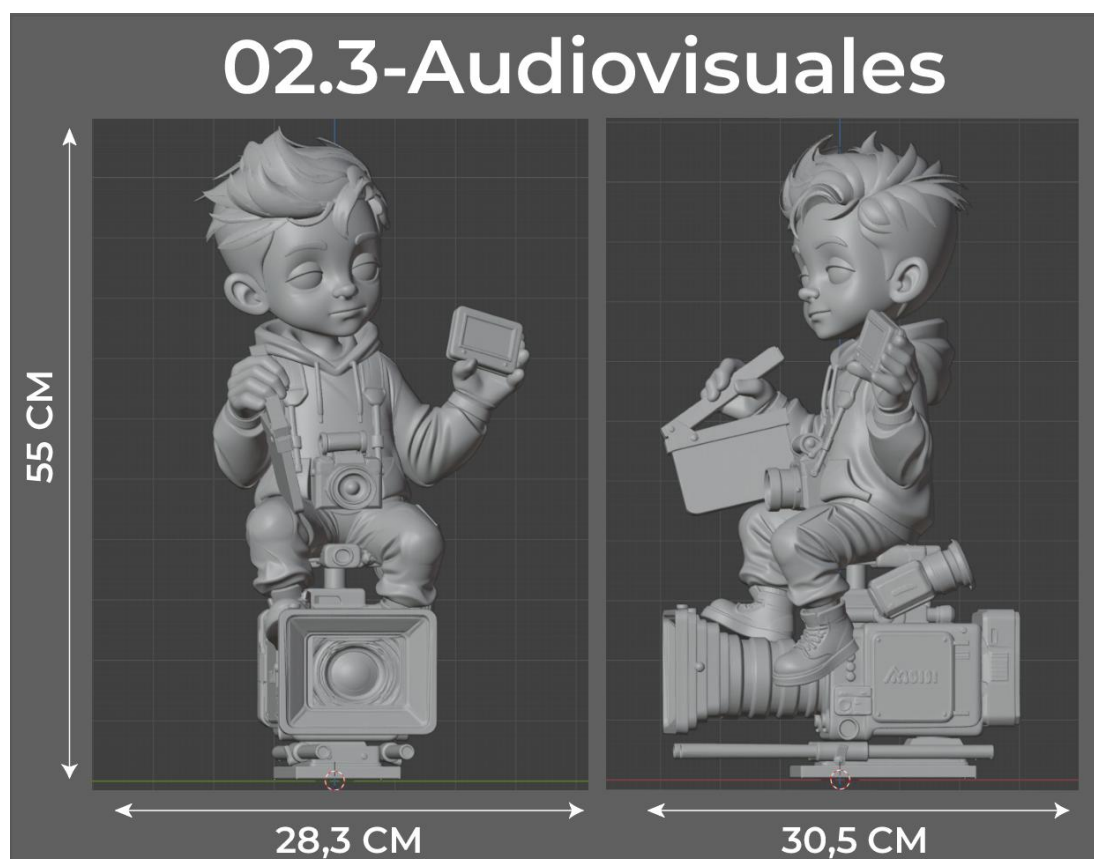


Figura 173: Modelado 3D y medidas de 02.3-Audiovisuales

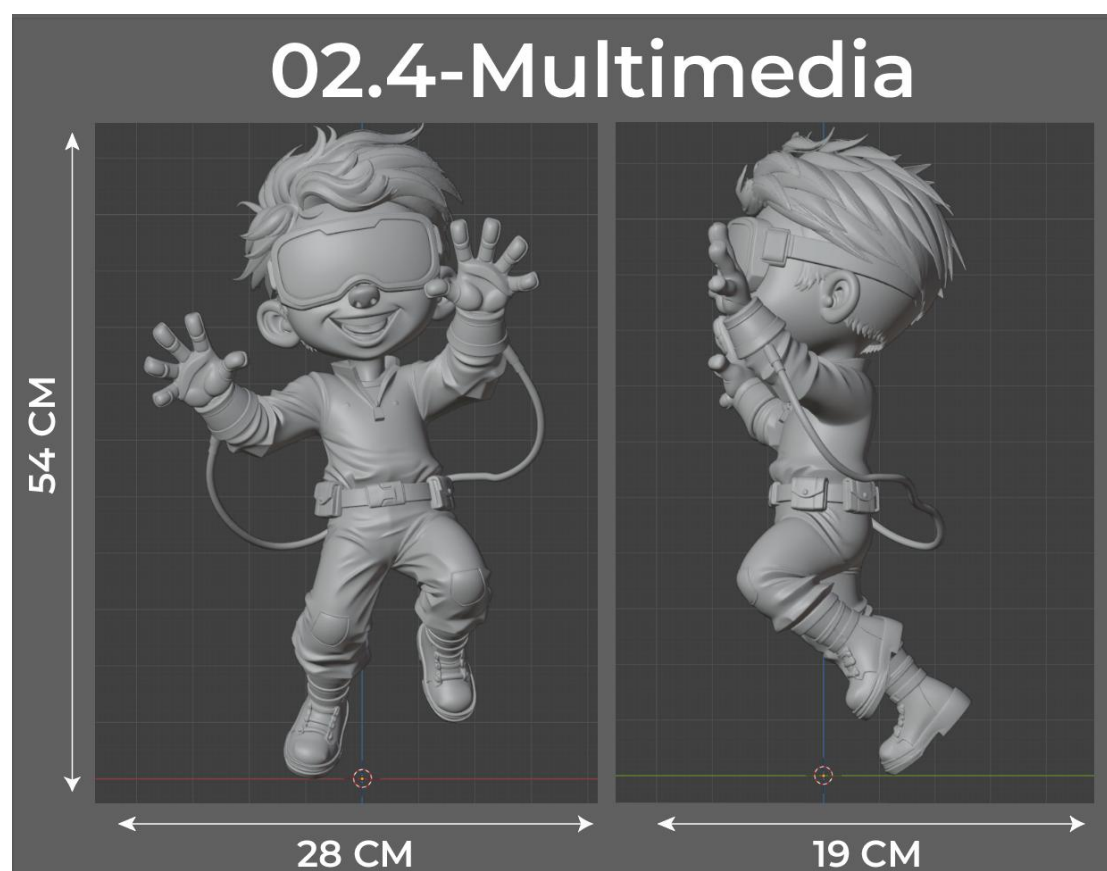


Figura 174: Modelado 3D y medidas de 02.4-Multimedia

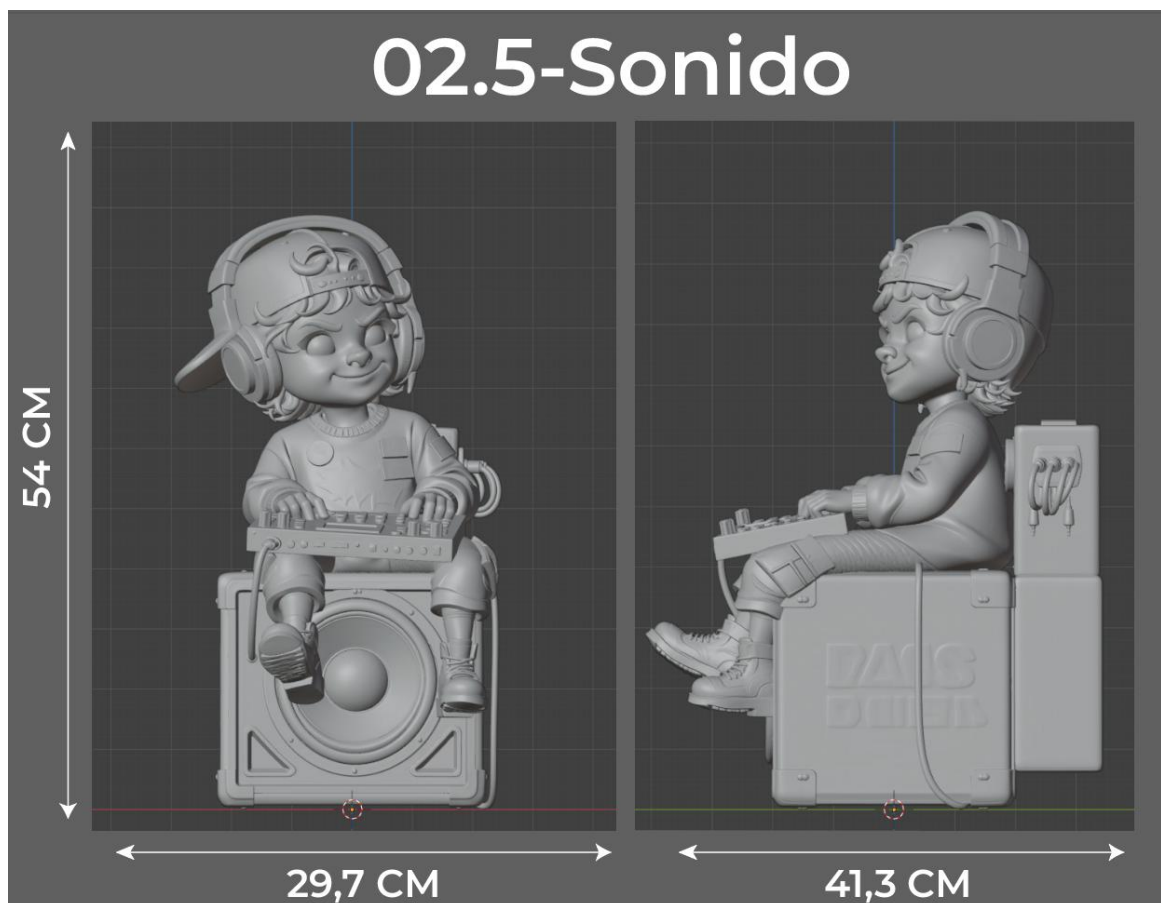


Figura 175: Modelado 3D y medidas de 02.5.Sonido

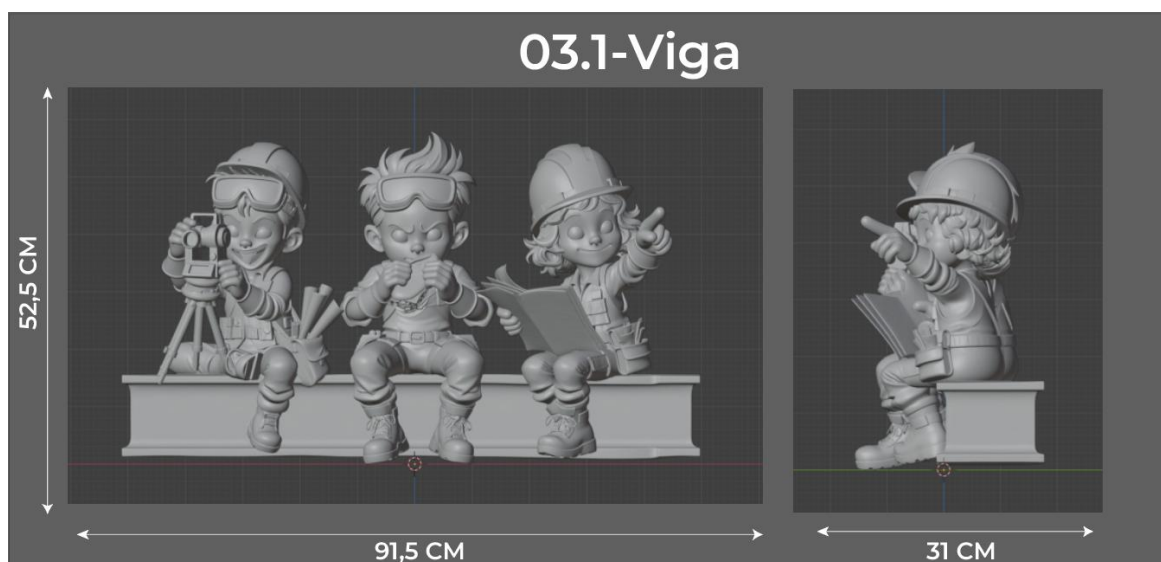


Figura 176: Modelado 3D y medidas de 03.1-Viga

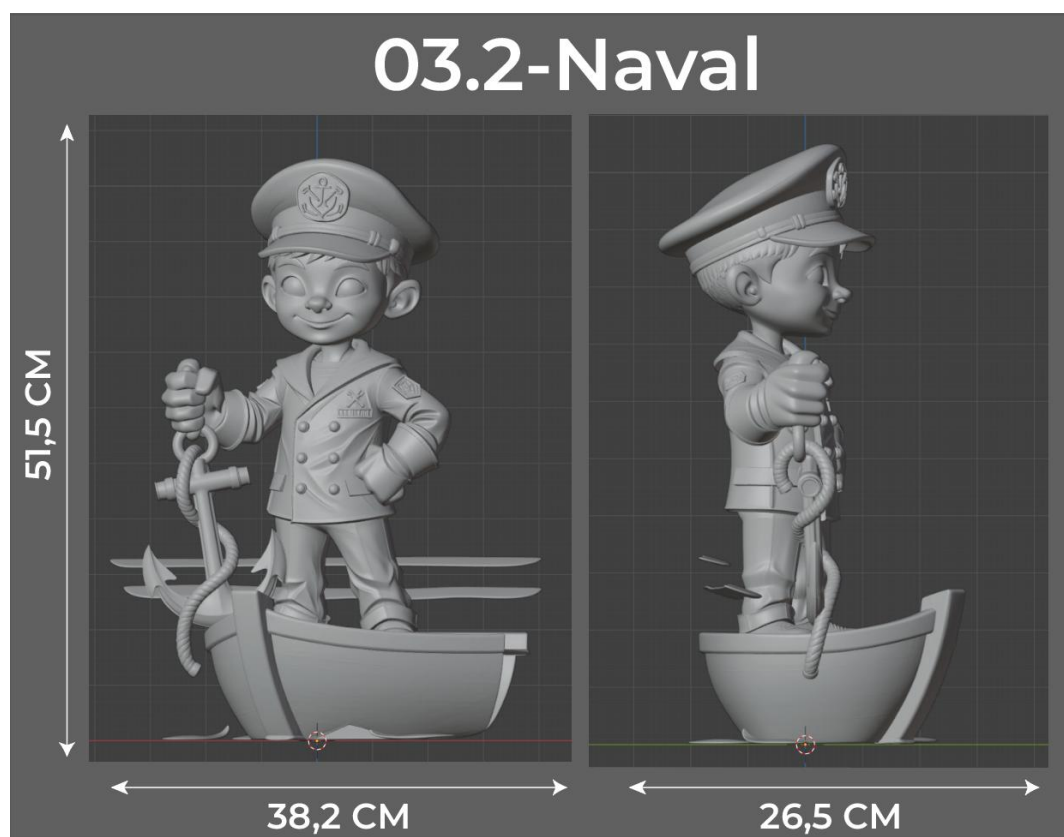


Figura 177: Modelado 3D y medidas de 03.2-Naval

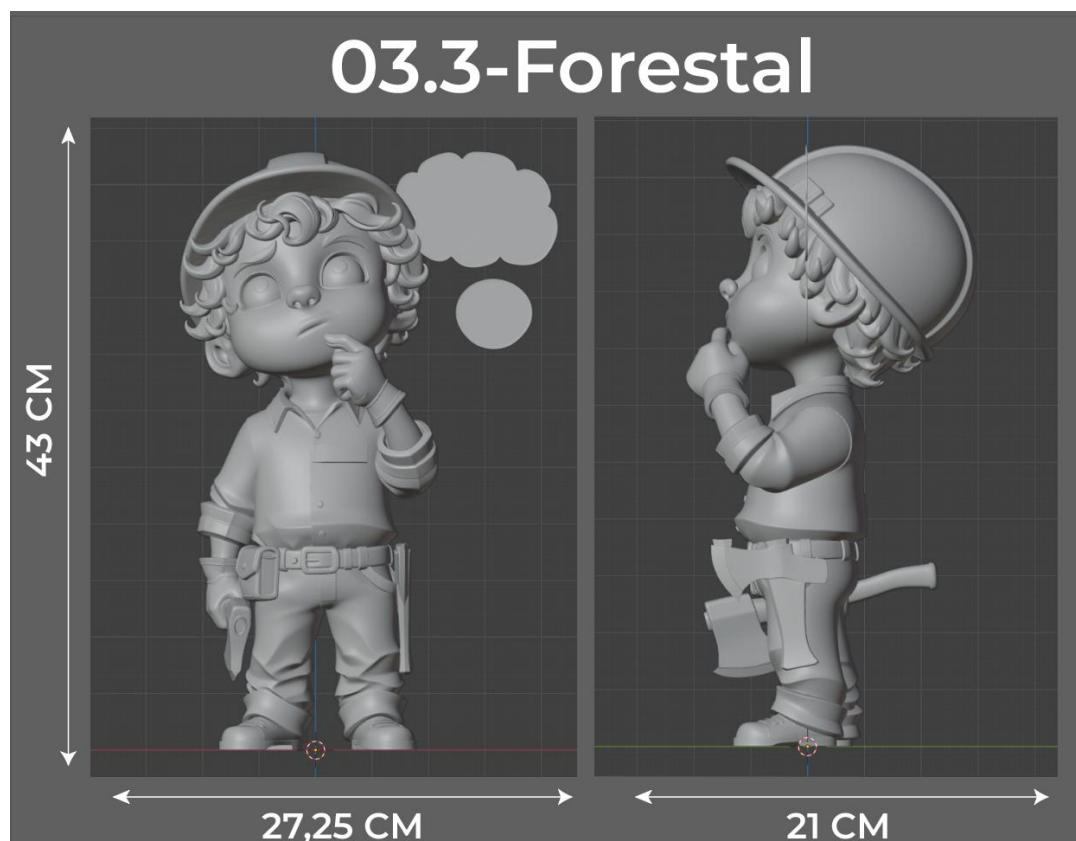


Figura 178: Modelado 3D y medidas de 03.3-Forestal

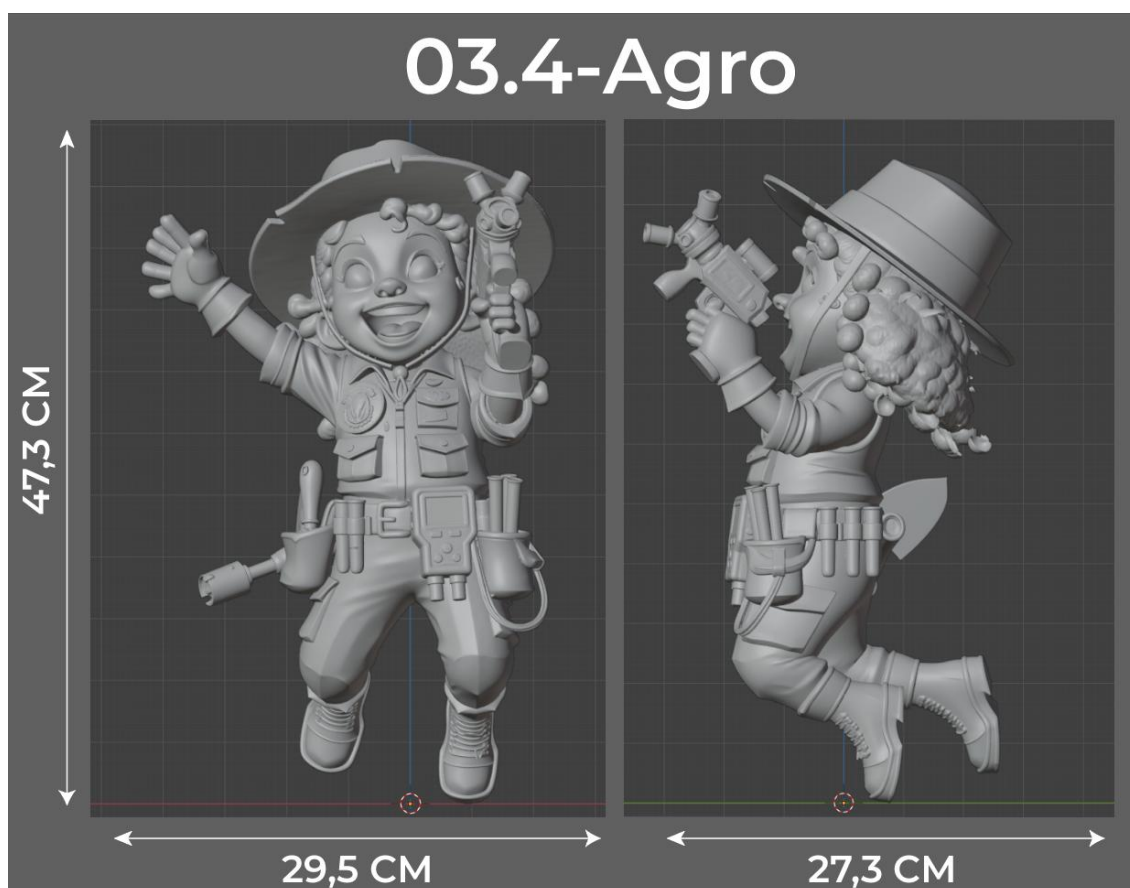


Figura 179: Modelado 3D y medidas de 03.4-Agro

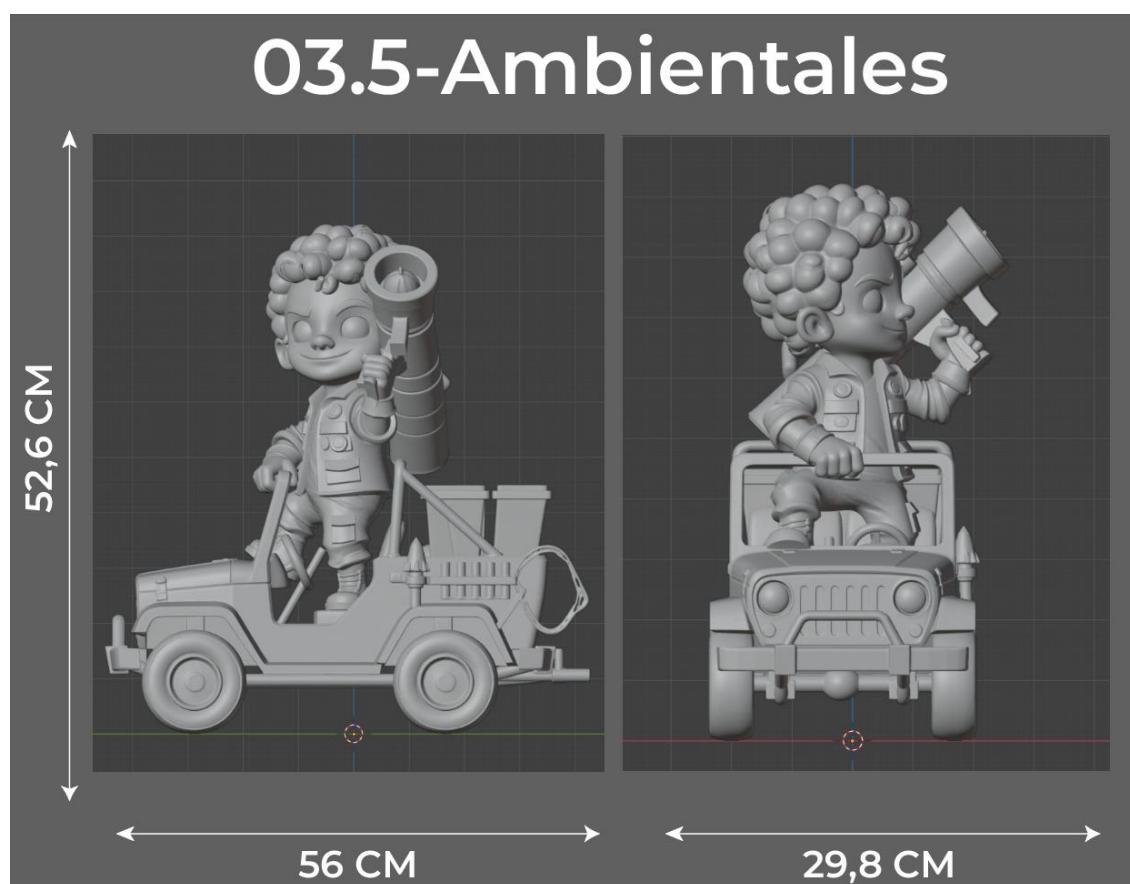


Figura 180: Modelado 3D y medidas de 03.5-Ambientales

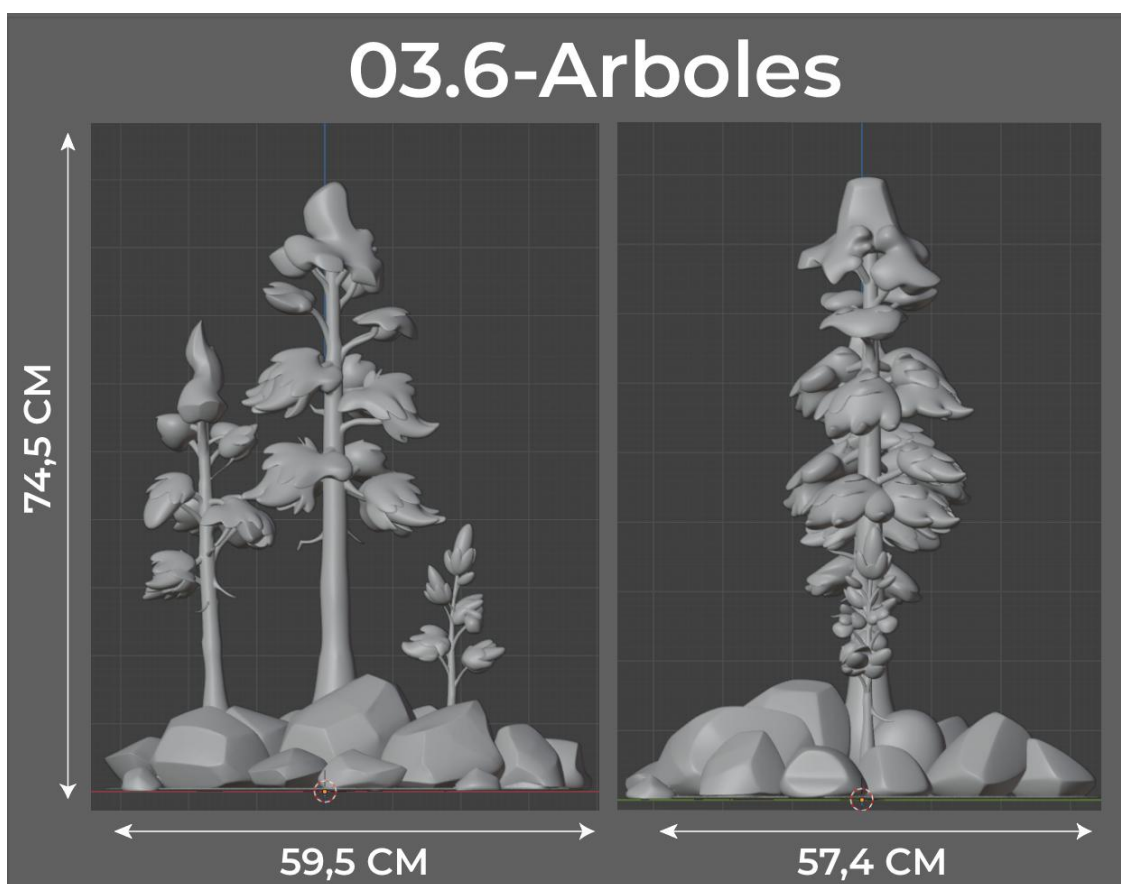


Figura 181: Modelado 3D y medidas de 03.6-Arboles

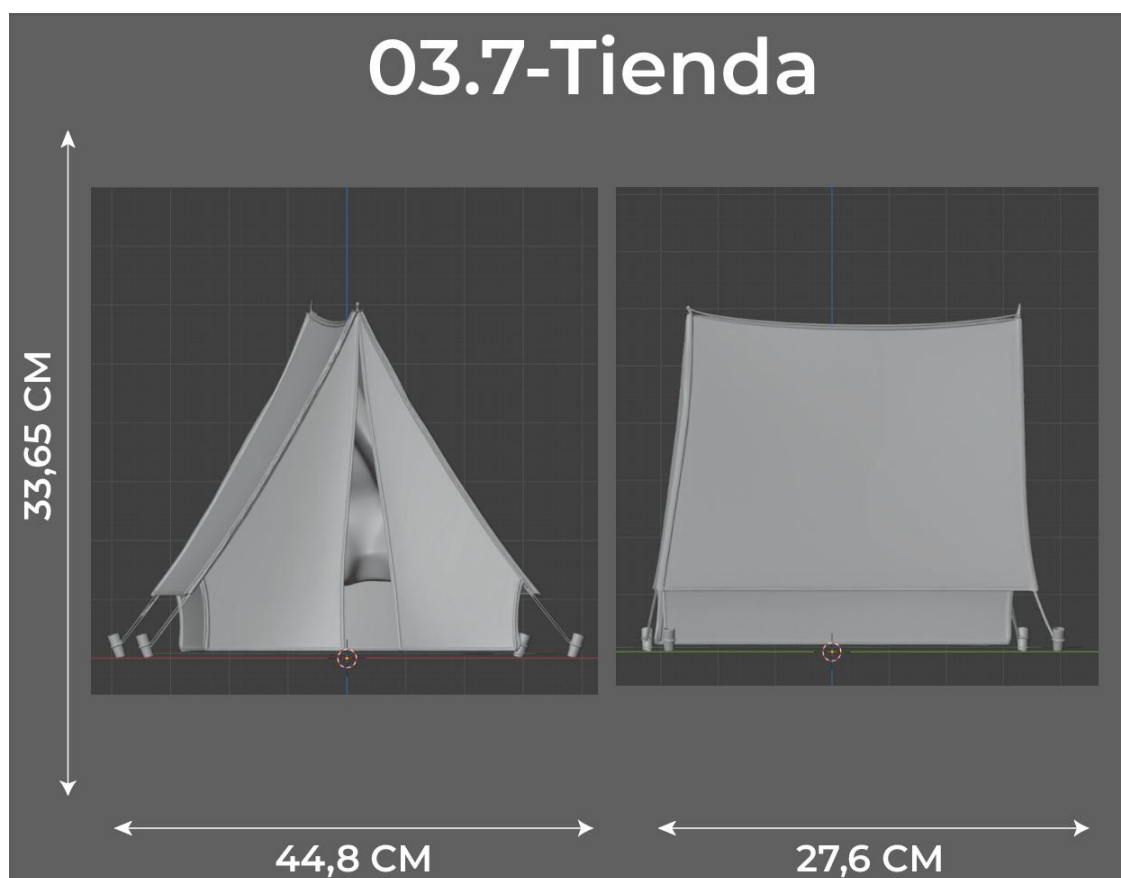


Figura 182: Modelado 3D y medidas de 03.7-Tienda

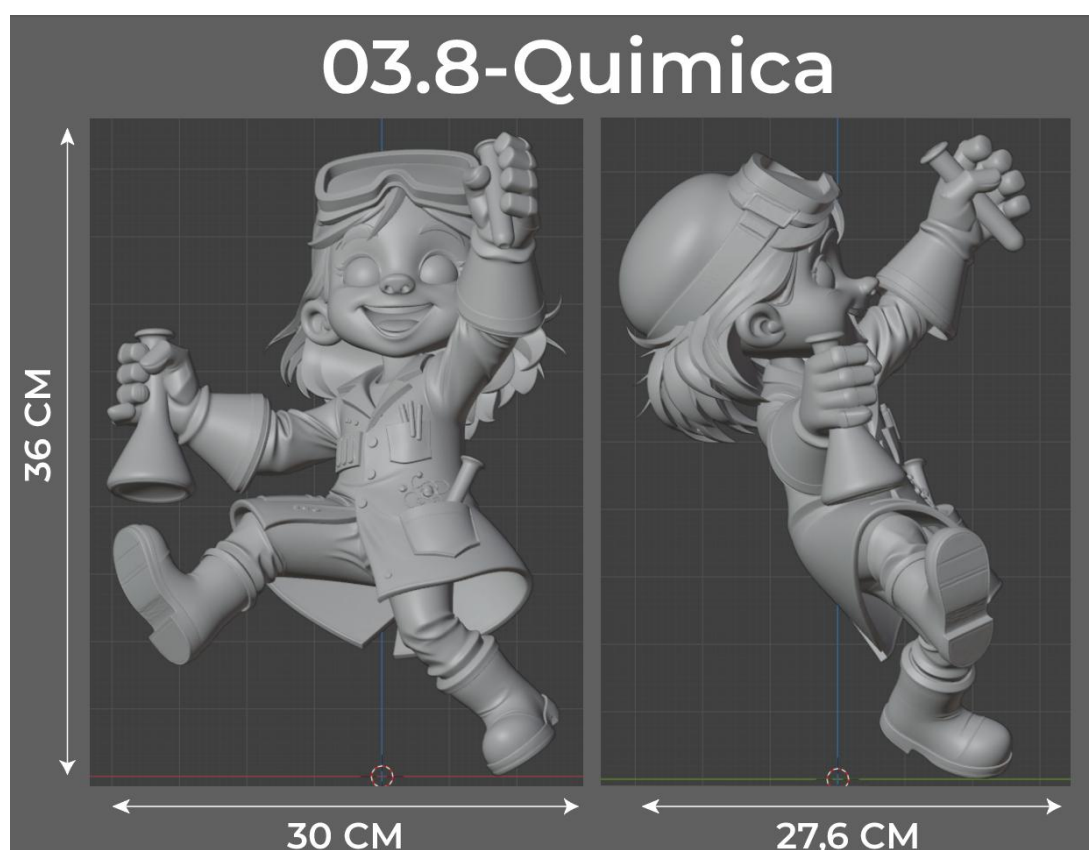


Figura 183: Modelado 3D y medidas de 03.8-Quimica

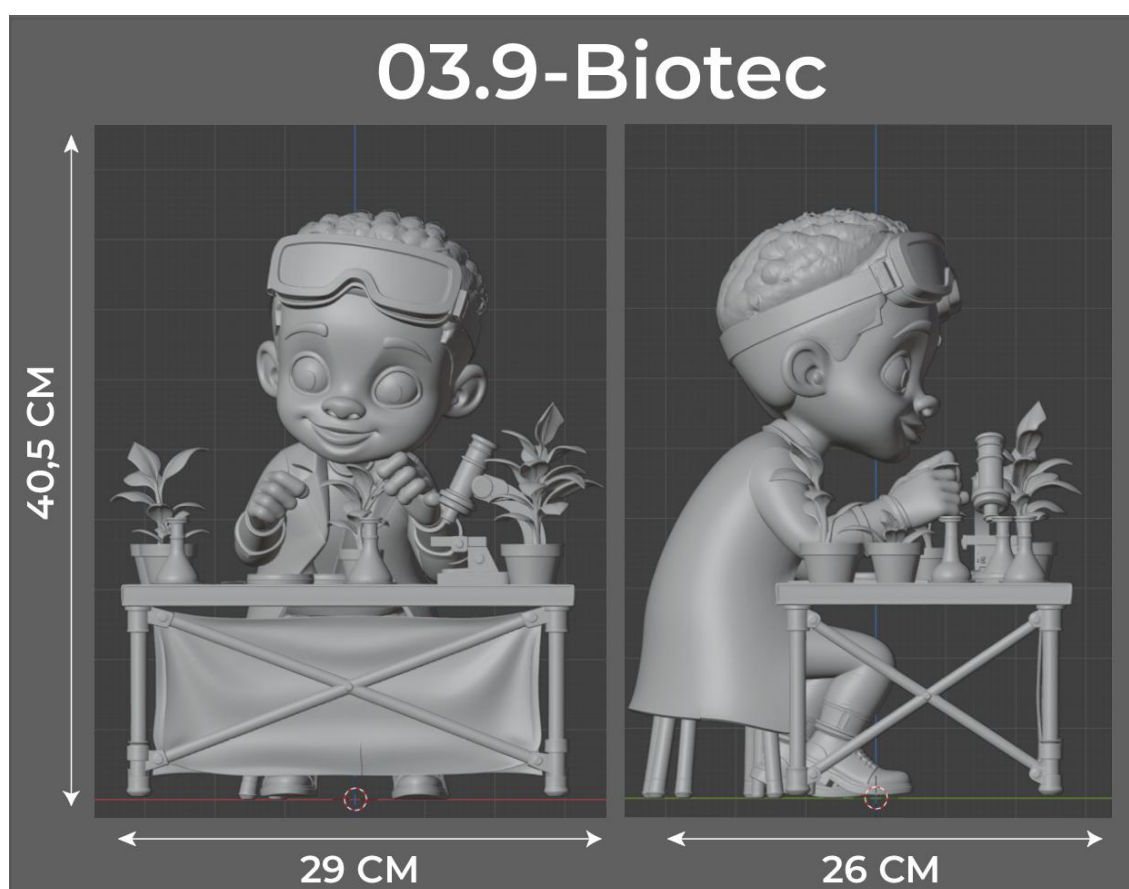


Figura 184: Modelado 3D y medidas de 03.9-Biotec

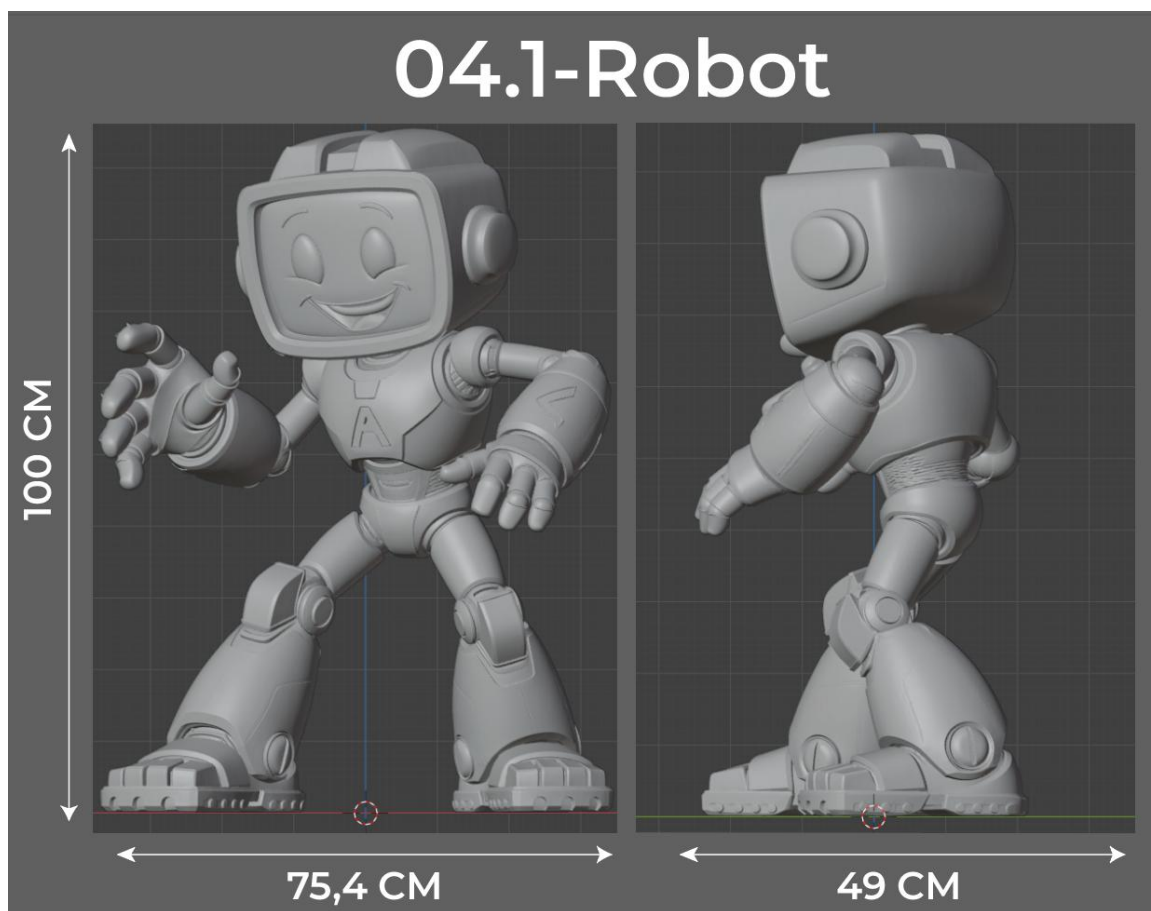


Figura 185: Modelado 3D y medidas de 04.1-Robot

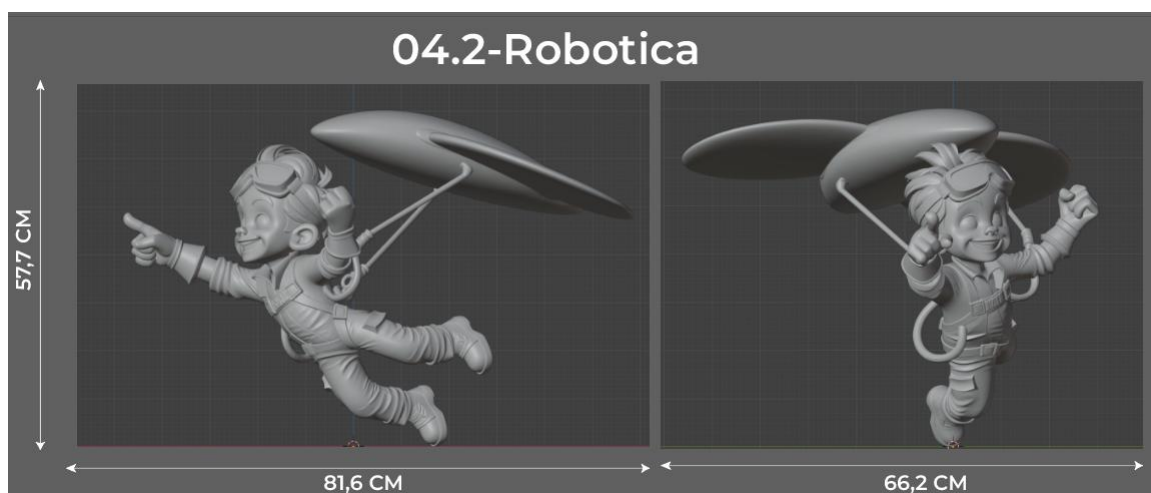


Figura 186: Modelado 3D y medidas de 04.2-Robotica

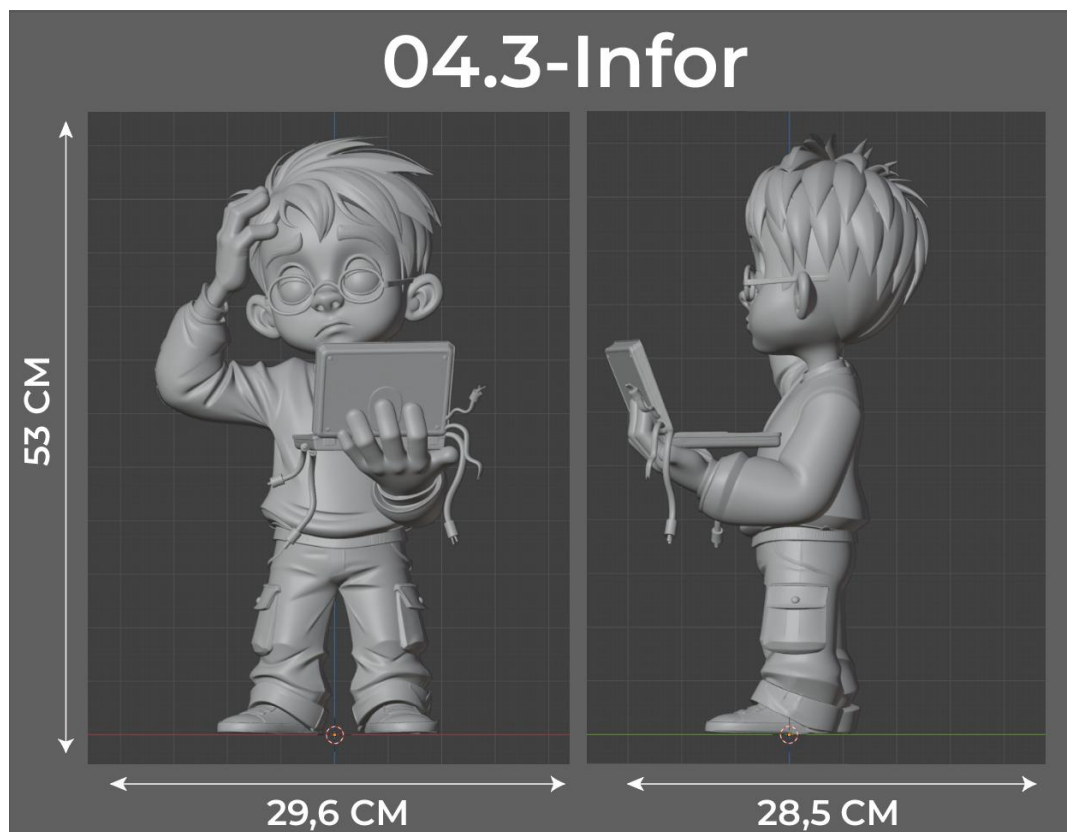


Figura 187:Modelado 3D y medidas de 04.3-Infor

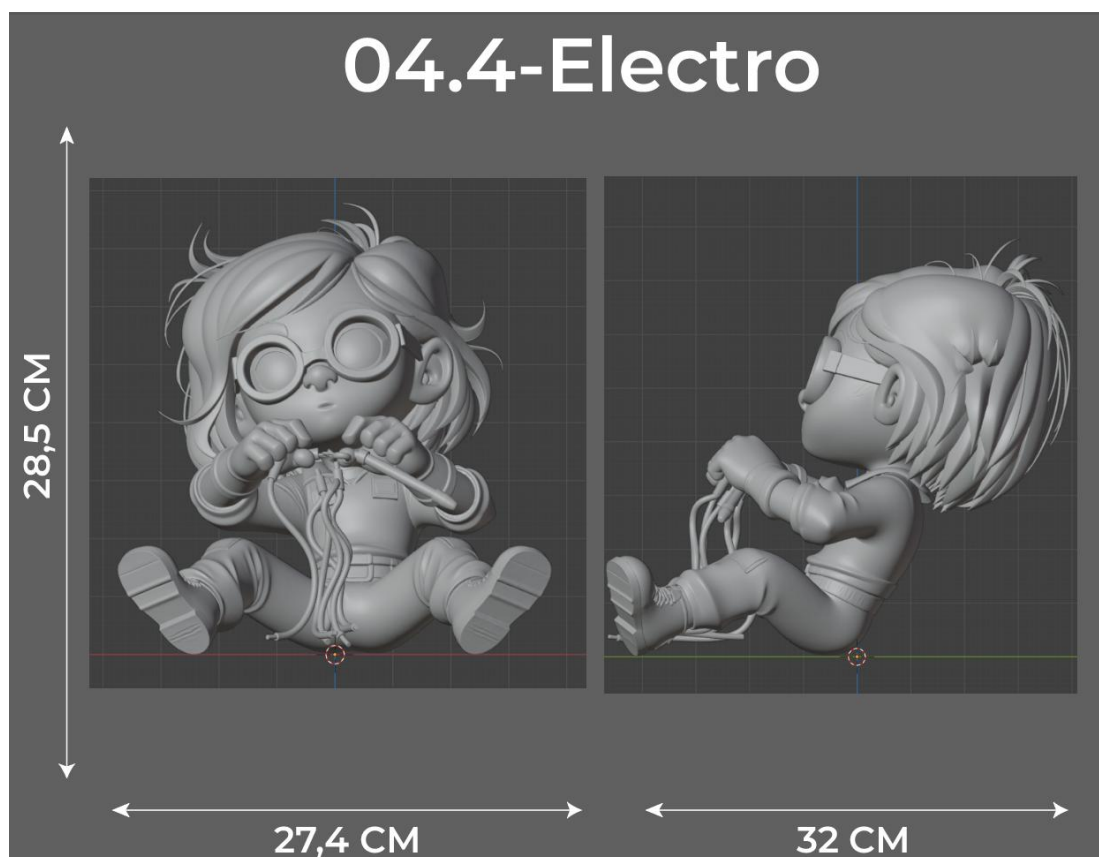


Figura 188:Modelado 3D y medidas de 04.4-Electro