

DISEÑO DEL PROCESO DE CREACIÓN DE PRÓTESIS PARA MAQUILLAJE DE
CARACTERIZACIÓN Y EFECTOS ESPECIALES MEDIANTE TECNOLOGÍAS
DIGITALES PARA CINE Y TELEVISIÓN

Presentado por:

Maria Alejandra Vargas Cantillo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñadora Industrial

Director

Javier Mauricio Martínez Gómez

Ph.D. en Sistemas de Producción y Diseño Industrial

Codirector

Carlos Andrés Cárdenas Balaguera

Ph.D. en Sistemas de Producción y Diseño Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Diseño Industrial

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A Dios, por darme la fortaleza de seguir, aunque solo el sabia lo cansada que estaba. Por estar ahí para mí cuando lo necesite, por escucharme y bendecirme siempre. Por darme oportunidades que eran hechas únicamente para mí.

A la Maria Alejandra del pasado, a mi niña interior, aquella que puso toda la creatividad y pensó en las imposibilidades, sin creer que realmente eran imposibles, permitiendo que yo pudiera hacerlas reales algún día.

A mi madre, este logro académico se lo debo completamente a mi hermosa y fuerte madre que me crio para ser una mujer igual de fuerte que ella, para no rendirme y seguir mis sueños, sin importar los obstáculos.

A mis segundas madres, mis tías, que siempre estuvieron conmigo en todo el proceso y pusieron su sangre, lagrimas, sudor y esfuerzo tanto como yo en sacar adelante todos los proyectos que tuve que hacer.

A Caro, la mejor amiga que la vida me pudo dar y que hizo de este proyecto posible, gracias por apoyarme y seguirme la cuerda en mis ideas descabelladas, siempre que le hablaba de algo que quería hacer y era completamente loco, nunca me juzgo, al contrario, siempre me dijo, “nena, cuenta conmigo”

Por último, a mi familia, en especial a mis padrinos, quienes vieron mi potencial desde que era muy pequeña y me apoyaron con todo lo posible para que yo lo explotara. Siempre me dijeron que sin importar que quisiera ser que fuera la mejor en eso.

Agradecimientos

A mis directores de trabajo de grado, al profesor Javier Martínez, que fue quien me convenció de estudiar esta carrera, y me ayudo también a terminarla, al profesor Carlos Cardenas, que, con sus conocimientos y apoyo, me ayudo a completar este proyecto de la mejor manera.

Al Doctor Bernardo Mesa, quien me abrió el espacio para conocer su laboratorio y su trabajo, y con sumo detalle respondió cada una de mis preguntas, sin él, esta investigación, no habría sido lo mismo.

A mi amigo Andrés, que, sin él, ni sus conocimientos, no habría sabido que hacer, por su constante apoyo y tutoría.

A todos mis amigos, que están en mi corazón ahora y a todos los que pasaron alguna vez por ahí, a su manera me ayudaron a ser la persona que soy hoy y me apoyaron en mis proyectos y sueños.

A la Universidad Industrial de Santander y a los docentes de la Escuela de diseño industrial, en especial a los profesores Sully Calderon, Miguel Higuera e Israel Garnica, fueron ellos quienes, sin saberlo, me devolvieron la motivación para continuar y culminar mi carrera cuando más dudaba de seguir adelante. Agradezco profundamente su calidad humana y su guía. Este logro es, en gran parte, fruto de la inspiración que sembraron en mi proceso. Gracias por darme ese empujoncito que necesitaba para seguir adelante y ser fiel a mí misma.

Tabla de Contenido

Introducción	17
1. Planteamiento del problema.....	19
1.1 Descripción del problema	19
1.2 Contexto	21
1.3 Antecedentes	22
1.4 Justificación	23
1.5 Pregunta de investigación	24
1.6 Hipótesis	24
1.7 Alcance	24
2. Objetivos	25
2.1 Objetivo General	25
2.2 Objetivos Específicos.....	25
3. Marco teórico y estado del arte	26
3.1 El maquillaje de caracterización y los efectos especiales	26
3.2 Prótesis de maquillaje: tipos y materiales	27
3.2.5 Anatomía y morfología humana	31
3.3 El proceso tradicional de fabricación de prótesis	32
3.4 Tecnologías 3D aplicadas al diseño y fabricación de prótesis.....	38
3.5 Campo análogo: la odontología protésica digital.....	40
3.6 El fenómeno del “Uncanny Valley” o valle inquietante	41
3.7 Conclusión: sinergia entre lo artesanal y digital	41

4. Metodología	43
4.1 Enfoque metodológico: Design Thinking.....	43
4.2 Fase de Empatía: Comprensión del proceso actual.....	43
4.3 Fase de Definición: mapeo e identificación de oportunidades	51
4.3.1 Definición de requerimientos.....	55
4.3.2 Requerimientos del proceso	56
4.3.3 Requerimientos de las piezas	57
4.4 Fase de Ideación: diseño del método propuesto	59
4.5 Propuesta Inicial del Flujo de Trabajo	64
4.6 Fase de Prototipado y Evaluación: el caso de estudio	65
5. Caso de estudio: personaje híbrido humano-dragón.....	66
5.1 Delimitación y propósito del caso de estudio	66
5.2 Diseño conceptual del personaje.....	66
5.3 Desarrollo del proceso: método tradicional	69
5.4 Desarrollo del proceso: integración de tecnologías 3D	78
5.5 Producción de las piezas prostéticas en silicona.....	84
5.5.1 Aplicación de las piezas prostéticas.....	85
5.6 Síntesis de aprendizajes del proceso	86
6. Resultados y análisis comparativo	88
6.1 El método propuesto: flujo de trabajo en nueve etapas	88
6.2 Análisis comparativo: método tradicional vs. método con tecnologías 3D.....	95
6.3 Hallazgos principales	96
6.3.1. Hallazgos sobre manejo del error	97

6.3.2. Hallazgos sobre tiempos de producción	98
6.3.3. Hallazgos sobre replicabilidad.....	99
6.3.4. Síntesis general de hallazgos	99
Referencias Bibliográficas	102

Lista de Tablas

Tabla 1 Observaciones obtenidas de la entrevista al doctor Mesa.....	47
Tabla 2 Mapa de limitaciones del proceso tradicional.....	52
Tabla 3 Mapa de oportunidades de integración digital por etapa	54
Tabla 4 Tabla de requerimientos del proceso	56
Tabla 5 Tabla de requerimientos de la pieza protética	58
Tabla 6 Decisión de Método de captura anatómica (Etapa 2)	61
Tabla 7 Decisión de Tipo de modelo base (Etapa 3)	61
Tabla 8 Decisión de Método de escultura (Etapa 4).....	62
Tabla 9 Decisión de Tipo de molde (Etapa 5)	62
Tabla 10 Decisión de Material protético (Etapa 6)	63
Tabla 11 Observaciones método tradicional vs método 3D en cada etapa.....	95
Tabla 12 Manejo del error: método tradicional vs. método híbrido digital.....	97
Tabla 13 Tiempos de producción por etapa (estimación basada en caso de estudio).....	98
Tabla 14 Replicabilidad del proceso y de las piezas.....	99
Tabla 15 impacto de la integración digital en el proceso de creación de prótesis	100

Lista de Figuras

Figura 1 Hill aplicando prótesis en Jacob Elordi para la Criatura en “Frankenstein”	20
Figura 2 Escultura en arcilla y pieza prostética final en caracterización.....	21
Figura 3 Nicolas Cage como el conde Drácula.....	23
Figura 4 Foto de la cantante Doja Cat usando un prostético de nariz de gato	27
Figura 5 Pequeñas piezas de heridas hechas en látex liquido	28
Figura 6 Prótesis de espuma de látex	29
Figura 7 Pieza de nariz prostética hecha en silicona encapsulada	30
Figura 8 Pieza de herida facial con dientes hecha de gelatina.....	31
Figura 9 Proceso de lifecasting sobre actor	33
Figura 10 Escultura de arcilla similar a la anatomía de un toro sobre modelo positivo ...	34
Figura 11 Molde doble, rostro del actor en positivo y molde de la pieza en negativo	35
Figura 12 Pieza en silicona encapsulada de la cara de un reptil	36
Figura 13 Diagrama de flujo del proceso de creación de prótesis	37
Figura 14 Modelo de rostro impreso en 3D con pieza en silicona de platino.....	39
Figura 15 Fotos CMS.....	44
Figura 16 Fotografías CMS	46
Figura 17 Escaneo 3D de un modelo dental	48
Figura 18 Modelo escaneado en 3D / Fotografía del programa Exocad.....	49
Figura 19 Modelos dentales hechos en impresión 3D	49
Figura 20 Modelo dental creado con tecnologías 3D	49
Figura 21 Primera versión - diagrama de flujo proceso de creación de prótesis	65
Figura 22 Boceto criatura hibrida	67

Figura 23 Imágenes generadas por IA, versiones de la criatura híbrida dragón.....	68
Figura 24 Facechart final criatura híbrida.....	69
Figura 25 Modelo negativo de yeso con pestañas adheridas	70
Figura 26 Molde negativo en bandas de yeso y modelo positivo.....	70
Figura 27 Proceso aplicación alginato	71
Figura 28 Molde positivo resultante	72
Figura 29 Escultura en arcilla de piezas nariz y frente	73
Figura 30 Escultura de pieza cuello y construcción de flashing.....	74
Figura 31 Construcción de moldes en yeso para pieza de cuello	75
Figura 32 construcción de moldes para pieza nariz y frente.....	76
Figura 33 Molde de nariz de prueba	77
Figura 34 Pruebas con silicona sobre molde de yeso	78
Figura 35 Proceso escaneo 3D con escáner	79
Figura 36 Proceso escaneo 3D con app de fotogrametría.....	79
Figura 37 Modelos digitales positivos o bustos y piezas prostéticas.....	80
Figura 38 Modelado de pieza nariz sobre busto digital	81
Figura 39 Cuernos impresos en TPU	82
Figura 40 Fabricación de molde digital	83
Figura 41 Impresión de molde nariz en impresora FDM.....	83
Figura 42 Detalles de impresión hecha de molde de nariz	84
Figura 43 Silicona en molde de pieza de cuello	85
Figura 44 Piezas prostéticas finales en silicona encapsulada	85
Figura 45 Detalle de piezas prostéticas aplicadas.....	86

Figura 46 Diagrama de flujo - proceso creación prótesis	91
Figura 47 Diagrama de flujo - proceso creación prótesis	92
Figura 48 Diagrama de flujo - proceso creación prótesis	93
Figura 49 Diagrama de flujo - proceso creación prótesis	94

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. TABLA DE METODOLOGÍA

Apéndice B. PROTOCOLO DE ENTREVISTA DOCTOR MESA

Apéndice C. MAPA MENTAL ENTREVISTA MESA

Apéndice D. DIAGRAMA VERSIÓN 1

Apéndice E. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Apéndice F. MATERIALES E INSUMOS

Apéndice G. MANUAL DE PROCESOS

Apéndice H. DIAGRAMA DE FLUJO COMPLETO

Apéndice I. TABLA DE ICONOS DIAGRAMA

Apéndice J. MATRIZ TRANSFORMACIÓN TECNOLÓGICA

Apéndice K. ENTREVISTA MODELO

Apéndice L. MANUAL DEL ARTESANO: CREACIÓN DE PRÓTESIS FX

Glosario

Alginato: Material elástico e irreversible a base de algas marinas, utilizado en la técnica de *lifecasting* para obtener impresiones rápidas y detalladas del cuerpo humano.

Cap Plastic: Material plástico transparente (como el Baldiez) utilizado para crear una membrana delgada que encapsula la silicona de la prótesis, permitiendo que los bordes se fundan con la piel mediante el uso de solventes.

Diseño de Procesos: Disciplina que consiste en definir la secuencia de actividades, flujos de trabajo y recursos necesarios para transformar una idea o necesidad en un resultado final replicable y eficiente.

Encapsulado: Técnica en la que una capa delgada de un material plástico (como el Baldiez o Super Baldiez) envuelve la silicona de la prótesis para facilitar la difuminación de los bordes sobre la piel del actor.

Escaneo 3D: Proceso de captura de la geometría de un objeto físico o del cuerpo humano para convertirlo en una representación digital tridimensional (nube de puntos o malla).

Escultura Digital: Técnica de modelado 3D que utiliza herramientas digitales para manipular una malla como si fuera arcilla real, permitiendo añadir texturas y detalles de alta resolución.

Face Chart: Plantilla impresa o digital del rostro humano utilizada por los diseñadores de maquillaje para planificar y visualizar el diseño conceptual, colores y áreas de aplicación de las prótesis.

Flashing (Rebaba): Espacio diseñado intencionalmente en un molde (o el excedente de material resultante) para permitir que el exceso de silicona escape, garantizando que los bordes de la prótesis sean lo más delgados posible.

Fotogrametría: Técnica que permite obtener mapas y modelos tridimensionales de objetos reales a través de la captura y procesamiento de múltiples fotografías desde diferentes ángulos.

FX / SFX (Special Effects): Término genérico que engloba los efectos especiales realizados de manera física o mecánica durante el rodaje (maquillaje, explosiones, animatrónicas), a diferencia de los VFX (*Visual Effects*), que son creados digitalmente en postproducción.

Inhibición: Reacción química no deseada en la que la silicona no cura (no endurece) correctamente al entrar en contacto con ciertos materiales o contaminantes (como el látex o azufre), quedando pegajosa.

Keys (Llaves): Muecas o salientes diseñadas en las piezas de un molde para asegurar que todas las partes encajen exactamente en la misma posición cada vez que se cierre el molde.

Lifecasting / Lifecast: Método de toma de impresión directa sobre el cuerpo humano para crear un duplicado exacto del modelo en tres dimensiones, utilizando materiales como alginato o vendas de yeso.

Malla (Mesh): Conjunto de vértices, aristas y caras que definen la forma de un objeto en el espacio tridimensional.

Manufactura Aditiva (Impresión 3D): Proceso de fabricación de objetos tridimensionales mediante la superposición sucesiva de capas de material (resina, filamento, etc.) a partir de un modelo digital.

Maquillaje de Efectos Especiales (SFX): Rama del maquillaje que utiliza técnicas de escultura, moldeo y materiales sintéticos para crear ilusiones visuales como heridas, criaturas o transformaciones físicas.

Modelo Positivo: Réplica física exacta del sujeto o de la pieza final (como un busto de yeso), obtenida a partir de un molde negativo.

Molde Negativo: Cavidad o contenedor que guarda la forma inversa del objeto diseñado, utilizado para vaciar materiales como silicona o resina y obtener la pieza final.

Nomad Sculpt: Software de escultura digital optimizado para dispositivos móviles que permite el modelado de alta resolución y la manipulación de mallas mediante herramientas de deformación táctil.

Prostético (Prosthetic): Pieza artificial fabricada en materiales flexibles (como silicona o gelatina) que se aplica sobre la piel para alterar la apariencia anatómica de un actor.

PVA (Alcohol Polivinílico): Material utilizado en efectos especiales como agente desmoldante o como componente en ciertos procesos de fabricación de calvas y membranas plásticas.

Silicona de Platino: Polímero de silicona de dos componentes que destaca por su alta resistencia, flexibilidad y fidelidad para imitar la piel humana; es el estándar de salud para contacto dérmico por no liberar subproductos durante el curado.

SLA (Estereolitografía): Tecnología de impresión 3D que utiliza una fuente de luz (láser o UV) para solidificar resina líquida capa por capa, ideal para fabricar moldes que requieren gran nivel de detalle.

Zonas Prostéticas: Áreas específicas del rostro o cuerpo delimitadas durante el diseño conceptual. Su correcta definición permite que las prótesis respeten las líneas de expresión y puntos de articulación, garantizando una gesticulación orgánica.

Resumen

Título: Diseño del proceso de creación de prótesis para maquillaje de caracterización y efectos especiales mediante escaneo, modelado e impresión 3D para cine y televisión

Autora: Maria Alejandra Vargas Cantillo **

Palabras Clave: Prótesis, prostéticos, Maquillaje de efectos especiales, Maquillaje de caracterización, Silicona, modelado 3D, impresión 3D, Prótesis de silicona.

En la industria cinematográfica y televisiva, la creación de prótesis faciales y corporales ha dependido históricamente de métodos en extremo artesanales que, aunque eficaces en detalle y estética, presentan limitaciones críticas en tiempos de producción, replicabilidad y comodidad del modelo. Este proyecto de grado diseña y define un flujo de trabajo que integra tecnologías de fabricación digital (escaneo 3D, modelado digital e impresión 3D) con métodos artesanales mediante una metodología basada en el *Design Thinking*.

A través de las fases de empatía, definición, ideación, prototipado y evaluación, se estructuró un protocolo técnico de nueve etapas con decisiones técnicas documentadas. La viabilidad del modelo se validó mediante un caso de estudio práctico: la creación de un personaje híbrido (humano-dragón) compuesto por tres piezas prostéticas de silicona de platino (frente, nariz y cuello). Los hallazgos demuestran que la transición hacia procesos digitales permite optimizar los tiempos de ejecución y reducir el desperdicio de materiales sin comprometer la calidad artística. El resultado final es un protocolo replicable y adaptable, diseñado para cerrar la brecha entre las prácticas tradicionales y las nuevas tecnologías en el campo de la caracterización y orientado tanto a profesionales del sector como a personas con conocimientos básicos en maquillaje de efectos especiales.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Javier Mauricio Martínez Gómez Ph.D. en sistemas de producción y diseño industrial. Co-director: Carlos Andrés Cárdenas Balaguera. Ph.D. en ingeniería de materiales

Abstract

Title: Design of a Prosthetic Creation Process for Character Makeup and Special Effects through 3D Scanning, Modeling, and Printing for Film and Television.

Author: Maria Alejandra Vargas Cantillo. ^{††}

Keywords: Prosthetics, Prosthetic Makeup, Special Effects Makeup, Character Makeup, Silicone, 3D Modeling, 3D Printing, Silicone Prosthetics.

In the film and television industry, the creation of facial and body prosthetics has historically relied on highly handcrafted methods. While these techniques remain effective in terms of detail and aesthetics, they present critical limitations regarding production time, replicability, and the physical comfort of the model. This degree project designs and defines a workflow that integrates digital manufacturing technologies (3D scanning, digital modeling, and 3D printing) with traditional methods based on Design Thinking.

Throughout the stages of empathy, definition, ideation, prototyping, and evaluation, a nine-step technical protocol was structured, including documented technical decisions. The viability of the model was validated through a practical case study: the creation of a hybrid character (human-dragon) consisting of three prosthetic pieces (forehead, nose, and neck) fabricated in platinum silicone. The findings demonstrate that the transition toward digital processes allows for optimized execution times and a reduction in material waste without compromising artistic quality. The final result is a replicable and adaptable technical protocol, designed to bridge the gap between traditional practices and new technologies in the field of characterization, catering to both industry professionals and individuals with basic knowledge of special effects makeup.

^{††*} Degree Project

^{**} Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Director: Javier Mauricio Martínez Gómez, Ph.D. in Production Systems and Industrial Design. Co-director: Carlos Andrés Cárdenas Balaguera, Ph.D. in Materials Engineering.

Introducción

La industria cinematográfica y televisiva ha recurrido desde sus orígenes al maquillaje de caracterización como herramienta fundamental para la construcción visual de personajes. Dentro de esta disciplina, la fabricación de prótesis faciales y corporales representa uno de los procesos más complejos y demandantes, es un método que combina habilidad artística, conocimiento técnico y una inversión considerable de tiempo y recursos. Sin mencionar que se requiere la presencia constante del modelo o actor, pues pueden existir inconsistencias en la captura de detalles y pérdida de información entre cada etapa del proceso. Sin embargo, en un contexto en el que las tecnologías digitales han transformado prácticamente todos los ámbitos de la producción audiovisual, el proceso de creación de prótesis continúa sustentándose en gran medida en técnicas manuales que datan de décadas atrás.

Este trabajo surge de una observación concreta: a pesar de la disponibilidad de herramientas como el escaneo 3D, el modelado digital y la impresión 3D, su integración en el proceso de fabricación de prótesis para efectos especiales es aún escasa y poco documentada. La falta de protocolos estructurados que orienten esta integración representa una brecha significativa, tanto para los profesionales del sector como para quienes se forman en él. La pregunta que guía este proyecto es cómo puede estructurarse un proceso que facilite la integración efectiva de tecnologías 3D en el diseño del maquillaje de efectos especiales para la industria cinematográfica y televisiva.

Para abordar esta pregunta, el proyecto adoptó un enfoque metodológico basado en Design Thinking, que permitió comprender el proceso desde adentro: observando las prácticas actuales en escenarios reales de la industria, consultando a expertos de distintos campos

relacionados, y ejecutando el proceso completo de fabricación de manera personal, con el fin de identificar sus problemáticas, decisiones y oportunidades de mejora desde la experiencia directa.

El resultado de este proceso es un flujo de trabajo estructurado en nueve etapas que integra tecnologías digitales en puntos específicos del proceso tradicional, sin reemplazarlo por completo, sino enriqueciéndolo. Este flujo fue verificado mediante la creación de un personaje de caracterización ejecutado de manera íntegra por la autora del proyecto, lo que permitió contrastar el método propuesto con el método tradicional en condiciones reales de aplicación.

El presente documento recoge la totalidad del proceso investigativo y proyectual: desde el planteamiento del problema y la revisión del estado del arte, hasta la descripción detallada del método propuesto, el caso de estudio y las conclusiones derivadas de su aplicación. Se espera que este trabajo constituya una contribución útil para el campo del diseño industrial aplicado a la producción audiovisual, y un recurso práctico para quienes busquen incorporar tecnologías digitales en el proceso de creación de prótesis de efectos especiales

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

La creación de prótesis para el maquillaje de caracterización en la industria del cine y la televisión ha dependido, desde su nacimiento, de métodos artesanales que involucran múltiples etapas manuales: escultura, moldeado, vaciado y aplicación. Este proceso puede requerir entre 30 y 50 horas de trabajo para una sola prótesis facial, dependiendo de la complejidad del diseño y los materiales empleados. La presencia constante del actor es indispensable para garantizar un ajuste preciso, lo que genera jornadas extensas y potencialmente incómodas para todos los involucrados.

Así lo expresa Mike Hill (2025) maquillador en jefe de una de las más asombrosas producciones cinematográficas que haya existido en los tiempos modernos, al menos, en la humilde opinión de esta autora. Hill, habla en la entrevista que le dio a “The Hollywood Reporter” y menciona: “Elordi se sentaba en la silla de maquillaje hasta 10 horas al día, y Hill necesitaba la ayuda de otros cuatro maquilladores. «Era extremadamente agotador; creo que lo pasaba peor que Víctor»,” y aunque expresándolo de manera jocosa, el proceso de crear a “La criatura” no solo recaía a los días de grabación, el proceso de creación de este personaje iba mucho más atrás. Pero como podemos ver en la Figura 1, solo el último paso de la creación de prótesis para efectos especiales, la aplicación, es todo un reto que requiere de la mayor cantidad de energía posible, pero, las anteriores etapas del proceso son igual o incluso más agotadoras que esta. Para este personaje, se decidió por hacer nada más y nada menos que 42 piezas prostéticas de silicona, toda una hazaña en el mundo del maquillaje de caracterización, y teniendo en cuenta el tiempo, materiales y mano de obra que requiere solo una pieza, haber hecho 42 no fue ni de cerca una tarea fácil, y el proceso tradicional de creación de prótesis no lo hace más sencillo.

Figura 1

Hill aplicando prótesis en Jacob Elordi para la Criatura en “Frankenstein”



Nota: Tomado de (Canfield, 2025)

La naturaleza manual del proceso implica una alta susceptibilidad a errores e inconsistencias. Cualquier imprecisión en la etapa de modelado o vaciado puede comprometer el resultado final y obligar a repetir pasos completos. En estudios de producción de efectos especiales, una gran parte de las prótesis requieren ajustes o deben rehacerse debido a fallas en las primeras etapas de fabricación. Esta variabilidad dificulta la reproducción exacta de piezas y la consistencia visual a lo largo de una producción.

Desde el punto de vista económico, aunque este proyecto no va a ahondar en ello, los costos asociados son considerables. Una prótesis facial de silicona, si es personalizada puede variar entre los \$3,000 y \$10,000 USD, dependiendo del nivel de detalle. Dado que cada prótesis es única y está concebida para un personaje y producción específicos, rara vez puede reutilizarse, lo que eleva aún más los costos por producción. (Cruz et al., 2020)

Frente a este panorama, tecnologías como el escaneo 3D, el modelado digital y la impresión 3D que han demostrado su eficacia en campos como la medicina y la odontología empiezan a incluirse más y

más en el ámbito del cine y la televisión, su adopción ha comenzado a explorarse de manera incipiente; sin embargo, la falta de documentación y de protocolos estandarizados continúa siendo un obstáculo para su integración generalizada.

1.2 Contexto

La industria cinematográfica y televisiva tiene su mayor presencia en centros de producción como Hollywood, Bollywood y Europa, donde se concentra la mayor demanda de efectos especiales y maquillaje de caracterización. En América Latina, países como México, Argentina y Colombia han desarrollado una industria audiovisual en crecimiento impulsada por el auge de las plataformas de streaming. Sin embargo, el acceso a tecnologías avanzadas de fabricación digital en el campo de la caracterización sigue siendo limitado en comparación con los mercados más desarrollados.

El uso de prótesis y maquillaje se ha vuelto imprescindible para la representación de personajes en producciones audiovisuales, especialmente en géneros como la ciencia ficción, la fantasía y el terror. La demanda por “engañar” al ojo humano de mejor manera y crear diversidad de caracterizaciones ha llevado a la necesidad de soluciones más precisas y accesibles, esto impulsa continuamente la búsqueda de tecnologías que optimicen estos procesos sin comprometer el resultado final. Se puede apreciar en la Figura 2, un ejemplo de lo anteriormente mencionado, en un personaje de hombre lobo.

Figura 2

Escultura en arcilla y pieza protética final en caracterización.



Nota: Tomado de (*Heidi Klum Halloween — Prosthetic Renaissance*, n.d.)

Por otro lado, con la ola de contenido en plataformas de “Streaming” como lo es Netflix, HBO, Amazon prime, etc. ha incrementado la demanda de producciones con efectos especiales, también en el ámbito de los videojuegos y el metaverso se ha impulsado el interés de la creación de personajes hiperrealistas lo que abre oportunidades para la integración de tecnologías 3D en la industria del entretenimiento.

1.3 Antecedentes

Las prótesis utilizadas en la caracterización son elementos elaborados con materiales flexibles como látex, silicona o gelatina, diseñados para modificar la apariencia física de un actor y crear efectos tridimensionales, desde deformaciones y cicatrices hasta rasgos de criaturas fantásticas. Estas técnicas han sido fundamentales en la industria cinematográfica para dar vida a personajes complejos y realistas desde casi el mismo nacimiento del cine.

En años recientes, algunos casos dentro de la industria evidencian el potencial de las tecnologías 3D en este campo. En la producción "Renfield" (2023), el equipo de caracterización utilizó tecnologías digitales para crear las prótesis dentales del personaje de Drácula interpretado por Nicolas Cage, según afirma Christien Tinsley, responsable del maquillaje y los efectos especiales de maquillaje de la película, el primer paso que siguieron para diseñar al Conde fue el esculpido y el escayolado de las prótesis. **"Creamos los dientes y las uñas de Drácula con impresoras 3D."**(*Manuel D'Ocon*, 2023.) logrando un ajuste personalizado de alta precisión. Podemos ver en la figura 3 el resultado de este personaje (Tangcay, n.d.)

Figura 3

Nicolas Cage como el conde Drácula.



Nota: Tomado de:(*“Renfield”*: Así Se Creó El Maquillaje Del Conde Drácula de Nicolas Cage En La Película, 2023)

En el contexto médico, la impresión 3D ha revolucionado la producción de prótesis personalizadas, permitiendo diseñar y fabricar dispositivos adaptados a las necesidades específicas de cada individuo de manera más rápida y económica, así mismo, la tecnología 3D ha demostrado su capacidad para mejorar la precisión en procedimientos estéticos. Los cirujanos utilizan modelos tridimensionales para planificar las intervenciones, lo que reduce el tiempo quirúrgico y aumenta la confianza del paciente al visualizar los resultados esperados. Estas aplicaciones en dichos campos sugieren que, así como las tecnologías 3D se pueden incorporar ahí, también podrían ser aplicadas con la misma mejora de resultados al mundo del maquillaje de caracterización y efectos especiales.

1.4 Justificación

Este proyecto se justifica desde múltiples perspectivas. Técnicamente, la integración de tecnologías digitales representa una oportunidad concreta para reducir tiempos, desperdicio de material y costos sin sacrificar calidad artística. Desde el diseño industrial, la definición de procesos estructurados y replicables es una contribución directa al campo de la producción audiovisual. En el contexto

latinoamericano, la documentación de procesos híbridos accesibles con recursos locales cubre una brecha real. La falta de protocolos claros es el principal obstáculo para la integración tecnológica, no la falta de herramientas.

1.5 Pregunta de investigación

¿Cómo puede estructurarse un proceso que facilite la integración efectiva de tecnologías 3D en la creación de prótesis para maquillaje de caracterización y efectos especiales en la industria cinematográfica y televisiva?

1.6 Hipótesis

La integración de tecnologías 3D en el proceso de diseño del maquillaje de efectos especiales puede incidir positivamente en variables como los tiempos de producción, la precisión de los diseños y las posibilidades creativas; sin embargo, este impacto depende de la existencia de un proceso estructurado que oriente su adopción y aplicación en el contexto profesional.

1.7 Alcance

El proyecto se enfoca en abarcar el diseño y definición de un proceso técnico replicable para la creación de prótesis de maquillaje de caracterización mediante la integración de un flujo de trabajo digital (escaneo 3D, escultura digital e impresión 3D). El alcance llega hasta un nivel de madurez TRL 3 (Prueba de Concepto), lo que significa que el trabajo se limita a demostrar que la integración de estas herramientas digitales funciona y se valida mediante un caso de estudio práctico.

Esta delimitación técnica garantiza la viabilidad del protocolo y asegura que la transición del modelo físico al entorno digital y después su materialización mediante manufactura aditiva mantengan la precisión requerida para la caracterización. El proyecto entrega el método técnico verificado, pero no contempla la comercialización del método, la capacitación formal de personal, ni una evaluación económica detallada o escalamiento industrial.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un proceso de creación de prótesis para maquillaje de caracterización y efectos especiales integrando tecnologías 3D en el flujo de trabajo de este tipo de maquillajes para la industria cinematográfica y televisiva.

2.2 Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso de diseño del maquillaje de caracterización en la industria cinematográfica y televisiva, con el fin de identificar oportunidades y condicionantes para la integración de tecnologías 3D desde las prácticas actuales del sector.
2. Desarrollar un método que incorpore tecnologías 3D como alternativa a la fabricación convencional de prótesis de maquillaje de caracterización y efectos especiales.
3. Verificar el desempeño del método propuesto mediante su aplicación en un caso de estudio, contrastando su eficiencia y efectividad con los métodos tradicionales de creación de prótesis para esta industria.

3. Marco teórico y estado del arte

3.1 El maquillaje de caracterización y los efectos especiales

Aunque parezcan términos iguales, el maquillaje de caracterización y el maquillaje de efectos especiales no son lo mismo, podría decirse que la caracterización es el “que” y “quien” mientras que el maquillaje de efectos especiales es el “como” es en sí una herramienta técnica específica dentro del campo de la caracterización. El maquillaje de caracterización es una disciplina que permite transformar la apariencia física de un actor para adaptarla a las exigencias de un personaje determinado, se basa en su psicología, edad, entorno, guion y este incluye peluquería, vestuario y maquillaje social o correctivo. Esta transformación puede abarcar desde modificaciones sutiles del rostro hasta alteraciones radicales que requieren la fabricación de piezas protésicas complejas. En el contexto de la producción audiovisual, el maquillaje de efectos especiales, más conocido en la industria como Special Effects Makeup o SFX Makeup, constituye una herramienta narrativa primordial, responsable de dar credibilidad visual a criaturas, envejecidos, heridas, transformaciones y todo tipo de personajes no convencionales, aquí se utilizan materiales tridimensionales, como el látex o la silicona, para crear alteraciones que no existen en la realidad o que son peligrosas de filmar si fueran reales.

Entonces, una forma sencilla de entenderlo es que toda caracterización puede requerir maquillaje, pero no todo maquillaje de caracterización requiere efectos especiales. Según la definición de la escuela especializada Make Up For Ever Academy, *"la caracterización consiste en modificar los rasgos de un actor para que correspondan a los de un personaje... mientras que los Efectos Especiales (SFX) implican el uso de técnicas y materiales específicos (prótesis, calvas, sangre falsa) para crear ilusiones visuales impactantes"* (Make up fo rever Academy, n.d) Ejemplo de ello, en la figura 4 se puede observar a la cantante Doja Cat personificando su nombre, y apareciendo en la Met Gala del 2023 de esta forma:

Figura 4

Foto de la cantante Doja Cat usando un prótesis de nariz de gato



Nota: Tomada de: (Baker, 2023.)

La disciplina integra conocimientos de anatomía, escultura, química de materiales, colorimetría y aplicación cosmética. Un artista de efectos especiales debe comprender tanto la estructura ósea y muscular del rostro humano como las propiedades de los materiales con los que trabaja, que van desde arcillas para escultura hasta siliconas de grado médico, látex, gelatinas y resinas.

3.2 Prótesis de maquillaje: tipos y materiales

No podríamos hablar de prótesis sin entender la ciencia de los polímeros, y es importante, pues esto explica el por qué, de que la silicona, por ejemplo, sea el estándar actual debido a su índice de refracción de luz, es lo más similar a la dermis humana y asemeja su flexibilidad también. “*Antes de la silicona, las prótesis de látex eran comunes, pero su textura y durabilidad no se comparaban con las de silicona.*” (Prótesis de Silicona En La Industria Del Maquillaje Fx, 2023.)

3.2.1 Prótesis de látex

El látex fue el material pionero en la fabricación de prótesis para efectos especiales. A diferencia de la espuma de látex, que es esponjosa y se hornea, las prótesis de látex líquido son las más básicas y accesibles en el mundo de la caracterización se crean simplemente poniendo látex en un molde y dejando

que el aire lo seque, lo que permite reproducir formas con cierto nivel de detalle. Presenta limitaciones importantes: su translucidez y textura difieren considerablemente de la piel humana, se deteriora con rapidez y puede generar reacciones alérgicas. A pesar de estas limitaciones, sigue utilizándose por su bajo costo y facilidad de aplicación. Sin embargo, no es usado en cine de alto nivel por varias razones, su rigidez por mencionar lo más importante, a diferencia de la silicona o espuma, el látex es denso y rígido, no se mueve con los músculos faciales, si el actor sonriera, la prótesis tendería a despegarse o a verse como una máscara tiesa, nada realista. Es casi imposible realizar bordes invisibles con este tipo de protéticos, siempre queda un “escalón” donde termina la pieza, obliga a usar rellenos y mucho maquillaje para ocultar la unión. Como el látex no es poroso, se produce también el efecto sauna el actor suda mucho debajo de la pieza y el sudor puede hacer que se despegue el adhesivo paridamente, El látex común tiene muchas limitaciones, pero es un tema de calidad vs precio, si el presupuesto es reducido estas piezas pueden ser una buena alternativa, sobre todo para piezas “rígidas” como lo podrían ser orejas, cuernos o piezas pequeñas de heridas superficiales. Ver figura 5, varias piezas de capas de látex de pequeñas heridas.

Figura 5

Pequeñas piezas de heridas hechas en látex líquido



Nota: Tomada de: (*Como Hacer Prótesis En Casa Fácil* -, n.d.)

3.2.2 Prótesis de espuma de látex

La espuma de látex representa una evolución significativa respecto al látex convencional, fueron la piedra angular de los efectos especiales desde los años 30 a los 90, hoy en día se utilizan aun para proyectos específicos que necesiten una pieza muy ligera y de amplias dimensiones. Se obtiene mezclando látex con agentes espumantes y sometiendo la mezcla a cocción en moldes de yeso. El resultado es una pieza ligera, flexible y con una textura que imita mejor la piel humana. Es uno de los materiales más utilizados en producciones de gran escala por su capacidad para capturar detalles finos y su comportamiento natural sobre el rostro del actor durante el movimiento. Ver figura 6 de una máscara de cara completa de espuma de látex, al ser una pieza que cubre todo el rostro, no debe pesar demasiado, por comodidad del actor, además, es más fácil que se mantenga en su sitio durante largas jornadas de rodaje, pues es un material que “respira”.

Figura 6

Prótesis de espuma de látex



Nota: Tomada de: (Tienda Etsy Apeshark, N.d)

3.2.3 Prótesis de silicona

La silicona se introdujo al mundo del maquillaje FX en la década de 1970 y desde entonces ha experimentado constantes mejoras, La silicona platino es actualmente el material de referencia en la

fabricación de prótesis de alta gama. Su capacidad para imitar la translucidez, suavidad y comportamiento mecánico de la piel humana es superior a la de cualquier otro material disponible. Permite la pigmentación intrínseca y su durabilidad es mayor que la de los materiales basados en látex. La principal limitación de la silicona es su costo y la mayor complejidad técnica de su proceso de fabricación. La aplicación de este tipo de prótesis, además, requiere de habilidad y precisión, los artistas de maquillaje usan varios pasos que incluyen la limpieza y preparación de la piel, adhesivos especiales, colocación de la prótesis e integración con la piel y el maquillaje. Sin duda las prótesis de silicona son las que mejor resultados tienen, pero también presentan desafíos considerables. Ver figura 7 de una prótesis lista para aplicación de silicona.

Figura 7

Pieza de nariz prostética hecha en silicona encapsulada



Nota: Tomada de: (Meduusat studio. n. d)

3.2.4 Prótesis de gelatina

La gelatina es una alternativa de bajo costo que ofrece una apariencia muy realista, especialmente en translucidez. Antes de que la silicona dominara la industria, estas piezas eran el puente entre las piezas de látex y los materiales modernos. Cabe aclarar que no se está hablando de gelatina de cocina común, sino de una mezcla de alta fuerza de glicerina y sorbitol. Se usa mucho en escuelas de maquillaje y producciones de bajo presupuesto y a diferencia del látex, como la gelatina deja pasar luz, le da más

realismo, similar a la silicona, pero por una fracción del costo. Su mayor desventaja es su sensibilidad a la temperatura: se deteriora con el calor de los focos de rodaje y no puede reutilizarse fácilmente. Aunque esto mismo permite que los bordes de la pieza se puedan derretir y se pueda fusionar con la piel. Es sin duda alguna una opción muy buena para crear prótesis, pero depende del contexto en el que se use. En la siguiente imagen, en la figura 8 se puede ver una prótesis de gelatina, este tipo de material va muy bien para crear heridas falsas, quemaduras y otras piezas pequeñas y simples.

Figura 8

Pieza de herida facial con dientes hecha de gelatina.



Nota: Tomada de: (*Boca Desgarrada #1 - Terror Makers | La Comunidad de Los Creadores Del Terror*, n.d.)³

3.2.5 Anatomía y morfología humana

El maquillaje de efectos especiales no se puede decir que solo es “pintar”, se trata de alterar volúmenes anatómicos. Quien está produciendo las prótesis, debe conocer de puntos de anclaje óseo, musculatura facial, líneas de expresión, en resumen, debe saber de anatomía humana, para que la pieza “respete” los puntos de flexión que tiene el cuerpo humano y esta no se rompa o despegue. El conocimiento anatómico, es la base de la credibilidad en el diseño de personajes. *"El éxito de una prótesis*

facial depende de la comprensión del maquillador sobre la acción muscular subyacente. Si la escultura ignora la dirección de las fibras del músculo corrugador o del cigomático, la pieza luchará contra el rostro del actor en lugar de moverse con él" (Todd Debrececi, autor de *Special Makeup Effects for Stage and Screen*, 2018). Debrececi lo dice así, un maquillador debe entender cómo se comporta el cuerpo humano y sus puntos más específicos, por ejemplo, los puntos de anclaje óseo, son las áreas donde la piel se mueve menos porque el hueso está más cerca de la superficie, aquí es donde se “fijan” las prótesis, hablamos de zonas como el arco superciliar (cejas) , el hueso zigomático (pómulos), o el puente nasal, esta es la zona que más se suele alterar y es el anclaje más estable también, si una nariz postiza no está bien fijada, no se moverá al hablar, dejando al personaje sin realismo anatómico.

3.3 El proceso tradicional de fabricación de prótesis

El proceso convencional de creación de piezas prostéticas, aunque se ha refinado con mejores materiales, sigue una metodología artesanal y convencional que comprende varias etapas secuenciales y se basa en el principio de “transferencia de volúmenes” lo que se esculpe en arcilla sobre un molde del actor, termina convertido en una pieza prostética que debería encajar perfectamente en él. De manera general, la creación de estas piezas comprende realmente 5 etapas (solo fabricación) se inicia con el lifecast o la impresión de vida, es el paso más crítico y consiste en sacar un molde negativo de la anatomía del actor, se usan materiales como alginato, que es el mismo material que usan los dentistas para sacar copias de los dientes, o silicona de curado rápido para piel. En la figura 9 se puede ver este primer paso:

Figura 9

Proceso de lifecasting sobre actor



Nota: Tomado de: (Lifecasting Tips & Tricks, 2014.)

Se continua con el modelado o escultura sobre el busto o Core resultante de la etapa anterior, el artista añade una nueva morfología a la anatomía del actor, se usan arcillas a base de aceite (plastilina profesional) que no se seca al aire, permitiendo trabajar el detalle por días, y así lograr detalles microscópicos como poros, arrugas y folículos. Ver Figura 10, es una pieza fabricada en arcilla sobre el molde positivo del actor.

Figura 10

Escultura de arcilla similar a la anatomía de un toro sobre modelo positivo

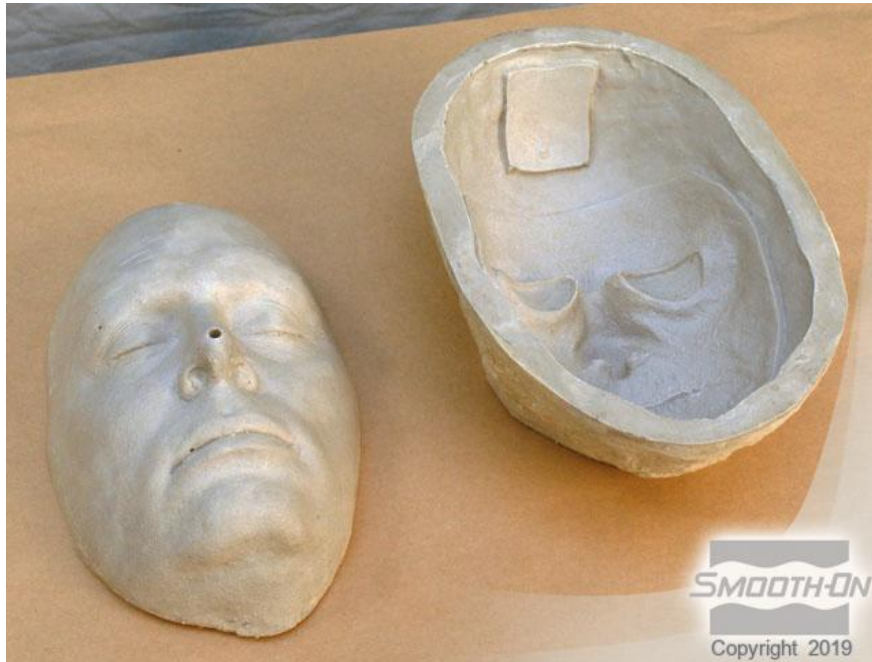


Nota: Tomado de:(Prosthetic makeuo creating the minotaur, 2014.)

Una vez terminada la escultura, se debe crear un molde rígido, generalmente es de yeso ultra fuerte como el hydrocal o de resinas de poliuretano, materiales que permiten capturar con detalle el diseño que se hizo en arcilla. El resultado de esto es un molde de dos piezas (frente y dorso), el segundo molde tiene un “hueco” con la forma del diseño y el primer molde es el busto original del actor que encaja perfectamente dentro. En la figura 11, se puede apreciar lo anteriormente dicho, ambos moldes listos para aplicar el material prostético del siguiente paso.

Figura 11

Molde doble, rostro del actor en positivo y molde de la pieza en negativo



Nota: Tomado de: (*How to Make a Silicone Gel-Filled Zombie Prosthetic*, n.d.)

La fundición o corrida de la pieza (running), aquí se introduce el material final en el espacio vacío entre el molde y el busto, que puede ser de espuma de látex, gelatina o silicona. Si es el caso de la silicona, se usa silicona de platino de muy baja dureza y se aplica además una capa delgadísima de un plástico especial (Baldiez o Key-Cap.) antes de la silicona para que los bordes se puedan disolver al aplicarlos. En la figura 12 se puede ver una pieza terminada hecha en silicona encapsulada:

Figura 12

Pieza en silicona encapsulada de la cara de un reptil



Nota: Tomada de:(*Prótesis de Silicona Serpiente - Etsy Irlanda, n.d.*)

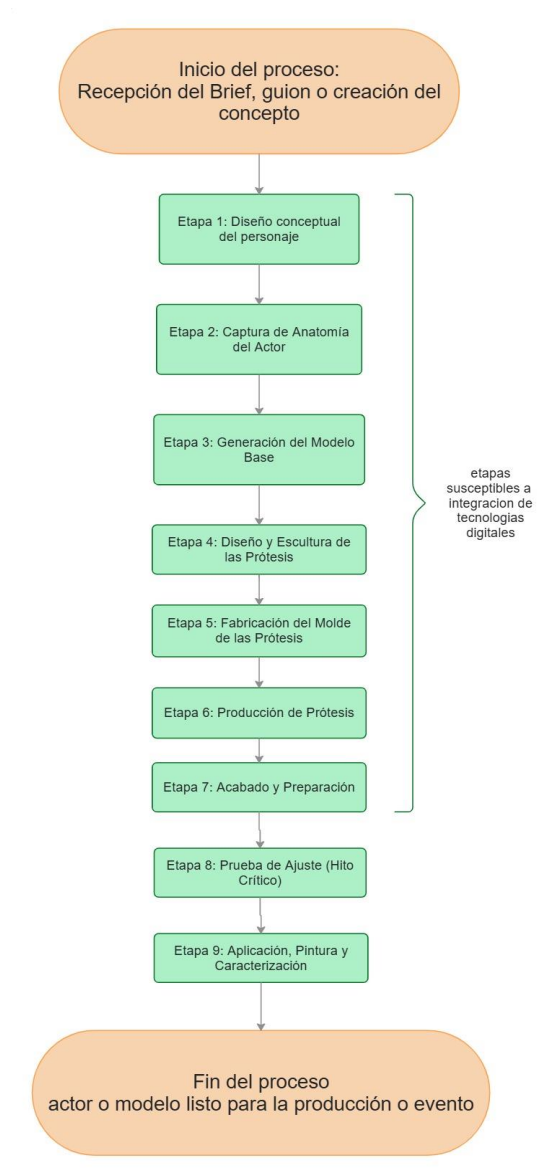
El último paso de este proceso es la aplicación y pintura de la pieza final, la cual es pegada a la piel del actor usando adhesivos de grado medico (pros-Aidé o siliconas adhesivas), en el caso de las prótesis de silicona encapsulada, la integración es mucho más realista gracias a esta membrana de plástico pues los “bordes” se derriten con solventes para que desaparezcan. Finalmente se usa pintura especial para realizar el maquillaje, usualmente pintura con alcohol que imita la profundidad de la piel real.

Hay que añadir que este proceso es cíclico, si el molde se rompe o la escultura se daña en la limpieza, hay que volver casi al inicio, razón por la cual hoy se está prefiriendo el respaldo digital (escaneo 3D y modelado digital) de la escultura. A pesar de haber nombrado 5 etapas de este proceso, se considera que hay un par de etapas más para poder entender con claridad el proceso, pero, estas son las principales, en la figura 13 se puede evidenciar el diagrama de flujo de este proceso, con las etapas extra,

que también son importantes, pero no hacen parte de la fabricación directa, aunque si del diseño de las piezas.

Figura 13

Diagrama de flujo del proceso de creación de prótesis



Nota: Autoría propia

3.4 Tecnologías 3D aplicadas al diseño y fabricación de prótesis

La integración de las tecnologías 3D ha transformado muchos procesos de “artesanal y tedioso” a “digital y reversible” se podría decir que existe una digitalización del flujo de trabajo. En el maquillaje de efectos especiales ya se usan algunas de estas tecnologías en el proceso.

3.4.1 Escaneo 3D y fotogrametría

El escaneo 3D permite capturar la geometría tridimensional de una superficie con alta precisión, generando una malla digital procesable en software de modelado. Aplicaciones como Polycam han democratizado el acceso a esta tecnología, permitiendo generar mallas 3D de calidad suficiente para procesos de diseño mediante fotogrametría desde dispositivos móviles, a un costo prácticamente nulo, y se obtiene una copia digital exacta del actor en segundos, además permite capturar detalles faciales extremos que el yeso no podría registrar debido a su peso.

3.4.2 Modelado y escultura digital

El modelado digital permite diseñar y modificar formas tridimensionales en entornos virtuales, con la ventaja de poder deshacer errores, duplicar elementos y exportar los modelos en formatos compatibles con la fabricación digital. Para la creación de prótesis, los programas de escultura orgánica como ZBrush, Blender y Nomad Sculpt son los más adecuados por su capacidad de trabajar con mallas de alta densidad de manera intuitiva. La ventaja de esta tecnología es la iteración rápida, si el director pide un cambio, el artista puede “retroceder” en el historial del diseño o a ver versiones alternativas sin destruir el trabajo previo.

3.4.3 Impresión 3D

La impresión 3D permite materializar modelos digitales en objetos físicos. Para la fabricación de prótesis, dos tecnologías son especialmente relevantes: la impresión FDM (deposición de filamento fundido), con acceso a materiales flexibles como el TPU, y la impresión por resina foto polimérica (SLA/MSLA), con resolución de detalle significativamente mayor y capas de hasta 25 micras. Aquí es

donde la tecnología se encuentra con el mundo físico, y hay dos posibilidades, impresión del molde, se diseña el molde (negativo y positivo) en el programa de modelado y se imprime, eliminando la necesidad de esculpir a mano, la otra posibilidad es la impresión directa de la pieza, en algunos casos se imprimen piezas rígidas o semirrígidas que van directo al actor, eliminando la necesidad en su totalidad de modelado manual e incluso molde físico.

Muchos estudios actuales imprimen el diseño en 3D para tener una base perfecta, pero prefieren terminar los detalles finos a mano, pues el modelado manual es más de su agrado. Aunque la escultura digital también permite la creación de texturas orgánicas finas y aleatorias, el uso de nodos procedimentales (como en herramientas de blender) o los Alpha (en nomad sculpt) automatizan la generación de porosidad, arrugas y escamas hiperrealistas. Es el caso de Meduusat_studio, taller de fabricación de prótesis para maquillajes que combina las tecnologías digitales con los procesos tradicionales. Ver figura 14

Figura 14

Modelo de rostro impreso en 3D con pieza en silicona de platino



Nota: Tomado de: (Meduusat Studio En Instagram, n.d.)

3.5 Campo análogo: la odontología protésica digital

Un referente especialmente valioso para este proyecto es la transformación del laboratorio dental. Al igual que el maquillaje de efectos especiales, la odontología protésica ha dependido históricamente de un proceso artesanal que involucra impresiones físicas, modelos de yeso y fabricación manual de prótesis. Su transición hacia procesos digitales ofrece un modelo de referencia directo. De hecho, muchos de los grandes avances en maquillaje FX han sido adaptaciones de técnicas dentales.

Lo similar de estas dos disciplinas es que ambas buscan replicar tejidos vivos con materiales inertes, pero priorizando la biocompatibilidad, ambas industrias usan materiales que no causen toxicidad o irritación al estar en contacto prolongado con mucosas o piel, y ambos estudian además la estratificación de capas, por ejemplo, un diente natural no tiene un solo color sólido, tiene capas con diferentes opacidades, esta misma “teoría de capas” es usada al pintar prótesis de silicona para que la luz “entre” en el material e imite la profundidad de la piel.

A pesar de todo, la odontología fue pionera en eliminar el proceso manual antes que el maquillaje de efectos especiales. Hoy en día se usan tecnologías como el escaneo intraoral, el fresado y modelado a través de sistemas CAD (diseño asistido por computadora) para llegar a las piezas finales que usara la persona, antes se habló del proceso que usó el equipo de Renfield (2023) para los colmillos de Nicolas Cage, este fue exactamente el mismo que usan las clínicas dentales. Aunque mientras que, en la odontología, una prótesis debe verse bien, pero además también permitir la masticación y fonación. En el maquillaje FX, una pieza dental debe permitir que el actor pueda decir sus líneas claramente. Ya lo menciono Christien Tinsley, diseñador de personajes: "La convergencia entre la odontología digital y los efectos especiales ha permitido reducir el grosor de las piezas dentales de milímetros a micras, permitiendo una interpretación actoral sin impedimentos físicos" (Tinsley, n.d)

3.6 El fenómeno del “Uncanny Valley” o valle inquietante

Pero ¿porque si con todos los avances tecnológicos, la inteligencia artificial, el modelado 3D, la pantalla verde y demás, ¿se siguen usando piezas físicas sobre los actores? El profesor de robótica Masahiro Mori postulo que, a medida que un objeto (robot o animación) se vuelve más parecido a un humano, nuestra respuesta emocional se vuelve más positiva y empática hasta llegar a un punto donde la similitud es casi perfecta pero no absoluta. Aquí es donde está la brecha, o como lo dice el profesor Mori, “el valle”, en ese pequeño espacio para la imperfección, la respuesta del ser humano es una sensación de repulsión, incomodidad o inquietud, porque el objeto da esa sensación de “no vivo” recuerda a un cadáver o alguien enfermo. Las prótesis físicas ayudan a evitar ese efecto al tener micro movimientos que el ojo humano puede detectar como reales de la piel. (*The Uncanny Valley: The Original Essay by Masahiro Mori, n.d.*) *"El Valle Inquietante es el mayor enemigo de los efectos visuales. Mientras que los humanos somos expertos en detectar la falsedad en un rostro digital, las prótesis físicas aprovechan la 'imperfección real' del actor para mantener la empatía del espectador"* (Stan Winston, n.d)

3.7 Conclusión: sinergia entre lo artesanal y digital

La industria de la caracterización y los efectos especiales se encuentra en un punto de inflexión, la tradición no es reemplazada, sino potenciada por la tecnología. Tras este análisis de los procesos de fabricación, podemos concluir que este método “tedioso” de las prótesis físicas sobrevive debido a su capacidad única para evitar este “valle inquietante” ofreciendo textura y reacción a la luz que por ejemplo el CGI aun no logra democratizar.

En definitiva, la integración de tecnologías 3D ha resuelto los puntos más críticos del flujo de trabajo tradicional: lo invasivo del lifecast, la fragilidad de la arcilla y la dificultad de replicar piezas con exactitud. Esta evolución permite que el artista se enfoque menos en la mecánica del molde y más en la anatomía y morfología facial, garantizando que la interpretación del actor no se pierda bajo el material.

En última instancia, tal y como se pensaba, el futuro de la caracterización es híbrido. El éxito de una transformación cinematográfica actual depende de la habilidad del artista para navegar entre la precisión quirúrgica del diseño digital y la sensibilidad orgánica de la aplicación manual. Es así como en este proyecto se propuso organizar una guía metodológica para que este proceso se estandarice y toda la información dispersa que se encuentra, se pueda centralizar en una guía tanto para artistas nuevos e inexpertos que aunque viven en el auge de la tecnología, aun les falta mucho por aprender, como para profesionales de la industria que no se formaron junto con las tecnologías 3D sino que crecieron con el método tradicional y quieren indagar en alternativas a los procesos convencionales.

4. Metodología

4.1 Enfoque metodológico: Design Thinking

Con el fin de garantizar el diseño de este proceso técnico, el objetivo de esta investigación no radica en la validación clínica de materiales o en un análisis estadístico de mercado, sino en la estructuración de un flujo de trabajo (workflow) funcional y replicable, es por esta razón que el presente proyecto adoptó el Design Thinking como marco metodológico. Esta metodología de innovación centrada en el ser humano aborda problemas complejos a través de ciclos iterativos de comprensión, definición, ideación, prototipado y evaluación. Su elección responde a la naturaleza del problema y como ya se había mencionado: no se trata de desarrollar un producto puntual, sino de diseñar un proceso que debe ser comprensible, replicable y adaptable a diferentes contextos y usuarios. Las cinco fases se articularon con los tres objetivos específicos del proyecto. Además, un aspecto distintivo de este enfoque es que el proceso fue ejecutado por una operadora con conocimientos básicos en maquillaje, pero sin experiencia previa en la fabricación de prótesis, lo que permitió medir la eficacia del manual como herramienta de aprendizaje y transferencia de conocimiento. El proceso metodológico con actividades, tareas y herramientas se puede revisar en el Apéndice A: TABLA DE METODOLOGÍA

4.2 Fase de Empatía: Comprensión del proceso actual

4.2.1 Observación en Cinema Makeup School — Los Ángeles, California

En septiembre de 2024 se realizó una visita a las instalaciones de la Cinema Makeup School, una de las escuelas de maquillaje de efectos especiales más reconocidas del mundo y parte importante de la industria de los efectos especiales en Hollywood, muchos de los egresados de esta escuela participan en filmes y proyectos de renombre, esto, no debido al prestigio de la escuela, sino gracias al excelente enfoque que tienen del maquillaje de caracterización y efectos especiales. Aunque las condiciones de la visita no permitieron entrevistas formales ni grabación de audio o video, fue posible realizar un recorrido completo por las instalaciones, observar proyectos en curso, interactuar con estudiantes en proceso de

fabricación de piezas prostéticas y documentar mediante fotografías. Ver figura 15 que muestran algunos de los proyectos de estudiantes egresados de Cinema Makeup School y parte del proceso de la fabricación de moldes para prótesis en sus aulas.

Figura 15

Fotos CMS

a) Prótesis de cara de cerdo en arcilla para modelo

b) Cabezas replica hechas en silicona



Nota. Fotografías autoría propia.

La observación confirmó que el método tradicional sigue siendo el núcleo del proceso educativo y profesional, “*la industria del cine sigue demandando artistas que dominen el componente táctil y orgánico que solo el trabajo manual ofrece*”. (Lakshitha, n.d.) a pesar de que la escuela cuenta con un laboratorio de modelado digital activo. Una conclusión central fue que el método tradicional prevalece no por desconocimiento de las tecnologías digitales, sino porque la capacidad de imitar con total fidelidad las propiedades de la piel humana sigue siendo una limitación real de las tecnologías actuales. En las escuelas enseñan estas técnicas porque las prótesis físicas interactúan con la luz y el entorno del set de una manera que los efectos digitales (CGI) a menudo no pueden igualar según investigadores en cinematografía, “*la*

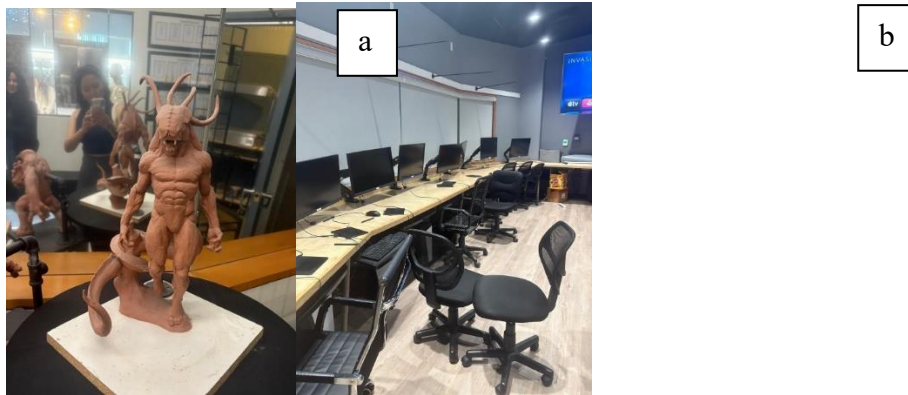
fiscalidad del maquillaje protésico ofrece una calidad táctil y visceral a los personajes, permitiendo a los actores actuar con un sentido de realismo que a menudo está ausente en las imágenes generadas por computadora"(Lakshitha, n.d.) Esta observación orientó el proyecto hacia un modelo de integración híbrido pues aunque las tecnologías 3D son innovadoras y facilitan el trabajo “duro”, en Cinema Makeup school se pudo comprender que aprender a esculpir a mano es la base de todo. Si un artista no entiende como se mueve un musculo o como se pliega la piel real mediante la escultura tradicional, no podrá hacer un buen diseño digital después. Ver figura 16 En la escuela es primordial aprender a esculpir, ya que esto no solo ayuda a desarrollar las habilidades manuales, sino también ayuda a reconocer mejor la anatomía y cómo funciona, realizando ejercicios como creación y escultura de personajes, luego de entender esto en la realidad, se pasa a aprender como modelarlo también en programas como Zbrush, en computadora.

Figura 16

Fotografías CMS

a) Escultura de criatura expuesta en CMS

b) Aula de modelado digital en CMS



Nota. Fotografías autoría propia.

4.2.2 Entrevista a experto: Laboratorio dental como campo análogo

El 17 de enero de 2026 se realizó una entrevista presencial con el propósito de documentar un poco más de la transición de los métodos tradicionales a los modelos híbridos en el sector dental. Desde la experiencia de un profesional experto, Bernardo Enrique Mesa, tecnólogo dental egresado de la Universidad Santo Tomás, con maestría en técnica dental realizada en Alemania, investigador registrado en Colciencias e instructor internacional para compañías como Dentsply, Sirona e Ivoclar. La entrevista, de aproximadamente 90 minutos, estuvo estructurada en seis bloques: contexto profesional, proceso tradicional, proceso digital, ventajas y riesgos, materiales e impresión 3D, y viabilidad tecnológica. Ver tabla 1.

Tabla 1

Observaciones obtenidas de la entrevista al doctor Mesa

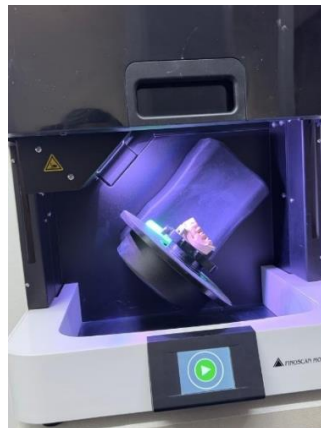
Tecnología o Proceso	Materiales Utilizados	Aplicación/Us o	Precisión o Especificacion es Técnicas	Tiempo de Procesamien to	Ventajas	Limitaciones o Desafios	Costo Estimado (Inferido)
Método Análogo (Tradicional)	Siliconas de adición, yesos físicos, (hemihidratos de calcio), ceras, artesanal aleaciones metálicas, cerámicas feldespáticas.	de Modelos físicos, encerado y confección de yeso prótesis fijas y removibles.	Sujeto a errores humanos, y burbujas en el obtención de criterio y modelo protésico y toma casi un día. impresión.	a 2 a 3 días (8 a 24 horas diarias de trabajo); un alto de destreza manual artesanal.	Requiere y desarrolla un mayor desperdicio de material y dificultad de comunicación remota.	Procesos manuales lentos, mayor desperdicio de material y tiempo de mano obra.	Bajo en equipamiento inicial, alto costo de mano obra.
Diseño y Manufactura Digital (CAD/CAM)	y Circonio, silicato de cerámicas, resinas odontológicas indirectas, bloques de cera.	di Prótesis fijas, carillas estéticas, coronas y rehabilitacion es definitivas.	Alta predictibilidad; el software controla calibres mínimos parámetros anatómicos.	Entrega el mismo día (1 hora de diseño, aprox. 4 y horas fresado).	Resultados muy precisos, de corrección de errores en tiempo de real comunicaci ón instantánea.	Inversión inicial de 'pereza y pérdida y criterio protésico global técnicos nuevos.	Alto riesgo (Equipos de fresado y pueden costar entre \$50,000 y \$100,000 USD).
Impresión 3D (LCD / DLP)	Resinas líquidas (estándar, flexibles, carga alcohol isopropílico (limpieza).	Modelos de referencia, guías, placas con oclusales, miorrelajante s provisionales.	de Capas de 25 a 70 micras; equipos alta resolución y (12K a 16K).	Modelo entero: de 60 min; piezas pequeñas: 20 post-curado: 2-15 min.	Mínimo desperdicio de material, alta velocidad y precisión para duplicar modelos de yeso.	Pocas resinas para uso definitivo y lavado posterior.	Material por modelo: 6 USD; Máquinas: desde económicas y hasta \$500,000 USD (Stratasys).
Software de Diseño Digital (Exocad DentalCAD)	Archivos digitales (STL, PNG), bases de datos dentales.	Modelado virtual de piezas dentales, planificación de prótesis y gestión de flujos de trabajo.	Simulación de del futuro la prótesis el paciente; visualización y tiempo de real.	Diseño de caso: 1 a 1.5 horas.	Permite corregir la oclusión al instante y compartir archivos para asesoría internacion al.	Requiere la formación al profunda y anatomía para depender exclusivamente de automatización del software.	Licencia profesional en de alto costo para suscripción anual o la perpetua).

Nota: Autoría propia.

Mesa describió un proceso de transición de seis años hacia un laboratorio 90% digital, con tiempos de entrega reducidos de tres días a pocas horas mediante la metodología CAD/CAM: escaneo, (ver figura 17) diseño en Exocad Dental CAD (ver figura 19) y fabricación mediante fresado o impresión en resina de alta precisión de hasta capas de 50 micras. (ver figura 18) Destacó a Stratasys y Carbon como referentes tecnológicos de vanguardia, y mencionó la existencia de resinas con diferentes grados de flexibilidad, (ver figura 19) sus respuestas a las preguntas propuestas orientaron directamente la estructura del método propuesto.

Figura 17

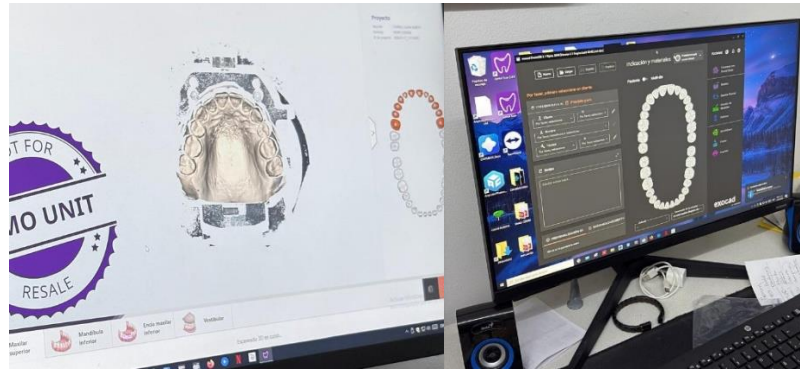
Escaneo 3D de un modelo dental



Nota: Fotografías de autoría propia

Figura 18

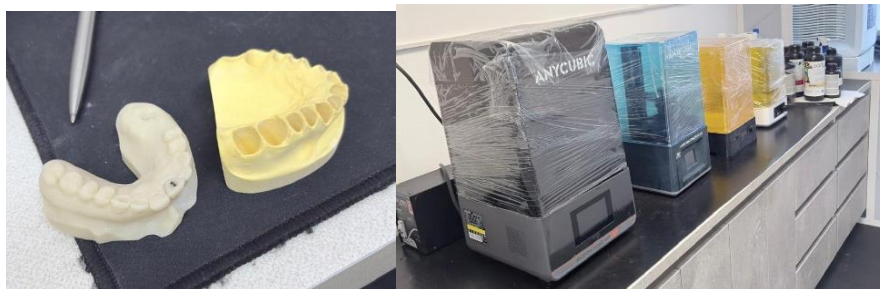
Modelo escaneado en 3D / Fotografía del programa Exocad



Nota: Fotografías de autoría propia

Figura 19

Modelos dentales hechos en impresión 3D



Nota: Fotografías de autoría propia

Figura 20

Modelo dental creado con tecnologías 3D



Nota: Fotografías de autoría propia

Para ver el protocolo de la entrevista y un poco más al respecto de la información contada por el doctor Mesa, revisar el Apéndice B PROTOCOLO DE ENTREVISTA DOCTOR MESA. Para llegar a entender un poco más y de manera más visual toda la información de la entrevista, se realizó un mapa mental que se puede revisar en el Apéndice C MAPA MENTAL ENTREVISTA MESA

Una reflexión central de Mesa es directamente transferible al maquillaje de efectos especiales: la tecnología es una herramienta poderosa, pero no reemplaza el criterio del profesional. Esta observación es coherente con la conclusión derivada de la visita a la Cinema Makeup School: las tecnologías digitales no reemplazan el método tradicional, sino que lo complementan cuando se integran con criterio. Para finalizar, se llegaron a unas conclusiones sobre el estado actual y el futuro de la tecnología en el laboratorio dental.

Optimización de la eficiencia y predictibilidad: Ya se había mencionado que la

transición del proceso de analógico a digital ha permitido reducir los tiempos de entrega de piezas, pero también con el uso de flujos de trabajo CAD/CAM (diseño y manufactura asistidos por computador) el profesional puede ver “el futuro” de la prótesis, eliminando errores humanos comunes en el modelado manual y minimizando el desperdicio de materiales.

Criterio prostético: A pesar del avance de la inteligencia artificial y los softwares

especializados como Exocad, Mesa advierte sobre una creciente “pereza para pensar” en las nuevas generaciones. La tecnología debe ser la herramienta y no el sustituto del ser humano, el poder de decisión debe residir en este último.

La impresión 3D es el futuro de la industria: El futuro de las prótesis no está en las

maquinas como las fresadoras, (maquinado) sino en las impresoras 3D, estas tecnologías

de vanguardia ya permiten fabricar prótesis totales definitivas con materiales de altísimo impacto y precisión, eventualmente estas desplazarán los métodos de fabricación actuales debido a su velocidad y capacidad de personalización.

Globalización de la comunicación: El entorno digital ha eliminado las barreras geográficas, permitiendo que los tecnólogos en tiempo real puedan editar casos para odontólogos situados en cualquier parte del mundo.

4.3 Fase de Definición: mapeo e identificación de oportunidades

A partir de la información recolectada, se mapeó con detalle el proceso tradicional identificando etapas, materiales, herramientas y puntos de fallo. Las problemáticas centrales identificadas fueron: alta dependencia del contacto físico en la captura anatómica; incomodidad del lifecast para el modelo; susceptibilidad a errores irreversibles en la escultura manual; dificultad para reproducir piezas exactamente; tiempos extensos de producción; y escasez de documentación replicable para usuarios sin experiencia profesional. El siguiente mapa sintetiza las limitaciones identificadas en el proceso tradicional de fabricación de prótesis para maquillaje de caracterización, organizadas por etapa del proceso y dimensión de impacto. Fue construido a partir de la observación directa en la Cinema Makeup School (Los Ángeles, 2024), la entrevista con el experto en laboratorio dental Bernardo Mesa (enero 2026) y la revisión bibliográfica especializada. Ver tabla 2.

Tabla 2

Mapa de limitaciones del proceso tradicional

ETAPA	LIMITACIÓN PRINCIPAL	IMPACTO EN TIEMPO	IMPACTO EN COSTO / MATERIAL	OPORTUNIDAD DE MEJORA
Captura anatómica (Lifecast)	Proceso incómodo para el actor. Requiere su presencia física. Alginato de curado rápido genera alto desperdicio.	2-3 horas incluyendo vaciado. Repetición total si falla.	Alto desperdicio de alginato en tandas fallidas. Costo de yeso para cada positivo.	Fotogrametría o escaneo 3D: captura en 30-60 min sin contacto físico.
Generación del modelo base (Positivo de yeso)	Burbujas de aire frecuentes. Yeso poroso requiere sellado obligatorio. Frágil ante impactos.	45 min de curado + corrección de defectos (30-60 min adicionales).	Material descartado al romperse. No puede corregirse digitalmente.	Positivo impreso en resina: mayor precisión, sin porosidad, obtenido en impresión autónoma.
Escultura en arcilla	Errores irreversibles. Presión involuntaria o trazo mal ejecutado obliga a rehacer la zona o toda la pieza.	3-6 h por pieza sin errores. Con errores: hasta el doble. Una semana para 3 piezas.	Arcilla desechada en correcciones. No reutilizable una vez contaminada con restos de yeso.	Escultura digital: Ctrl+Z elimina el costo del error. Iteración libre sin pérdida de material.
Fabricación del molde (Yeso)	Proceso técnicamente exigente. Burbujas, pérdida de detalle y fallas de alineación son frecuentes. Un molde fallido implica perder la escultura.	3-5 h por molde. Un molde fallido implica rehacer escultura + molde.	Yeso, arcilla de barrera y tiempo descartados en moldes fallidos. Costo acumulado alto.	Molde impreso en resina: diseñado digitalmente, más detalle, proceso reproducible.
Encapsulado (Cap Plastic)	Cap Plastic no disponible en Colombia. Alternativa (PVA) incompatible con vaselina. Se disuelve con sudor del actor.	Múltiples intentos hasta lograr película uniforme: 1-2 h adicionales.	Material desperdiciado en pruebas. PVA limitado ante condiciones de humedad corporal.	Importar Cap Plastic o desarrollar protocolo local robusto con PVA + glicerina + sellado.
Producción de la prótesis	Burbujas en la mezcla, espesor	2-4 h preparación +	Silicona platino es costosa. Una	Molde de mayor calidad (resina) reduce fallos en la

(Silicona)	irregular, membrana discontinua. Un error en el molde se transfiere directamente a la pieza.	curado. Pieza fallida implica repetir desde el molde.	pieza fallida representa pérdida significativa.	pieza. Cámara de vacío elimina burbujas.
Aplicación del maquillaje	Bordes visibles si la pieza no ajusta bien. PVA se disuelve con sudor. Prótesis se despega en sesiones largas.	3-6 h de aplicación. Correcciones improvisadas durante la sesión.	Materiales de corrección (Bondo, capas extra de maquillaje) no planificados.	Piezas con mejor ajuste anatómico desde la captura digital. Cap Plastic para durabilidad ante sudor.

Nota: Autoría propia

En conclusión, el proceso tradicional es artísticamente superior en texturas orgánicas, pero acumula tiempos extensos, errores irreversibles y alto desperdicio de material. La integración digital no busca reemplazarlo sino reducir su costo de error y aumentar su replicabilidad. También de acuerdo a lo anterior, se pueden Identificar en cuáles etapas del proceso tradicional la integración de tecnologías digitales genera un impacto concreto y justificado, y cuáles etapas deben mantenerse en su forma artesanal. Se pueden observar las oportunidades identificadas en la tabla 3.

Tabla 3

Mapa de oportunidades de integración digital por etapa

ETAPA	¿INTEGRACIÓN DIGITAL?	TECNOLOGÍA APLICABLE	BENEFICIO PRINCIPAL	LIMITACIÓN O RIESGO	RECOMENDACIÓN
E1 Diseño conceptual	— Opcional	Software de ilustración digital (Procreate, Photoshop) o Generación de imágenes por medio de IA	Mayor velocidad y facilidad de corrección del facechart	Ninguna significativa	Puede usarse digital o manual según preferencia del artista
E2 Captura anatómica	— Sí — impacto	Alto Fotogrametría (Polycam) / Escáner 3D	Elimina incomodidad del lifecast. Captura en 30–60 min sin contacto	Menor detalle en poros finos. Requiere iluminación controlada	Usar fotogrametría como primera opción. Lifecast solo si se requiere máxima precisión en poros
E3 Modelo base	— Sí — impacto	Alto Impresión 3D en resina (SLA/MSLA) o en filamento (PLA)	Mayor precisión sin porosidad, reproducible	Tiempo de impresión largo (autónomo). Costo de resina o filamento	Imprimir el positivo en resina como estándar cuando se dispone de impresora SLA. Con impresora de deposición, el modelo debe de lijarse y arreglarse para evitar marcas de impresión muy notorias.
E4 Escultura	— Sí — medio	Impacto Nomad Sculpt / Blender / Zbrush (escultura orgánica)	Errores reversibles. Iteración libre. Sin desperdicio de material	Menor fidelidad en texturas orgánicas finas sin dominio avanzado o conocimiento sobre nodos procedimentales o Alpha para lograr texturas hiperrealistas.	Usar digital para la forma general.
E5 Fabricación del molde	— Sí — impacto	Alto Diseño e impresión 3D en resina dura o filamento	Mayor detalle superficial, proceso reproducible, sin burbujas	Costo de resina/filamento. Requiere diseño previo del molde en software 3D	Preferir molde impreso en resina para piezas de alta complejidad o producción múltiple, piezas simples se pueden hacer en impresión de

		filamento				
E6	—	Parcial	Impresión en TPU para piezas complementarias (cuernos, estructuras)	Fabricación rápida de elementos rígidos/semiflexibles sin molde adicional	No reemplaza la silicona para la pieza protética principal	Usar impresión FDM en TPU solo para elementos complementarios no orgánicos
E7	—	NO	—	Esta etapa requiere manipulación táctil directa. No hay ganancia digital significativa	Ninguna	Mantener proceso manual. El acabado es artesanal por naturaleza
E8	—	Futuro	Simulación de ajuste en software 3D (actualmente experimental)	En el futuro podría predecirse el ajuste antes de fabricar	Tecnología no accesible actualmente para este contexto	Mantener prueba física. Explorar simulación digital como desarrollo futuro
E9	—	NO	—	La aplicación requiere criterio artístico y manipulación táctil directa	Ninguna	Proceso completamente manual. La IA/digital no puede reemplazar el criterio del maquillador

Nota: SÍ = integración recomendada con beneficio claro Opcional/Parcial = beneficio condicionado NO = etapa artesanal por naturaleza. Autoría propia.

4.3.1 Definición de requerimientos

Para garantizar la viabilidad y el éxito del flujo de trabajo propuesto, es imperativo establecer un marco de condiciones mínimas antes de proceder a la fase de ejecución. Esta sección detalla los requerimientos técnicos y funcionales que deben cumplir tanto el protocolo de diseño como las piezas protéticas resultantes. La correcta estandarización de estos criterios no solo asegura la optimización de los recursos y la precisión anatómica, sino que constituye el filtro de calidad necesario para obtener un resultado final que responda con eficiencia a las exigencias de la industria del maquillaje de caracterización y los efectos especiales. A continuación, se presentan las tablas de requerimientos divididas por categorías: Proceso y Pieza.

4.3.2 Requerimientos del proceso

La tabla de requerimientos del proceso define qué debe cumplirse en cada etapa del proceso para garantizar la calidad del flujo de trabajo y la viabilidad de avanzar a la siguiente etapa. Ver tabla 4.

Tabla 4

Tabla de requerimientos del proceso

ETAPA	REQUISITO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO O PROCEDIMIENTO	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
E1 — Diseño conceptual	Diseño aprobado y documentado	El facechart y el concepto visual deben estar definidos antes de iniciar cualquier proceso físico o digital	Elaboración del facechart sobre plantilla estándar con indicación de zonas protéticas, colores y bordes	Existe un facechart completo, zonas protéticas definidas y concepto visual aprobado por el equipo
E2 — Captura anatómica	Registro anatómico fiel	El positivo o modelo digital debe reflejar sin deformaciones la geometría real del actor en la zona a intervenir	Lifecast con material de impresión o captura digital por medio de escaneo 3D. Vaciado en yeso o resina o reparación de malla en software	El modelo no presenta deformaciones visibles, los detalles finos de la piel están capturados y el positivo es estructuralmente estable
E3 — Modelo base	Superficie sellada y sin defectos críticos	El positivo de yeso o resina debe estar sellado y libre de burbujas. El modelo digital debe estar libre de errores de malla	Aplicación de aerosol acrílico sobre yeso. Reparación automática en software para modelo digital	La superficie es continua, sellada y sin huecos o irregularidades que comprometan la escultura
E4 — Escultura	Forma aprobada con bordes delgados	La escultura debe corresponder al diseño del facechart y tener bordes suficientemente delgados para ser invisibles al aplicarse	Modelado en arcilla o escultura digital progresiva de lo general a lo particular. Revisión comparada con referencias	La forma coincide con el diseño, los bordes tienen menos de 1 mm de espesor y la textura es uniforme
E5 — Fabricación del molde	Molde funcional sin pérdida de detalle	El molde debe capturar fielmente la escultura y permitir el cierre correcto de sus dos mitades sin holguras	Construcción manual muro de arcilla o cartón plástico, o diseño e impresión digital en resina o filamento. Aplicación de desmoldante entre mitades	Las dos mitades encajan sin holgura, la superficie interior reproduce los detalles de la escultura y el desmoldeo de prueba

				es limpio
E6 Producción	— Pieza estructuralmente íntegra	La prótesis debe mantener su forma sin fracturas, con espesor uniforme y membrana encapsuladora continua	Proporción exacta de silicona A + B, vertido en hilo fino, cierre del molde con presión controlada para generar flashing	La pieza no presenta grietas, el espesor es visualmente uniforme, la membrana es continua y los bordes tienen flashing intacto
E7 Acabado	— Pieza lista para prueba de ajuste	La prótesis debe estar limpia, recortada y revisada antes de colocarse sobre el actor	Desmoldeo suave por el flashing, limpieza con alcohol isopropílico, recorte con tijeras de punta fina	La pieza está libre de residuos, el flashing está recortado a 2–3 mm y no hay defectos superficiales visibles
E8 — Prueba de ajuste	Ajuste anatómico correcto	La prótesis debe estar en contacto con la piel del actor en todos los puntos sin zonas levantadas o bordes visibles	Colocación en seco (sin adhesivo) y evaluación durante movimientos naturales del actor	La pieza sigue el contorno anatómico del actor, los bordes se integran con la piel y la pieza no se levanta durante el movimiento
E9 Aplicación	— Integración cromática y adhesión correcta	La prótesis adherida debe ser visualmente indistinguible de la piel del actor en condiciones de iluminación normal	Adhesivo protético en bordes, pigmentación con aerógrafo en capas, fijación con polvo traslúcido	Los bordes de la prótesis son invisibles, el tono de la prótesis coincide con la piel del actor y la adhesión es estable

Nota: Autoría propia

4.3.3 Requerimientos de las piezas

La tabla de requerimientos de las piezas define las características físicas y funcionales que debe cumplir la pieza protética terminada para ser considerada apta para su aplicación en el actor. Ver tabla 5.

Tabla 5

Tabla de requerimientos de la pieza protésica

ETAPA	REQUISITO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO O PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Producción	Integridad estructural	La prótesis debe mantener su forma sin fracturas después del curado y durante la manipulación	Manipulación manual post-curado. Doblar suavemente la pieza y verificar que recupera su forma	La pieza no presenta grietas ni roturas y mantiene su geometría original al manipularse
Producción	Fidelidad de forma	La pieza debe reproducir con exactitud la forma definida en la escultura	Comparación visual con la escultura o el molde. Superposición de la pieza sobre el modelo positivo	La forma de la pieza coincide con el diseño de la escultura sin deformaciones notables
Producción	Espesor uniforme y bajo	La prótesis debe tener un espesor delgado y uniforme para no parecer falsa al aplicarse sobre la piel	Inspección visual y táctil. El flashing generado por el desbordamiento debe ser continuo en todos los bordes	No se observan zonas extra delgadas o extra gruesas. El espesor es visualmente uniforme en toda la pieza
Producción	Membrana encapsuladora continua	La membrana de PVA o Cap Plastic debe cubrir completamente los bordes y la superficie exterior de la prótesis	Prueba de tracción en los bordes: levantar ligeramente el flashing y verificar que la membrana no se desgarran	La membrana es continua, no se desgarran al manipularse y los bordes están adheridos uniformemente a la pieza
Producción	Ausencia de burbujas superficiales	La prótesis no debe presentar burbujas o malformaciones en su superficie	Inspección visual bajo luz directa. Pasar el dedo suavemente sobre la superficie buscando irregularidades	No hay defectos visibles en la superficie. La textura es la replicada en la escultura, sin interrupciones
Acabado	Similitud visual a la piel	La pieza debe imitar la suavidad, translucidez y flexibilidad de la piel humana	Comparación visual contra la piel del actor bajo la misma iluminación	La pieza es suave al tacto, translúcida en zonas delgadas y coincide visualmente con la apariencia de la piel
Acabado	Bordes manipulables (flashing)	La pieza debe conservar el flashing para su correcta manipulación, almacenamiento y aplicación	Inspección visual del perímetro completo de la pieza	El flashing rodea completamente la pieza, tiene al menos 2 mm de ancho y está unido a la pieza por la membrana

Prueba de ajuste	de	Adaptabilidad anatómica	La pieza debe ajustarse al positivo del actor y por tanto a la anatomía real del mismo	Colocación sobre el actor en seco. Observación de zonas de contacto y zonas levantadas	La pieza encaja sin zonas levantadas, los bordes siguen el contorno anatómico y no se desprende durante el movimiento
-------------------------	-----------	--------------------------------	--	--	---

Nota: Autoría propia

4.4 Fase de Ideación: diseño del método propuesto

Inicialmente, se tuvo la idea de proponer un método diferente al de creación de prótesis tradicional, únicamente con tecnologías 3D, sin embargo con la información recolectada y la bibliografía e investigación previa a la etapa de empatía, se llegó a la conclusión de que el método tradicional prevalece hasta estos días porque funciona, quizá no de la manera más eficaz, pero funciona, aun siendo tedioso este método permite lograr engañar al ojo humano, y en esta industria ese es el fin de todos los medios. Aunque parezca que el proceso de la creación de prótesis se mantiene estancado, en realidad ha evolucionado significativamente en materiales y precisión, aunque aún conserve su base artesanal por razones técnicas y artísticas fundamentales.

La idea de hacer creer que algo es real es replicar lo mejor posible la realidad, a diferencia de los objetos rígidos, la piel humana es translúcida y flexible, y los métodos tradicionales de moldeado y vaciado con materiales como la silicona de platino permiten imitar la porosidad, el movimiento y la forma en la que la luz atraviesa la piel, de una manera que las tecnologías de impresión rígidas aun no igualan a bajo costo. Con esto en mente, un factor importante es la personalización anatómica absoluta, cada rostro es único y una pieza que se hizo con base a un hombre no le va a quedar igual a una mujer, por ejemplo, es ahí donde el tedioso método de lifecast asegura que la prótesis encaje perfectamente sin dejar huecos que rompan la ilusión ante una cámara de que esa pieza realmente pertenece a la anatomía del actor. En resumen, no es que no se haya querido o intentado cambiar el proceso, se pudo verificar que hoy se usan escaneos 3D del actor para esculpir digitalmente y luego imprimir el molde o la pieza base en 3D, sin embargo, el final casi siempre requiere un toque humano para añadir texturas de microporos o pintura por capas que el ojo humano reconoce como “vivo”.

Es así como con base en el mapeo y los requerimientos definidos y teniendo en cuenta la información recolectada en la primera etapa de la metodología, se estructuró el método propuesto: un flujo de trabajo en nueve etapas que integra tecnologías digitales en puntos específicos, ofreciendo rutas alternativas según recursos disponibles, nivel de experiencia y requerimientos del proyecto. El flujo contempla decisiones técnicas documentadas con justificación de cada opción y criterios de aceptación para avanzar o corregir en cada etapa. Mezclando así la tradición con la innovación moderna, así como en el campo dental se ha hecho, y tomando este referente como punto de partida, se empezó a alterar el proceso de creación de prótesis para maquillaje de efectos especiales del material predilecto en la industria, la silicona, decisión que fue tomada de acuerdo con la investigación previa, si se quiere industrializar un proceso, se debe usar lo que pide la industria.

4.4.1 Tablas de decisiones técnicas por etapa

La fase de ideación constituye el núcleo estratégico del proyecto, donde se analizan las variables técnicas que determinan la eficiencia del protocolo. Debido a la naturaleza híbrida de este flujo de trabajo, que integra procesos digitales con manufactura física, cada etapa presenta desafíos específicos que requieren una evaluación rigurosa de alternativas. A continuación, se presentan las tablas de decisiones técnicas organizadas por etapas, para cada etapa del proceso, se documentan las decisiones técnicas clave: cuándo usar cada opción, cuál es la justificación técnica y qué condición determina la elección. Ver tabla 6, 7, 8, 9 y 10.

Tabla 6

Decisión de Método de captura anatómica (Etapa 2)

CONDICIÓN	MÉTODO RECOMENDADO	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	LIMITACIÓN A TENER EN CUENTA
Se requiere máxima precisión anatómica y de poros	Lifecast con silicona de impresión	Reproduce detalles submilimétricos de la piel	Alto costo de silicona. Proceso incómodo para el actor. Mayor tiempo.
Se requiere buena precisión con bajo costo	Lifecast con alginato	Reproduce detalles finos, más rápido y económico que silicona	Curado rápido genera desperdicio. Incomodidad para el actor. Olor intenso.
Se necesita rapidez, comodidad y accesibilidad	Fotogrametría con Polycam	Captura en 30–60 min, sin contacto físico, sin materiales consumibles	Menor detalle en poros muy finos. Requiere buena iluminación difusa.
Se necesita alta precisión sin contacto físico y se dispone de equipo	Escaneo 3D con equipo especializado	Alta resolución sin contacto. Datos exportables directamente	Requiere acceso a escáner. Costo de equipo o alquiler.

Nota: Variable crítica: precisión requerida vs. recursos disponibles y comodidad del actor. Autoría propia

Tabla 7

Decisión de Tipo de modelo base (Etapa 3)

CONDICIÓN	MÉTODO RECOMENDADO	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	LIMITACIÓN A TENER EN CUENTA
Se requiere bajo costo y resistencia al uso intensivo	Yeso tipo 3 dental	Durable y económico. Requiere sellado previo obligatorio.	Poroso. Frágil ante impactos. Burbujas frecuentes si no se desgasifica.
Se requiere alta precisión superficial sin porosidad	Positivo impreso en resina (SLA)	Mayor detalle anatómico. Superficie impermeable. Reproducible.	Tiempo de impresión. Costo de resina y equipo.
Se requiere modelo editable para ajustes digitales continuos	Modelo 3D digital	Totalmente editable. Sin consumo de materiales físicos.	Requiere software y habilidad de modelado 3D.
Se requiere producción repetida de múltiples copias idénticas	Impresión 3D en resina	Reproducible con exactitud. Archivo permanente.	Costo por unidad de resina. Tiempo de impresión por copia.

Nota: Variable crítica: durabilidad vs. facilidad de trabajo y precisión. Autoría propia

Tabla 8

Decisión de Método de escultura (Etapa 4)

CONDICIÓN	MÉTODO RECOMENDADO	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	LIMITACIÓN A TENER EN CUENTA
Se requiere textura orgánica hiperrealista de piel	Escultura manual en arcilla	Control táctil directo. Poros y arrugas naturales. Resultado más orgánico.	Errores irreversibles. Requiere práctica extensa para dominar.
Se requiere iteración rápida y el diseño es geométrico o semi-orgánico	Modelado digital (Nomad Sculpt / Blender)	Errores reversibles. Escala y simetría precisas. Sin desperdicios.	Menor naturalidad en texturas de piel sin dominio avanzado del software.
Se requiere combinar precisión geométrica y textura orgánica	Híbrido: forma digital + textura manual	Lo mejor de ambos métodos. La forma se diseña digitalmente y la textura se trabaja en arcilla sobre el positivo impreso.	Mayor tiempo total por la combinación de procesos.
Se requiere producción rápida con buen resultado general	Modelado digital con Alpha de textura	Los alphas permiten aplicar texturas de piel automáticamente en Nomad Sculpt.	Las texturas digitales pueden verse artificiales sin ajustes manuales posteriores.

Nota: Variable crítica: nivel de detalle orgánico requerido vs. velocidad de iteración y tolerancia al error.

Autoría propia

Tabla 9

Decisión de Tipo de molde (Etapa 5)

CONDICIÓN	MÉTODO RECOMENDADO	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	LIMITACIÓN A TENER EN CUENTA
Se requiere bajo costo y no se dispone de impresora de resina	Molde en yeso tipo 3 dental	Económico y accesible. Estándar de la industria artesanal.	Requiere sellado. Burbujas frecuentes. Fallas de alineación comunes en usuarios sin experiencia.
Se requiere alta fidelidad de detalle y producción reproducible	Molde impreso en resina (SLA/MSLA)	Mayor resolución de detalle. Sin burbujas. Reproducible digitalmente.	Requiere impresora SLA y resina. Diseño previo en 3D.
La pieza tiene geometría simple y no requiere máximo	Molde plano o de baja complejidad en	Proceso más simple. Menor riesgo de fallos	Solo aplicable a piezas planas o de curvatura simple.

detalle	yeso	de alineación.	
La pieza tiene dobles curvaturas complejas (cuello, frente)	Molde impreso en resina o molde segmentado	Las dobles curvaturas requieren precisión en el encaje que la resina garantiza mejor que el yeso.	Mayor complejidad de diseño. Piezas de curvatura compleja deben considerarse dividirse en partes más pequeñas.

Nota: Variable crítica: nivel de detalle requerido vs. acceso a recursos de impresión. Autoría propia

Tabla 10

Decisión de Material protésico (Etapa 6)

CONDICIÓN	MATERIAL RECOMENDADO	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	LIMITACIÓN A TENER EN CUENTA
Se requiere máximo realismo visual, translucidez y durabilidad	Silicona platino	Imita la piel en translucidez, flexibilidad y tacto. Estándar profesional.	Costo alto. Proceso de encapsulado técnicamente exigente. Cap Plastic no disponible en Colombia.
Se requiere bajo costo y el personaje no requiere máximo realismo	Gelatina protésica	Económica. Translucidez aceptable. Proceso más simple.	Se deteriora con el calor de los focos. Muy sensible a la temperatura ambiente.
Se requiere ligereza y el proceso será de espuma de látex	Espuma de látex	Ligera. Buen comportamiento en movimiento. Estándar en producciones de presupuesto medio.	Proceso de cocción en horno. Menor translucidez que silicona. Requiere equipamiento específico.
Se requieren piezas rígidas o semiflexibles complementarias (cuernos, estructuras)	Filamento TPU (impresión FDM)	Flexible, reproducible, iteración rápida. Sin necesidad de molde.	No reemplaza la silicona para piezas que simulan piel. Solo para elementos estructurales.

Nota: Variable crítica: realismo visual requerido vs. costo y complejidad de fabricación. Autoría propia

En conclusión, el análisis de las alternativas técnicas en esta fase permitió mitigar la incertidumbre que corresponde a la integración de nuevas tecnologías en el maquillaje de efectos especiales. Al exponer cada opción frente a los requerimientos previamente establecidos, se logró consolidar una ruta más clara de trabajo que minimiza el margen de error y optimiza el uso de materiales y herramientas digitales. Este ejercicio de toma de decisiones fundamentadas establece las bases definitivas para la fase de prototipado y validación práctica.

4.5 Propuesta Inicial del Flujo de Trabajo

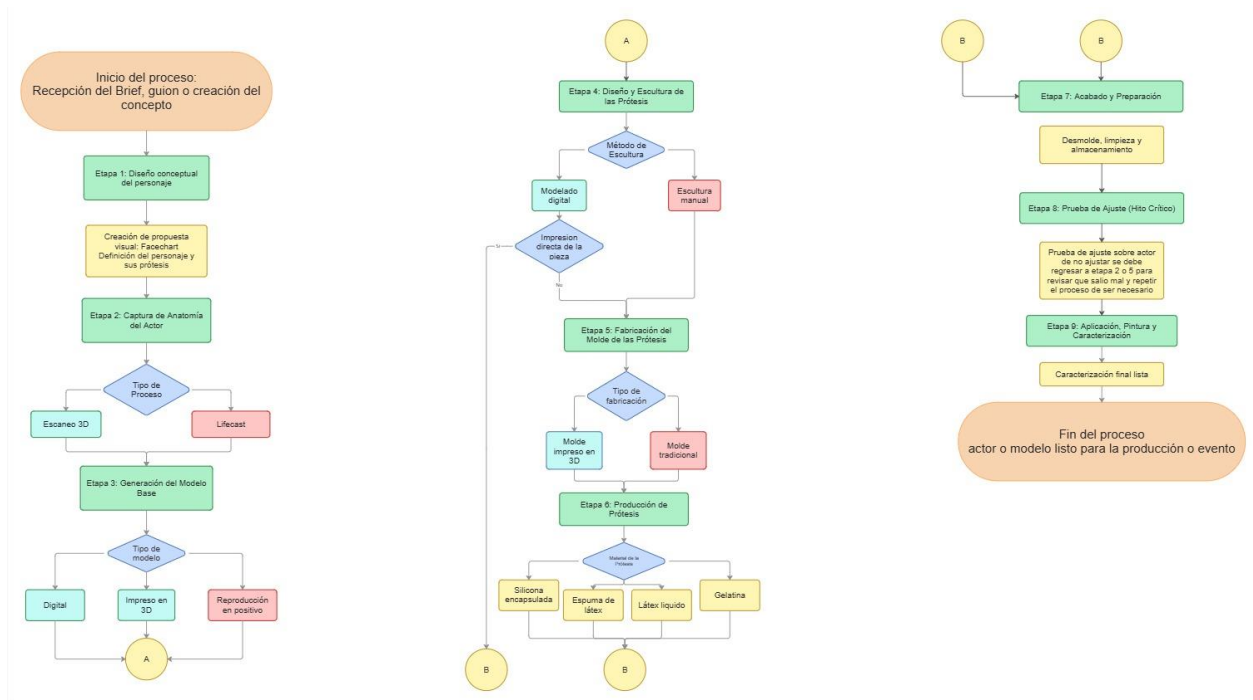
Después de analizar todas las opciones técnicas y evaluar los requerimientos necesarios, Se consolidó una primera versión del flujo de trabajo. Este esquema es además de una lista de pasos, una guía que conecta el diseño tradicional con las herramientas digitales que se decidieron integrar.

Como se puede ver en el diagrama (Ver figura 21), el proceso se divide en 9 etapas principales que van desde la idea inicial hasta la caracterización final del actor. Lo que se buscó con esta estructura fue crear un camino híbrido: por un lado, se aprovecha la precisión del Escaneo 3D y el Modelado Digital, pero sin perder de vista los métodos de fabricación que garantizan un acabado profesional, como el uso de moldes y siliconas especializadas.

En el diagrama se plantean puntos de decisión importantes, como elegir entre un proceso completamente digital o uno físico, y la selección de materiales según el efecto que se busque (silicona encapsulada, espuma de látex, etc.). Este flujo de trabajo se diseñó para ser lógico y fluido, permitiendo retroceder si algo falla. Este diagrama también se encuentra como apéndice para su mejor visualización, Ver apéndice D DIAGRAMA VERSIÓN 1

Figura 21

Primera versión - diagrama de flujo proceso de creación de prótesis



Nota: Autoría propia.

4.6 Fase de Prototipado y Evaluación: el caso de estudio

La verificación del método se realizó mediante su aplicación íntegra en un caso de estudio práctico: la creación de un personaje de caracterización compuesto por tres piezas protésicas fabricadas en silicona platino, ejecutado en su totalidad por la autora del proyecto. La decisión de que fuera la investigadora quien ejecutara el proceso responde a un propósito metodológico deliberado: verificar que el método es comprensible y aplicable por una persona con conocimientos básicos, sin experiencia profesional previa en fabricación de prótesis. De esta manera, comprobar si el método es realmente una herramienta útil.

5. Caso de estudio: personaje híbrido humano-dragón

5.1 Delimitación y propósito del caso de estudio

Teniendo en cuenta que el alcance del proyecto es de un TRL 3, el caso de estudio constituye el mecanismo principal de verificación del método propuesto. Su propósito es demostrar que el flujo de trabajo diseñado es comprensible, ejecutable y produce resultados funcionales cuando es aplicado por una persona con conocimientos básicos en maquillaje de efectos especiales, sin experiencia profesional previa en fabricación de prótesis. El caso se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, e implicó la fabricación de tres piezas prostéticas en silicona platino: frente, nariz y cuello, se decidieron estas zonas prostéticas debido a su aparición continua en la industria, el rostro y cuello, son las partes que más protagonismo tienen en las producciones cinematográficas, a las que más atención le presta el público y son el vehículo primordial de la comunicación no verbal y la expresión de emociones del actor. Según la Stan Winston School of Character Arts, *"la cara es la parte más difícil de tratar porque es donde el público mira el 90% del tiempo. Si la prótesis no se mueve con los músculos faciales, el personaje pierde toda credibilidad"* (Stan Winston School - Facial Prosthetics Design. n.d). Asimismo, el legendario maquillador Rick Baker también mencionaba que la zona de los ojos y la boca son "zonas sagradas" que determinan si un maquillaje es un éxito o un fracaso debido a su alta movilidad.

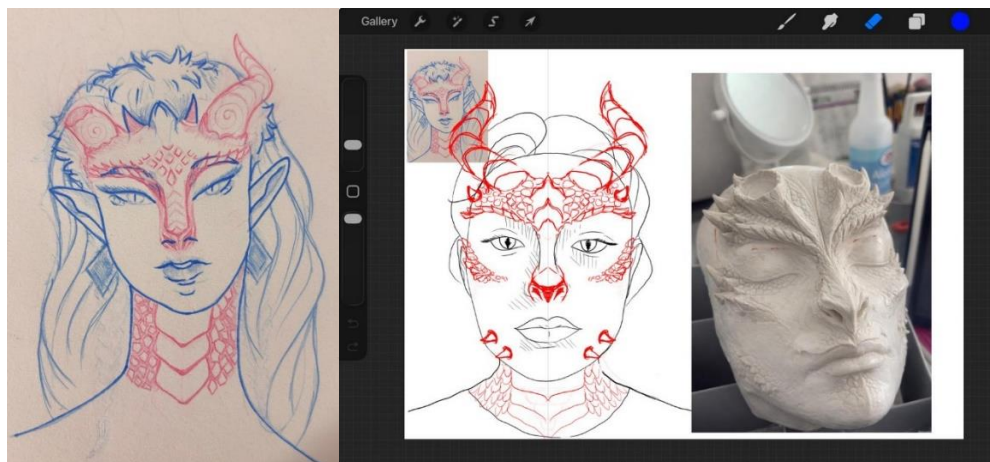
5.2 Diseño conceptual del personaje

El personaje diseñado fue una criatura híbrida entre humano y dragón. La elección respondió a criterios técnicos un híbrido permite trabajar con piezas de diferente complejidad y ubicación anatómica, enriqueciendo la verificación del proceso. Además, también por razones personales: el dragón es un símbolo con el que la autora tiene una conexión significativa, materializada en un tatuaje de dragón chino que ocupa su brazo completo. El diseño se documentó mediante un facechart y un concepto visual que definió las zonas a intervenir. Era crucial que se trabajaran estas zonas, pues mantener la expresividad y

los micro movimientos son parte clave de la creación de prótesis, el rostro humano tiene más de 40 músculos que general miles de expresiones. Las prótesis en estas zonas (pómulos, frente, nariz, barbilla) son las más complejas de fabricar porque deben ser extremadamente delgadas para no bloquear la interpretación del actor, sin mencionar que, en las películas, el foco de la cámara casi siempre está en primer plano (Close-up) cualquier falla en los bordes o textura de una pieza prostética facial es evidente y más en resoluciones 4K, lo que exige una especialización técnica mayor en esta área que en el resto del cuerpo. Ver figura 22, en las imágenes se muestran dos facechart, el primero realizado a mano con minas de colores y el segundo realizado en Procreate, software de ilustración digital.

Figura 22

Boceto criatura híbrida



Nota: Autoría propia.

Algo interesante de esta fase, fue la integración de tecnologías digitales como lo son las IA generativas de imágenes, aún con todo el tabú que esto genera hoy en día, por el uso irresponsable de estas herramientas, y el disgusto de los artistas humanos. Las IA no son las responsables de esto, el ser humano es el que les da mal uso. Se considero, incluso por la autora de este documento, que es en si misma una artista, que estas herramientas, son, de hecho, útiles, pero solo si se usan de manera adecuada, las inteligencias artificiales pueden crear muchas cosas en segundos, cosas que quizá al humano podría

tomarle más, pero es por esto que su uso no debe ser desmedido, los artistas son artistas porque ponen su alma en su arte, la inteligencia artificial no. Aun así, estas herramientas se usaron de la siguiente manera: se “alimentó” a la IA, en este caso, se usó (Chat GPT, 2026), y se le compartió un prompt para la realización de diversas versiones de este personaje, mencionándole características, rasgos, historia y además, el boceto digital y físico que se hizo anteriormente, con el fin de que pudiera generar imágenes con las cuales se pudiera contar con variaciones morfológicas y de colorimetría que llevaran al facechart final, resultante de todas estas iteraciones. Algunas de las alternativas que generó la IA fueron las siguientes, Ver figura 23

Figura 23

Imágenes generadas por IA, versiones de la criatura híbrida dragón

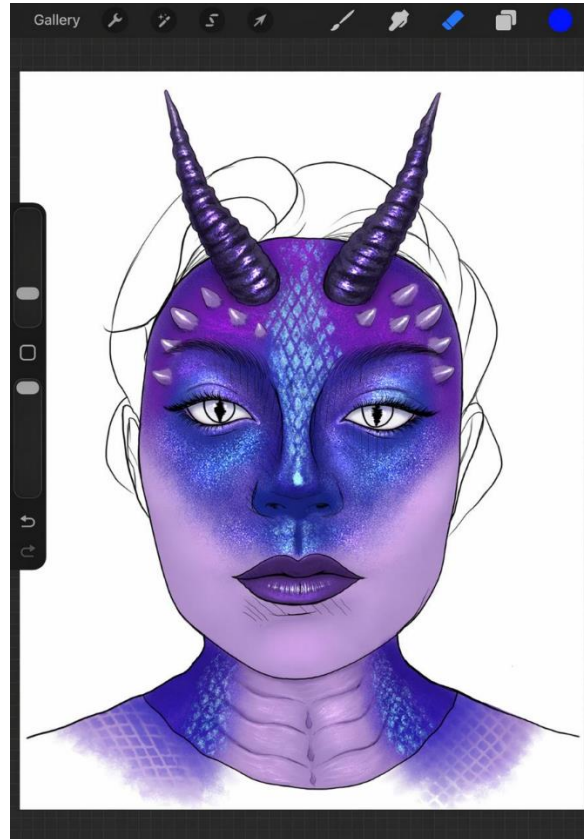


Nota: Imagen generada mediante el modelo de inteligencia artificial Chat GPT a partir de instrucciones (*prompts*) y bocetos originales de la autora. Elaboración propia.

Con estas iteraciones generadas por la IA, los bocetos previos y referencias visuales recolectadas, se desarrolló por último una imagen digital hecha en Procreate (2026) de Autoría Propia. Ver figura 24

Figura 24

Facechart final criatura híbrida



Nota: Imagen ilustrada en App Procreate 2026 Autoría propia.

5.3 Desarrollo del proceso: método tradicional

5.3.1 Captura anatómica: primer intento con bandas de yeso

Para iniciar con el proceso de creación de prótesis, el primer paso es definir el personaje a crear, pero el paso más importante del inicio del proceso es la captura anatómica del actor, El primer intento que se desarrolló de captura anatómica se realizó con bandas de yeso, el material más accesible disponible, y el que siempre se menciona para hacer moldes faciales “en casa”, El resultado fue insatisfactorio: las bandas no capturan el nivel de detalle necesario para un positivo anatómico útil como base de escultura, y además, las bandas de yeso fueron muy “agresivas” sobre la piel de la modelo, incluso arrancando algunas pestañas en el proceso de retirarlas aun usando desmoldante (vaselina) sobre el rostro, Ver figura

25. Lo cual es inaceptable para una captura anatómica segura. La rigidez del material y la dificultad para retirar el negativo sin deformarlo produjeron un molde impreciso que fue descartado en su totalidad. Esta experiencia confirmó que la captura anatómica es una etapa crítica en la que los errores se propagan a todas las etapas siguientes.

Figura 25

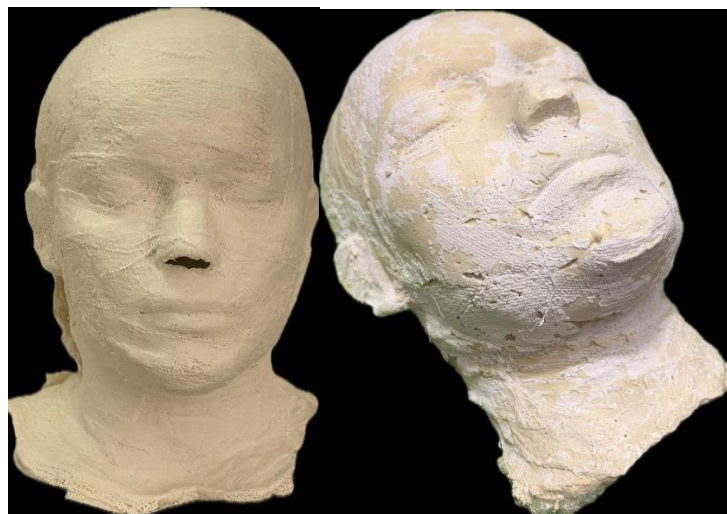
Modelo negativo de yeso con pestañas adheridas



Nota: Autoría propia.

Figura 26

Molde negativo en bandas de yeso y modelo positivo.



Nota: Autoría propia.

5.3.2 Captura anatómica: segundo intento con alginato

Las bandas de yeso por sí solas no permitían una correcta impresión de la anatomía y eran peligrosas para el modelo, así que el segundo intento se realizó con alginato de curado rápido (el mismo que se usa/usaba en el ámbito dental), material estándar para lifecast. A pesar de producir un resultado significativamente mejor, el proceso evidenció con claridad las limitaciones del lifecast tradicional: olor intenso y desagradable, reducido tiempo de trabajo que genera alto desperdicio de material entre tandas, e incomodidad considerable para la modelo, quien quedaba completamente cubierta en las zonas intervenidas, perdiendo visión y movilidad durante varios minutos. Pero este material replica de manera excepcional cada detalle anatómico, haciendo que el positivo en yeso de escayola fuera apto para poder esculpir encima de él, no obstante, el molde en positivo por lo general sale de su molde negativo con ciertas irregularidades, esto pasa porque el yeso, que fue el material para el positivo, es un material que presenta muchas burbujas durante su curado, y aun con el uso de un vibrador para evitar esta formación de burbujas, el resultado final mostro una superficie no uniforme, que se tuvo que arreglar (lijar y sellar) antes de empezar a esculpir sobre él. Ver figuras 27 y 28, en estas imágenes, vemos el proceso de la aplicación del alginato sobre la modelo, el resultado del molde negativo de la cara y el resultado del positivo ya arreglado para su uso.

Figura 27

Proceso aplicación alginato



Nota: Autoría propia.

Figura 28

Molde positivo resultante



Nota: Autoría propia.

5.3.3 Escultura en arcilla

La escultura de las tres piezas prostéticas en arcilla fue el proceso que mayor tiempo demandó y el que evidenció con más claridad la curva de aprendizaje del método tradicional. En múltiples ocasiones, un movimiento involuntario o presión excesiva sobre una zona ya trabajada dañó detalles que debieron rehacerse desde cero. Cada pieza demandó varios días de trabajo; en total, la escultura de las tres piezas ocupó aproximadamente una semana. A pesar de las dificultades, la escultura manual demostró su capacidad para capturar niveles de detalle y textura orgánica difíciles de replicar en el entorno digital sin dominio avanzado del software o la implementación de flujos de trabajo con nodos procedimentales (en herramientas como Blender) o el uso de IA para aplicar mapas de micro desplazamiento que permita

automatizar la generación de porosidades, arrugas, y demás detalles que deben ser hiperrealistas. En este paso del proceso, la pieza prostética de la frente y de la nariz fueron esculpidas sobre el modelo positivo, mientras que la pieza del cuello fue hecha en una superficie plana, en el maquillaje Fx se usan moldes planos, que no necesitan mantener curvaturas muy definidas de la anatomía, y dependiendo de para que se use la pieza y como, se pueden realizar esculpiéndolas en una superficie plana y haciendo un molde plano de estas. Hay que añadir que estas piezas planas suelen ser más sencillas en términos técnicos de realizar, mientras que las piezas que necesitan un molde de dos piezas (tipo sándwich) requieren más experiencia para lograr un resultado aceptable. Se decidió hacer el molde plano de la pieza del cuello y de la frente por la facilidad de crear un molde plano con ellas, más adelante se explicará por qué esta decisión fue errónea, pero esas razones se abarcarán más adelante. (Ver figuras 29 y 30) se observan en las imágenes las estructuras realizadas en arcilla libre de azufre (para evitar la inhibición de la silicona posteriormente)

Figura 29

Escultura en arcilla de piezas nariz y frente



Nota: Autoría propia.

Figura 30

Escultura de pieza cuello y construcción de flashing



Nota: Autoría propia.

5.3.4 Fabricación del molde: primer intento con yeso de escayola

Teniendo en cuenta que el método también estaba siendo probado por la autora de este proyecto, se realizaron varias pruebas técnicas para entender mejor el comportamiento de los materiales y los resultados que se podrían obtener. El primer molde, realizado sobre la escultura de la pieza de nariz a modo de prueba con yeso de escayola, fue un fracaso técnico. El molde presentó burbujas significativas en la superficie, pérdida de detalle en zonas de alta textura y problemas de alineación entre las dos mitades. Fue descartado y rehecho. La experiencia llevó a concluir que el yeso de escayola no es el material más adecuado para moldes de alta definición, y que el yeso tipo 3 dental ofrece mejores resultados en granulometría, resistencia superficial y posibilidad de sellado, esta última, parte fundamental en la creación de prótesis con moldes de yeso, este, es un material muy poroso, “sediento” de cualquier partícula líquida con la que tenga contacto, razón por la cual debe de ser sellado, sin excepción para este proceso. El yeso es un material idóneo para la creación de moldes con muchos detalles que replicar, y funciona perfectamente en áreas como la cerámica y creación de piezas como vasijas y demás, sumado a ello, el yeso es un material relativamente económico que se puede conseguir en grandes o

pequeñas cantidades dependiendo del proyecto, pero, presenta dificultades técnicas por sus características tan propias, sin un sellado adecuado, el yeso absorberá el líquido de otros materiales, dejándolos inútiles.

5.3.5 Moldes definitivos en yeso tipo 3 dental

Los moldes definitivos para las tres piezas se realizaron entonces en yeso tipo 3 dental, que presenta granulometría más fina, superficie más lisa y mayor fidelidad en la reproducción de detalles. Este material debió sellarse para evitar la absorción de líquidos, consideración crítica para la etapa de encapsulado. Con los recursos disponibles en la ciudad de Bucaramanga, se decidió usar un aerosol de pintura acrílica y un aerosol de barniz acrílico, ambos productos se aplicaron en todos los moldes tanto positivos como negativos para evitar que el yeso absorbiera los líquidos que se usarían en los siguientes pasos de la metodología. Ver figuras 31 y 32 en estas se pueden ver dos de los moldes terminados y sellados listos para el siguiente paso.

Figura 31

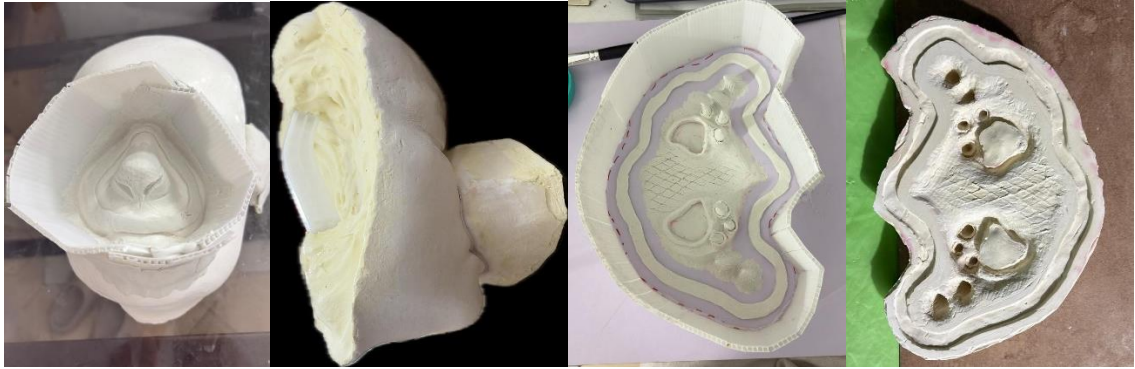
Construcción de moldes en yeso para pieza de cuello



Nota: Autoría propia.

Figura 32

construcción de moldes para pieza nariz y frente



Nota: Autoría propia.

5.3.6 Encapsulado con PVA: problema de absorción y solución

Una de las dificultades más significativas del caso de estudio se presentó en el encapsulado. Las prótesis de silicona, no solo son las preferidas por sus propiedades y características, sino también por la manera en la que pueden ser producidas para lograr esos bordes invisibles durante la aplicación, generalmente las prótesis de silicona van “encapsuladas” en un material que se llama Cap Plastic, que es el encapsulador plástico estándar de la industria, este fue el primer impedimento en los materiales que se tuvo, pues es un insumo que no se consigue en Colombia directamente, o no hay distribuidores del mismo aquí, lo que obligó a buscar una alternativa. Se realizó una investigación sobre que otros productos se podrían usar para reemplazar el encapsulador usado en la industria para de igual forma, lograr el mismo acabado, resultó que el alcohol polivinílico (PVA) fue identificado como sustituto viable, pero su aplicación directa sobre el yeso reveló un problema inesperado: el yeso, por su naturaleza porosa, absorbió completamente el PVA dejando únicamente el colorante sobre la superficie sin formar la película necesaria. Ver figura 33, aquí se puede ver el molde de yeso de escayola, el primero que se hizo, con un color rojo en la superficie, esto sucedió, pues el pva, (que se le añadió un pigmento para poder ver

de mejor donde se aplicaba, pues el pva líquido que se uso era transparente originalmente), resultado siendo absorbido en su totalidad por el yeso, quedando solo el color rojo en la superficie.

Figura 33

Molde de nariz de prueba



Nota: Autoría propia.

La solución fue sellar el molde previamente con aerosol acrílico transparente, que forma una capa impermeable antes de aplicar el PVA. Para compensar la mayor rigidez del PVA respecto al Cap Plastic, se incorporó glicerina en la mezcla, aumentando la flexibilidad de la membrana resultante. La solución fue verificada mediante una pieza de prueba antes de proceder con las piezas definitivas, con resultados satisfactorios. Se realizó una pequeña prueba para ver cómo se comportaban los materiales, se aplicó una capa de aerosol, y se dejó secar hasta que perdiera el olor a pintura (paso importante porque los vapores orgánicos que producen estas pinturas en aerosol pueden inhibir la silicona) luego se procedió a aplicar varias capas de la mezcla del pva, hasta que seicara por completo, para por último aplicar la silicona encima, el resultado adecuado, se buscaba que quedara una especie de “película o membrana” de pva pegada a la silicona, la cual se usaría para difuminar de mejor manera la pieza en el rostro de la modelo.

Ver figura 34

Figura 34

Pruebas con silicona sobre molde de yeso



Nota: Autoría propia.

5.4 Desarrollo del proceso: integración de tecnologías 3D

En paralelo a todo el proceso tradicional, se realizaron las correspondientes etapas donde se podrían incluir las tecnologías 3D al proceso, los siguientes títulos fueron las etapas intervenidas:

5.4.1 Captura anatómica digital: escaneo 3D y fotogrametría

Simultáneamente a la creación del lifecast, se realizó la captura digital del rostro de la modelo utilizando un escáner 3D proporcionado por la Escuela de Diseño Industrial de la UIS, el escáner usado fue el escáner Sense 3D, este equipo funcionó conectado a un computador portátil y con un software perteneciente a Systems 3D, y se realizó el escaneo junto con un estudiante de la misma carrera perteneciente al semillero, el cual manejaba de mejor manera esta herramienta, por otro lado, también se desarrolló otro método de escaneo, con la aplicación Polycam en un teléfono inteligente (iPhone 16) mediante fotogrametría. El resultado fue sorprendente: el modelo generado con Polycam presentó una calidad comparable (e incluso superior en algunas zonas) al obtenido con el escáner, evidenciando el notable avance de las herramientas de fotogrametría accesibles desde dispositivos móviles. La malla se procesó en Meshmixer para reparación de imperfecciones y optimización antes de su uso posterior. Ver

figuras 35 y 36, en estas imágenes observamos el proceso y los resultados de esta captura anatómica por medio de una tecnología 3D como lo es el escaneo.

Figura 35

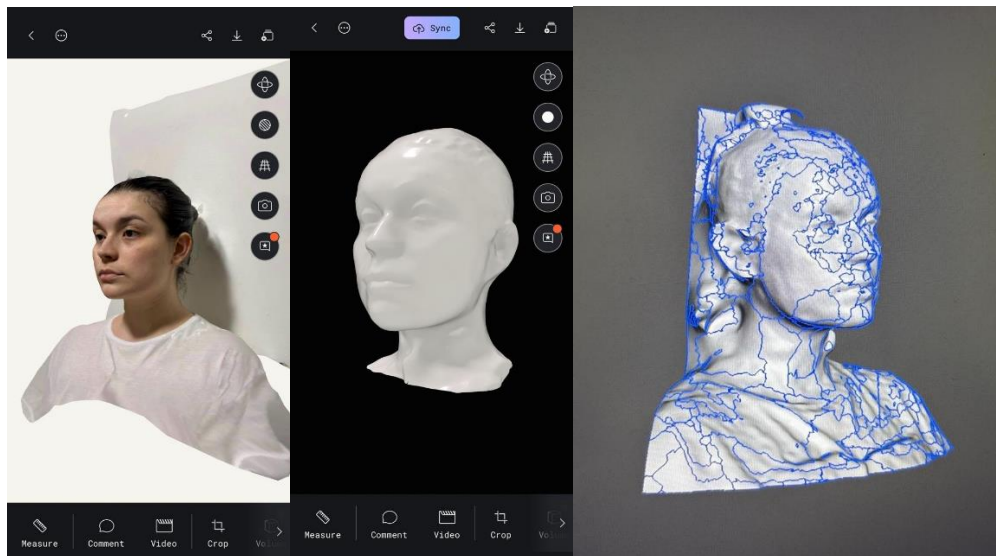
Proceso escaneo 3D con escáner



Nota: Autoría propia.

Figura 36

Proceso escaneo 3D con app de fotogrametría



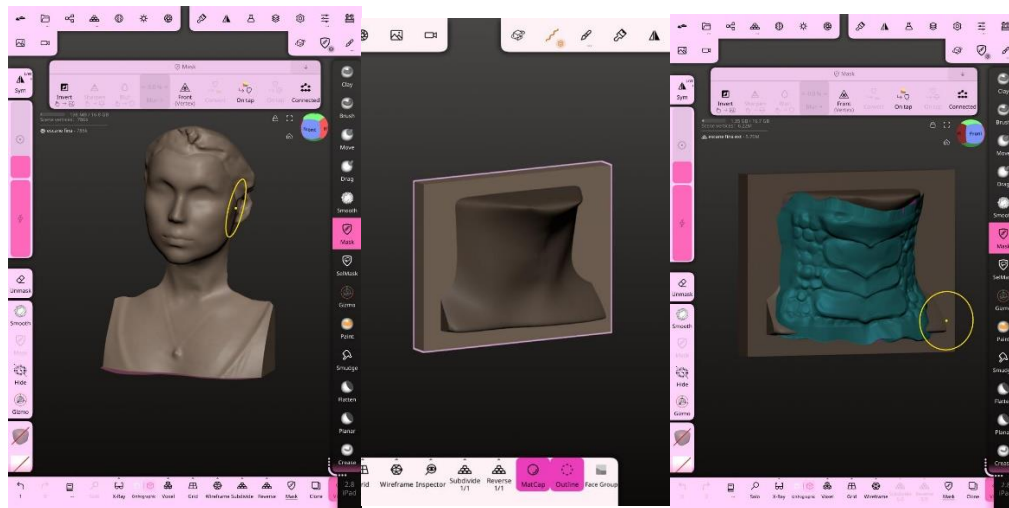
Nota: Autoría propia.

5.4.2 Modelado y escultura digital

A su vez, en la etapa de modelado, y luego de la reparación de la malla, se logró generar una primitiva (Geometría base en Nomad Sculpt) apta para esculpir sobre ella y modelar piezas en un software de escultura digital, Nomad Sculpt (2026) en este caso. Debido a que la autora de este proyecto tenía acceso al programa y contaba con experiencia en el mismo para el diseño y refinamiento de las piezas prostéticas. La escultura digital resultó significativamente diferente a la escultura en arcilla: la posibilidad de deshacer errores, escalar y rotar el modelo en tiempo real facilita la toma de decisiones. Sin embargo, el nivel de detalle orgánico en texturas de piel resultó más difícil de alcanzar, confirmando que ambas formas de escultura tienen fortalezas complementarias y retos para lograr una versión realista de las piezas. Ver figura 37 y 38, aquí podemos ver el resultado de el modelado de las piezas prostéticas del personaje en el programa de escultura digital.

Figura 37

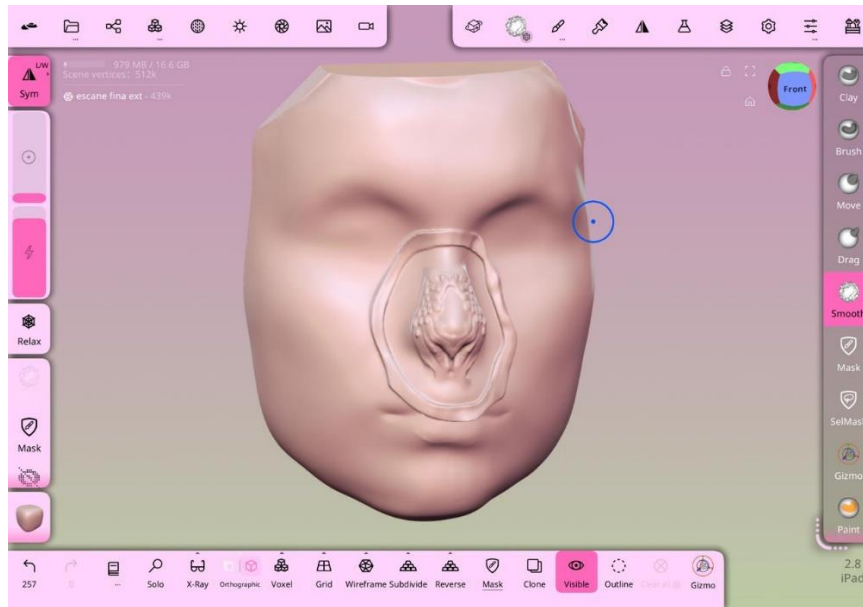
Modelos digitales positivos o bustos y piezas prostéticas



Nota: Autoría propia.

Figura 38

Modelado de pieza nariz sobre busto digital



Nota: Autoría propia.

5.4.3 Impresión 3D de cuernos en TPU

Con los cuernos modelados, se probó la posibilidad de hacer una pieza protésica sin necesidad de crear un molde, impresión directa, dado que los cuernos son piezas que permanecen bastante rígidas, la impresión en 3D era viable, pues no se necesitaba que imitaran la piel humana, sino por el contrario, una estructura ósea, así, una de las contribuciones más eficaces de las tecnologías 3D al proceso fue la fabricación de los cuernos del personaje mediante impresión FDM en filamento TPU. Filamento que se caracteriza por ser flexible para este tipo de impresoras de deposición. Se realizaron varias iteraciones ajustando forma, tamaño y ángulo sin desperdiciar demasiado material ni deshacer trabajo manual. Los cuernos definitivos se integraron en la pieza de frente mediante hendiduras en la escultura de arcilla que coincidían exactamente con la base de cada cuerno impreso, logrando una transición natural entre materiales. Ver figura 39, la pieza en arcilla fue hecha alrededor de los cuernos hechos en impresión 3D, esto con el fin de lograr un resultado más realista durante la aplicación final.

Figura 39

Cuernos impresos en TPU



Nota: Autoría propia.

5.4.4 Fabricación del molde de la nariz mediante impresión 3D en FDM

La pieza de la nariz fue la que permitió el contraste más directo entre métodos, al ser abordada simultáneamente desde ambos enfoques. El molde fue diseñado en Nomad Sculpt e impreso PLA, ofreciendo resolución de detalle superior a los moldes en yeso, pero con algunas capas de impresión visibles. El proceso de post-procesamiento requirió de lijar la pieza y sellar el “brillo” del filamento, pues al trabajar con materiales como el pva y la silicona, que son tan “delicados” antes los factores externos, y para asegurar el mejor funcionamiento de ambos, el molde debía ser sellado también. Es importante que se recuerde que material se está usando para la prótesis, pues la silicona, es un insumo que no reacciona de la mejor forma con otros materiales u otras sustancias, entonces es fundamental asegurar su correcto funcionamiento y curado, evitando materiales incompatibles con ella, como el azufre (de la arcilla de moldeo). Ver figura 40, 41, 42 modelado de la pieza prostética de la nariz en nomad sculpt y molde impreso en impresora FDM

Figura 40

Fabricación de molde digital



Nota: Autoría propia.

Figura 41

Impresión de molde nariz en impresora FDM



Nota: Autoría propia.

Figura 42

Detalles de impresión hecha de molde de nariz



Nota: Autoría propia.

5.5 Producción de las piezas protéticas en silicona

Con los moldes listos, se procedió a la producción de las piezas en silicona platino siguiendo la secuencia del método propuesto: sellado del molde, aplicación del desmoldante, encapsulado con PVA y glicerina, vertido de silicona pigmentada, cierre del molde, curado y desmoldeo. El vertido en hilo fino y la agitación cuidadosa de la mezcla minimizaron la incorporación de burbujas de aire. El control del espesor se logró mediante el desbordamiento controlado del material al cerrar el molde, generando el flashing en los bordes. Ver figura 43 y 44 donde las fotografías de las piezas están el molde y luego terminadas después de desmoldarlas.

Figura 43

Silicona en molde de pieza de cuello



Nota: Autoría propia.

Figura 44

Piezas prostéticas finales en silicona encapsulada



Nota: Autoría propia.

5.5.1 Aplicación de las piezas prostéticas

Teniendo las piezas listas para la caracterización del personaje en la modelo, se procedió a realizar el maquillaje, durante esta aplicación, se pudo obtener información de las piezas, y se notaron problemas técnicos que se originaron en su fabricación, como primera instancia, las piezas en moldes

planos fueron demasiado grandes y no “cuadraban” con la anatomía de la modelo, obligando a cortarlas para hacerlas encajar o construyendo alrededor de ellas con “carne falsa” y “Bondo” (ambos insumos para el maquillaje de efectos especiales) para mejorar su adaptación al rostro, la pieza de la nariz, no tuvo la suficiente profundidad o presión durante la unión de los moldes positivo y negativo, haciendo que la silicona aún se quedara en los bordes donde solo debía ir encapsulador, esto generó que la aplicación de la misma, fuera problemática y los bordes de silicona tuviera también que arreglarse y difuminarse con “bondo”, debido a esto, la aplicación no fue la mejor, el resultado final se logró casi improvisando en el momento de la aplicación para que las piezas funcionaran junto con la anatomía de la modelo ver figura 45 para aplicación de las piezas en el modelo final y close up de las mismas.

Figura 45

Detalle de piezas protésicas aplicadas



Nota: Autoría propia.

5.6 Síntesis de aprendizajes del proceso

La ejecución del caso de estudio generó aprendizajes clave: la captura anatómica es la etapa más crítica y justifica dedicarle tiempo y recursos. La fotogrametría con Polycam es una alternativa viable y de bajo costo. La escultura en arcilla y la digital son complementarias: la primera ofrece mayor control

sobre texturas orgánicas finas; la segunda facilita la iteración y elimina errores irreversibles. La disponibilidad local de materiales es una variable crítica que el proceso debe contemplar con flexibilidad. La impresión en TPU resultó eficaz para piezas rígidas o semiflexibles; la impresión en FDM superó al molde de yeso en facilidad de fabricación y en detalle superficial. La replicabilidad es la ventaja más estructural de las tecnologías digitales.

Nota: El registro fotográfico de todo el proceso se encuentra en el Apéndice E REGISTRO FOTOGRÁFICO adjunto a este documento, la lista de materiales e insumos se encuentra en el Apéndice F, MATERIALES E INSUMOS y la entrevista realizada a la modelo, se encuentra en el apéndice K: ENTREVISTA MODELO

6. Resultados y análisis comparativo

6.1 El método propuesto: flujo de trabajo en nueve etapas

El resultado principal del proyecto es un flujo de trabajo estructurado en nueve etapas que integra tecnologías digitales en puntos específicos del proceso tradicional. Este flujo no reemplaza el método artesanal, sino que lo enriquece ofreciendo rutas alternativas donde las herramientas digitales generan valor concreto en tiempo, precisión o replicabilidad.

Etapas 1: Diseño conceptual del personaje

Comprende el análisis del personaje, elaboración del facechart, definición visual del concepto e identificación de zonas prostéticas a intervenir. Su producto es un diseño visual aprobado que orienta todas las decisiones técnicas posteriores.

Etapas 2: Captura anatómica

Opciones según recursos y precisión requerida: lifecast con silicona de impresión (máxima precisión), lifecast con alginato (buena precisión, menor costo), escaneo 3D (sin contacto, requiere equipo) y fotogrametría con dispositivo móvil (bajo costo, accesible). Criterio de aceptación: registro anatómico fiel sin deformaciones significativas.

Etapas 3: Generación del modelo base

Opciones: positivo en yeso (desde lifecast), modelo digital (desde escaneo o fotogrametría, procesado en Meshmixer) e impresión 3D del modelo digital para obtener positivo físico de alta precisión. El modelo base debe representar fielmente la anatomía del actor y constituir una base estable para la escultura.

Etapas 4: Diseño y escultura de la prótesis

Opciones: escultura manual en arcilla (control directo, alta fidelidad en texturas, errores irreversibles), escultura digital en Nomad Sculpt o Blender (iteración rápida, errores reversibles), o

combinación de ambas. Criterio de aceptación: aprobación visual de la escultura antes de proceder con el molde.

Etapa 5: Fabricación del molde

Opciones: molde en yeso tipo 3 (estándar, requiere sellado) o molde impreso en resina (mayor detalle, proceso más consistente, requiere post-procesamiento UV). El molde debe capturar el detalle de la escultura y permitir el desmoldeo sin daños.

Etapa 6: Producción de la prótesis

Comprende encapsulado, preparación y vertido del material protésico y curado. Encapsulador estándar: Cap Plastic. Alternativa local: PVA con glicerina sobre molde sellado. Materiales: silicona platino, gelatina o espuma de látex. Criterios de aceptación: integridad estructural, espesor uniforme, ausencia de burbujas y membrana encapsuladora correcta.

Etapa 7: Acabado y preparación

Desmoldeo, limpieza, recorte de excedentes y revisión visual. Se verifica que la pieza cumple los requerimientos de forma, espesor y acabado superficial definidos en la tabla de requerimientos.

Etapa 8: Prueba de ajuste

Colocación de la pieza sobre el actor para verificar el ajuste anatómico y la integración de los bordes con la piel. Si el ajuste no es satisfactorio, se determina si la corrección puede realizarse sobre la pieza existente o si es necesario repetir alguna etapa anterior.

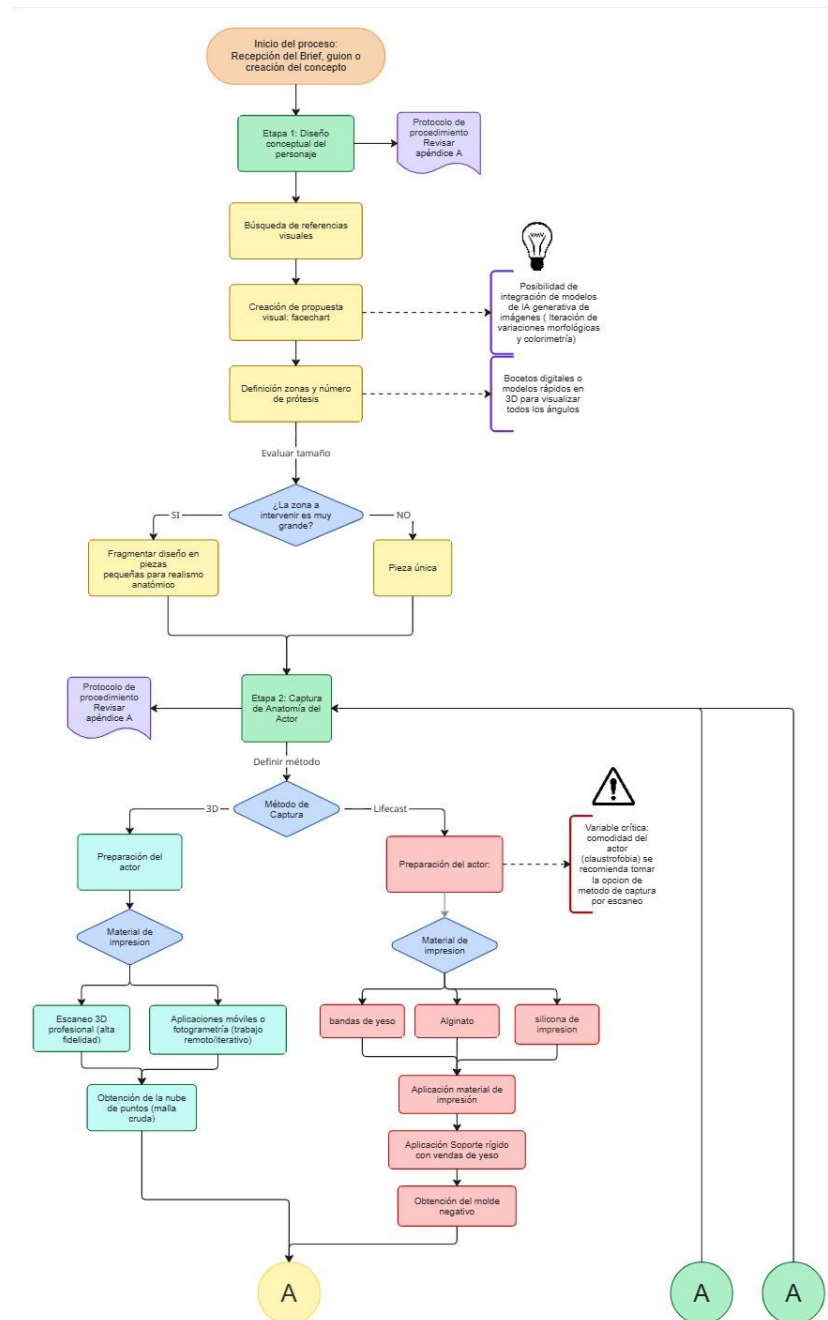
Etapa 9: Aplicación del maquillaje

Etapa final incluida como referencia. Comprende adhesión definitiva, integración cromática y preparación del actor para filmación. Su consideración garantiza que el proceso desemboca en un resultado aplicable en el contexto de producción audiovisual.

De acuerdo con lo anterior, se realizó el ajuste del diagrama de flujo presentado en los capítulos anteriores, esta versión contiene, las etapas y sus decisiones críticas, las opciones de materiales o herramientas y notas importantes para tener en cuenta. Además del mismo diagrama, se incluyen iconos de “documento” que llevan al manual de procesos, (donde se despliegan los procedimientos detallados y el paso a paso a seguir), y a una guía visual que puede ayudar al desarrollo del proceso. Este manual, puede verse en el apéndice MANUAL DE PROCESOS y la guía visual se puede ver en el apéndice L MANUAL DEL ARTESANO: CREACIÓN DE PRÓTESIS FX. El diagrama de flujo se encuentra en las siguientes figuras 46, 47, 48, 49, pero también se puede ver de mejor manera en el apéndice H DIAGRAMA DE FLUJO COMPLETO. Así mismo, en el apéndice I TABLA DE ICONOS DIAGRAMA, se encuentra una tabla de iconos que se usaron en el diagrama de flujo, con sus correspondientes significados, si se necesita saber que significa uno de los iconos, se puede consultar este documento.

Figura 46

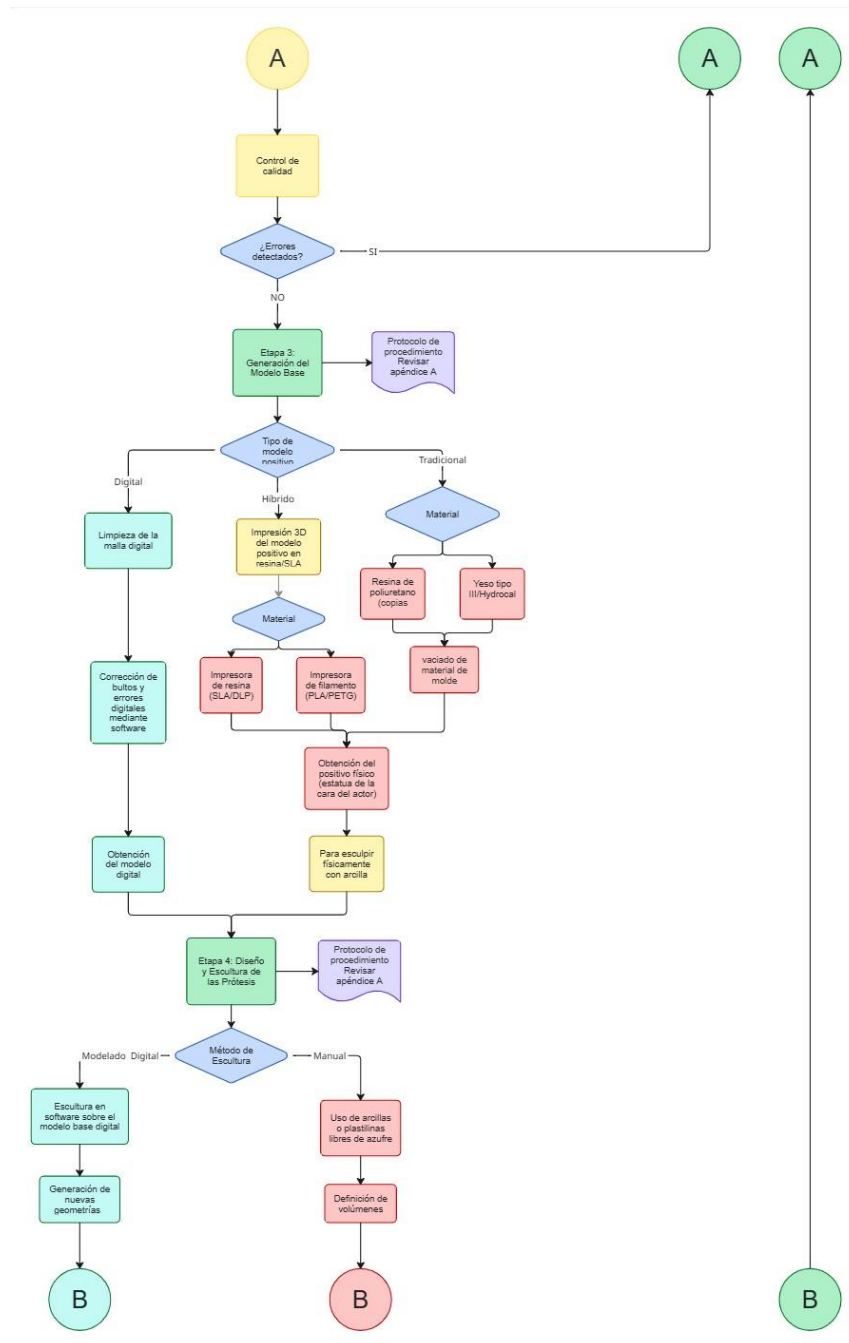
Diagrama de flujo - proceso creación prótesis



Nota: Primera parte del diagrama de flujo, Autoría propia.

Figura 47

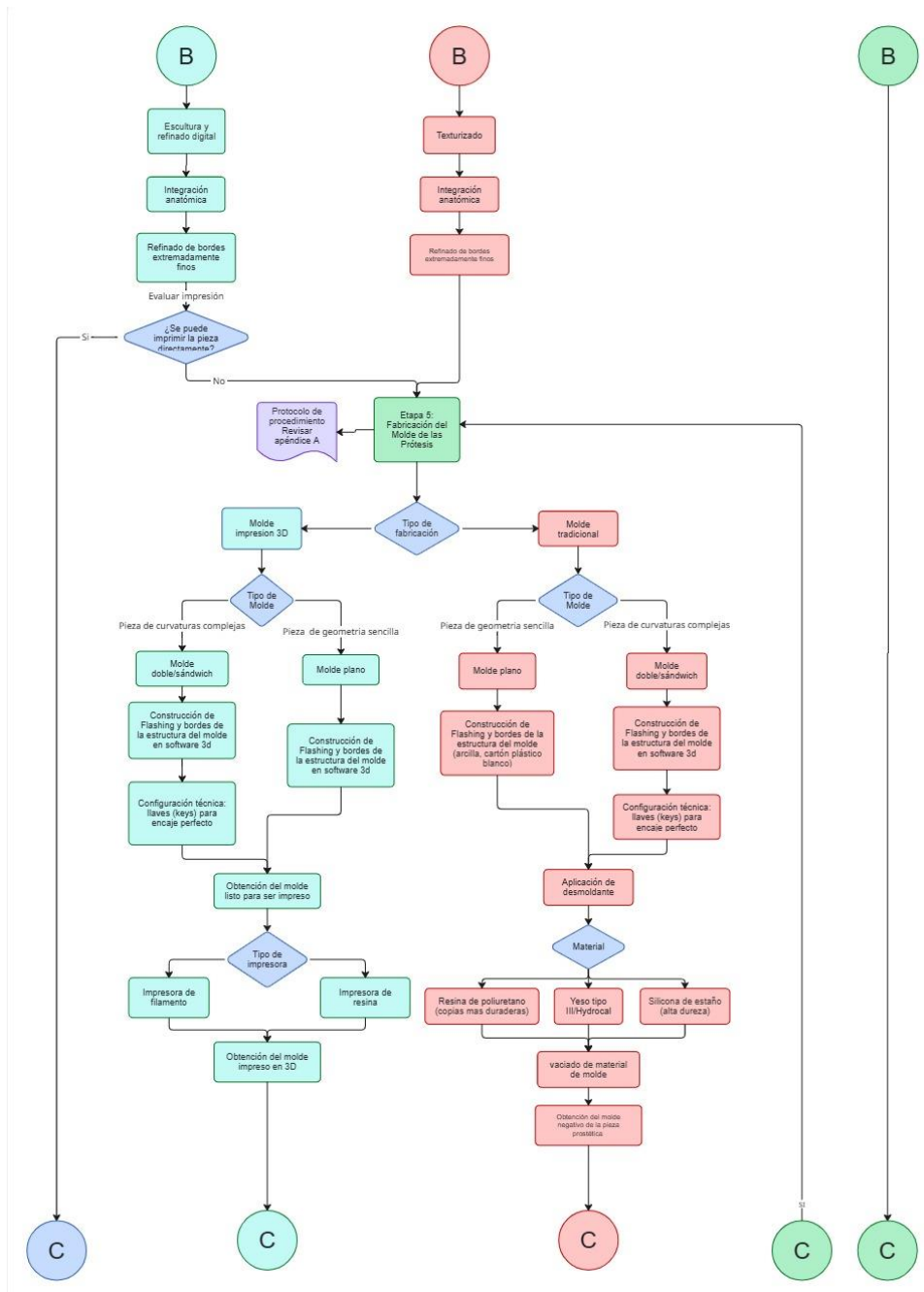
Diagrama de flujo - proceso creación prótesis



Nota: Segunda parte del diagrama de flujo, Autoría propia.

Figura 48

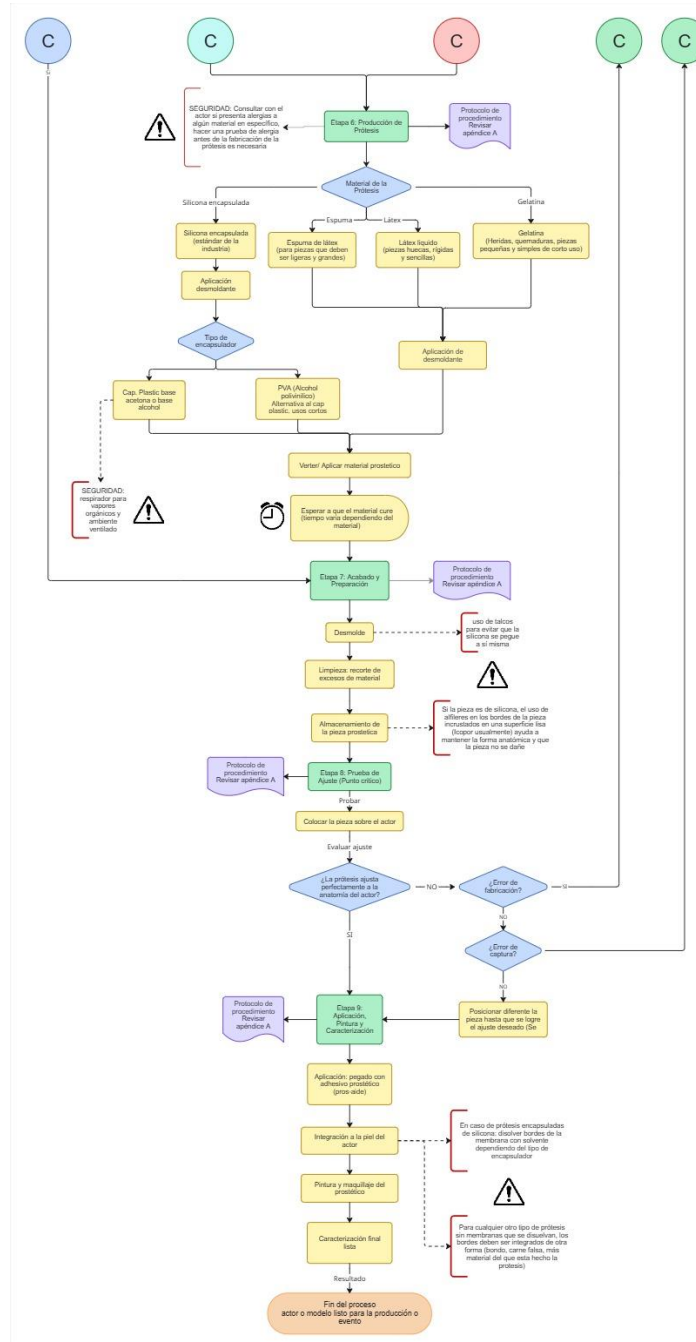
Diagrama de flujo - proceso creación prótesis



Nota: Tercera parte del diagrama de flujo, Autoría propia.

Figura 49

Diagrama de flujo - proceso creación prótesis



Nota: Cuarta parte del diagrama de flujo, Autoría propia.

6.2 Análisis comparativo: método tradicional vs. método con tecnologías 3D

La ejecución del caso de estudio permitió contrastar directamente ambos métodos en condiciones reales. En la tabla 11 se detalla el criterio del que se está hablando, y el método correspondiente tanto en tradicional como con tecnologías 3D.

Tabla 11

Observaciones método tradicional vs método 3D en cada etapa

CRITERIO	MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO CON TECNOLOGÍAS 3D
Captura anatómica	Lifecast con alginato. Proceso incómodo para el modelo. Alto desperdicio de material. Tiempo estimado: 2–3 horas incluyendo vaciado en yeso.	Fotogrametría con Polycam o escaneo 3D. Sin contacto directo con el actor. Tiempo estimado: 30–60 minutos incluyendo procesamiento de malla.
Modelo base	Positivo en yeso. Requiere sellado para etapas posteriores. Susceptible a irregularidades por burbujas de aire.	Modelo digital procesado en Meshmixer. Editable y replicable. Puede imprimirse en 3D para obtener positivo físico de alta precisión.
Escultura	Arcilla sobre positivo de yeso. Alta fidelidad en texturas orgánicas. Errores irreversibles. Tiempo por pieza: 3–6 horas o más.	Modelado digital en Nomad Sculpt o Blender. Errores reversibles. Iteración rápida. Menor fidelidad en texturas orgánicas finas sin dominio avanzado del software.
Fabricación del molde	Molde en yeso tipo 3. Proceso manual complejo. Susceptible a burbujas y pérdida de detalle.	Molde diseñado digitalmente e impreso en resina o filamento. Mayor detalle superficial. Proceso más consistente y reproducible.
Piezas complementarias	Fabricación mediante molde y vaciado. Mayor tiempo y desperdicio de material.	Impresión 3D en TPU para piezas rígidas o semiflexibles (cuernos). Iteración rápida. Mínimo desperdicio de material.
Encapsulado	Cap Plastic (estándar). No disponible en Colombia. Alternativa: PVA con glicerina sobre molde sellado con aerosol acrílico.	Igual al método tradicional en esta etapa. El encapsulado no varía significativamente con la integración digital.
Producción de la prótesis	Silicona platino vertida en molde de yeso. Proceso manual. Resultado de alta calidad estética y funcional.	Silicona platino vertida en molde impreso en resina. Resultado comparable o superior en detalle superficial.
Tiempo total estimado por pieza	30–50 horas (incluyendo todas las etapas desde lifecast hasta pieza lista).	15–25 horas (con integración digital en captura, escultura y molde). Reducción estimada del 40–50%.
Costo de materiales	Alginato, yeso, arcilla, silicona, encapsulador, desmoldante. Desperdicio considerable en etapas de prueba.	Reducción de desperdicio en captura y molde. Costo adicional de filamento/resina para impresión. Balance general favorable.

Calidad del resultado final	Alta fidelidad anatómica y de textura. Apariencia natural sobre el actor. Resultado de referencia en la industria.	Calidad comparable en acabado final. Ligera diferencia en texturas orgánicas finas. Compensable con acabado manual posterior.
Replicabilidad	Baja. El molde físico se deteriora con el uso. Reproducir una pieza requiere rehacerla desde el inicio.	Alta. El modelo digital y el molde impreso pueden archivarse y reproducirse con exactitud cuantas veces sea necesario.
Curva de aprendizaje	Alta en escultura y fabricación de moldes. Requiere práctica manual extensa para dominar.	Alta en software de modelado. Requiere familiaridad con herramientas digitales. Más accesible para perfiles con formación en diseño.

Nota: Autoría propia

6.3 Hallazgos principales

La fotogrametría con Polycam demostró ser una alternativa viable y de bajo costo al lifecast tradicional, con resultados de calidad comparable al escaneo con equipos especializados, con implicaciones importantes para la accesibilidad del método en contextos con recursos limitados como la industria audiovisual latinoamericana.

La impresión 3D en TPU resultó especialmente eficaz para piezas rígidas o semiflexibles integradas en prótesis de silicona. La impresión en PLA superó al molde de yeso en detalle superficial (pero tiene la desventaja de las marcas de impresión) y facilidad de fabricación, eliminando una de las etapas más problemáticas del proceso. La replicabilidad digital es la ventaja más estructural: un archivo puede reproducirse con exactitud indefinidas veces, algo imposible con el método tradicional una vez deteriorado el molde físico o dañado la escultura en arcilla, es imposible lograr el mismo resultado dos veces a menos de que se genere un molde más resistente.

La síntesis de los hallazgos derivados de la ejecución del caso de estudio, están organizados por dimensión de análisis en las tablas 12, 13 y 14. Los datos son de carácter observacional-cualitativo y provienen de la ejecución directa del proceso completo por la autora del proyecto.

6.3.1. Hallazgos sobre manejo del error

Tabla 12

Manejo del error: método tradicional vs. método híbrido digital

TIPO DE ERROR	CONSECUENCIA EN MÉTODO TRADICIONAL	CONSECUENCIA EN MÉTODO DIGITAL	HALLAZGO / CONCLUSIÓN
Error en la escultura (trazo, presión, daño accidental)	Obliga a rehacer la zona afectada o en casos graves toda la pieza. Pérdida de arcilla y tiempo.	Comando deshacer (Ctrl+Z). Sin pérdida de material ni tiempo acumulado.	La eliminación del costo del error es la ventaja más práctica del método digital para usuarios sin experiencia.
Error en el lifecast (deformación del negativo)	Implica repetir el lifecast completo. Nueva sesión con el actor, más alginato y yeso.	La captura digital puede repetirse inmediatamente sin consumo adicional significativo de material.	El digital reduce drásticamente el impacto de un fallo en la captura anatómica.
Error en la fabricación del molde (burbujas, desalineación)	El molde se descarta. La escultura puede dañarse al abrir el molde. Proceso perdido.	El molde digital puede corregirse antes de imprimir. Un molde fallido implica solo tiempo de impresión perdido.	El diseño previo del molde en software elimina muchos errores antes de materializarlos.
Error en el ajuste anatómico (pieza no ajusta al actor)	Implica rehacer desde la escultura. Todo el proceso desde E4 debe repetirse.	El modelo digital puede ajustarse sobre el escaneo del actor y reimprimir el molde.	La trazabilidad digital del proceso permite correcciones específicas sin reiniciar todo.
Error en el encapsulado (membrana discontinua o PVA absorbido)	Implica limpiar el molde, resellar y reiniciar el encapsulado. Tiempo y material perdidos.	No hay diferencia en esta etapa. El encapsulado es manual en ambos métodos.	Esta etapa es equivalente en ambos métodos. El Cap Plastic resuelve mejor este problema que el PVA.

Nota: Autoría propia.

6.3.2. Hallazgos sobre tiempos de producción

Tabla 13

Tiempos de producción por etapa (estimación basada en caso de estudio)

ETAPA	TIEMPO TRADICIONAL (horas activas)	TIEMPO DIGITAL (horas activas)	TIEMPO AUTÓNOMO (impresión)	HALLAZGO
Captura anatómica	2–3 h	0.5–1 h	—	El digital reduce el tiempo activo en un 60–70%. La espera de curado del yeso no existe en digital.
Modelo base	1.5–2.5 h	0.5 h	6–12 h autónomas	El digital requiere menos intervención activa pero más tiempo de máquina. Ideal cuando el tiempo activo es el recurso escaso.
Escultura (por pieza)	3–6 h	2–4 h	—	El digital es más rápido principalmente porque elimina el tiempo de corrección de errores. La forma general se resuelve más rápido.
Fabricación del molde	3–5 h	1–2 h diseño	6–10 h autónomas	El molde digital libera al artista durante las horas de impresión. El molde de yeso requiere atención constante.
Piezas complementarias (cuernos en TPU)	4–8 h (molde + vaciado)	1–2 h diseño	2–4 h autónomas	La impresión FDM redujo el tiempo activo en más del 70% para los cuernos. Múltiples iteraciones en tiempo equivalente a una sola en yeso.
Producción silicona	2–4 h	2–4 h	—	Equivalente en ambos métodos. La diferencia está en la calidad del molde, no en el tiempo de producción.
TOTAL, por pieza	30–50 h activas	15–25 h activas	+12–22 h autónomas	El método digital reduce las horas activas en un 40–50%. Las horas autónomas de impresión son tiempo liberado que puede dedicarse a otras tareas.

Nota: Autoría propia.

6.3.3. Hallazgos sobre replicabilidad

Tabla 14

Replicabilidad del proceso y de las piezas

DIMENSIÓN	MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO HÍBRIDO DIGITAL	HALLAZGO
Reproducción de una pieza idéntica	Requiere rehacer todo el proceso desde la escultura. Alta variabilidad entre copias.	El archivo digital y el molde impreso pueden reproducirse con exactitud. Variabilidad mínima.	La replicabilidad es la ventaja más estructural del método digital. Crítica en producciones con múltiples copias del mismo personaje.
Archivo del proceso	El proceso queda en el molde físico. Si el molde se daña o pierde, no hay recuperación.	El modelo digital, el diseño del molde y todos los archivos pueden archivarse, versionarse y recuperarse.	El digital crea un patrimonio técnico del proceso que el tradicional no puede generar.
Adaptación a otro actor	Requiere lifecast nuevo, nuevo positivo y nueva escultura desde cero.	El diseño de la prótesis puede escalar o ajustarse digitalmente sobre el nuevo modelo escaneado. Molde impreso con el ajuste.	El digital reduce significativamente el tiempo de adaptación del mismo personaje a un actor diferente.
Transferencia del proceso a otro artista	Depende de la habilidad manual del nuevo artista. Alta curva de aprendizaje.	Los archivos digitales y el diagrama de flujo pueden compartirse. La habilidad de software es transferible con formación.	El método digital facilita la documentación y transferencia del conocimiento, alineado con el objetivo central de este proyecto.

Nota: Autoría propia.

6.3.4. Síntesis general de hallazgos

Por último, La siguiente tabla 15 consolida los hallazgos más relevantes del proyecto en una sola vista, organizada por dimensión de análisis con una valoración cualitativa del impacto de la integración digital, Complementando esta síntesis, se ha desarrollado una Matriz de Transformación Tecnológica detallada, la cual desglosa cada variable técnica y operativa intervenida durante el proceso. Dicho recurso se encuentra disponible para su consulta en el apéndice J MATRIZ TRANSFORMACIÓN TECNOLÓGICA. En este apartado, se puede profundizar en la comparativa directa entre las herramientas

análogas y digitales empleadas, permitiendo una comprensión integral de la evolución del flujo de trabajo y el sustento técnico detrás de las decisiones finales del proyecto.

Tabla 15

impacto de la integración digital en el proceso de creación de prótesis

DIMENSIÓN	HALLAZGO PRINCIPAL	EVIDENCIA EN EL CASO DE ESTUDIO	IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DIGITAL	IMPLICACIÓN PARA EL MÉTODO PROPUESTO
Manejo del error	El error en escultura digital es reversible; en arcilla, no.	En la escultura tradicional se repitieron secciones completas. En digital, se deshacía y continuaba.	★★★★★ Muy alto	El método debe priorizar el digital en etapas donde el error es más probable (escultura, molde).
Tiempo activo	El digital reduce el tiempo activo en un 40–50% por pieza.	La escultura de 3 piezas tomó ~1 semana en arcilla vs. horas en digital.	★★★★☆ Alto	El ahorro de tiempo activo es real, pero debe comunicarse junto con el tiempo autónomo de impresión.
Precisión anatómica	La fotogrametría con Polycam iguala en calidad al escaneo con equipos especializados.	El modelo de Polycam fue comparable al del escáner de mesa de la UIS.	★★★★★ Muy alto	Polycam es la recomendación principal para captura anatómica en contextos de recursos limitados.
Calidad del resultado final	La silicona sigue siendo el estándar. El método digital no mejora la calidad de la pieza protética final, pero sí la del molde.	Las piezas en silicona de ambos métodos tuvieron calidad visual comparable.	★★★☆☆ Medio	La calidad de la pieza depende principalmente del molde y del encapsulado, no del método de escultura.
Replicabilidad	El archivo digital garantiza reproducción exacta. El molde de yeso no.	El molde de PLA de la nariz puede reproducirse exactamente. El de yeso se deteriora con el uso.	★★★★★ Muy alto	El método debe documentar y archivar todos los modelos digitales como parte estándar del proceso.
Disponibilidad de materiales	El Cap Plastic no está disponible en Colombia. Esto limita críticamente la durabilidad de la prótesis ante	Las piezas comenzaron a despegarse por la disolución del PVA con el sudor del actor.	★★★☆☆ Impacto crítico en contexto local	El método debe incluir explícitamente la advertencia sobre el Cap Plastic y protocolos de adaptación local.

	humedad.			
Accesibilidad del proceso	El método híbrido es más accesible para usuarios con formación en diseño digital que con formación artesanal tradicional.	La autora, sin experiencia previa en escultura manual, avanzó más rápido en el entorno digital.	★★★★☆ Alto	El método está especialmente bien posicionado para diseñadores industriales y perfiles mixtos arte/tecnología.

Nota: Autoría propia.

Referencias Bibliográficas

- Admin. (s.f.). *Prosthetic makeup: Creating the Minotaur - Sharp FX*. <http://sharpfx.com.au/creating-minotaur-prosthetic-makeup/>
- Autodesk. (2024). *Meshmixer: Mesh repair and editing software*. <https://www.meshmixer.com>
- Baker, A. (s.f.). *An inside look at Doja Cat's Met Gala prosthetics transformation*. Popsugar. <https://www.popsugar.com/beauty/Doja-Cat-Met-Gala-Prosthetics-49162680>
- Blender Foundation. (2024). *Blender 4.0 reference manual*. <https://docs.blender.org>
- Boca Desgarrada #1 - Terror Makers | La Comunidad de los Creadores del Terror*. (s.f.). <https://terrormakers.com/producto/protesis-de-silicona-boca-desgarrada-1/>
- Bray, S. (s.f.). *Common prosthetic applications problems*. Stuart Bray.
- CAMS FX. (2024). *How much does SFX makeup cost?* <https://www.cams-fx.com/post/how-much-does-sfx-makeup-cost>
- Canfield, D. (s.f.). *Why 'Frankenstein' prosthetic designer Mike Hill didn't want the creature to "look like a monster"*. The Hollywood Reporter. <https://www.hollywoodreporter.com/movies/movie-features/making-of-guillermo-del-toro-frankenstein-creature-1236438374/>
- Cinema Makeup School. (2024). *Observación directa en instalaciones*. Los Ángeles, California, Estados Unidos.
- Contreras, L. (2023). *Las aplicaciones de la impresión 3D en el mundo del cine*. 3D Natives. <https://www.3dnatives.com/es/top-10-impresion-3d-cine-24082016/>
- Cruz, R. L. J., Ross, M. T., Skewes, J., Allenby, M. C., Powell, S. K., & Woodruff, M. A. (2020). An advanced prosthetic manufacturing framework for economic personalised ear prostheses. *Scientific Reports*, 10(1), Artículo 1154. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67945-z>
- Dinetz, M. (2021). *The truth about prop, makeup, and effects costs + why you shouldn't cut corners*. Backstage. <https://www.backstage.com/magazine/article/truth-prop-makeup-effects-costs-cut-corners-1313/>
- Dream Smith Studio. (2022). *Raised by Wolves: Behind the 3D printed props*. Formlabs Case Studies.

- Erenstone, J. (2023). 3D printed prostheses: The path from hype to reality. *Canadian Prosthetics & Orthotics Journal*, 6(2), Artículo 42141. <https://doi.org/10.33137/cpoj.v6i2.42141>
- Etsy Irlanda. (s.f.). *Prótesis de silicona serpiente* [Tienda en línea]. https://www.etsy.com/listing/1862869954/protesis-de-silicona-serpiente?utm_source=Pinterest&utm_medium=organic&epik=dj0yJnU9R2U2S3loeXJmTm5XV19HLWhEYjRtMIRPTm9uNHhSQIYmcD0wJm49SW9CcGdET1lOd29YUVNLTXpWZHZadyZ0PUFBQUFBR25ab3RF
- Foam latex vs silicone. (s.f.). Forums Stan Winston School. <https://forums.stanwinstonschool.com/discussion/2161/foam-latex-vs-silicone>
- Formlabs. (2024). *Guide to stereolithography (SLA) 3D printing*. <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- Formlabs. (s.f.). *The future of props and make-up effects: 3D printing large props and molds with the Form 3L for "Raised by Wolves" Season 2*. <https://www.cmucollege.com/blog/the-future-of-special-effects-makeup-in-film-and-television/>
- Fotogramas. (s.f.). "Renfield": Así se creó el maquillaje del Conde Drácula de Nicolas Cage en la película. <https://www.fotogramas.es/noticias-cine/a43559795/renfield-making-of-maquillaje-nicolas-cage-pelicula-comedia-terror/>
- Goiato Coelho, M., Ribeiro Do Prado, P., Fernandes Rocha, A. Ú., Pesqueira Alves, A., Falcón-Antenucci, R. M., dos Santos, D. M., & Gennari Filho, H. (s.f.). Evaluación de la deformación de dos siliconas para prótesis faciales, influencia de la pigmentación y desinfección química. *Revista Cubana de Estomatología*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75072010000200010&script=sci_arttext
- Heidi Klum Halloween — Prosthetic renaissance. (s.f.). <https://www.prorenfx.com/heidi-klum-halloween>
- How to make a silicone gel-filled zombie prosthetic. (s.f.). Smooth-On. <https://www.smooth-on.com/tutorials/gel-filled-zombie-prosthetic/>
- Ideo.org. (2015). *The field guide to human-centered design*. IDEO.org.
- Inesbe. (s.f.). *Uso de prótesis para caracterización y efectos especiales*. <https://inesbe.com/protesis-para-caracterizacion-y-efectos-especiales/>
- Instituto del Cine Madrid. (2023). *Programa de maquillaje artístico y efectos especiales*. <https://www.institutodelcine.es/diplomaturas/maquillaje-y-caracterizacion/>

- Juárez, A., Meza, A., Solís, C., Soria, V., Bermúdez, P., Ahedo, C., Díaz, B., y Ponce de León, J. (2018). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 61(6), 43-51.
<https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2018.61.6.06>
- Lakshitha, A. Y. O. (2023). The role of prosthetic makeup for creating realistic creature effects in fantasy movie. *Sri Lanka Journal of Advanced Research Studies in Humanities and Social Sciences*, 13(2), 87-98
- KOFX Prosthetics Makeup School. (n.d.). Latex or Silicone Prosthetic? What is the BEST special effects makeup appliance? <https://www.youtube.com/watch?v=-DXMMXAdxjU>*
- Lifecasting tips & tricks. (s.f.). Learn Makeup Effects. <http://www.learnmakeupeffects.com/lifecasting-tipstricks/>*
- Liliano Artistry. (s.f.). Navigating 3 challenges in special effects makeup artist. <https://lilianoartistry.com.au/behind-the-scenes-navigating-3-challenges-in-special-effects-makeup-artist/>*
- Maquillaje FX México. (2023). Prótesis de maquillaje: El arte transformador del maquillaje prostético. <https://maquillajefxmexico.com/prótesis-de-maquillaje/>*
- Meduusat Studio [@meduusatstudio]. (s.f.). Now available - the Oni Brow Funnily enough the reference images I used when sculpting had nothing to do [Fotografía]. Instagram. https://www.instagram.com/p/c1z0_7itg3u/?img_index=2*
- Mesa, B. E. (2026, 17 de enero). Entrevista presencial sobre la integración de tecnologías digitales en laboratorio dental [Entrevista personal]. Laboratorio dental, Bucaramanga, Colombia.*
- Morales, L. (s.f.-a). How 3D printed prosthetics are revolutionizing movie makeup? Cinema Makeup School. <https://www.cinemamakeup.com/blogs/how-3d-printed-prosthetics-are-revolutionizing-movie-makeup/>*
- Morales, L. (s.f.-b). SFX vs prosthetic makeup: What is the difference? Cinema Makeup School. <https://www.cinemamakeup.com/blogs/sfx-vs-prosthetic-makeup-what-is-the-difference/>*
- Mori, M. (s.f.). The uncanny valley: The original essay by Masahiro Mori. IEEE Spectrum. <https://spectrum.ieee.org/the-uncanny-valley>*
- Nomad Sculpt. (2024). Nomad sculpt: 3D sculpting on iPad. <https://nomadsculpt.com>*
- Polycam. (2024). Polycam: LiDAR and 3D scanner app. <https://poly.cam>*

- Prosthetics*. (s.f.). Cinema Makeup School. <https://www.cinemamakeup.com/prosthetics/>
- Prótesis de silicona en la industria del maquillaje FX*. (s.f.). Maquillaje FX México. <https://maquillajefxmexico.com/protesis-de-silicona-en-la-industria-del-maquillaje-fx/>
- Quirós, S. (2016). *Cómo hacer prótesis en casa fácil*. <http://silviaquiros.com/2016/04/protesis-casa-facilhow-to-do-prosthetic-at-home-easy/>
- Sousa, R. (s.f.). *The future of special effects makeup in film and television*. CMU College. <https://www.cmucollege.com/blog/the-future-of-special-effects-makeup-in-film-and-television/>
- Stratasys. (2024). *Flexible and elastomeric 3D printing materials*. <https://www.stratasys.com/en/materials/materials-catalog/>
- Tangcay, J. (s.f.). *'Renfield': Nicolas Cage spent three hours in makeup each day to transform into Dracula (EXCLUSIVE)*. Variety. <https://variety.com/2023/artisans/news/renfield-nicolas-cage-dracula-makeup-transformation-1235568984/>
- The importance of prosthetics makeup in special effects*. (s.f.). CBM Academy. [suspicious link removed]
- The truth about prop, makeup, and effects costs + why you shouldn't cut corners*. (s.f.). Backstage. <https://www.backstage.com/magazine/article/truth-prop-makeup-effects-costs-cut-corners-1313/>
- Young, J. (s.f.). *The role of 3D printing in building movie and TV prosthetics*. Additive-X. https://www.additive-x.com/blog/the-role-of-3d-printing-in-building-movie-and-tv-prosthetics?srsltid=AfmBOooTVeIHaiGvNYDp76q0UM9uxsa8kjkqSuh-CCG_aPRIZAiVPLVD