



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Contraste metodológico en el
desarrollo de un prototipo
mecatrónico de simulador médico
de brazo humano**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Josué Uriel Castro González

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Antonio Silva Rico



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL**
(Titulación con trabajo escrito)



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado CONTRASTE METODOLOGICO EN EL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO MECATRONICO DE SIMULADOR MEDICO DE BRAZO HUMANO que presenté para obtener el título de INGENIERO MECATRÓNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

JOSUE URIEL CASTRO GONZALEZ
Número de cuenta: 421088054

Dedicatoria

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera y toda mi formación académica. Sin ustedes nada de esto hubiese sido posible.

A Pau, por su compañía, amor y acompañamiento en cada etapa. Gracias por darme ese impulso extra cada vez que lo necesitaba.

Agradecimientos

Al Dr. Silva por su guía y la oportunidad para practicar y profundizar los aprendizajes que obtuve en la carrera.

A Montse por su apoyo con la gestión de la documentación para la tesis y recordarme qué teníamos que entregar en cada materia.

A Agustín, Uziel, Sebastián, Italia, Omar, Jorge, Oscar, Lalo, Adrián, Anahí, Astrid, Gael y Giovany por su apoyo y trabajo. Así como los chismes y las risas que acompañaron todo el desarrollo del prototipo.

A mi laptop que me acompañó toda la carrera y casi da su vida en la realización de esta tesis.

Índice general

Agradecimientos	i
1. Introducción	1
1.1. Contexto y motivación	1
1.2. Problemática	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Justificación	4
1.5. Alcances y Limitaciones	4
2. Fundamentos teóricos	5
2.1. Conceptos de simulación médica	5
2.1.1. Definición y clasificación de simuladores médicos	5
2.1.2. Niveles de fidelidad	6
2.2. Fundamentos de antropometría y plicometría	6
2.2.1. Antropometría	6
2.2.2. Marcas anatómicas	7
2.2.3. Plicometría	7
2.3. Anatomía funcional relevante para plicometría del brazo	9
2.3.1. Estructura ósea y puntos de referencia para la inserción muscular	9
2.3.2. Organización del tejido muscular y determinantes anatómicos del volumen	13
2.3.3. Musculatura del brazo y sus inserciones	14
2.3.4. El tejido adiposo y su distribución	16
2.4. El proceso de diseño y el marco de innovación para el análisis comparativo	17
2.4.1. Modo 1: Definir el propósito (<i>Sense Intent</i>)	19
2.4.2. Modo 2: Comprender el entorno (<i>Know Context</i>)	20
2.4.3. Modo 3: Empatizar con el usuario (<i>Know People</i>)	20
2.4.4. Modo 4: Estructurar los hallazgos (<i>Frame Insights</i>)	21
2.4.5. Modo 5: Conceptualización (<i>Explore Concepts</i>)	22
2.4.6. Modo 6: Estructurar la solución (<i>Frame Solutions</i>)	23
2.4.7. Modo 7: Materializar la solución (<i>Realize Offerings</i>)	23
3. Estado del arte	24
3.1. Investigación comparativa de metodologías de diseño	24
3.2. Marcos de innovación y resolución de problemas técnicos	24
3.2.1. Teoría para la resolución de problemas inventivos (TRIZ)	25
3.2.2. Diseño centrado en el usuario y enfoques creativos (<i>Design Thinking</i>)	26
3.3. Síntesis y vacíos en la literatura científica	27
3.3.1. Falta de consenso en la efectividad de las metodologías	27
3.3.2. La necesidad de una estructura sistémica en proyectos mecatrónicos	27
4. Metodología para el contraste del proceso de diseño	28
4.1. Delimitación y alcance operativo	28
4.2. Definiciones operativas y criterios básicos	28
4.3. Procedimiento de reconstrucción	29
4.4. Estructura y componentes de la ficha de análisis	31

4.5.	Plantilla para las fichas	31
5.	Desarrollo del contraste metodológico	32
5.1.	Estructura de la catalogación	32
5.2.	Bloque I: Fase de exploración, identificación y propuesta	33
5.2.1.	Ficha 1 — Encargo inicial y generación de la idea	33
5.2.2.	Ficha 2 — Diseño del instrumento de consulta y planificación de entrevistas	33
5.2.3.	Ficha 3 — Ejecución de entrevistas de campo (Feria y facultades)	34
5.2.4.	Ficha 4 — Recuperación y análisis de datos de campo	35
5.2.5.	Ficha 5 — Identificación de los criterios de diseño	36
5.2.6.	Ficha 6 — Formulación de la propuesta de proyecto en concordancia con la convocatoria PAPIME	37
5.2.7.	Ficha 7 — Revisión de convocatoria CAPSEM I+DT y reorientación de la propuesta	37
5.3.	Bloque II: Aceptación, puesta a punto del equipo de trabajo e investigaciones del estado del arte	38
5.3.1.	Ficha 8 — Aceptación institucional por Capital Semilla	38
5.3.2.	Ficha 9 — Constitución ampliada del equipo, definición de roles operativos y elaboración de documentos guía IEA	39
5.3.3.	Ficha 10 — Reacondicionamiento del espacio de trabajo y provisión de mobiliario y equipamiento	40
5.3.4.	Ficha 11.a — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Óseo	40
5.3.5.	Ficha 11.b — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Muscular	41
5.3.6.	Ficha 11.c — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Adiposo	42
5.3.7.	Ficha 11.d — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Cutáneo	43
5.3.8.	Ficha 12.a — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Óseo	44
5.3.9.	Ficha 12.b — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Muscular	44
5.3.10.	Ficha 12.c — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Adiposo	45
5.3.11.	Ficha 12.d — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Cutáneo	46
5.3.12.	Ficha 13 — Coordinación operativa: reuniones semanales y flujo de entregables	47
5.3.13.	Ficha 14 — Compras y gestión presupuestal	47
5.3.14.	Ficha 15 — Acondicionamiento del espacio de trabajo y homologación	48
5.4.	Bloque III: Experimentación y diseño preliminar	49
5.4.1.	Ficha 16.a — Caracterización imagenológica y capacitación (subsistema Óseo y Muscular) — descripción del proceso	49
5.4.2.	Ficha 16.b — Manufactura iterativa de actuadores blandos (subsistema Muscular)	52
5.4.3.	Ficha 16.c — Caracterización experimental del subsistema Adiposo	56

5.4.4.	Ficha 16.d — Evaluación de materiales de interfaz (subsistema Cutáneo)	58
5.5.	Bloque IV: Definición de criterios de integración	59
5.5.1.	Ficha 17 — Gestión de insumos estructurales y adecuación física de la estructura base	59
5.5.2.	Ficha 18 — Organización jerárquica y división por células de trabajo	60
5.5.3.	Ficha 19 — Integración del subsistema de control y diseño de HMI	61
5.5.4.	Ficha 20 — Diseño del sistema mecánico de inyección y sujeción de actuadores	64
5.5.5.	Ficha 21 — Definición eléctrica del sistema: alimentación, potencia, sensado e interconexión	70
5.5.6.	Ficha 22 — Gestión de manufactura, mantenimiento de infraestructura y estandarización documental	74
5.5.7.	Ficha 23 — Procesamiento de modelos anatómicos y adecuación de archivos para diseño	78
5.6.	Bloque V: Planificación de la construcción del prototipo	81
5.6.1.	Ficha 24 — Ensamble del conjunto mecánico-anatómico y fijación muscular	81
5.6.2.	Ficha 25 — Acoplamiento hidráulico y mecánico del subsistema adiposo	82
5.6.3.	Ficha 26 — Integración de la red de sensado y cableado de potencia	82
5.6.4.	Ficha 27 — Desarrollo e implementación de la interfaz de control (HMI)	83
5.6.5.	Ficha 28 — Pruebas de funcionamiento integrado del sistema	83
5.6.6.	Ficha 29 — Generación del Documento final de desarrollo	84
6.	Análisis del desarrollo experimental y resultados	85
6.1.	Introducción al análisis	85
6.2.	Tabla resumen de la asociación de las fichas con la Metodología de Kumar	85
6.3.	Mapeo de la metodología de diseño en el Diagrama de los 7 Modos	92
6.4.	Análisis de la distribución y focos metodológicos del proceso	92
6.4.1.	Concentración estratégica por modos	92
6.4.2.	Recurrencia de actividades por métodos	94
6.4.3.	Síntesis metodológica de la distribución	94
6.4.4.	Análisis por niveles de correspondencia	95
6.4.5.	Implicaciones para la práctica de diseño	99
6.5.	Hallazgos transversales y aspectos metodológicos	99
6.5.1.	Síntesis cuantitativa	100
6.5.2.	Evaluación cualitativa por criterios	100
6.5.3.	Identificación de vacíos metodológicos y causas	100
6.5.4.	Veredicto y consecuencias	101
6.5.5.	Consideraciones metodológicas y limitaciones	101
7.	Conclusiones y trabajo futuro	101
7.1.	Resumen ejecutivo	101
7.2.	Conclusiones generales	102
7.2.1.	Objetivo general	102
7.2.2.	Objetivos específicos	102
7.3.	Contribuciones de la tesis	103

7.3.1. Contribuciones metodológicas	103
7.3.2. Contribuciones empíricas	103
7.3.3. Contribuciones prácticas	104
7.4. Limitaciones del trabajo	104
7.5. Alcances	105
7.6. Síntesis metodológica final	106
7.7. Trabajo futuro	106
7.7.1. Líneas prioritarias	106
7.7.2. Propuestas para robustecer la capacidad analítica del marco	107
7.7.3. Medidas para mejorar la trazabilidad documental	107
7.8. Implicaciones para la práctica de diseño	107
7.9. Cierre	108
A. Apéndice A: 101 Métodos de diseño de Kumar	109
B. Apéndice B: Integrantes del equipo de trabajo	122
C. Apéndice C: Ejercicio presupuestal por fecha de pedido con justificación de compra	122

Resumen

Esta tesis presenta un análisis metodológico del proceso de diseño seguido para la concepción de un prototipo de simulador médico, utilizando como marco de contraste retrospectivo la metodología de los Siete Modos de Vijay Kumar [1]. A partir de la reconstrucción documental de 90 fichas y su mapeo sistemático, se identificó que el marco metodológico permite describir y ordenar las principales decisiones técnicas, organizativas y de integración del proyecto, aunque con una correspondencia frecuentemente parcial debido a que el proceso priorizó la materialización del prototipo sobre la formalización de procedimientos, métricas y protocolos. El estudio muestra una concentración marcada en los Modos 6 y 7, lo que refleja el peso del prototipado, la integración y las pruebas inmediatas, mientras que la menor presencia de los modos iniciales evidencia vacíos en la estructuración conceptual y en la capacidad de ensayo. Como resultado, la tesis aporta una validación metodológica del proceso seguido, una base documental trazable para futuros análisis y un conjunto de recomendaciones orientadas a robustecer la práctica de diseño, mejorar la trazabilidad documental y facilitar el contraste metodológico en desarrollos posteriores.

1. Introducción

1.1. Contexto y motivación

El presente trabajo de tesis se origina durante la realización de mi servicio social, al buscar un proyecto que pudiera estar relacionado con la mejora de la educación, se propuso conducir una serie de entrevistas para conocer la opinión de la comunidad estudiantil. Coincidiendo con la celebración de la Feria del Libro de Ciencias de la Salud. Dicho evento fue el escenario propicio para conducir una serie de entrevistas cualitativas con 36 alumnos, 2 profesores y 2 profesionistas seleccionados entre los presentes. Aunque se había diseñado originalmente una encuesta digital para la recolección de datos, la dinámica de la feria había permitido que las entrevistas evolucionaran de manera iterativa; las inquietudes manifestadas por los primeros participantes habían servido para profundizar en los cuestionamientos posteriores, permitiendo identificar patrones críticos en la formación clínica actual. El único criterio de selección para los entrevistados fue que aceptaran contestar las preguntas.

Entre los hallazgos más significativos, los estudiantes de medicina señalaron una limitación en los simuladores comerciales relacionada con la idealización anatómica, argumentando que los modelos “anatómicamente perfectos” no preparan adecuadamente al practicante para las variaciones físicas presentes en pacientes reales. Paralelamente, los estudiantes de Nutrición identificaron un vacío en su formación práctica: carecen de herramientas de simulación táctil para aprender técnicas como la medición de pliegues antropométricos, iniciando sus prácticas clínicas directamente con pacientes. Esta falta de preparación previa genera conflictos durante la aplicación real de estas técnicas, especialmente cuando se requiere manipular zonas del cuerpo diferentes al brazo, ya que algunos pacientes las perciben como más íntimas e invasivas.

A partir de las ausencias identificadas por los alumnos de nutrición entrevistados, se definió el desarrollo de un prototipo de simulador médico para la medición de pliegues antropométricos en el brazo, el cual debe ser capaz de representar distintos porcentajes

de masa muscular y grasa, así como integrar un sistema de retroalimentación para la evaluación del procedimiento. La selección específica del brazo como zona de aplicación responde tanto a motivaciones pedagógicas como técnicas. Desde lo pedagógico, busca atender el conflicto identificado en los estudiantes de Nutrición, quienes carecen de una herramienta de simulación antes de interactuar con pacientes reales. Dado que regiones como el abdomen o el muslo pueden generar resistencia por considerarse más íntimas, el brazo representa una zona menos conflictiva para introducir el aprendizaje táctil y el manejo del plicómetro. Así, el simulador permite desarrollar habilidades técnicas sin la interferencia de barreras psicológicas o sociales asociadas al pudor del paciente. Desde lo técnico, anatómicamente el brazo es una de las regiones más accesibles y menos complejas para la medición de pliegues, lo que facilita tanto el diseño del simulador como su uso instruccional. El proyecto se concibió inicialmente como una herramienta didáctica alineada con los objetivos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME); posteriormente, y tras la revisión a profundidad de la convocatoria del Programa Capital Semilla de Apoyo para Proyectos de Investigación y Desarrollo Tecnológico realizados por Jóvenes Académicos (CAPSEM I+DT), se reestructuró su enfoque, orientándolo hacia el desarrollo y validación de un sistema tecnológico inexistente previamente. Sin embargo es necesario hacer explícito que el objeto de estudio en este trabajo de tesis es del proceso de desarrollo del proyecto. Debido a ello, en este documento se utilizará el término "prototipo de simulador médico" para referirse al sistema completo. Con ello, el objeto de estudio se desplaza hacia el análisis metodológico y crítico de dicho proceso de diseño, evaluando su rigor y orden frente a modelos formales de innovación.

Bajo esta perspectiva, el proceso de desarrollo del prototipo de simulador médico se llevó a cabo mediante una serie de decisiones de diseño fundamentadas en la experiencia adquirida durante la formación académica, así como en la interacción con el contexto de aplicación. No obstante, dicho proceso no se estructuró originalmente bajo una metodología integral de innovación o diseño como la expuesta por Vijay Kumar, Design Thinking o TRIZ. Sin embargo, sí se emplearon herramientas formales de revisión técnica.

En consecuencia, el presente trabajo propone analizar y contrastar el proceso de diseño ejecutado con el marco metodológico de los siete modos de Vijay Kumar [1], con el objetivo de identificar correspondencias, divergencias y coincidencias parciales entre las actividades realizadas y los métodos o modos definidos en dicha metodología. Identificando una alta concentración en los correspondientes a los Modos 6 y 7.

1.2. Problemática

El desarrollo de sistemas mecatrónicos multidisciplinarios, como es el caso de los simuladores médicos de alta fidelidad, requiere un proceso de toma de decisiones que integre criterios mecánicos, anatómicos y de control de manera coherente y trazable. En entornos de desarrollo reales, dichas decisiones suelen fundamentarse en la experiencia técnica acumulada, así como en la aplicación de metodologías y herramientas adquiridas durante la formación académica. Sin embargo, surge la problemática de determinar si este proceso de diseño, construido a partir de la integración de distintos enfoques y criterios técnicos, presenta una estructura interna que pueda ser analizada y contrastada frente a marcos metodológicos formales de innovación.

Aun cuando el desarrollo del presente proyecto ha permitido alcanzar resultados funcionales y avances significativos en el diseño del prototipo, se identifica la ausencia de un análisis que relacione de manera explícita las actividades realizadas con métodos de

diseño sistemático. Esta falta de correspondencia formal limita la capacidad de evaluar si el proceso seguido presenta coincidencias con metodologías estructuradas, si existen desviaciones relevantes o si las decisiones adoptadas constituyen adaptaciones implícitas de principios teóricos en un contexto práctico de ingeniería.

En este sentido, la problemática no se centra únicamente en la resolución técnica del prototipo de simulador médico, sino en la necesidad de otorgar rigor metodológico a un proceso de diseño previamente ejecutado. Esto implica analizar su grado de alineación con marcos de referencia que permitan describir, estructurar y evaluar las decisiones tomadas durante el desarrollo del prototipo de simulador médico.

Adicionalmente, la coordinación de subsistemas heterogéneos dentro de un esquema de desarrollo basado en hitos de revisión técnica como los *Preliminary Design Review* y *Critical Design Review* (PDR y CDR por sus siglas en inglés) introduce un desafío en términos de documentación y trazabilidad del proceso. Sin un marco metodológico explícito, resulta complejo identificar qué etapas del desarrollo responden a una planificación estructurada y cuáles derivan de la experiencia técnica o del contexto específico del proyecto. Por ello, se plantea la necesidad de realizar un análisis de correspondencia metodológica que permita mapear y contrastar el proceso de diseño con la metodología de los siete modos de Vijay Kumar, con el fin de fundamentar su validez tanto técnica como metodológica.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Realizar el análisis metodológico del proceso de diseño ejecutado para un prototipo de simulador médico mecatrónico de un brazo capaz de variar las condiciones de tono muscular y masa grasa a voluntad del usuario, enfocado para la práctica clínica de las mediciones antropométricas tricipital y bicipital, mediante su contraste retrospectivo con la metodología de los Siete Modos de Vijay Kumar, con el fin de determinar el grado de alineación estructural, correspondencias y divergencias entre la práctica de ingeniería y el marco teórico de innovación.

Objetivos específicos

- Describir de forma retrospectiva las etapas y decisiones técnicas del proceso de diseño del prototipo de simulador médico, identificando las decisiones técnicas, organizativas y de integración tomadas durante su evolución.
- Sistematizar las actividades de diseño realizadas, incluyendo la obtención de información, la revisión del estado del arte, la organización por subsistemas y la definición de criterios de integración.
- Determinar en qué medida la metodología de Kumar es capaz de representar el proceso de diseño desarrollado, prosiguiendo con el mapeo de ser compatibles.
- Mapear las acciones desarrolladas en el proyecto con los modos y métodos de la metodología de Kumar, con el propósito de establecer correspondencias directas y parciales.
- Identificar divergencias metodológicas entre el proceso de diseño ejecutado y la metodología de Kumar, distinguiendo aquellas derivadas del contexto del proyecto, de la experiencia previa o de decisiones específicas de ingeniería.

- Evaluar el grado de alineación entre el proceso de diseño y el marco metodológico de Kumar, determinando su capacidad para describir y estructurar el desarrollo del prototipo de simulador médico.
- Documentar el caso de estudio, preservando la trazabilidad de las decisiones de diseño y su relación con un marco metodológico formal.

1.4. Justificación

La relevancia de la presente tesis radica en la necesidad de dotar de estructura y rigor metodológico a un proceso de diseño desarrollado en un entorno real de ingeniería. En este contexto, el trabajo propone analizar un proceso de desarrollo previamente ejecutado mediante su contraste con un marco metodológico formal orientado a la innovación, lo que permite evaluar la coherencia interna de las decisiones de diseño, así como su correspondencia con estructuras teóricas consolidadas.

El prototipo de simulador médico constituye un caso de estudio pertinente debido a su naturaleza multidisciplinaria, la cual implicó la integración de criterios mecánicos, anatómicos y de interacción con el usuario. Durante su desarrollo, se emplearon herramientas y esquemas de trabajo adquiridos en la formación académica, tales como la obtención de información mediante entrevistas y la descomposición del sistema en subsistemas. Asimismo, se incorporaron prácticas propias de entornos de ingeniería de alta exigencia, como la estructuración del desarrollo bajo hitos de revisión técnica (PDR y CDR), lo que permitió establecer un nivel de control y validación progresiva del diseño.

La utilización de la metodología de los siete modos de Vijay Kumar como marco de contraste proporciona una estructura sistemática para reinterpretar el proceso de diseño realizado. Dado que dicha metodología se organiza en modos y métodos que no siguen una secuencia estricta, resulta adecuada para mapear las actividades ejecutadas y analizar su correspondencia con una lógica formal de innovación, sin imponer una estructura ajena al desarrollo original.

En este sentido, la aportación principal del trabajo no se limita al desarrollo del prototipo de simulador médico, sino que reside en la documentación y análisis crítico de su proceso de diseño. La tesis permite generar una lectura estructurada de un desarrollo multidisciplinario, al tiempo que evalúa la utilidad de un marco metodológico formal para describir, organizar y analizar procesos de diseño en contextos reales de ingeniería.

1.5. Alcances y Limitaciones

El alcance del presente trabajo de tesis se centra en el análisis, documentación y contraste metodológico del proceso de diseño de un prototipo de simulador médico. Este estudio abarca desde la fase de exploración de necesidades del usuario y la revisión del estado del arte, hasta la integración técnica del sistema y la estructuración del desarrollo mediante herramientas de planificación. En términos metodológicos, el alcance comprende el mapeo y análisis de correspondencia entre las acciones ejecutadas durante el proyecto y los modos de diseño propuestos por la metodología de Vijay Kumar, identificando convergencias, divergencias y coincidencias parciales en un caso de diseño real multidisciplinario.

El prototipo de simulador médico no se presenta como un producto final ni como un dispositivo certificado para la práctica clínica, sino como un prototipo de simulador

médico en etapa de desarrollo, orientado a la validación conceptual y técnica preliminar de sus subsistemas. En este sentido, el alcance de esta tesis se restringe estrictamente al análisis, documentación y evaluación crítica de la práctica de diseño, por lo que la descripción técnica del dispositivo funciona como la evidencia documental para el contraste metodológico y no como un fin de validación clínica en sí mismo.

Asimismo, el análisis metodológico se limita al contraste del proceso de diseño con la metodología de los siete modos de Vijay Kumar, sin contemplar una evaluación comparativa con otros marcos de diseño. Este trabajo tampoco pretende validar de manera general la metodología empleada, sino analizar su capacidad para describir y estructurar un caso específico de desarrollo en ingeniería.

Finalmente, el enfoque del documento se centra en la descripción y análisis del proceso de diseño, por lo que no se abordan aspectos relacionados con la implementación del dispositivo en entornos clínicos o educativos, ni su integración en programas formales de enseñanza.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Conceptos de simulación médica

2.1.1. Definición y clasificación de simuladores médicos

De acuerdo con Corvetto *et al.* [2], la simulación clínica se define como una técnica que permite situar al estudiante en un entorno controlado que reproduce aspectos relevantes de la práctica médica, con el propósito de sustituir o complementar la experiencia real mediante actividades guiadas. En este sentido, la simulación no debe entenderse únicamente como una tecnología, sino como una estrategia formativa que posibilita el desarrollo de competencias en un entorno predecible, estandarizado, seguro y reproducible.

En el ámbito de la educación médica, los simuladores constituyen herramientas diseñadas para emular condiciones clínicas específicas con distintos niveles de complejidad y fidelidad. Corvetto *et al.* [2] proponen una clasificación de estas herramientas en función de su alcance funcional y nivel de integración, la cual se describe a continuación:

- **Simuladores de uso específico y baja tecnología (*part task trainers*):** Dispositivos diseñados para representar de manera aislada una parte del cuerpo humano o un procedimiento específico, orientados al desarrollo de habilidades psicomotoras básicas.
- **Pacientes simulados o estandarizados:** Individuos entrenados para representar condiciones clínicas específicas, utilizados en la evaluación de habilidades de comunicación, historia clínica y examen físico.
- **Simuladores virtuales en pantalla:** Sistemas computacionales que modelan escenarios clínicos mediante representaciones digitales, enfocados en el entrenamiento cognitivo y la toma de decisiones.
- **Simuladores de tareas complejas:** Sistemas híbridos que integran modelos físicos y entornos virtuales, permitiendo la interacción tridimensional con estructuras anatómicas y el desarrollo de habilidades técnicas avanzadas.

- **Simuladores de paciente completo:** Maniqués de tamaño real con integración computacional que representan funciones fisiológicas y respuestas clínicas, utilizados para el entrenamiento en escenarios médicos complejos y trabajo en equipo.

2.1.2. Niveles de fidelidad

En concordancia con lo descrito por Corvetto *et al.* [2], el concepto de fidelidad en simulación clínica se emplea para definir el grado de realismo de los modelos y de la experiencia en la que se utilizan. Tradicionalmente, se distinguen tres niveles:

1. **Simulación de baja fidelidad:** Modelos que representan únicamente una parte del organismo y que se emplean para la adquisición de habilidades motrices básicas en la ejecución de procedimientos o exploraciones físicas simples.
2. **Simulación de fidelidad intermedia:** Sistemas que combinan representaciones anatómicas con herramientas computacionales de complejidad moderada, permitiendo la manipulación de variables fisiológicas básicas para el desarrollo de competencias específicas.
3. **Simulación de alta fidelidad:** Sistemas que integran múltiples variables fisiológicas y permiten la recreación de escenarios clínicos complejos mediante maniqués de tamaño real u otros entornos altamente realistas, orientados al entrenamiento avanzado y al manejo de situaciones críticas.

Es importante señalar que el grado de fidelidad no está necesariamente relacionado con la complejidad tecnológica del dispositivo. Existen escenarios de alta fidelidad con una baja o nula integración tecnológica; un ejemplo representativo es la entrevista clínica realizada con un paciente simulado estandarizado, en la cual se reproduce de manera cercana la interacción médico-paciente sin requerir dispositivos electrónicos o sistemas computacionales avanzados.

En este contexto, el prototipo de simulador médico desarrollado en el presente trabajo se clasifica como un simulador de uso específico, al centrarse en la representación de la extremidad superior. No obstante, su diseño incorpora el objetivo de aproximarse a un mayor nivel de fidelidad táctil y funcional mediante la integración de variaciones controladas en la distribución de masa muscular y grasa, buscando reducir las limitaciones de realismo presentes en los modelos estáticos convencionales.

2.2. Fundamentos de antropometría y plicometría

2.2.1. Antropometría

De acuerdo con García-Vázquez [3], la antropometría constituye una técnica fundamental en la evaluación nutricional, ya que permite cuantificar las dimensiones físicas y la composición corporal del individuo. La precisión de este método depende tanto de la correcta ejecución de las mediciones por parte del evaluador como de la exactitud de los instrumentos utilizados, siendo el plicómetro (véase en la Figura 2.1) una de las herramientas principales para la evaluación de tejidos blandos.

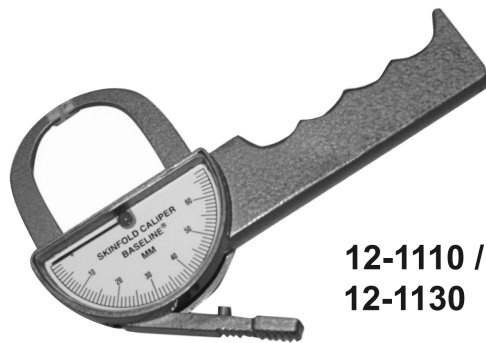


Figura 2.1: Plicómetro comercial. Extraído de [4].

Mediante la medición de pliegues cutáneos, perímetros y diámetros corporales, es posible estimar la distribución de masa grasa y masa libre de grasa a través de modelos matemáticos que consideren variables demográficas como la edad y el sexo. Estas mediciones permiten obtener indicadores indirectos del estado nutricional y de la composición corporal del individuo.

En el caso específico de la extremidad superior, se identifican como mediciones antropométricas relevantes las siguientes:

- **Panículos adiposos:** Medición del espesor del tejido adiposo subcutáneo en puntos específicos, utilizada para estimar la grasa corporal. (Figuras 2.2a y 2.2b)
- **Perímetro del brazo:** Medida de la circunferencia media del brazo, que integra tanto tejido muscular como adiposo.
- **Área muscular del brazo:** Estimación indirecta obtenida a partir de mediciones de perímetro y pliegue, que permite aproximar la proporción de tejido muscular respecto al tejido adiposo.

2.2.2. Marcas anatómicas

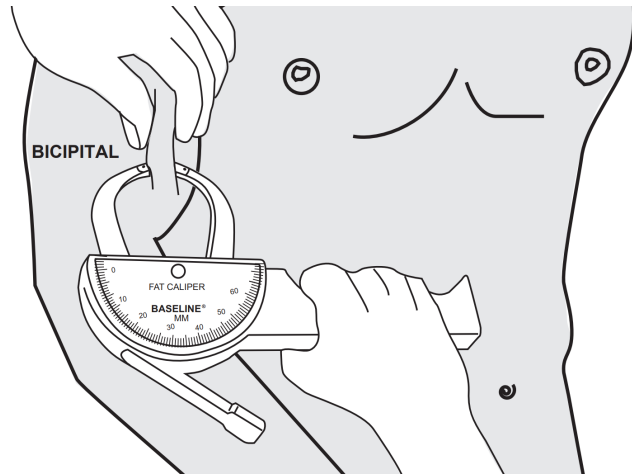
La reproducibilidad en las mediciones antropométricas depende de la correcta localización de puntos de referencia óseos, conocidos como marcas anatómicas. Estas referencias se identifican mediante palpación y permiten definir con precisión los sitios de medición sobre el cuerpo humano [3]. Para el desarrollo del prototipo de simulador médico, se consideran las siguientes marcas (identificadas en la Figura 2.2):

- **Acromial:** Punto superior y lateral correspondiente al borde externo del acromion.
- **Radial:** Punto ubicado en el borde proximal y lateral de la cabeza del radio.
- **Acromial-Radial:** Punto medio entre las marcas acromial y radial, utilizado como referencia principal para la localización de mediciones en el brazo.

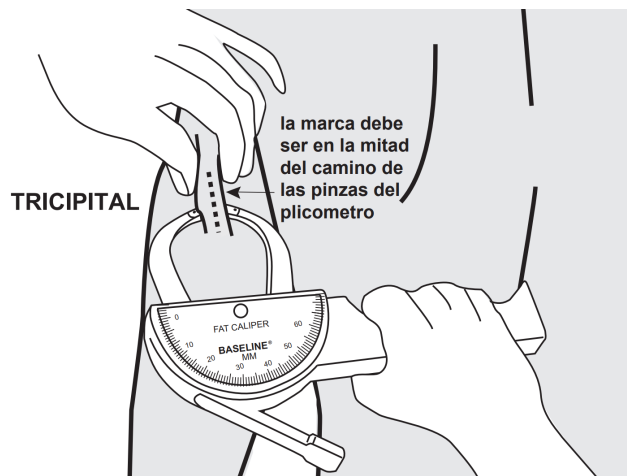
2.2.3. Plicometría

La plicometría es una técnica de evaluación antropométrica que consiste en la medición del espesor de un doble pliegue de piel y tejido adiposo subcutáneo, con el objetivo de estimar la composición corporal. La precisión de la medición depende de la correcta localización de las marcas anatómicas y de la adecuada ejecución de la técnica, evitando la contracción muscular que pueda alterar la lectura [3].

De acuerdo con Olivares [6], el procedimiento general consiste en sujetar el pliegue con los dedos pulgar e índice, separando el tejido subcutáneo del plano muscular, para



(a)



(b)

Figura 2.2: Marcas anatómicas Acromial (Morado), Radial (Verde) y Acromial-Radial (Rojo). Modificado de [5].

Figura 2.3: Medición del espesor del pliegue cutáneo (panículo adiposo subcutáneo) en el sitio Bicipital (a) y Tricipital (b). Extraído de [4].

posteriormente colocar las ramas del plicómetro sobre el pliegue y realizar la lectura después de un intervalo aproximado de 2 segundos.

Para el presente trabajo, se consideran los siguientes pliegues como referencias principales en la región del brazo:

- **Pliegue tricipital:** Se localiza sobre la línea media acromio-radial en la región posterior del brazo. El pliegue se orienta de forma vertical, paralelo al eje longitudinal del brazo. (Ver Figura 2.2b)
- **Pliegue bicipital:** Se ubica sobre la misma línea acromio-radial, en la región anterior del brazo, con orientación paralela al eje longitudinal. (Ver Figura 2.2a)

2.3. Anatomía funcional relevante para plicometría del brazo

2.3.1. Estructura ósea y puntos de referencia para la inserción muscular

La comprensión de la estructura ósea del miembro superior resulta fundamental para la localización de las marcas anatómicas empleadas en plicometría, así como para la identificación de los sitios de origen e inserción de la musculatura braquial. Estas estructuras establecen las referencias anatómicas que determinan la organización espacial de la extremidad superior y la distribución del volumen del tejido. Siguiendo la teoría anatómica de Tortora-Derrickson [5], los componentes que conforman el hombro se engloban bajo la denominación de cintura escapular, la cual consiste en la clavícula y la escápula. Estos huesos se mantienen en su posición gracias a un grupo de músculos de gran tamaño que se extienden desde la columna vertebral y las costillas hasta la escápula. A continuación, se describen los elementos óseos relevantes:

- **Clavícula:** Es un hueso delgado en forma de "S" que se extiende horizontalmente a través de la parte anterior del tórax, superior a la primera costilla. Su morfología presenta una mitad medial convexa hacia adelante y una mitad lateral cóncava. El extremo lateral, ancho y plano, se denomina extremo acromial y se articula con el acromion de la escápula para formar la articulación acromioclavicular. En la cara inferior de este extremo se localiza el tubérculo conoideo, sitio de fijación del ligamento conoideo. Estas características permiten establecer referencias espaciales relevantes en la región del hombro, como se observa en la Figura 2.4.

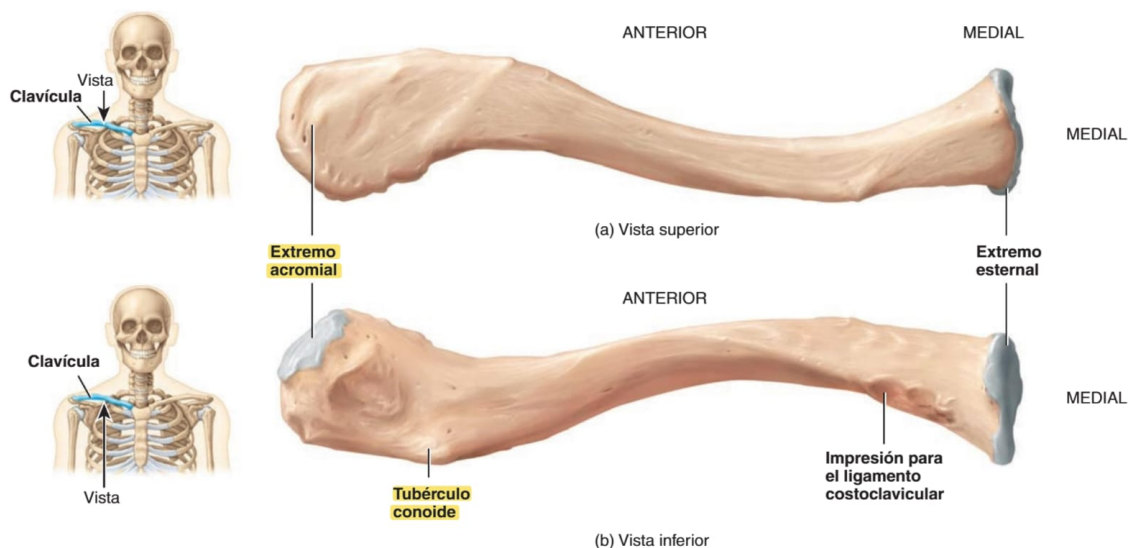


Figura 2.4: Anatomía de la clavícula en vistas superior e inferior, destacando el extremo acromial y el tubérculo conoideo como puntos de inserción. Modificado de [5].

- **Escápula:** También conocida como omóplato, es un hueso grande, triangular y plano localizado en la parte posterior del tórax entre la segunda y la séptima costilla. En su

ángulo lateral presenta la cavidad glenoidea, que articula con la cabeza del húmero. La apófisis coracoides constituye un punto de inserción para diversos músculos y ligamentos. En la cara posterior, la espina de la escápula divide las fosas supraespinosa e infraespinosa, mientras que en la cara anterior se encuentra la fosa subescapular. Estas superficies definen zonas de inserción muscular que condicionan la distribución del volumen en la región del hombro (Figura 2.5).

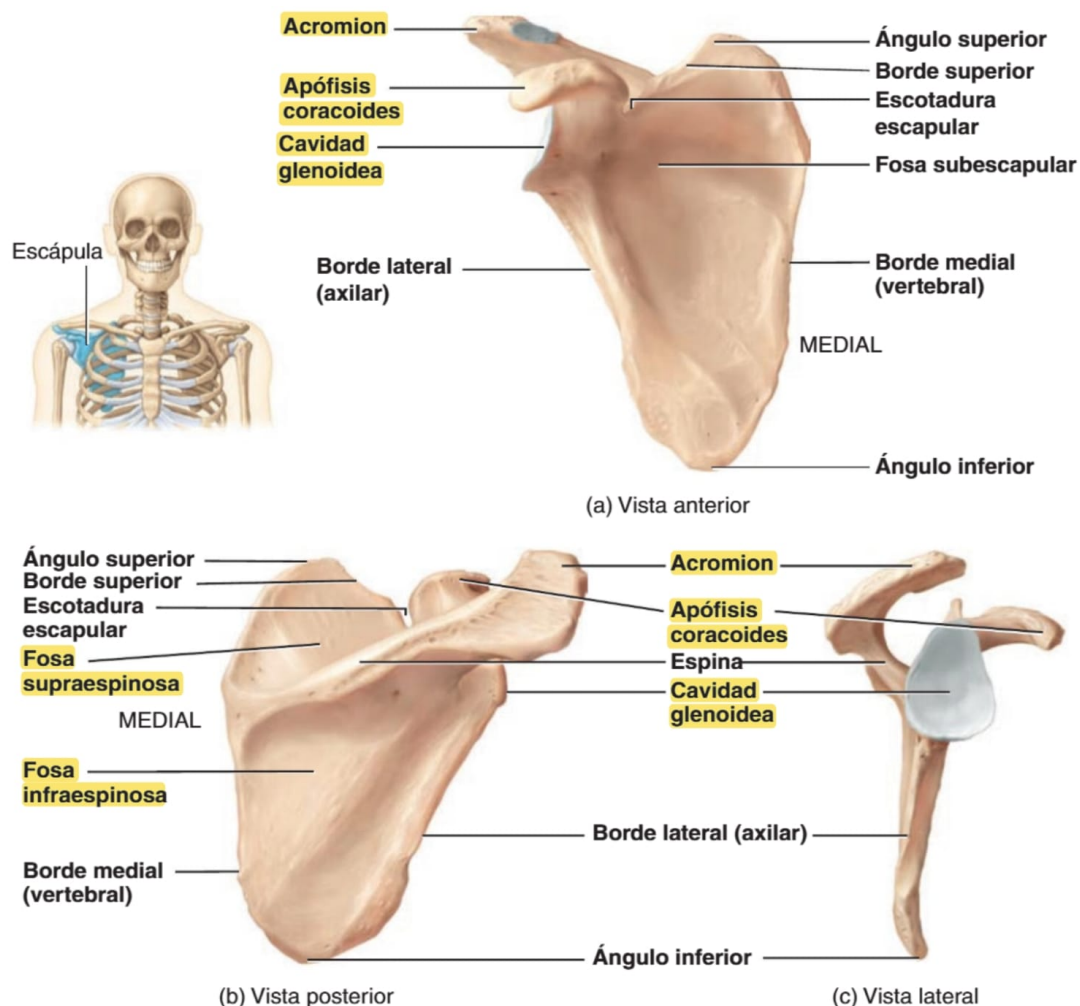


Figura 2.5: Vistas anterior, posterior y lateral de la escápula, destacando las fosas y apófisis como zonas de inserción muscular. Modificado de [5].

En la terminología anatómica [5], el brazo se define como parte de la extremidad superior. Aunque esta estructura incluye aproximadamente 30 huesos, en este trabajo se consideran únicamente aquellos que conforman el brazo y el antebrazo, debido a su relevancia en la localización de las marcas anatómicas y los sitios de medición plicométrica. Estos huesos largos —el húmero, el cúbito y el radio— se describen a continuación:

- **Húmero:** Es el hueso más largo del miembro superior. Su cabeza se articula con la cavidad glenoidea y su extremo distal con el cúbito y el radio. En la diáfisis se localiza la tuberosidad deltoidea, punto de inserción del músculo deltoides. En el extremo distal destacan los epicóndilos medial y lateral, asociados a la inserción de la musculatura del antebrazo. Asimismo, la fosa coronoides participa en la articulación

durante la flexión. Estas estructuras constituyen referencias anatómicas relevantes para la ubicación de zonas de medición y de interacción en el brazo (Figura 2.6).

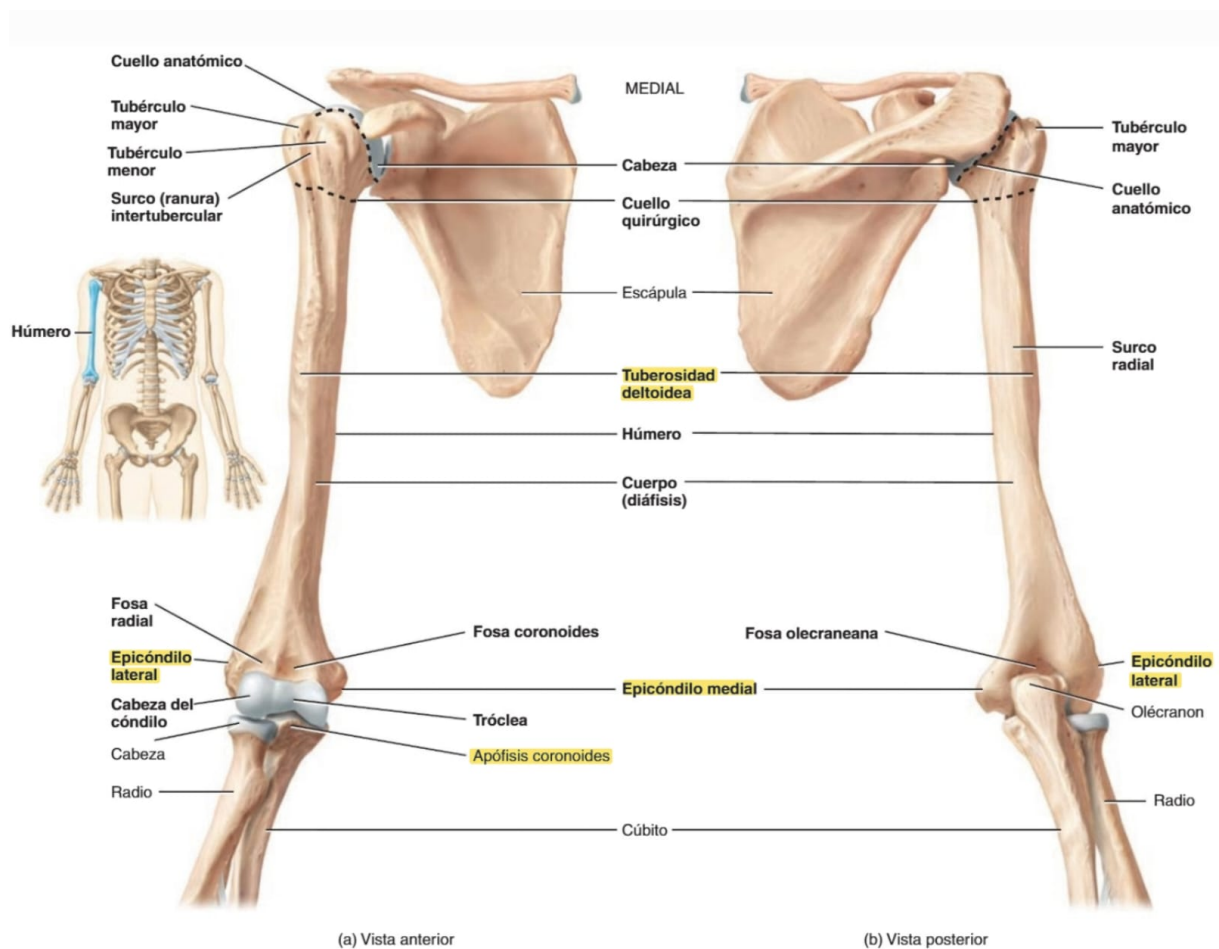


Figura 2.6: Vistas anterior y posterior del húmero, destacando la tuberosidad deltoidea y los epicóndilos. Modificado de [5].

- **Cúbito:** Se localiza en la región medial del antebrazo y presenta mayor longitud que el radio. En su extremo proximal se encuentra la apófisis coronoides, que articula con el húmero, y la tuberosidad cubital, sitio de inserción del músculo bíceps braquial. También presenta la escotadura radial, que permite la articulación con el radio.
- **Radio:** Es el hueso lateral del antebrazo. Presenta una tuberosidad radial en su cara anteromedial, que constituye un punto de inserción del músculo bíceps braquial. Su disposición, junto con el cúbito, define la configuración estructural del antebrazo y las zonas de transición anatómica relevantes (Figura 2.7).

En conjunto, estas estructuras óseas establecen las referencias anatómicas que permiten comprender la relación entre la estructura interna y la forma externa del brazo, así como la distribución de los tejidos que intervienen en la medición plicométrica.

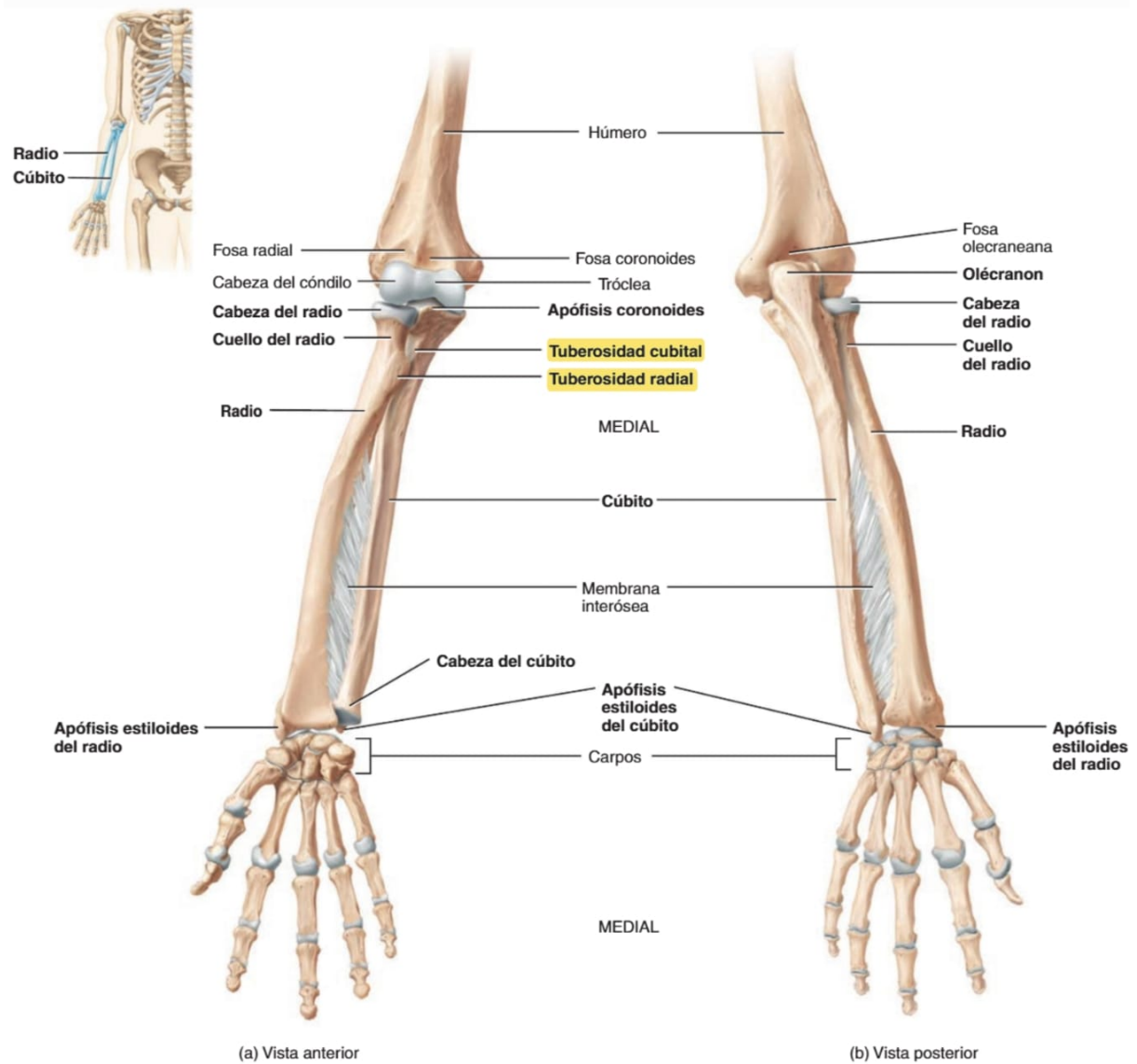


Figura 2.7: Vistas anterior y posterior del cúbito y el radio, resaltando sus zonas de inserción muscular. Modificado de [5].

2.3.2. Organización del tejido muscular y determinantes anatómicos del volumen

El análisis de la organización del tejido muscular resulta fundamental para comprender la estructura interna del brazo y los factores que determinan su volumen. De acuerdo con la miología descrita en [5], cada músculo esquelético se considera un órgano independiente constituido por tejido muscular estriado, caracterizado por la presencia de bandas proteicas alternantes visibles al microscopio y controlado de manera voluntaria por el sistema nervioso.

Cada músculo está formado por múltiples fibras musculares (miocitos), las cuales contienen miofibrillas compuestas por proteínas contráctiles, principalmente actina y miosina. La organización y cantidad de estas estructuras internas influyen directamente en la capacidad de generación de fuerza y en el volumen del músculo.

Desde el punto de vista macroscópico, el tejido muscular se encuentra rodeado por diversas capas de tejido conectivo que proporcionan soporte estructural y contribuyen a la forma externa del músculo. Separando al músculo de la piel se encuentra la hipodermis, compuesta por tejido conectivo areolar y tejido adiposo, el cual participa en la determinación del contorno corporal y actúa como reserva energética, aislante térmico y protección mecánica.

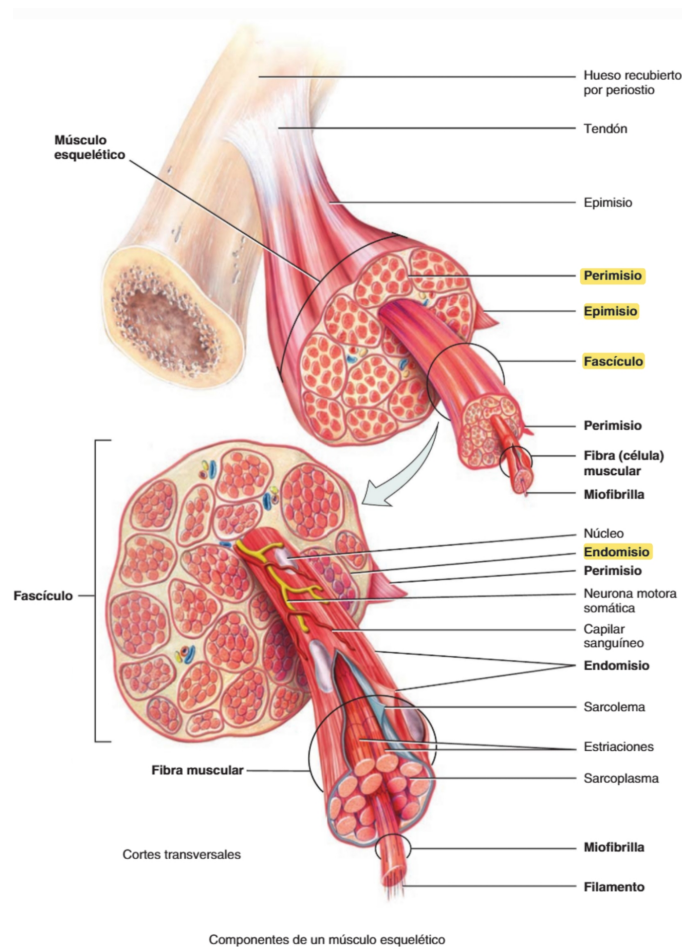


Figura 2.8: Componentes del músculo esquelético, resaltando las capas de tejido conectivo. Modificado de [5].

Adicionalmente, la fascia constituye una lámina de tejido conectivo denso que envuelve y separa los grupos musculares, permitiendo su deslizamiento y organización espacial. A partir de esta estructura se derivan tres capas principales de tejido conectivo que refuerzan el músculo (Figura 2.8):

- **Epimisio:** Capa de tejido conectivo denso que rodea completamente al músculo.
- **Perimisio:** Capa que agrupa fibras musculares en haces denominados fascículos, contribuyendo a la organización interna del músculo.
- **Endomisio:** Tejido conectivo fino que envuelve cada fibra muscular individual.

Estas capas continúan hacia los extremos del músculo para formar los tendones, los cuales permiten la transmisión de fuerza hacia el sistema óseo. Por otra parte, el aumento del volumen muscular ocurre principalmente

por hipertrofia, es decir, por el incremento en el tamaño de las fibras musculares debido a la síntesis de nuevas miofibrillas, lo que se traduce en cambios en la forma y el volumen del tejido.

En conjunto, la organización jerárquica del tejido muscular, así como la interacción con el tejido adiposo y conectivo, constituyen los principales determinantes anatómicos del volumen en la región del brazo.

2.3.3. Musculatura del brazo y sus inserciones

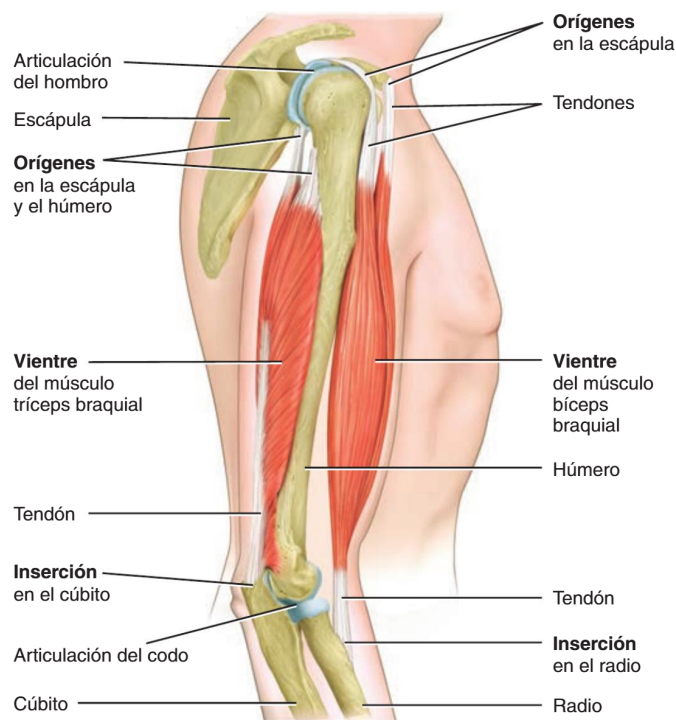


Figura 2.9: Origen e inserción de los músculos del miembro superior. Modificado de [5].

En la anatomía del sistema musculoesquelético, la unión de los músculos con el sistema óseo se describe mediante los conceptos de **origen** e **inserción**. El origen corresponde al punto de fijación del músculo en el hueso que permanece relativamente estable durante el movimiento, mientras que la inserción se refiere al punto de fijación en el hueso que se desplaza. Entre ambos extremos se encuentra el vientre muscular, que constituye la porción contráctil del músculo. Esta relación estructural determina la dirección de las fuerzas generadas y la forma en que se produce el movimiento (Figura 2.9).

La disposición de los músculos en la extremidad superior puede clasificarse en función del segmento que movilizan. Esta organización permite comprender tanto la cinemática del sistema como la distribución del volumen muscular en la región del brazo.

Músculos del tórax que mueven la cintura escapular

- Subclavio
- Pectoral menor
- Serrato anterior
- Trapecio
- Elevador de la escápula
- Romboides mayor
- Romboides menor

Estos músculos participan en la estabilización y posicionamiento de la cintura escapular, lo que condiciona indirectamente la orientación del húmero y la configuración espacial del brazo.

Músculos que mueven el húmero

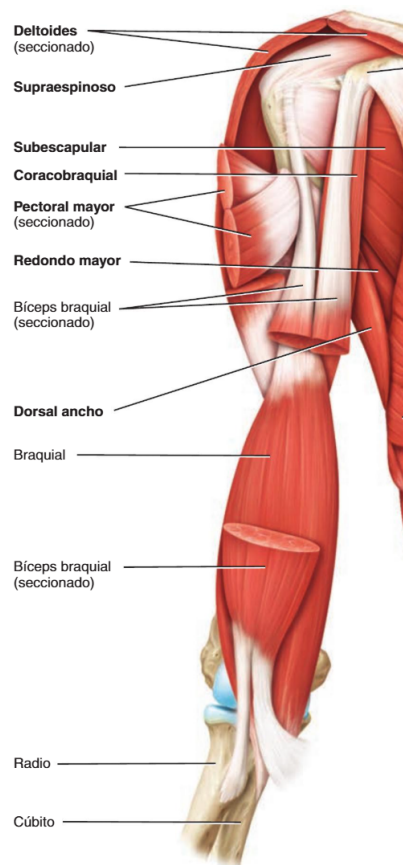


Figura 2.10: Músculos que actúan sobre el húmero. Modificado de [5].

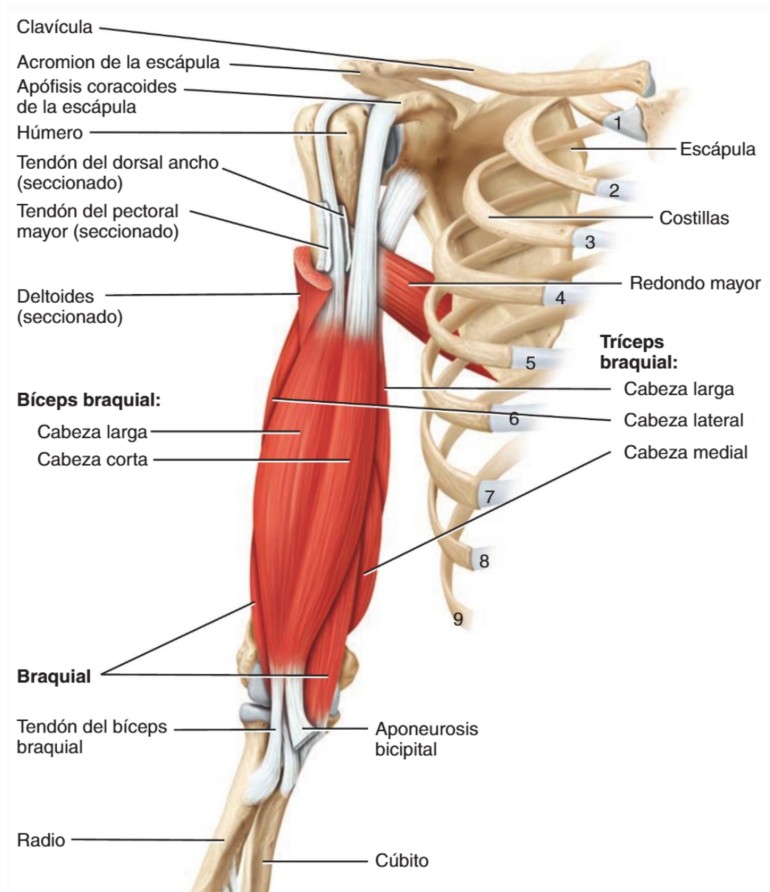


Figura 2.11: Músculos que actúan sobre el radio y el cúbito. Modificado de [5].

- Pectoral mayor
- Dorsal ancho
- Deltoides
- Subescapular
- Supraespinoso

- Infraespinoso
- Redondo mayor
- Redondo menor
- Coracobraquial

Estos músculos son responsables de los movimientos del hombro y determinan en gran medida el volumen proximal del brazo, así como su contorno externo.

Músculos del brazo que mueven el radio y el cúbito

- Bíceps braquial
- Braquial
- Braquiorradial
- Tríceps braquial
- Ancóneo
- Pronador redondo
- Pronador cuadrado
- Supinador

Este grupo muscular define principalmente el volumen y la forma del brazo en su

región media y distal, además de generar los movimientos de flexión, extensión, pronación y supinación del antebrazo.

Aunque algunos de estos músculos se originan fuera del brazo, su inclusión resulta necesaria para comprender la continuidad funcional del sistema musculoesquelético y la forma en que las fuerzas se transmiten a lo largo de la extremidad.

La disposición relativa de estos músculos alrededor del húmero puede observarse en la Figura 2.12, la cual permite identificar la organización interna del tejido y su relación con la forma externa del brazo.

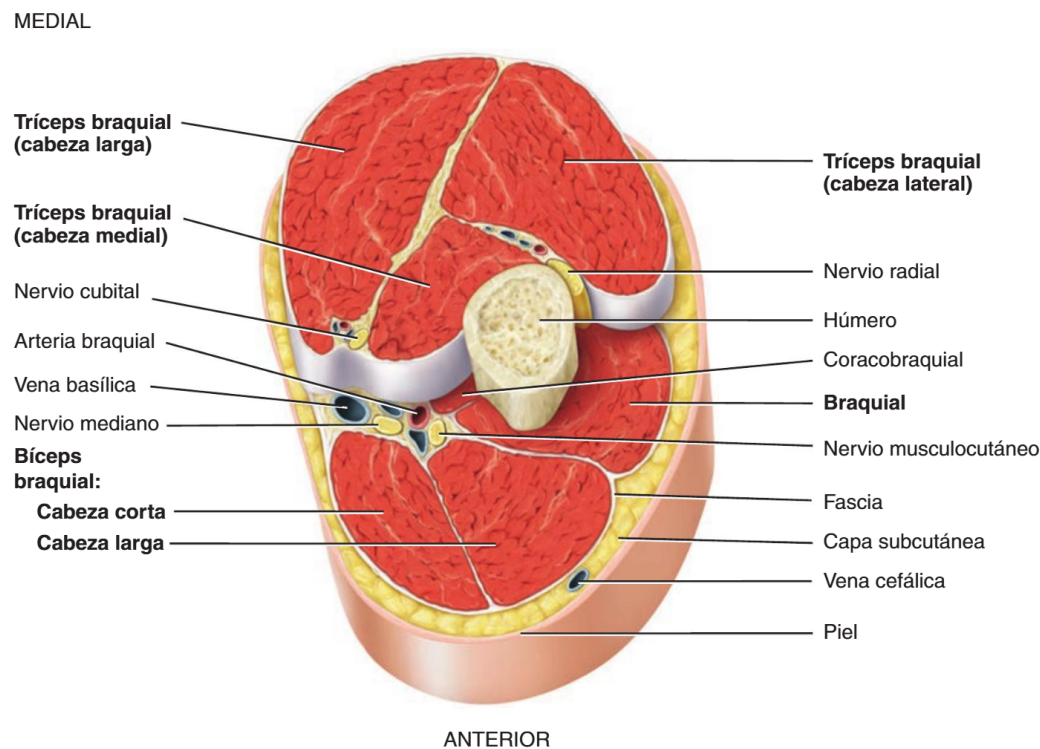


Figura 2.12: Vista transversal de los tejidos que rodean al húmero. Modificado de [5].

2.3.4. El tejido adiposo y su distribución

El tejido adiposo constituye un componente fundamental en la definición del volumen y la respuesta física del brazo. De acuerdo con la teoría histológica de [5], se clasifica como un tejido conectivo especializado cuya función principal es el almacenamiento de energía en forma de triglicéridos. Esta función es realizada por los adipocitos, células que contienen una gran gota lipídica central, la cual determina el volumen de la masa grasa del individuo.

En particular, el tejido adiposo subcutáneo, definido por García-Vázquez [3] es la capa situada entre la dermis y la fascia muscular, la cual concentra aproximadamente la mitad de los triglicéridos del cuerpo humano. Además de su función metabólica, esta capa actúa como aislante térmico y como protección mecánica para los tejidos subyacentes, como se observa en el corte transversal de la Figura 2.12. Asimismo, se reconoce como un órgano endocrino capaz de secretar hormonas y citoquinas, lo que evidencia su participación activa en la regulación fisiológica del organismo.

La distribución del tejido adiposo subcutáneo no es homogénea a lo largo del cuerpo. Ríos-Legorreta [7] describe dos patrones principales de acumulación en condiciones de

exceso de grasa corporal: la obesidad ginecoide o periférica, caracterizada por una mayor acumulación en pelvis y extremidades inferiores, y la obesidad androide, donde la acumulación se concentra en la región abdominal. Esta distribución presenta variaciones significativas en función del sexo y la edad, como lo reporta Rebato *et al.* [8], quienes identifican una mayor prevalencia de distribución central en varones y periférica en mujeres dentro de poblaciones jóvenes.

En el caso de las extremidades, además del tejido adiposo subcutáneo, se identifican depósitos intramusculares y perimusculares [3]. Sin embargo, el tejido subcutáneo constituye el componente más relevante en el contexto de la evaluación antropométrica, ya que es el tejido directamente involucrado en la formación de los pliegues cutáneos y, por tanto, en la estimación de la composición corporal.

En conjunto, la cantidad y distribución del tejido adiposo, en interacción con el tejido muscular y conectivo, determinan el volumen externo del brazo y su variabilidad entre individuos.

2.4. El proceso de diseño y el marco de innovación para el análisis comparativo

Una vez establecida la base anatómica y funcional del miembro superior, así como la variabilidad del tejido adiposo que fundamenta la técnica de la plicometría, resulta necesario contar con un marco metodológico que permita analizar la transición de estos parámetros biológicos hacia especificaciones técnicas. La integración de sistemas físicos con la fisiología humana implica un nivel de complejidad que requiere un proceso de diseño estructurado, capaz de ir más allá de la construcción empírica de componentes. En este contexto, se presenta la metodología de los Siete Modos de Innovación de Vijay Kumar como un marco teórico de referencia.

Antes de abordar este modelo, es necesario precisar la naturaleza del diseño. Para Moreno [9], el diseño es el resultado de consumir recursos con el objetivo de generar una respuesta a una motivación. Se manifiesta tanto como proceso como producto, integrándose en todas las actividades relacionadas con el ciclo de vida de una solución. Asimismo, establece que la existencia de un proceso de diseño es inevitable y que su viabilidad depende de la disponibilidad de recursos; si estos son insuficientes, el proceso no puede completarse. En consecuencia, todo proceso de diseño implica un costo de oportunidad asociado al uso de tiempo, capital y materiales.

Por su parte, Shigley *et al.* [10] definen el diseño como un proceso innovador, iterativo y orientado a la solución de problemas, el cual consiste en formular un plan para satisfacer una necesidad específica. Cuando este proceso da lugar a un artefacto físico, el resultado debe cumplir con criterios de funcionalidad, seguridad, confiabilidad y factibilidad de manufactura. Además, el diseño se caracteriza como un proceso de toma de decisiones bajo incertidumbre, donde las soluciones se ajustan conforme se dispone de nueva información.

En este sentido, el diseño puede entenderse como un proceso iterativo de formulación y desarrollo de soluciones bajo restricciones de recursos e información, en el cual convergen múltiples disciplinas para abordar problemas complejos.

Bases teóricas seguidas durante el desarrollo del prototipo de simulador médico

El proceso de desarrollo del prototipo de simulador médico se llevó a cabo mediante una serie de decisiones de diseño fundamentadas en la experiencia adquirida durante la formación académica, así como en la interacción con el contexto de aplicación. No obstante, dicho proceso no se estructuró originalmente bajo una metodología integral de innovación o diseño como la expuesta por Vijay Kumar, Design Thinking o TRIZ. Sin embargo, sí se emplearon como referencia herramientas formales de revisión técnica como los documentos PDR o CDR, provenientes de la formación obtenida de la clase "Temas selectos de Ingeniería Mecánica: Introducción al Diseño de Satélites" impartida por el M.I. David Padilla Medina durante el semestre 2024-2. De la misma fuente proviene la estructura para el planteamiento de una investigación del estado del arte así como la inspiración de la separación de un sistema complejo en subsistemas para un mejor análisis. De manera similar, de la materia "Diseño Mecatrónico" impartida por el M.I. Serafin Castañeda Cedeño en el semestre 2025-2, sirvió como referencia para el planteamiento inicial de los objetivos, alcances, necesidades, atributos de deleite y una primera organización jerárquica de los requerimientos y las funciones identificadas del prototipo de simulador médico.

Introducción a la Metodología de Vijay Kumar

Para la realización del contraste metodológico se seleccionó la propuesta por Vijay Kumar en [1], por sobre otras metodologías de diseño existentes como la Teoría para la resolución de problemas inventivos o el diseño centrado en enfoques creativos. Debido a que la metodología de Vijay Kumar no es actualmente impartida dentro del contenido de las materias de diseño en la Facultad, dándole así una mayor visibilidad y aportando diversidad metodológica.

La relación entre diseño e innovación se establece al considerar que, para Kumar [1], la innovación es una oferta viable y novedosa que genera valor tanto para el usuario como para el proveedor. No obstante, su implementación efectiva suele verse limitada por diversas concepciones erróneas. Entre ellas, la idea de que las prácticas convencionales son suficientes para generar avances significativos, cuando en realidad se requieren herramientas estructuradas que superen mejoras incrementales. Asimismo, la innovación no es exclusiva de áreas técnicas o directivas, sino que demanda colaboración interdisciplinaria. Finalmente, la planificación de la innovación no constituye una contradicción, sino una disciplina que permite sistematizar la creatividad.

Bajo esta perspectiva, Kumar propone cuatro principios fundamentales que orientan el desarrollo de procesos de innovación. El primero consiste en desarrollar innovaciones basadas en experiencias, desplazando el enfoque del objeto técnico hacia el usuario y sus necesidades. El segundo establece la importancia de concebir las soluciones como sistemas, donde interactúan múltiples actores (usuarios, organizaciones y mercados). El tercero plantea la necesidad de fomentar una cultura de innovación, entendida como una práctica colectiva y continua. Finalmente, el cuarto principio propone la adopción de procesos estructurados que permitan gestionar la complejidad y aumentar la probabilidad de éxito.

Estos principios se materializan en un modelo operativo compuesto por siete modos de actividad que estructuran el proceso de innovación en el diseño (Figura 2.13). Aunque estos pueden interpretarse como fases, se conserva la denominación de "modos" para mantener coherencia con la terminología original. Este enfoque proporciona una guía estructurada que

- | | |
|--|---|
| 1.1 Informes de actualidad emergente | 1.8 Panorama de innovación |
| 1.2 Exploración de medios masivos | 1.9 Matriz de tendencias |
| 1.3 Hechos clave | 1.10 Mapa de convergencia |
| 1.4 Compendio de fuentes de innovación | 1.11 Exploración del cambio (Desde... A...) |
| 1.5 Entrevistas con expertos en tendencias | 1.12 Mapa de oportunidades iniciales |
| 1.6 Bibliometría de palabras clave | 1.13 Mapa de Oferta-Actividad-Cultura |
| 1.7 Marco de los diez tipos de innovación | 1.14 Declaración de intención |

2.4.2. Modo 2: Comprender el entorno (*Know Context*)

En este modo se analizan los factores y dinámicas que configuran el entorno en el cual se desarrollan las soluciones de innovación. El estudio abarca dimensiones críticas (tecnología, economía, cultura y políticas gubernamentales) que permiten comprender la relación entre los actores del sector, incluyendo competidores y colaboradores.

A través de la planificación de la investigación y el análisis de diversas fuentes de información, se busca construir un diagnóstico del contexto, considerando el desempeño de soluciones existentes, la evolución de la industria y los patrones de cambio relevantes. Este análisis proporciona la base informativa necesaria para anticipar escenarios futuros y fundamentar la toma de decisiones estratégicas.

- | | |
|---|--|
| 2.1 Plan de investigación contextual | 2.8 Mapa de competidores y complementadores |
| 2.2 Búsqueda en medios de difusión masiva | 2.9 Diagnóstico de los diez tipos de innovación |
| 2.3 Investigación de publicaciones especializadas | 2.10 Diagnóstico de la industria |
| 2.4 Mapa de eras | 2.11 Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) |
| 2.5 Mapa de evolución de la innovación | 2.12 Entrevista con expertos en la materia |
| 2.6 Perfil financiero | 2.13 Discusión con grupos de interés |
| 2.7 Modelos análogos | |

2.4.3. Modo 3: Empatizar con el usuario (*Know People*)

Este modo tiene como objetivo comprender a los usuarios finales y a otras partes interesadas a partir de sus interacciones en la vida cotidiana. A diferencia de las técnicas tradicionales de investigación de mercado, que resultan más adecuadas cuando una oferta ya ha sido definida, este enfoque se orienta a la exploración de necesidades no satisfechas o no expresadas mediante métodos observacionales y etnográficos.

El propósito es generar conocimientos (*insights*) a partir de la observación del comportamiento real, los cuales surgen como interpretaciones que explican las motivaciones detrás de las acciones de las personas. Estos conocimientos permiten identificar oportunidades de innovación centradas en el usuario.

El desarrollo de este modo abarca desde la planificación de la investigación y el reclutamiento de participantes, hasta la ejecución de trabajo de campo mediante visitas, entrevistas etnográficas y técnicas de documentación visual. Asimismo, se incorporan métodos de inmersión y simulación de experiencias que permiten recolectar información cualitativa sobre factores físicos, cognitivos, sociales y culturales.

Este proceso culmina con la organización sistemática de los hallazgos en bases de conocimiento, lo que facilita la identificación de patrones de comportamiento relevantes para la comprensión del usuario.

- | | |
|--|--|
| 3.1 Mapa de participantes en la investigación | 3.8 Entrevista etnográfica |
| 3.2 Encuesta de planificación de la investigación | 3.9 Entrevista sobre fotografías del usuario |
| 3.3 Plan de investigación de usuarios | 3.10 Artefactos culturales |
| 3.4 Los cinco factores humanos | 3.11 Clasificación de imágenes |
| 3.5 Marco POEMS (<i>People, Objects, Environments, Messages and Services</i>) | 3.12 Simulación de experiencias |
| 3.6 Visita de campo | 3.13 Actividad de campo |
| 3.7 Etnografía en video | 3.14 Investigación remota |
| | 3.15 Base de datos de observaciones de usuarios |

2.4.4. Modo 4: Estructurar los hallazgos (*Frame Insights*)

Este modo se enfoca en organizar y dar sentido a la información obtenida en las etapas de investigación. A partir de datos relacionados con el contexto y los usuarios, se desarrollan procesos de clasificación, agrupamiento y análisis que permiten identificar patrones relevantes y áreas de oportunidad.

El objetivo consiste en transformar observaciones en conocimientos estructurados que revelen relaciones significativas dentro del sistema estudiado. Para ello, se integran diversos enfoques analíticos, como la identificación de conocimientos (*insights*), la agrupación de información en clústeres y la representación de sistemas mediante diagramas y modelos que describen interacciones, flujos de valor y experiencias de usuario.

Estas herramientas permiten analizar el sistema desde múltiples perspectivas, facilitando la identificación de convergencias, vacíos y puntos críticos. Como resultado, se generan marcos de referencia, perfiles y principios de diseño que sintetizan los hallazgos de la investigación.

De esta manera, este modo establece una transición entre el análisis y la síntesis, proporcionando una base estructurada para la generación de conceptos y la toma de decisiones fundamentadas.

- | | |
|---|---|
| 4.1 De observaciones a conocimientos | 4.5 Diagrama de sistemas ERAF (por sus siglas en inglés <i>Entities, Relations, Attributes and Flows</i>) |
| 4.2 Clasificación de conocimientos | 4.6 Red de valor descriptiva |
| 4.3 Consultas a bases de observaciones de usuarios | 4.7 Mapa de posicionamiento de entidades |
| 4.4 Análisis de respuestas de usuarios | |

- | | |
|--|---|
| 4.8 Diagramas de Venn | 4.14 Perfil semántico |
| 4.9 Diagramas de árbol y semirretícula | 4.15 Definición de grupos de usuarios |
| 4.10 Matriz de agrupamiento simétrico | 4.16 Mapa de experiencia integral |
| 4.11 Matriz de agrupamiento asimétrico | 4.17 Mapa de viaje del usuario |
| 4.12 Red de actividades | 4.18 Marco de síntesis |
| 4.13 Matriz de agrupamiento de conocimientos | 4.19 Generación de principios de diseño |
| | 4.20 Taller de análisis |

2.4.5. Modo 5: Conceptualización (*Explore Concepts*)

Este modo se orienta a la generación estructurada de propuestas de diseño con el fin de identificar oportunidades y explorar alternativas de innovación. A partir de los conocimientos y principios establecidos en las etapas previas, se desarrolla un proceso de síntesis que transforma los hallazgos de la investigación en conceptos de solución.

Su propósito es propiciar la creación de propuestas novedosas y consistentes mediante dinámicas colaborativas, en las cuales se favorece la construcción incremental de ideas, postergando la evaluación crítica en fases iniciales para ampliar el espacio de exploración.

El desarrollo de este modo incluye la delimitación del espacio de diseño mediante hipótesis de valor y la definición de perfiles de usuario (personas), lo que permite enfocar los esfuerzos creativos. A través de herramientas de ideación, como analogías, metáforas y matrices de generación, se desarrollan propuestas para productos, servicios o modelos de negocio.

Estas propuestas se representan inicialmente mediante prototipos de baja fidelidad, tales como bocetos, escenarios de uso o modelos esquemáticos, los cuales facilitan la comunicación de las intenciones de diseño y permiten obtener retroalimentación preliminar.

Finalmente, los conceptos generados se organizan y agrupan de manera sistemática para identificar relaciones, familias de soluciones y estructuras conceptuales. Al basarse en los resultados de los modos anteriores, las propuestas mantienen coherencia con el contexto y las necesidades identificadas.

- | | |
|--|--|
| 5.1 De principios a oportunidades | 5.10 Escenario de marionetas |
| 5.2 Mapa mental de oportunidades | 5.11 Prototipo de comportamiento |
| 5.3 Hipótesis de valor | 5.12 Prototipo de concepto |
| 5.4 Definición de personas | 5.13 Boceto de concepto |
| 5.5 Sesión de ideación | 5.14 Escenarios de concepto |
| 5.6 Matriz de generación de conceptos | 5.15 Clasificación de conceptos |
| 5.7 Metáforas y analogías conceptuales | 5.16 Matriz de agrupación de conceptos |
| 5.8 Ideación por juego de roles | 5.17 Catálogo de conceptos |
| 5.9 Juego de ideación | |

2.4.6. Modo 6: Estructurar la solución (*Frame Solutions*)

Este modo se enfoca en integrar los conceptos generados previamente para conformar sistemas coherentes de solución que respondan de manera integral a las necesidades identificadas. A partir de la evaluación de valor para los distintos actores (usuarios, organizaciones y otros interesados), se seleccionan y combinan aquellos conceptos con mayor potencial, asegurando su compatibilidad y articulación dentro de una propuesta sistémica.

El desarrollo de este modo implica la síntesis de conceptos en configuraciones estructuradas, así como su organización en categorías y jerarquías que permiten comprender su funcionamiento como un todo. Para ello, se emplean herramientas de evaluación, mapeo de valor y modelado que facilitan la comparación entre alternativas y la toma de decisiones fundamentadas en criterios de viabilidad, factibilidad e impacto.

De manera iterativa, las soluciones se representan mediante diagramas, narrativas y prototipos que permiten explorar su comportamiento en distintos contextos. Estas representaciones no solo comunican la propuesta, sino que también permiten validar supuestos, identificar áreas de mejora y refinar la solución.

Como resultado, se obtienen configuraciones de solución estructuradas que integran múltiples componentes en un sistema coherente, estableciendo una base sólida para su desarrollo e implementación.

6.1 Síntesis morfológica

6.8 Representación actuada de la solución

6.2 Evaluación de conceptos

6.9 Prototipo de solución

6.3 Red de valor prescriptiva

6.10 Evaluación de soluciones

6.4 Mapa de vinculación de conceptos

6.11 Hoja de ruta de solución

6.5 Escenarios prospectivos

6.12 Base de datos de soluciones

6.6 Diagramación de soluciones

6.13 Taller de síntesis

6.7 Guion gráfico de solución

2.4.7. Modo 7: Materializar la solución (*Realize Offerings*)

Este modo se orienta a la transición de las soluciones estructuradas hacia su implementación, con el objetivo de asegurar que generen valor para los usuarios y los distintos actores involucrados. Se enfoca en consolidar propuestas viables desde una perspectiva estratégica, económica y operativa, considerando su sostenibilidad y pertinencia dentro del contexto de aplicación.

El desarrollo de este modo implica la definición de estrategias que establecen el posicionamiento de la solución, los modelos de operación, las posibles alianzas y las plataformas necesarias para su implementación. A partir de estas estrategias, se derivan planes que identifican capacidades requeridas, recursos y trayectorias de desarrollo.

Asimismo, se estructuran iniciativas que permiten llevar la solución hacia escenarios de validación, incluyendo pruebas piloto y procesos de despliegue progresivo. Estas actividades facilitan la evaluación del desempeño de la solución en condiciones cercanas a su uso real.

Como parte del proceso, se elaboran hojas de ruta que describen la evolución de la solución en distintos horizontes temporales, favoreciendo la coordinación entre actores y la planificación del desarrollo. Finalmente, se desarrollan herramientas de comunicación que

permiten expresar de manera clara el valor de la propuesta y apoyar la toma de decisiones para su implementación.

7.1 Hoja de ruta estratégica

7.6 Plan de competencias

7.2 Plan de plataforma

7.7 Plan de conformación de equipos

7.3 Taller de planeación estratégica

7.8 Declaración de visión

7.4 Desarrollo y prueba piloto

7.9 Documento de innovación

3. Estado del arte

3.1. Investigación comparativa de metodologías de diseño

En la literatura se han desarrollado diversos enfoques para la comparación de metodologías de diseño, los cuales difieren principalmente en la dimensión desde la cual se realiza el análisis. En este sentido, es posible identificar trabajos que evalúan el desempeño de distintas metodologías a partir de su aplicación en un sistema específico, como lo realizaron Ramírez *et al.* en [11], quienes comparan métodos para el cálculo del área superficial en humedales con el objetivo de determinar su adecuación para dicha aplicación. De manera similar, Bahill *et al.* [12] proponen una comparación basada en la resolución de un problema de referencia, evaluando el desempeño de 11 metodologías de diseño en el desarrollo de un controlador para un sistema de semáforos.

Por otro lado, existen enfoques orientados al análisis estructural de las metodologías, como el desarrollado por Gericke y Blessing en [13], quienes comparan modelos provenientes de distintas disciplinas con el objetivo de identificar similitudes a nivel abstracto, planteando la existencia de un núcleo común en los procesos de diseño. Complementariamente, Martínez *et al.* [14] presentan un análisis comparativo basado en la caracterización de metodologías a partir de un conjunto de factores (palabras clave), mediante el cual distinguen entre enfoques tradicionales y ágiles en función de la predominancia de dichos atributos.

En conjunto, estos trabajos evidencian que la comparación de metodologías de diseño se ha abordado desde múltiples perspectivas (aplicación, estructura y caracterización), cada una de ellas enfocada en distintos aspectos del proceso de diseño. No obstante, en los trabajos revisados no se identifican enfoques orientados a integrar procesos de diseño ya ejecutados dentro de un marco metodológico común que permita analizar su correspondencia estructural.

3.2. Marcos de innovación y resolución de problemas técnicos

Tras revisar enfoques comparativos empleados en la literatura para contrastar metodologías de diseño, resulta pertinente considerar también marcos orientados a la innovación y a la resolución de problemas técnicos, los cuales han sido adoptados en contextos de

ingeniería para estructurar la generación de soluciones. En esta sección se sintetizan, a partir de la literatura, fundamentos y aplicaciones reportadas de dichas metodologías, con énfasis en su lógica de uso y su integración con otros enfoques.

3.2.1. Teoría para la resolución de problemas inventivos (TRIZ)

De acuerdo con la revisión de Ilevbare *et al.* [15], TRIZ (del ruso *teoriya rezheniya izobretatelskikh zadach*) se define como una metodología sistemática y un conjunto de herramientas que proporciona un enfoque lógico para el desarrollo creativo, la innovación y la resolución inventiva de problemas. Desarrollada originalmente para el ámbito tecnológico por Genrich Altshuller, esta teoría se fundamenta en el estudio de aproximadamente 400 000 patentes, a partir de las cuales se identifican regularidades y patrones que rigen los procesos de resolución de problemas. La premisa central establece que la evolución tecnológica y el camino hacia la invención no constituyen procesos aleatorios, sino que son predecibles y están gobernados por leyes específicas.

En el plano operativo, TRIZ se caracteriza por proponer una transición desde problemas específicos hacia formulaciones conceptuales, con el fin de vincularlos con soluciones conceptuales (principios inventivos, tendencias de evolución o soluciones estándar) que posteriormente se traducen al contexto técnico original [15]. Este proceso requiere que un problema real se reduzca a sus componentes esenciales y se exprese en un formato abstracto; esto permite contrastarlo con soluciones teóricas predefinidas que sirven de base para generar una solución concreta al problema inicial.

Ilevbare *et al.* [15] describen tres pilares conceptuales en TRIZ: la contradicción, la idealidad y los patrones de evolución. Las contradicciones representan la incompatibilidad entre características deseadas dentro de un sistema, cuya resolución permite eliminar conflictos técnicos sin recurrir a compromisos o soluciones de compromiso. La idealidad se vincula con el concepto de resultado final ideal (*Ideal Final Result* o IFR) y funciona como una métrica para orientar la optimización del sistema. Por último, los patrones de evolución se derivan de la observación de regularidades históricas en los sistemas técnicos y se utilizan para prever trayectorias de desarrollo tecnológico.

Las herramientas de la metodología se clasifican en tres grupos principales [15]: analíticas (dedicadas a definir, formular y modelar el problema), basadas en conocimiento (que proveen recomendaciones para la transformación del sistema) y operadores psicológicos (orientados a mitigar la inercia mental y facilitar el proceso creativo). No obstante, se señala que TRIZ no establece una secuencia estricta o un procedimiento único para la aplicación de dichas herramientas, lo cual da lugar a una variedad de esquemas de implementación según el autor o la aplicación específica.

Respecto a los desafíos en la práctica, Ilevbare *et al.* [15] reportan que algunos usuarios perciben la metodología como rígida y difícil de adaptar a situaciones diversas. Entre las barreras identificadas destacan la complejidad en la adquisición del conocimiento, la percepción de que su dominio profundo está limitado a grupos especializados, la exigencia de una inversión significativa de tiempo y la necesidad de experiencia práctica previa para obtener resultados efectivos. Asimismo, se menciona la ausencia de una guía estandarizada que regule las mejores prácticas para su implementación.

A pesar de estas limitaciones, la literatura registra aplicaciones exitosas en la ingeniería mecatrónica y mecánica. Por ejemplo, Günay *et al.* [16] proponen un marco basado en TRIZ para facilitar la remanufactura de unidades de control de transmisión (TCU), donde el uso de selladores dificulta el desensamble y pone en riesgo componentes electrónicos.

Mediante la formulación de contradicciones y el uso de principios inventivos, se desarrolla una alternativa de diseño basada en ensambles por interferencia (*snap-fit*), cuya viabilidad se valida mediante análisis económicos.

Finalmente, la integración de TRIZ con otros métodos es una práctica común para incrementar su efectividad. Ilevbare *et al.* [15] refieren casos de uso conjunto con el Despliegue de la Función de Calidad (QFD por sus siglas en inglés *Quality Function Deployment*), Six Sigma y el modelo de Kano. En una vertiente contemporánea, Donnici *et al.* [17] exploran el enfoque TRIZ–AI, en el cual se utiliza TRIZ para la resolución de contradicciones técnicas y se emplean modelos de lenguaje de gran escala (*Large Language Models*, LLM) para asistir en la traducción de principios genéricos hacia propuestas técnicas específicas, especialmente durante las fases conceptuales y las etapas preliminares del diseño.

3.2.2. Diseño centrado en el usuario y enfoques creativos (*Design Thinking*)

El *Design Thinking* (DT), de acuerdo con la revisión de Waidelich *et al.* [18], se plantea como un enfoque de innovación centrado en el usuario, ampliamente adoptado en el ámbito empresarial y en el desarrollo de soluciones creativas. Su origen se asocia a prácticas de diseño impulsadas por la firma IDEO, las cuales han sido posteriormente formalizadas y adaptadas por distintos autores, dando lugar a múltiples interpretaciones del proceso.

A diferencia de metodologías estructuradas como TRIZ, el DT no presenta un modelo único y consistente, sino que se caracteriza por la existencia de diversas configuraciones del proceso. En este sentido, Waidelich *et al.* [18] identifican 35 modelos distintos a partir del análisis de 500 fuentes, evidenciando que cada autor define sus propias fases, actividades y secuencias de implementación en función del contexto de aplicación.

No obstante, se observan patrones comunes en la mayoría de los modelos, los cuales suelen iniciar con fases de entendimiento o definición del problema, orientadas a la comprensión del contexto y de las necesidades del usuario. Posteriormente, se desarrollan etapas de ideación y prototipado, en las cuales se generan y materializan soluciones potenciales. Finalmente, el proceso converge en fases de evaluación, con algunas variantes que incluyen también la implementación de la solución.

El DT se concibe como un enfoque basado en trabajo colaborativo, en el cual participan equipos multidisciplinarios que integran distintas perspectivas durante la resolución de problemas. Su énfasis no reside únicamente en el objeto diseñado, sino en el proceso seguido para su desarrollo, el cual prioriza la generación de empatía con el usuario, la redefinición del problema, la exploración de alternativas y la validación iterativa mediante prototipos.

En términos de aplicación, el DT se emplea en una amplia variedad de contextos, desde entornos educativos hasta desarrollos industriales. Por ejemplo, Ramos [19] plantea su uso como herramienta para la sistematización de procesos artísticos en educación secundaria, mientras que Mejía *et al.* [20] lo aplican en el desarrollo de una cortadora automática CNC (por sus siglas en inglés *Computer Numerical Control*), evidenciando mejoras en la optimización del espacio, la reducción de costos y el incremento en la seguridad del sistema.

Estas aplicaciones muestran la flexibilidad del DT como enfoque creativo y colaborativo; sin embargo, su diversidad de modelos dificulta establecer una estructura única de referencia para comparar procesos de diseño desarrollados en contextos distintos.

3.3. Síntesis y vacíos en la literatura científica

La revisión de la literatura muestra que las metodologías de diseño y los marcos de innovación han sido estudiados desde perspectivas diversas. Algunos trabajos comparan metodologías a partir de su aplicación en problemas específicos, mientras que otros analizan su estructura abstracta o caracterizan sus atributos mediante factores comunes. Asimismo, enfoques como TRIZ y Design Thinking evidencian la existencia de herramientas útiles para la resolución de problemas técnicos, la generación creativa de soluciones y la comprensión de necesidades centradas en el usuario.

No obstante, los estudios revisados presentan diferencias importantes en cuanto a su propósito, escala de análisis y grado de estructuración. Mientras TRIZ ofrece herramientas sistemáticas para resolver contradicciones técnicas, su aplicación puede resultar compleja y no siempre define una secuencia única de implementación. Por su parte, Design Thinking proporciona un enfoque flexible y centrado en el usuario, aunque su diversidad de modelos dificulta establecer un marco homogéneo para su comparación. En consecuencia, la literatura evidencia una tensión entre metodologías altamente estructuradas y enfoques flexibles, sin que exista necesariamente una integración directa entre ambos extremos.

3.3.1. Falta de consenso en la efectividad de las metodologías

La efectividad de una metodología de diseño depende del contexto de aplicación, del tipo de problema abordado, de los recursos disponibles y del grado de experiencia del equipo que la implementa. Por esta razón, los estudios comparativos revisados no permiten establecer una superioridad absoluta de una metodología sobre otra, sino que muestran desempeños variables según el criterio de evaluación utilizado.

En los trabajos orientados a la comparación por aplicación, la metodología se evalúa a partir de su desempeño frente a un caso concreto. Este enfoque permite observar resultados prácticos, pero limita la generalización de las conclusiones, debido a que los resultados dependen de las características particulares del sistema estudiado. En contraste, los estudios estructurales permiten identificar similitudes y diferencias entre modelos de diseño, aunque no necesariamente explican cómo se comportan dichos modelos durante la ejecución real de un proyecto.

Esta falta de consenso evidencia la necesidad de analizar los procesos de diseño desde una perspectiva que no busque únicamente determinar cuál metodología es superior, sino comprender cómo las actividades realizadas se relacionan con una estructura metodológica de referencia. Bajo esta visión, el análisis comparativo permite evaluar la correspondencia entre un proceso ejecutado y un marco formal, identificando fortalezas, vacíos y oportunidades de mejora.

3.3.2. La necesidad de una estructura sistémica en proyectos mecatrónicos

Los proyectos mecatrónicos presentan una complejidad particular debido a la integración simultánea de componentes mecánicos, electrónicos, de control, manufactura e interacción con el usuario. Esta condición exige procesos de diseño capaces de articular información proveniente de distintas disciplinas y traducirla en decisiones técnicas coherentes.

En este tipo de proyectos, el desarrollo de soluciones no puede reducirse a la selección aislada de componentes ni a la construcción empírica de prototipos. Por el contrario,

requiere una estructura que permita relacionar necesidades, restricciones, principios de funcionamiento, arquitectura del sistema, pruebas y criterios de validación. La ausencia de dicha estructura puede dificultar la trazabilidad entre el problema inicial, las decisiones de diseño y la solución implementada.

En este contexto, un marco sistémico como el propuesto por Kumar resulta pertinente para analizar procesos de diseño ya ejecutados, ya que permite organizar actividades de investigación, interpretación, conceptualización, estructuración e implementación dentro de una secuencia flexible e iterativa. Su utilidad no radica únicamente en guiar la generación de innovación, sino también en servir como herramienta de contraste para identificar qué etapas del proceso fueron abordadas, cuáles quedaron insuficientemente desarrolladas y cómo se relacionan las decisiones tomadas con una lógica metodológica más amplia.

Por lo tanto, el vacío identificado en la literatura se ubica en la ausencia de análisis que integren procesos de diseño mecatrónico ya realizados dentro de un marco metodológico común, con el fin de evaluar su estructura, trazabilidad y correspondencia con actividades propias de la innovación en diseño. Este vacío fundamenta la pertinencia del análisis comparativo desarrollado en el presente trabajo.

4. Metodología para el contraste del proceso de diseño

El presente capítulo describe el procedimiento empleado para contrastar el proceso de diseño con los 101 métodos agrupados en los siete modos de Vijay Kumar. Además, expone la metodología de registro y mapeo que transforma las acciones realizadas durante el desarrollo del prototipo en unidades analíticas susceptibles de comparación con dicho marco.

4.1. Delimitación y alcance operativo

El alcance de este análisis retrospectivo comprende el periodo iniciado en la fase de exploración para la identificación de oportunidades de mejora en la enseñanza dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo el marco de un proyecto del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME). El estudio concluye con el ensamblaje final del prototipo y se estructura siguiendo el orden cronológico de ejecución de las fases documentadas.

Adicionalmente, se establece la correspondencia entre los objetivos planteados originalmente y los resultados materializados en el prototipo de simulador médico, delimitando las funcionalidades pendientes como líneas de trabajo futuro. La documentación pormenorizada de cada fase, integrada por las fichas de acciones y resultados, se presenta en el Capítulo 5; por su parte, la síntesis interpretativa y la representación gráfica del mapeo metodológico se exponen en el Capítulo 6.

4.2. Definiciones operativas y criterios básicos

Para el desarrollo del mapeo se establecen las siguientes definiciones operativas:

- **Mapeo:** Operación de vinculación jerarquizada que parte de la correlación entre la fase documentada y los 101 métodos propuestos por Vijay Kumar (Anexo A). La identificación de asociaciones se realiza bajo el juicio y entendimiento del autor respecto a la metodología expuesta por Kumar en su obra de referencia. Si se identifica correspondencia con uno o varios métodos, la fase se asigna a estos y, por extensión, al Modo que los contiene. En ausencia de correspondencia metodológica, se aplica el Criterio de exclusión.
- **Fase:** Unidad mínima de análisis correspondiente a una secuencia de acciones cohesivas con un objetivo específico durante el desarrollo del prototipo de simulador médico.
- **Iteración:** Consiste en una fase que retoma el propósito específico de la fase inmediata anterior, pero incorpora ajustes derivados de los resultados de la realización previa.
- **Ficha:** Formato de registro empleado para documentar cada fase del proyecto. Su propósito es estructurar la memoria técnica y facilitar el análisis metodológico.
- **Prueba de concepto (POC):** Evaluación limitada orientada a verificar la viabilidad de una idea, componente o técnica específica en el contexto del prototipo de simulador médico.
- **Categorías de correspondencia:** Clasificación cualitativa del grado de alineación entre la fase y el método de Kumar, según el juicio analítico del autor basado en la evidencia técnica disponible.
- **Plena:** Condición en la que las acciones y el propósito de la fase coinciden de forma sustantiva con la descripción de un método de Kumar.
- **Parcial:** Condición en la cual una fracción de las acciones o la intención de la fase guarda relación con un método de Kumar, mientras que otros elementos de la fase no se ajustan o remiten a métodos distintos.
- **Nula:** Condición en la que no se identifica correspondencia alguna entre las acciones de la fase y los métodos de Kumar.
- **Criterio de exclusión:** Proceso en el cuál se evalúa la alineación de la fase con el *mindset* de alguno de los siete modos (Figura 2.13); en caso positivo, la fase se mapea al Modo correspondiente mediante justificación basada en evidencia.

4.3. Procedimiento de reconstrucción

El procedimiento de reconstrucción transforma el proceso de diseño en una secuencia de fases documentadas mediante fichas individuales. En estas se registran las acciones realizadas, su motivación, actores involucrados, resultados y la asociación a algún método o modo de Vijay Kumar.

La síntesis gráfica del mapeo consiste en una integración entre el diagrama de los siete modos, empleado por Kumar para ejemplificar la naturaleza no lineal del diseño (Figura 4.1), y el diagrama de proceso iterativo (Figura 4.2). Esta representación se construye a partir de las asociaciones registradas en las fichas, ordenadas cronológicamente desde

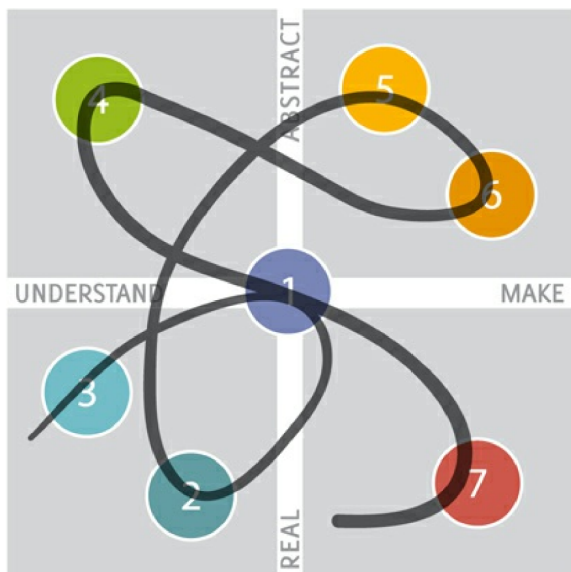


Figura 4.1: Los cuatro cuadrantes del método de los 7 modos de Kumar mostrando una secuencia no lineal en el proceso de diseño. Extraído de [1].



Figura 4.2: Los cuatro cuadrantes del método de los 7 modos de Kumar mostrando una secuencia iterativa en el proceso de diseño. Extraído de [1].

la acción más antigua (posicionada en el centro) hacia la más reciente (colocada en la periferia), conforme se suceden las coincidencias en los modos.

Flujo operativo:

1. **Identificación y caracterización de la fase:** A partir de la memoria técnica y los registros de trabajo, se identifica la fase y se le asigna un número cronológico. Se extraen metas, acciones, artefactos y actores para completar la ficha correspondiente según la plantilla de la Sección 4.4.
2. **Evaluación jerarquizada de correspondencia:**
 - a) Se busca primero la correspondencia con los 101 métodos de Kumar; de existir, se registra el método y el modo derivado, asignando la categoría (Plena o Parcial).
 - b) En caso de no identificar correspondencia con un método, se evalúa la alineación con el *mindset* de alguno de los modos.
 - c) Si no se detecta alineación con métodos ni con el *mindset*, se asigna como "nula".
3. **Avance secuencial:** Concluida la ficha de una fase, se procede con la siguiente hasta completar la serie cronológica del desarrollo del prototipo.
4. **Tratamiento del paralelismo:** Las acciones concurrentes para un mismo objetivo se documentan como sub-bloques en la misma ficha. Si una acción paralela posee un objetivo independiente, se registra como una fase distinta con numeración propia.
5. **Síntesis y mapeo global:** Con las fichas finalizadas, se procede a la construcción de la representación gráfica del mapeo sobre el diagrama de los siete modos.

4.4. Estructura y componentes de la ficha de análisis

La ficha de análisis constituye el instrumento fundamental para la captura de datos y la posterior sistematización metodológica. Su propósito es doble: primero, actuar como un repositorio técnico que preserva la trazabilidad de las decisiones de diseño y, segundo, servir como la unidad de información primaria para el mapeo retrospectivo. Cada fase identificada en el proceso de desarrollo cuenta con una ficha única, cuya estructura se detalla a continuación:

Identificador y Título: Código numérico secuencial (ID) que establece el orden cronológico de la fase, acompañado de un título sintético que describe la acción o decisión central.

Caracterización técnica: Espacio dedicado a la descripción objetiva de la fase. Incluye las siglas de los actores involucrados (véase Anexo B) y la descripción detallada de las acciones realizadas.

Motivación y objetivos: Expone la causalidad de la fase, respondiendo al porqué de la acción. Este campo es crítico para el mapeo, ya que permite identificar la intención del diseño, facilitando la correlación con el *mindset* de los modos de Kumar.

Resultados: Registro de los productos generados (planos, códigos, información obtenida, bitácoras, prototipos parciales) y el efecto observable de la fase en el desarrollo global del proyecto.

Componente de vinculación metodológica: Sección donde se registra el juicio analítico del autor respecto al marco de Kumar. Incluye:

- **Métodos de referencia:** Identificación de los métodos de Kumar cuya práctica se asemeja a la acción documentada.
- **Clasificación de correspondencia:** Valoración cualitativa (Plena, Parcial o Nula) de la similitud detectada.
- **Alineación modal:** Determinación del Modo o Modos resultantes, ya sea por derivación del método o por alineación directa con el *mindset*.

Justificación del mapeo: Breve argumentación técnica que sustenta la asociación realizada, referenciando la descripción del método en la obra original de Kumar frente a la evidencia de la fase.

4.5. Plantilla para las fichas

Ficha #N — Título breve de la fase

Actores: [Personal involucrado]

Descripción: [Resumen objetivo de la acción o decisión técnica]

Motivación / Objetivo: [Razón de la fase y meta buscada]

Resultado: [Artefactos generados y observaciones técnicas]

Asociación con Kumar: [Método ID - Nombre] / [Modo ID - Nombre]

Nivel de correspondencia: [Plena / Parcial / Nula]

Justificación: [Argumentación técnica que sustenta la asignación]

5. Desarrollo del contraste metodológico

El presente capítulo constituye el núcleo activo de la investigación: se reconstruye sistemáticamente el proceso de diseño del prototipo de simulador médico mediante la catalogación de fases. Cada unidad de análisis se presenta mediante la ficha descrita en el Capítulo 4, integrando la memoria técnica con el análisis retrospectivo basado en los métodos y modos de Vijay Kumar.

5.1. Estructura de la catalogación

Con el fin de facilitar la lectura y mantener la coherencia con la ejecución cronológica del proyecto, la catalogación se divide en tres bloques principales que corresponden a los hitos documentales del desarrollo:

- **Bloque I: Fase de exploración, identificación y propuesta:** En esta sección se documenta el tránsito desde la idea semilla y el análisis de necesidades odontológicas y nutricionales en campo, hasta la definición de criterios técnicos y pedagógicos que fundamentaron la propuesta original y su posterior reestructuración ante la convocatoria Capital Semilla 2025.
- **Bloque II: Aceptación, puesta a punto del equipo de trabajo e investigaciones del estado del arte:** Comprende la formalización del proyecto por Capital Semilla, la adecuación de la infraestructura y la ampliación del equipo de trabajo; incluye la asignación de subsistemas a los integrantes, la investigación bibliográfica que fundamentó la adquisición de insumos experimentales y la implementación de protocolos base extraídos de la literatura.
- **Bloque III: Diseño preliminar y experimentación:** Agrupa la adaptación de los hallazgos del estado del arte en propuestas de implementación para los subsistemas óseo, muscular, adiposo y cutáneo, así como la definición de requerimientos técnicos y materiales necesarios para su experimentación.
- **Bloque IV: Definición de criterios de integración:** Documenta la especificación de interfaces y elementos de sujeción entre subsistemas, y el desarrollo de los sistemas de instrumentación, control y alimentación. Establece los criterios de acoplamiento requeridos para transitar de componentes aislados a un sistema integrado, incluyendo la implementación de la interfaz hombre-máquina (HMI).
- **Bloque V: Construcción del prototipo:** Describe el ensamblaje final, la validación funcional del sistema integrado y la elaboración de la documentación técnica y de operación.

5.2. Bloque I: Fase de exploración, identificación y propuesta

Comprende el periodo de gestación de la idea original en el marco de la convocatoria PAPIME, el proceso de validación etnográfica mediante entrevistas para la detección de áreas de oportunidad clínica y la definición de criterios de diseño que priorizaron la simulación de plicometría frente a propuestas iniciales; finalmente, documenta la formalización de la propuesta técnica y su reorientación estratégica hacia los estándares de desarrollo y escalabilidad exigidos por la convocatoria Capital Semilla 2025.

5.2.1. Ficha 1 — Encargo inicial y generación de la idea

Actores: JASR; UMJ; JUCG.

Descripción: El 9 de agosto de 2024, el Dr. JASR encomendó a JUCG y UMJ la elaboración de una propuesta de proyecto conforme a los lineamientos de la convocatoria del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME). A partir de este encargo surgió la idea semilla del proyecto: un simulador para la práctica de anestesia en el paladar, con lo cual se inició la exploración de necesidades.

Motivación / Objetivo: Formular una propuesta de innovación educativa alineada con la convocatoria PAPIME, a partir de una problemática identificada en la práctica odontológica, para valorar su viabilidad y pertinencia.

Resultados: Surgió la idea inicial de simulación y se acordó iniciar una consulta de campo para consolidar la propuesta.

Asociación con Kumar: Método 1.14 Declaración de intención (*Intent Statement*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se documenta un encargo inicial orientado a elaborar una propuesta de proyecto con base en la convocatoria PAPIME, a partir de una problemática detectada en la práctica odontológica, lo que derivó en una idea semilla y en la decisión de iniciar una consulta de campo para consolidar la propuesta. Esta secuencia se vincula con la finalidad del método, en tanto busca establecer una intención inicial de innovación a partir de oportunidades identificadas y otorgar una dirección preliminar al proyecto. De igual manera, la lógica operativa del método, centrada en revisar oportunidades, delimitar su alcance, adoptar un punto de vista inicial y redactar una declaración de intención, se refleja de manera sustantiva en el tránsito desde la idea emergente hacia una formulación preliminar del proyecto. No obstante, no se registran insumos previos propios del método, como hallazgos sistematizados, tendencias o mapas de oportunidad, ni se explicita una declaración de intención formalmente redactada. En consecuencia, la correspondencia es directa en su núcleo orientador, aunque parcial en su ejecución, dado que comparte la finalidad de orientar el proyecto, pero aún no integra todos los componentes requeridos para una coincidencia plena.

5.2.2. Ficha 2 — Diseño del instrumento de consulta y planificación de entrevistas

Actores: UMJ (redacción); JUCG (revisión y validación).

Descripción: Se elaboró un cuestionario en la plataforma Google Forms para recabar información sobre las necesidades de simulación en distintas disciplinas de la salud. Su

aplicación se programó para el 13 de agosto de 2024, en función de la coincidencia horaria entre los integrantes operativos del equipo.

Motivación / Objetivo: Disponer de un instrumento estructurado que orientara la recolección de evidencias sobre las limitantes de los simuladores comerciales y las oportunidades de mejora tecnológica en la formación de estudiantes.

Resultados: Quedó definido el instrumento de consulta y se estableció la estrategia logística para la recolección de datos en campo.

Asociación con Kumar: Método 3.2 Encuesta de planificación de la investigación (*Research Planning Survey*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se diseñó un cuestionario en Google Forms para recabar información sobre necesidades de simulación en distintas disciplinas de la salud y se definió una estrategia logística para su aplicación el 13 de agosto de 2024; estas acciones respondieron al propósito de contar con un instrumento estructurado que orientara la recolección de evidencias sobre las limitantes de los simuladores comerciales y las oportunidades de mejora tecnológica en la formación de estudiantes. Lo anterior coincide con el *What it does* del método, en tanto propone el uso de cuestionarios breves y tempranos para comprender actividades y actitudes, obtener una visión rápida del tema e identificar patrones de interés que permitan delimitar el enfoque de la investigación detallada. Asimismo, la ficha se ajusta a la lógica de *How it works* al incorporar la formulación de preguntas, la elaboración del instrumento mediante una herramienta digital y la planificación de su aplicación en un grupo definido. No obstante, no se documenta el análisis de patrones resultante, ni la selección de participantes para fases etnográficas posteriores, ni la reorientación de los planes de investigación a partir de hallazgos preliminares. En consecuencia, la correspondencia es directa en su fase instrumental y de planificación temprana, pero parcial en su ejecución, ya que omite componentes analíticos y de selección que forman parte del método.

5.2.3. Ficha 3 — Ejecución de entrevistas de campo (Feria y facultades)

Actores: JUCG (aplicación); UMJ (acompañamiento).

Descripción: El 13 de agosto de 2024 se realizaron entrevistas presenciales en la Feria del Libro de Ciencias de la Salud y en la Facultad de Odontología. Se entrevistó aproximadamente a 16 estudiantes de Medicina, 8 de Nutrición y 12 de Odontología. La modalidad prevista, consistente en una encuesta digital, se sustituyó por entrevistas orales con el fin de profundizar en las respuestas.

Motivación / Objetivo: Obtener información primaria y directa de estudiantes y profesores para validar la pertinencia de potenciales soluciones de simulación y detectar áreas concretas de oportunidad en la formación práctica.

Resultados: Se recolectaron testimonios cualitativos y observaciones *in situ* que permitieron identificar temas recurrentes en cada disciplina (ver Ficha 4 para el análisis detallado) y generar la evidencia empírica necesaria para priorizar opciones de intervención.

Asociación con Kumar: Método 3.8 Entrevista etnográfica (*Ethnographic Interview*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se realizaron entrevistas presenciales y observaciones *in situ* con estudiantes y profesores de Medicina, Nutrición y Odontología, y la modalidad prevista, basada en una encuesta digital, se sustituyó por entrevistas orales abiertas para profundizar en las respuestas. Estas acciones respondieron al propósito de obtener información primaria y

directa para validar la pertinencia de soluciones de simulación y detectar áreas concretas de oportunidad. Ello coincide con el *What it does* del método, en tanto las entrevistas etnográficas permiten comprender actividades y experiencias desde la perspectiva de las personas en su entorno natural, favoreciendo relatos abiertos y demostraciones *in situ*. Asimismo, la ejecución refleja la lógica operativa de *How it works*, al incorporar la visita de campo y la conversación orientada a construir confianza y captar testimonios y observaciones; además, la adaptación metodológica realizada en terreno es coherente con el carácter exploratorio del método. No obstante, no se documentó un protocolo formal de entrevista ni un kit de recursos o formularios de permiso claramente especificados, y tampoco se registró explícitamente un resumen informativo inmediato con el equipo tras cada entrevista. En consecuencia, la correspondencia es directa pero parcial, ya que el propósito central y las prácticas esenciales se cumplen, aunque faltan elementos de documentación y de cierre operativo que completan la lógica del método.

5.2.4. Ficha 4 — Recuperación y análisis de datos de campo

Actores: JASR; UMJ; JUCG.

Descripción: El 14 de agosto de 2024 se analizaron los hallazgos de las entrevistas y el equipo redefinió el objeto del proyecto. Se determinó que el simulador de plicometría ofrecía una viabilidad superior frente a la propuesta inicial de anestesia. La concepción técnica se articuló con el uso de actuadores McKibben para simular músculos que cambian de tamaño y con el modelado óseo mediante imagenología médica.

Motivación / Objetivo: Procesar la información cualitativa recogida en campo para identificar necesidades formativas y oportunidades de diseño aplicables a la simulación clínica.

Resultados: Estudiantes y profesores de medicina señalaron que los simuladores comerciales son “anatómicamente perfectos”, lo que dificulta reconocer variaciones fisiológicas o dimorfismos presentes en pacientes reales; por su parte, los estudiantes de nutrición reportaron la ausencia de simuladores físicos para practicar plicometría, además de conflictos en prácticas profesionales cuando los pacientes percibían la toma de pliegues en zonas distintas al brazo como invasiva o excesivamente íntima, y destacaron también su utilidad en regiones remotas sin electricidad, donde no resulta viable emplear básculas de bioimpedancia; finalmente, los estudiantes de odontología validaron la utilidad de un simulador para anestesia, aunque se concluyó que la oportunidad prioritaria corresponde a un simulador de plicometría que funja como intermediario entre modelos estáticos y la práctica con pacientes.

Asociación con Kumar: Método 3.8 Entrevista etnográfica (*Ethnographic Interview*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se realizó un análisis colectivo de evidencias etnográficas obtenidas mediante entrevistas, con la finalidad de procesar la información cualitativa recogida en campo e identificar necesidades formativas y oportunidades de diseño aplicables a la simulación clínica; a partir de dicho análisis se reconocieron temas recurrentes, como las percepciones sobre simuladores comerciales y la carencia de simuladores para plicometría, y se priorizó una oportunidad concreta de desarrollo asociada a este último campo. Esta dinámica coincide con el *What it does* del método, que plantea el tratamiento de datos cualitativos mediante hojas de cálculo, filtros, búsquedas y codificación visual para revelar patrones e *insights* sobre aquello que resulta relevante para los usuarios. Asimismo, la secuencia descrita en *How it works* (reunir datos, reducirlos y organizarlos, definir búsquedas, codificar

visualmente, analizar visualizaciones y documentar *insights*) se corresponde con la lógica operativa necesaria para transformar testimonios y observaciones en hallazgos priorizables. No obstante, no se documentó de forma explícita el uso de una planilla, ni de técnicas de codificación visual, ni de matrices o búsquedas por palabra clave, y tampoco se detalló la secuencia completa del análisis colectivo, lo que impide sostener una coincidencia plena con el protocolo metodológico. En consecuencia, la correspondencia es directa en su núcleo y finalidad, aunque parcial en su ejecución y documentación, dado que la ficha reproduce los resultados esperables del método sin registrar todos los componentes procedimentales requeridos.

5.2.5. Ficha 5 — Identificación de los criterios de diseño

Actores: JASR, UMJ y JUCG.

Descripción: Fase de definición de los fundamentos técnicos y pedagógicos que justifican la selección del brazo como región anatómica para representar en el prototipo, integrando los hallazgos de las entrevistas con la viabilidad del desarrollo tecnológico.

Motivación / Objetivo: Establecer una base justificada para la elección del brazo frente a otras regiones corporales o propuestas iniciales, asegurando que el diseño responda tanto a la reducción de barreras de aprendizaje como a la factibilidad técnica de simulación.

Resultados: La selección específica del brazo responde a la necesidad de atender el vacío de herramientas físicas en la carrera de nutrición y se fundamenta pedagógicamente en que es la región percibida como menos conflictiva por los pacientes, evitando las barreras psicológicas asociadas al pudor que generan zonas como el abdomen o el muslo, permitiendo así desarrollar habilidades táctiles y manejo del plicómetro de forma segura antes de la interacción humana; desde la perspectiva técnica, el brazo se determinó como la región menos compleja para la medición de pliegues y el modelado anatómico en comparación con una intervención de anestesia o cirugía, facilitando la integración de actuadores para variar la representación de masa muscular y grasa, mientras que la falta de dependencia eléctrica de la técnica de plicometría se estableció como un criterio de relevancia formativa para el desempeño en contextos de recursos limitados, dejando la definición de precisión en milímetros y formulaciones químicas del tejido para la fase de desarrollo experimental.

Asociación con Kumar: Método 5.1 De principios a oportunidades (*Principles to Opportunities*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se integraron los hallazgos de las entrevistas con criterios técnicos y pedagógicos para justificar la elección del brazo como región anatómica del prototipo y para priorizar una alternativa que redujera barreras de aprendizaje y fuera viable desde la simulación tecnológica. Esa finalidad coincide con la definición del método, porque este plantea pasar del análisis a la síntesis mediante principios de diseño que permitan explorar oportunidades y convertir insumos previos en conceptos defendibles. También coincide con su lógica operativa, ya que parte de hallazgos previos y los organiza para orientar la toma de decisiones sobre posibilidades de desarrollo. Sin embargo, no se realizó de forma explícita la construcción de la tabla de oportunidades ni la exploración sistemática de los niveles de oferta, sistema y estrategia previstos por el método, por lo que faltó un componente relevante de su ejecución. En consecuencia, la correspondencia fue directa en su núcleo conceptual, pero parcial en el despliegue metodológico.

5.2.6. Ficha 6 — Formulación de la propuesta de proyecto en concordancia con la convocatoria PAPIME

Actores: UMJ y JUCG (redacción), JASR (supervisión).

Descripción: Elaboración de la propuesta técnica en concordancia con los lineamientos institucionales iniciales (PAPIME) que dio origen a la idea en dónde se define el prototipo para la práctica de plicometría en el brazo (tricipital y bicipital), su público objetivo y los componentes conceptuales.

Motivación / Objetivo: Formalizar el alcance técnico y académico del proyecto en la primera versión de la propuesta institucional: objetivos generales y específicos, descripción del prototipo, justificación pedagógica y técnica, y plan preliminar de actividades para financiamiento institucional.

Resultados: Documento de propuesta que incluye: título del proyecto; objetivo general (desarrollar un simulador médico interactivo que permita variar porcentajes de masa muscular y grasa en una extremidad superior entre hombro y codo); objetivos específicos (diseño y prototipado de sección tricipital/bicipital, integración de sensores de presión para detección de interacción con plicómetro, uso de actuadores para variar perfil y mecanismos de retroalimentación al usuario); descripción conceptual del prototipo (uso de fluidos/líquidos para simular densidades, actuadores tipo McKibben, detección de presión/fuerza, interfaz de control); y entregables preliminares (memoria técnica, presupuesto y cronograma inicial).

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se elaboró una propuesta técnica institucional para formalizar el alcance académico y técnico de un simulador médico interactivo, definiendo el prototipo, su público objetivo, sus componentes conceptuales y un plan preliminar de actividades con memoria técnica, presupuesto y cronograma inicial, con el fin de hacer viable su financiamiento y orientar su desarrollo. Esa finalidad coincidió con el propósito del método, porque éste busca convertir soluciones en un plan ejecutable que permita su realización, ordenando acciones, recursos y tiempos para superar retos de implementación. Asimismo, la descripción se aproximó a la lógica operativa del método, ya que consideró entregables, actividades y una secuencia inicial de trabajo; sin embargo, no se realizó la revisión formal de estrategias previas, ni la construcción de una matriz de soluciones frente a desafíos, ni la explicitación de respuestas organizacionales, *stakeholders* o responsabilidades de implementación. En consecuencia, la correspondencia fue directa en el núcleo de planeación para la realización de la solución, pero parcial por la ausencia de la estructuración completa exigida por el método.

5.2.7. Ficha 7 — Revisión de convocatoria CAPSEM I+DT y reorientación de la propuesta

Actores: JUCG y UMJ (redacción); JASR (revisión y envío).

Descripción: Durante la segunda y tercera semana de enero de 2025, el equipo realizó una revisión detallada de la convocatoria Capital Semilla (CAPSEM I+DT) y reformulación de la propuesta para adaptar su orientación técnica y justificación a los criterios de la nueva convocatoria, manteniendo el núcleo tecnológico identificado.

Motivación / Objetivo: Reorientar el proyecto hacia una convocatoria con énfasis en desarrollo y validación tecnológica (CAPSEM I+DT), ajustando objetivos, alcance y

entregables para cumplir requisitos de innovación, viabilidad técnica y escalabilidad.

Resultados: Se consolidó la versión reconfigurada de la propuesta titulada “Generación de un simulador médico interactivo con condiciones variables del brazo para pruebas y entrenamiento clínico”, cuyo enfoque se centró en el desarrollo de un prototipo inicial limitado a la extremidad superior (hombro-codo) con capacidad modular para variar y controlar de forma cuantificable las proporciones de masa muscular y grasa; se estableció una arquitectura modular diseñada para permitir la futura adaptación de la tecnología a otras regiones anatómicas y aplicaciones clínicas. El diseño prioriza la cuantificación y el control mediante una interfaz interactiva que permitiese ajustar las proporciones simuladas y registrar mediciones, integrando además un plan de validación tecnológico-formativa con pruebas piloto y métricas de desempeño proyectadas para la fase experimental. Finalmente, se ajustaron los entregables y el cronograma de actividades a los requisitos específicos de la convocatoria CAPSEM I+DT, resultando en la elaboración de la documentación formal de postulación y sus respectivos anexos técnicos.

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)
Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se revisó la convocatoria CAPSEM I+DT, se reformuló la propuesta y se ajustaron objetivos, alcance, entregables, cronograma y criterios de validación para orientar el proyecto hacia una etapa de desarrollo tecnológicamente viable y escalable. Esa finalidad coincidió con la del método, porque éste convierte una estrategia de solución en un plan ejecutable para su realización, definiendo acciones, recursos y organización de la implementación. La descripción también se aproximó a su lógica operativa, ya que incorporó una arquitectura modular, métricas de desempeño, pruebas piloto y documentación técnica de postulación; sin embargo, no se realizó la construcción formal de la matriz de soluciones frente a desafíos, ni la revisión explícita de competencias, responsabilidades interdepartamentales y respuestas organizacionales que el método exige. Se consideró de manera secundaria el Método 1.14 *Declaración de intención (Intent Statement)*, porque la reorientación redefinió el rumbo inicial del proyecto; aun así, su alcance quedó subordinado, ya que la ficha privilegió la estructuración de la implementación sobre la formulación breve de una intención innovadora. En consecuencia, la correspondencia principal fue con el Método 7.5 y el nivel resultó parcial por la ausencia de algunos componentes operativos clave.

5.3. Bloque II: Aceptación, puesta a punto del equipo de trabajo e investigaciones del estado del arte

Esta sección agrupa las fases de toma de decisiones técnicas, selección de materiales y validación de componentes críticos (músculos artificiales, sensores de presión y diseño mecánico).

5.3.1. Ficha 8 — Aceptación institucional por Capital Semilla

Actores: JASR; JUCG; comité Capital Semilla.

Descripción: En marzo de 2025 el comité de la convocatoria Capital Semilla notificó a JASR la aprobación del proyecto titulado “Generación de un simulador médico interactivo con condiciones variables del brazo para pruebas y entrenamiento clínico”. La comunicación implicó la instrucción de iniciar a la brevedad las actividades de desarrollo técnico y

administrativo previstas en la propuesta.

Motivación / Objetivo: Obtener el financiamiento necesario para desarrollar el prototipo de simulador médico y ejecutar el plan de trabajo presentado.

Resultado: Inicio oficial de la ejecución del proyecto y determinación de la necesidad de ampliar el equipo de trabajo, acondicionar el espacio físico y adquirir insumos y equipamiento.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción: Asociación con el Modo 7. Materializar la solución.

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se notificó la aprobación del proyecto por parte del comité de Capital Semilla y se recibió la instrucción de iniciar las actividades de desarrollo técnico y administrativo previstas. El objetivo principal fue obtener el financiamiento necesario para desarrollar el prototipo de simulador médico y ejecutar el plan de trabajo ya presentado. Esta acción de iniciar la ejecución material de un proyecto previamente definido se alinea con el *mindset* general del Modo 7, que es pragmático, evaluativo y estratégico, orientado a hacer viable una innovación en condiciones reales. La identificación de necesidades operativas como ampliar el equipo, acondicionar espacios y adquirir insumos refleja una conciencia inicial de los recursos requeridos, lo cual es coherente con las preocupaciones tácticas del modo. Sin embargo, la ficha no describe la ejecución específica de ningún método del Modo 7, tales como la creación de matrices de desafíos, la planificación detallada de recursos o la definición de roles interdepartamentales. Por ello, aunque el contexto general de la ficha encaja con el modo, la correspondencia con los métodos específicos es parcial, justificando el uso del criterio de excepción.

5.3.2. Ficha 9 — Constitución ampliada del equipo, definición de roles operativos y elaboración de documentos guía IEA

Actores: JASR; JUCG; FSCZ; ISFR; OAM; NMM.

Descripción: Ante la complejidad del desarrollo, JASR invitó a nuevos colaboradores en calidad de servicio social. JUCG fue designado gestor de diseño y responsable operativa diaria (*project manager*), con atribuciones para proponer decisiones ejecutivas que JASR validaría. Con objeto de homogeneizar la investigación por subsistema, JUCG elaboró los documentos guía para la Investigación del Estado del Arte (IEA) (plantillas y criterios de búsqueda) que servirían como instrumento orientador para las tareas asignadas a OAM, NMM, FSCZ e ISFR.

Motivación / Objetivo: Disponer de personal técnico y de un instrumento homogéneo de recolección y reporte para las investigaciones por subsistema.

Resultado: Equipo ampliado con responsabilidades funcionales definidas y documentos guía IEA disponibles como referencia para las labores de investigación.

Asociación con Kumar: Método 7.7 Plan de conformación de equipos (*Team Formation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se constituyó un equipo ampliado, se asignó una responsabilidad operativa diaria con facultades de coordinación y se elaboraron documentos guía para orientar las tareas de investigación por subsistema, con el propósito de disponer de personal técnico y de un instrumento homogéneo de recolección y reporte. Ello coincide con la finalidad del método de traducir soluciones en iniciativas y formar equipos alrededor de ellas, así como con su orientación a seleccionar personas, definir roles y establecer liderazgo para ejecutar

acciones concretas. También coincide con su lógica operativa, porque la ficha muestra la identificación de colaboradores, la distribución funcional de tareas y la asignación de una dirección operativa validada por una instancia superior; sin embargo, no se realizó la matriz de iniciativas frente a departamentos ni la definición explícita y sistemática de capacidades por iniciativa, por lo que la correspondencia no fue plena. El método 7.6 quedó subordinado, porque la referencia a personal técnico sugiere competencias requeridas, pero no se efectuó una planificación formal de competencias; el método 6.13 también quedó subordinado, ya que no se desarrolló una sesión intensiva de ideación, evaluación y síntesis de conceptos.

5.3.3. Ficha 10 — Reacondicionamiento del espacio de trabajo y provisión de mobiliario y equipamiento

Actores: JUCG; JASR; personal de Almacén/Bajas de la Facultad de Ingeniería y de la Dirección General del Patrimonio Universitario (DGPU); integrantes del equipo (FSCZ, ISFR, OAM, NMM).

Descripción: JUCG gestionó la ampliación del espacio de trabajo de JASR en el 4.º piso del Centro de Ingeniería Avanzada y coordinó la reasignación de mobiliario mediante los canales institucionales. El equipo participó en la reubicación y montaje del mobiliario y se planificó la adquisición de equipamiento complementario (impresora 3D, herramientas de prototipado, instrumentos de ensayo y especificaciones para manufactura ligera).

Motivación / Objetivo: Habilitar un taller con capacidad para montaje de prototipos, pruebas de integración y almacenamiento de materiales.

Resultado: Espacio ampliado y acondicionado; mobiliario incorporado; cronograma logístico para la instalación del equipamiento.

Asociación con Kumar: Método 7.5 *Plan de implementación (Implementation Plan)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se amplió y acondicionó un espacio de trabajo, se coordinó la reasignación y el montaje de mobiliario mediante canales institucionales y se planificó la incorporación de equipamiento complementario para habilitar un taller operativo de prototipado, pruebas de integración y almacenamiento. Esa actuación coincide con la finalidad de *Implementation Plan*, porque el método orienta a convertir soluciones en acciones realizables mediante una estructura de implementación, con acciones específicas, recursos y tiempos definidos. También se ajusta a *What it does*, en la medida en que organiza una solución para volverla ejecutable y evitar desajustes entre capacidades y objetivos de implementación; asimismo, se refleja parcialmente en *How it works*, ya que la ficha articula recursos, actores y un cronograma logístico para llevar a cabo la instalación. No obstante, no se realizó la matriz formal de desafíos de implementación ni el análisis explícito de contextos, competencias, riesgos y respuestas organizacionales que el método exige, por lo que la correspondencia queda en nivel parcial.

5.3.4. Ficha 11.a — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Óseo

Actores: JUCG (documento guía IEA); OAM (investigación).

Descripción: OAM desarrolló la investigación orientada por la plantilla IEA provista por JUCG. La IEA pidió la caracterización anatómica del húmero y elementos adyacentes, y la revisión de tecnologías de representación, con énfasis en impresión 3D a partir de

imagenología médica y en los procesos de segmentación, mallado y posprocesado descritos en la bibliografía pertinente [5], [21].

Motivación / Objetivo: Determinar la factibilidad técnica de reconstruir geométricamente las estructuras óseas del brazo (húmero, escápula, primer tercio de clavícula) y definir materiales y procesos de impresión 3D adecuados para su integración mecánica con otros subsistemas.

Resultado (hallazgos principales):

- Confirmación de la pertinencia del flujo de trabajo basado en imagenología médica (DICOM → segmentación → mallado → impresión) para obtener geometrías fidedignas del húmero [21].
- Identificación de los elementos óseos indispensables para la sección de interés: húmero, escápula (como punto de inserción muscular) y primer tercio de la clavícula, con definición de puntos críticos de anclaje para la interfaz mecánica con músculos y tejido blando [5].
- Determinación preliminar de materiales y procesos de impresión 3D favorables por su resolución geométrica y estabilidad dimensional; consignación de alternativas de filamentos y de criterios de posprocesado para asegurar tolerancias de ensamblaje.

Generación de un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.

Asociación con Kumar: Método 2.3 Investigación de publicaciones especializadas (*Publications Research*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se desarrolló una revisión bibliográfica especializada, orientada por la plantilla IEA provista por JUCG, en la que se caracterizó anatómicamente el húmero y sus elementos adyacentes, se examinaron tecnologías de representación con énfasis en impresión 3D a partir de imagenología médica y se sintetizaron procesos de segmentación, mallado y posprocesado para determinar la factibilidad técnica de reconstrucción geométrica y la selección de materiales y procesos adecuados. Esa ejecución coincidió con lo que realiza *Publications Research*, porque el método busca comprender lo que se escribe y publica sobre un tema del proyecto, extraer patrones en la literatura y consolidar lecturas de referencia que fortalezcan la base de conocimiento. También se ajustó a su lógica operativa, ya que se definió un tema acotado, se consultaron publicaciones especializadas y se extrajeron hallazgos relevantes a partir de fuentes académicas y técnicas; además, se generó un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.

5.3.5. Ficha 11.b — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Muscular

Actores: JUCG (documento guía IEA); NMM (investigación).

Descripción: NMM realizó la IEA centrada en la caracterización anatómica de los músculos de la región braquial y en tecnologías para representar variaciones controladas de volumen. Se evaluaron los músculos neumáticos artificiales tipo McKibben (PAM) y alternativas de actuadores blandos con cambio de fase. La investigación se complementó con la revisión de materiales para actuación por deformación de elastómeros y opciones de sensado superficial [22], [23], [24].

Motivación / Objetivo: Definir los músculos a representar y establecer criterios técnicos (fuerza vs. expansión volumétrica, complejidad de control e integración) para la selección

de actuadores.

Resultado (hallazgos principales):

- Inventario de músculos regionales y justificación anatómica de los elementos a representar según sus inserciones y relaciones funcionales [5].
- Identificación de que los sistemas McKibben (PAM), aunque potentes, están diseñados para convertir expansión volumétrica en contracción longitudinal, lo cual presupone una aplicación de fuerza mecánica no requerida prioritariamente en este simulador [22].
- Hallazgo de actuadores blandos basados en elastómeros y fluidos volátiles (como el alcohol etílico) que permiten una expansión volumétrica directa mediante efecto Joule, simplificando la infraestructura de control a una fuente de voltaje y control de temperatura [23].

Generación de un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.

Asociación con Kumar: Método 2.3 Investigación de publicaciones especializadas (*Publications Research*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se realizó una investigación documental del estado del arte sobre la región braquial, en la que se caracterizaron anatómicamente los músculos a representar, se evaluaron tecnologías para la representación de variaciones volumétricas y se compararon alternativas de actuación y de sensado superficial; esta acción se orientó a definir los músculos pertinentes y a establecer criterios técnicos para seleccionar actuadores adecuados. Dicha ejecución coincidió con lo que hace *Publications Research*, porque el método busca comprender lo que se escribe y publica sobre un tema del proyecto, extraer patrones de desarrollo y consolidar lecturas relevantes para una base de referencia. También coincidió con su lógica operativa, ya que se delimitó un tema de interés, se consultaron publicaciones especializadas y se integraron hallazgos para sustentar la decisión técnica; además, se generó un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.

5.3.6. Ficha 11.c — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Adiposo

Actores: JUCG (documento guía IEA); FSCZ (investigación).

Descripción: FSCZ condujo la investigación requerida por la plantilla IEA para caracterizar el tejido adiposo subcutáneo (propiedades mecánicas relevantes para plicometría) y revisar propuestas de phantoms, biomateriales y estructuras adaptativas. Desde la fase inicial se consideró la investigación sobre aceite de coco como candidato para caracterizaciones preliminares y se solicitó el análisis de sus propiedades físico-químicas [25], [26], [27], [28].

Motivación / Objetivo: Identificar materiales y procesos que reproduzcan densidad, respuesta a compresión y deformación local adecuados para mediciones de pliegues y uso reiterado en contexto docente.

Resultado (hallazgos principales):

- Revisión de *phantoms* y biomateriales: identificación de trabajos que proponen formulaciones para *phantoms* de grasa y evaluación crítica de su reproducibilidad y requisitos de mantenimiento [25], [26].

- Evaluación de tecnologías de actuadores HASEL (por sus siglas en inglés *Hydraulically Amplified Self-healing Electrostatic*) en términos de complejidad de fabricación y requisitos energéticos [29], [30], [31].
- Investigación específica sobre aceite de coco como candidato experimental desde la etapa inicial; recopilación de fichas técnicas y estudios sobre propiedades ópticas, reológicas y dieléctricas que servirían para comparar su comportamiento frente a criterios de simulación de tejido graso [27], [28].

Generación de un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.
Asociación con Kumar: Método 2.3 Investigación de publicaciones especializadas (*Publications Research*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se realizó una revisión documental especializada sobre el tejido adiposo subcutáneo, en la que se caracterizaron sus propiedades mecánicas, se examinaron propuestas de *phantoms*, biomateriales y estructuras adaptativas, y se incorporó desde la fase inicial el análisis de aceite de coco como candidato experimental para comparar su comportamiento físico-químico con criterios de simulación de tejido graso. Ello coincidió con lo que hace *Publications Research*, porque el método busca comprender lo que se escribe y publica sobre un tema del proyecto, detectar patrones en la literatura y reunir lecturas relevantes para consolidar una base de referencia. También coincidió con su lógica operativa, ya que se delimitó un tema de interés, se consultaron publicaciones y fichas técnicas especializadas y se extrajeron hallazgos para sustentar una decisión técnica; además, se generó un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.

5.3.7. Ficha 11.d — Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Cutáneo

Actores: JUCG (documento guía IEA); ISFR (investigación).

Descripción: ISFR realizó la IEA orientada a caracterizar la piel en grosor, estratificación y propiedades elásticas relevantes para plicometría, y a revisar materiales de simulación (gel balístico, piel comercial para prácticas, siliconas) y métodos de evaluación mecánica [32], [33], [34].

Motivación / Objetivo: Seleccionar un material o procedimiento que proporcione realismo táctil, durabilidad y compatibilidad con mediciones de pliegue y con los subsistemas subyacentes.

Resultado (hallazgos principales):

- Catálogo de alternativas: gel balístico por sus propiedades mecánicas superficiales [32]; piel comercial para prácticas por su disponibilidad y manejo [33]; y silicona preparada por el equipo como alternativa ajustable en dureza y grosor.
- Definición de ensayos: batería de pruebas propuestas para medir dureza (Shore), elasticidad y respuesta al plegado, y procedimientos de fabricación y adherencia a la capa adiposa subyacente.

Generación de un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.
Asociación con Kumar: Método 2.3 Investigación de publicaciones especializadas (*Publications Research*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se realizó una revisión documental orientada a caracterizar la piel en grosor, estratificación y propiedades elásticas, así como a examinar materiales de simulación (gel balístico, piel comercial, silicona) y métodos de evaluación mecánica con el fin de seleccionar un material que proporcionara realismo táctil, durabilidad y compatibilidad con mediciones de pliegue. Esta acción coincidió con lo que hace *Publications Research*, pues el método busca comprender lo que se escribe y publica sobre un tema del proyecto, detectar patrones relevantes en la literatura y reunir lecturas autorizadas para consolidar una base de conocimiento. También coincidió con su lógica operativa, ya que se definió un tema de interés, se consultaron publicaciones especializadas y se extrajeron hallazgos para sustentar una decisión técnica; además, se generó un repositorio virtual para almacenar y catalogar la información recopilada.

5.3.8. Ficha 12.a — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Óseo

Actores: OAM; JUCG; JASR.

Descripción: Tras la IEA, se adoptó la metodología de modelado por imagenología médica (DICOM → segmentación → mallado → impresión) como vía principal para generar las geometrías óseas del prototipo; se programó la capacitación con Lázaro Morales Acosta para formalizar el procedimiento de trabajo [21].

Motivación / Objetivo: Garantizar compatibilidad anatómica del componente óseo y su integrabilidad mecánica con los demás subsistemas.

Resultado: Adopción del procedimiento de modelado por tomografía y programación de pruebas de segmentación e impresión para verificación dimensional.

Asociación con Kumar: Método 6.9 Prototipo de solución (*Solution Prototype*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se adoptó una metodología de modelado por imagenología médica para generar las geometrías óseas del prototipo, se formalizó el procedimiento mediante capacitación y se programaron pruebas de segmentación e impresión para verificar la dimensión del componente, con el fin de garantizar la compatibilidad anatómica y la integrabilidad mecánica del subsistema óseo. Esta secuencia coincide con la finalidad de *Solution Prototype*, en cuanto simula y construye soluciones propuestas para explorar su comportamiento, y también con su lógica operativa de identificar la solución a prototipar, construirla y someterla a prueba. No obstante, no se realizó la observación estructurada de usuarios ni el análisis de su experiencia de interacción, elementos que forman parte central del método; por ello, la correspondencia no puede calificarse como plena.

5.3.9. Ficha 12.b — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Muscular

Actores: NMM; JUCG; JASR.

Descripción: Se contrastaron los actuadores tipo McKibben frente a los actuadores blandos termoactivados. La evaluación priorizó la capacidad de expansión radial (hipertrofia visual) sobre la capacidad de realizar trabajo mecánico o aplicar fuerza externa. Se consideró la facilidad de control electrónico y la reducción de infraestructura neumática pesada.

Motivación / Objetivo: Seleccionar la tecnología que permita representar visual y palpatoriamente la variación volumétrica del músculo con un balance óptimo entre realismo

y factibilidad técnica.

Resultado:

- **Decisión:** Descarte de actuadores tipo McKibben. Debido a que el simulador no requiere que los músculos realicen movimientos articulares o apliquen fuerza, la malla restrictiva característica de los PAM resultaría contraproducente al limitar la expansión volumétrica esperada [22].
- **Selección:** Adopción de actuadores blandos termoactivados compuestos por un núcleo de nicromo 22 AWG y una matriz de silicona Ecoflex con alcohol etílico al 96 % [23].
- **Criterio técnico:** Esta alternativa se seleccionó por su control simplificado (modulación por ancho de pulso o control de voltaje) y por permitir un crecimiento volumétrico directamente relacionado con el aumento de temperatura del fluido interno.

Asociación con Kumar: Método 6.2 Evaluación de conceptos (*Concept Evaluation*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se contrastaron dos alternativas de actuadores para seleccionar la tecnología más adecuada para representar la variación volumétrica del músculo con un equilibrio entre realismo y factibilidad técnica, y ello coincidió con la finalidad del método de valorar conceptos para decidir cuáles conviene desarrollar. La ficha persiguió una elección comparativa basada en atributos de valor funcional y técnico, lo cual se correspondió con la lógica de evaluar conceptos y compararlos para tomar decisiones sobre su pertinencia. Asimismo, la selección final de una alternativa y el descarte de otra reflejaron el tipo de juicio que el método promueve al ordenar opciones según criterios relevantes. Sin embargo, no se realizaron la asignación explícita de valores para usuario y proveedor, ni la construcción de una matriz de evaluación, ni el trazado de los conceptos en un mapa de dispersión, de modo que faltó un componente operativo relevante del procedimiento. En consecuencia, la correspondencia fue directa pero parcial, porque el núcleo evaluativo coincidió con el método, aunque no se ejecutó íntegramente su secuencia formal.

5.3.10. Ficha 12.c — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Adiposo

Actores: FSCZ; JUCG; JASR.

Descripción: Con base en la IEA y en investigaciones dirigidas sobre aceites vegetales, se evaluaron phantoms de grasa, biomateriales y actuadores HASEL. La evaluación priorizó durabilidad, mantenimiento y similitud en densidad frente a la grasa humana [25], [26], [28].

Motivación / Objetivo: Seleccionar una solución que combine reproducibilidad mecánica para plicometría con estabilidad ante usos reiterados en contexto docente.

Resultado:

- **Descarte:** Se excluyeron los phantoms basados en agar debido a su naturaleza orgánica, vida útil reducida y complejidad de mantenimiento. Asimismo, se descartaron los actuadores HASEL por la demanda de fuentes de alto voltaje incompatibles con la seguridad de la etapa inicial de prototipado [29], [30].

- **Selección de material:** Adopción de aceite de coco desodorizado (marca “De mi pueblo”) como candidato principal, tras verificar que muestras con más de dos años de antigüedad conservan propiedades similares a lotes recientes [27].
- **Selección de sistema de control:** Decisión de implementar un sistema de desplazamiento mecánico tipo tornillo sin fin accionado por servomotor para controlar el volumen de aceite acumulado, descartando la actuación electrostática por razones de seguridad y coste.

Asociación con Kumar: Método 6.10 Evaluación de soluciones (*Solution Evaluation*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se compararon alternativas de implementación para el subsistema adiposo y se seleccionaron una solución material y un sistema de control orientados a garantizar reproducibilidad mecánica, estabilidad en usos reiterados, seguridad y viabilidad de coste, con el fin de obtener un desempeño adecuado para plicometría en contexto docente. Ese propósito coincidió con la finalidad del método, que consiste en valorar soluciones tangibles según su valor para quienes las usarán y para quien las implementa, y con su lógica de decidir qué opciones conviene seguir desarrollando. La ficha también se ajustó a la secuencia operativa al examinar criterios relevantes, contrastar opciones y cerrar con una decisión de descarte y selección; sin embargo, no se realizó la construcción formal de una matriz de evaluación, ni la asignación explícita de puntuaciones, ni la representación de las soluciones en un mapa de valor. En consecuencia, la correspondencia fue directa, aunque parcial, porque el núcleo evaluativo coincidió con el método, pero faltó una parte relevante de su procedimiento estructurado.

5.3.11. Ficha 12.d — Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Cutáneo

Actores: ISFR; JUCG; JASR.

Descripción: Se definió comparar gel balístico, piel comercial para prácticas y silicona preparada por el equipo mediante ensayos mecánicos estandarizados que midieran dureza, elasticidad y respuesta al plegado.

Motivación / Objetivo: Identificar el material que proporcione el mejor compromiso entre realismo táctil, durabilidad y coste para la interfaz cutáneo-adiposo del prototipo.

Resultado: Plan de ensayos pilotos y lista de insumos para pruebas comparativas; priorización inicial de gel balístico y silicona para evaluación mecánica [32].

Asociación con Kumar: Método 6.10 Evaluación de soluciones (*Solution Evaluation*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se compararon gel balístico, piel comercial para prácticas y silicona preparada por el equipo mediante ensayos mecánicos estandarizados para seleccionar el material más adecuado para la interfaz cutáneo-adiposo del prototipo, con el fin de equilibrar realismo táctil, durabilidad y coste. Ese propósito coincidió con la finalidad del método de evaluar soluciones tangibles para decidir cuáles conviene desarrollar o modificar según su valor para el uso previsto y para la implementación. La ficha también se correspondió con su lógica operativa al organizar una comparación entre alternativas, priorizar criterios relevantes y cerrar con una preselección para pruebas piloto; sin embargo, no se realizó una matriz formal de evaluación, ni la asignación explícita de puntuaciones, ni la representación de las soluciones en un mapa de valor. Tampoco se formularon de manera explícita los criterios de valor para usuario y proveedor, que forman parte de

la estructura central del método. En consecuencia, la correspondencia fue directa pero parcial, porque el núcleo evaluativo sí coincidió, aunque faltó una parte relevante del procedimiento sistemático.

5.3.12. Ficha 13 — Coordinación operativa: reuniones semanales y flujo de entregables

Actores: JASR; JUCG; FSCZ; ISFR; OAM; NMM.

Descripción: Se estableció un calendario de reuniones semanales para la presentación de avances, resolución de dudas y generación de consensos técnicos. Cada integrante entregó informes IEA conforme a las plantillas elaboradas por JUCG; la información recopilada alimentó la toma de decisiones técnicas y logísticas subsecuentes.

Motivación / Objetivo: Mantener coherencia técnica entre subsistemas y documentar la selección y verificación de soluciones.

Resultado: Calendario de reuniones y flujo de entregables (informes IEA y listados de cotizaciones) que sustenta la secuencia de decisiones y la planificación de prototipado.

Asociación con Kumar: Método 7.3 Taller de planeación estratégica (*Strategy Plan Workshop*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se estableció un calendario de reuniones periódicas y se entregaron informes estandarizados con el propósito de alinear a los actores técnicos y documentar la selección y verificación de soluciones; esta finalidad coincide con lo que hace el método, ya que el Taller de planeación estratégica convoca a las partes interesadas para desarrollar un plan estratégico que permita realizar las soluciones y generar alineamiento organizacional (*What it does*). Asimismo, parte de la operativa del método (planificar la sesión, preparar materiales, presentar y discutir las soluciones y construir matrices para ordenar estrategias y plazos) se reflejó en la ficha en la preparación de plantillas, la presentación de avances y la discusión técnica recurrente; sin embargo, no se realizó la ejecución de un taller estructurado con actividades de facilitación diseñadas (*breakouts*), la construcción *in situ* de la matriz de soluciones vs. plazos/desafíos ni la generación consolidada de un plan estratégico resultado del taller; en consecuencia, la correspondencia es directa en propósito y parcialmente coincidente en ejecución operativa, ya que faltaron componentes clave del procedimiento del método (construir la matriz durante el taller, consolidar un plan estratégico y acuerdos formales de implementación).

5.3.13. Ficha 14 — Compras y gestión presupuestal

Actores: JUCG (Selección de requerimientos y cotización); JASR (Revisión y solicitud); GACD; AMIH.

Descripción: Registro de adquisiciones y pagos relacionados con el desarrollo del prototipo, incluyendo insumos para manufactura aditiva y sustractiva, materiales para ensayos de materiales (siliconas, aceites, reagentes), herramientas de taller y mobiliario de trabajo. El detalle cronológico y cuantificado de las partidas y sus justificaciones se presenta en el Apéndice C.

Motivación / Objetivo: Dotar al equipo de los materiales, herramientas y becas necesarias para ejecutar las labores de prototipado, caracterización y validación previstas en el plan de trabajo.

Resultado:

- Disponibilidad de impresoras 3D, cortadora láser y herramientas de precisión que permitieron la fabricación de moldes y piezas de prueba.
- Suministro de materiales consumibles (silicona *Ecoflex*, nicromo 22 AWG, alcohol, aceite de coco, filamentos) para las rondas experimentales iniciales.
- Asignación documentada de partidas para becas (titulación y servicio social) y adecuación del espacio de trabajo.

Evidencia documental: Listado completo de adquisiciones y justificación técnica por fecha de pedido (Apéndice C).

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: En el Apéndice C se documenta la ejecución de adquisiciones y la asignación de partidas presupuestales que permitieron la disponibilidad de equipamiento y consumibles necesarios para las rondas experimentales; dichas acciones corresponden al componente operativo del Método 7.5, reunir recursos y generar iniciativas para la implementación. Sin embargo, no se realizaron los artefactos metodológicos exigidos por ese método para alcanzar correspondencia plena: falta en primer lugar, una descripción del contexto cambiante vinculada a las decisiones de adquisición. En segundo lugar, una matriz explícita de soluciones versus desafíos (mercado, operativo, gestión, financiero) que informe las prioridades de implementación. Así como un registro de retroalimentación de *stakeholders* empleada para ajustar el plan. Y por último un Plan maestro consolidado (*Gantt*) con cronograma y asignación sistemática de responsabilidades. En consecuencia, la ficha muestra alineamiento en su núcleo operativo pero carece de la formalización y planificación estratégica requeridas; por ello la correspondencia con el Método 7.5 se mantiene como: Parcial.

5.3.14. Ficha 15 — Acondicionamiento del espacio de trabajo y homologación

Actores: JUCG; JASR; personal de Almacén/Bajas; GACD; AMIH.

Descripción: Intervenciones para habilitar y homologar un taller de prototipado: reasignación y rehabilitación de mobiliario, instalación de estanterías seguras con cerraduras, reparación/actualización de UPS, instalación y calibración de equipos de fabricación (impresoras 3D y cortadora láser), provisión de elementos de seguridad y herramientas para mantenimiento y fabricación fina. El detalle de materiales y costos asociados se encuentra en el Apéndice C.

Motivación / Objetivo: Generar un entorno físico que permita la manufactura de prototipos, la realización de ensayos y el almacenamiento seguro de insumos, cumpliendo normativas institucionales mínimas y requisitos de seguridad.

Resultado:

- Taller habilitado y distribuido por zonas de trabajo: fabricación, montaje, almacenamiento y control/ensayo.
- Equipos de fabricación instalados y calibrados para iniciar la producción de moldes y piezas de prueba.

- Implementación de medidas básicas de seguridad e higiene (guantes anticorte, contenedores, sistema de etiquetado y cerraduras).

Evidencia documental: Inventario de equipamiento y de materiales de acondicionamiento (Apéndice C).

Asociación con Kumar: Criterio de excepción: Asociación con el Modo 7. Materializar la solución.

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: En el Apéndice C se documentan las intervenciones de acondicionamiento, la instalación y calibración de equipos y el inventario asociado; dichas acciones se alinean principalmente con las mentalidades tácticas del Modo 7 especialmente *Implementing in Reality* y, en apoyo, *Reiterating Prototypes*, al habilitar la infraestructura necesaria para iterar prototipos y mitigar riesgos operativos. No obstante, la documentación no contiene los artefactos metodológicos que exige el Método 7.5 para correspondencia plena: no se evidencia un vínculo explícito con una *Strategy Roadmap* o plan estratégico, no existe una matriz formal soluciones-desafíos que priorice recursos, faltan registros sistemáticos de retroalimentación de actores clave y no se consolida un Plan maestro con cronograma y asignación sistemática de responsabilidades; por ello la correspondencia funcional es operativa pero formalmente incompleta, manteniéndose el nivel: Parcial.

5.4. Bloque III: Experimentación y diseño preliminar

Se presentan las fichas correspondientes a las acciones tomadas desde la selección de propuestas de implementación y la experimentación requerida para formular los diseños preliminares de cada subsistema.

5.4.1. Ficha 16.a — Caracterización imagenológica y capacitación (subsistema Óseo y Muscular) — descripción del proceso

Actores: OAM; JUCG; FSCZ; UMJ; Lázaro Morales Acosta.

Descripción: Proceso de obtención y procesamiento de imagenología médica para generación de geometrías anatómicas y capacitación técnica del equipo en herramientas de reconstrucción 3D a partir de DICOM [5], [21]. El procedimiento consideró iteraciones de formación, evaluación de resultados y decisión sobre la modalidad de imagen más adecuada para los requerimientos del proyecto.

Motivación / Objetivo: Capacitar al equipo en técnicas de reconstrucción 3D y obtener imágenes de suficiente calidad (densidad de cortes/slices y contraste) para la generación de moldes y componentes anatómicos integrables al prototipo.

Resultado: (ver subfichas 16.a.1–16.a.4)

Asociación con Kumar: Criterio de excepción: Asociación con el Modo 2. Comprender el entorno.

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se realizó una capacitación técnica en reconstrucción tridimensional a partir de imagenología médica, con el fin de dotar al equipo de una habilidad especializada y de obtener imágenes con calidad suficiente para generar moldes y componentes anatómicos integrables al prototipo; este propósito coincidió solo parcialmente con el método 2.12, porque dicho método se orientó a acelerar la comprensión de un tema mediante conversaciones guiadas con especialistas para reunir información, opiniones y perspectivas

avanzadas. La descripción de la ficha sí se aproximó a la lógica del método en cuanto incorporó iteraciones de formación, evaluación de resultados y decisión técnica sobre la modalidad de imagen más adecuada, es decir, un proceso de aprendizaje orientado a esclarecer un campo complejo. Sin embargo, no se realizaron entrevistas con expertos externos, ni se prepararon preguntas, ni se capturaron y transcribieron conversaciones como parte del procedimiento, de modo que faltó el componente central de interacción verbal estructurada propio del método. Por ello, la correspondencia se estimó como parcial y se subordinó al modo 2, cuyo énfasis en la comprensión de un contexto técnico avanzado resultó más afín que la mecánica específica de entrevista.

Ficha 16.a.1 — Curso SOSBI (Sociedad de Alumnos de sistemas Biomédicos) y comienzo de modelado en *3D Slicer*

Fechas: Semana del 30 de junio al 4 de julio de 2025 (curso).

Descripción: Realización del curso “Reconstrucción 3D de modelos anatómicos” impartido por SOSBI. Formación orientada al uso de *3D Slicer* para segmentación y reconstrucción a partir de resonancias magnéticas (RM).

Resultado: Inicio del modelado con *3D Slicer*; el trabajo de segmentación comenzó el 7 de julio de 2025 con las RM disponibles. Se observó que, si bien la RM posee resolución intrínseca superior a la tomografía, la baja cantidad de cortes adquiridos por el técnico provocó artefactos en la reconstrucción (salto perceptible entre cortes — “bloques cuadrados”) que degradaron la fidedignidad del modelo muscular para los fines del proyecto.

Asociación con Kumar: Método 2.13 Discusión con grupos de interés (*Interest Groups Discussion*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se asistió a una actividad formativa organizada por una agrupación de interés (SOSBI) y se realizó práctica aplicada de segmentación con *3D Slicer* con la finalidad de adquirir conocimientos técnicos y detectar problemas en los insumos (artefactos por baja cantidad de cortes en RM); esto coincide con el *What it does* del Método 2.13, que propone sumergirse en foros y grupos para aprender sobre desarrollos y debates vigentes en un tema. Asimismo, las acciones descritas reflejaron parcialmente los pasos del *How it works*: se localizó y participó en una instancia de interés, y se capturó al menos un hallazgo técnico (observación del artefacto), lo que corresponde a los pasos iniciales de captura y revisión; sin embargo, no se realizaron actividades claves del método orientadas a cierre y sistematización, no se realizó la elaboración de resúmenes formales, la transcripción estructurada de hallazgos ni la difusión y discusión consolidada de los resultados en un repositorio o con grupos ampliados. En consecuencia, la finalidad y la lógica central del método coinciden con lo ejecutado, pero faltaron componentes operativos relevantes para considerarla plena; por ello la asociación es parcial.

Ficha 16.a.2 — Curso DUNNE (División Universitaria de Neuroingeniería) e introducción de InVesalius

Fechas: 28 de julio al 1 de agosto de 2025 (curso).

Descripción: Realización del curso “Modelado e impresión 3D a partir de una tomografía” organizado por DUNNE e impartido por el Dr. Lázaro Morales Acosta. Evaluación práctica de InVesalius como herramienta complementaria para la reconstrucción.

Resultado: En las pruebas comparativas InVesalius presentó reconstrucciones musculares más coherentes con los datos disponibles; por ello, el modelado de músculos y huesos se

acordó realizar en InVesalius a partir de esa fecha.

Asociación con Kumar: Método 4.1 De observaciones a conocimientos (*Observations to Insights*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se realizó un curso de modelado e impresión 3D a partir de una tomografía y, en ese marco, se evaluó de forma práctica *InVesalius* como herramienta complementaria para la reconstrucción, con el propósito de contrastar su desempeño y decidir su adopción para el modelado de músculos y huesos. Esa finalidad coincide con el método 4.1, en cuanto se convierten observaciones de una investigación aplicada en una interpretación útil para la toma de decisiones. Asimismo, la comparación de reconstrucciones y la conclusión alcanzada se ajustaron parcialmente a *How it works*, pues sí se realizaron observaciones prácticas y se derivó una valoración compartida; sin embargo, no se realizó la secuencia completa de organizar los hallazgos en una tabla y refinar las conclusiones de forma iterativa. En consecuencia, la correspondencia es directa en el núcleo analítico, pero parcial por la ausencia de componentes operativos relevantes del método.

Ficha 16.a.3 — Identificación de conflictos asociados a las RM

Descripción: Evaluación de la calidad de las RM empleadas para la reconstrucción.

Resultado: Constatación de que la principal limitación no fue la resolución intrínseca de la técnica (RM), sino el número reducido de cortes/slices adquiridos, lo que generó saltos inter-imagen que produjeron artefactos visibles en la reconstrucción 3D. Aunque las tomografías también presentan saltos, su mayor número de cortes disminuye la percepción de bloques en la reconstrucción.

Asociación con Kumar: Método 4.7 Mapa de posicionamiento de entidades (*Entities Position Map*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se evaluó la calidad de las RM empleadas para la reconstrucción con el propósito de identificar el origen de los artefactos visibles en la reconstrucción 3D y de contrastar su comportamiento con el de la tomografía, a fin de delimitar qué factor de adquisición explicaba con mayor peso la limitación observada. Esa finalidad coincidió con el *What it does* del método, porque analiza cómo se agrupan y se posicionan las entidades en relación con dos escalas atributivas, lo cual resulta compatible con la comparación entre modalidades de imagen como entidades diferenciadas por continuidad de cortes, percepción de bloques y calidad de reconstrucción. Asimismo, la lógica operativa se reflejó solo de manera parcial, ya que sí se efectuó una comparación diagnóstica entre entidades y se obtuvo una lectura relacional de sus diferencias, pero no se construyó un mapa de posicionamiento, no se definieron de forma explícita dos ejes atributivos, no se ubicaron entidades en una matriz de extremos o cuadrantes y no se desarrolló un análisis formal de distribución, vacíos o migraciones. Tampoco se realizó la representación gráfica ni la discusión analítica estructurada que el método prevé para convertir la comparación en un instrumento de síntesis. En consecuencia, la correspondencia fue directa en el núcleo comparativo, aunque incompleta en la ejecución metodológica, por lo que la asociación quedó en nivel parcial.

Ficha 16.a.4 — Decisión: adquisición de tomografía y subordinación funcional del subsistema Óseo

Descripción: Por la insuficiente densidad de cortes de las RM y con el fin de garantizar geometrías musculares y óseas fiables, se decidió adquirir tomografías con mayor densidad de cortes para la reconstrucción definitiva. A partir del punto en que se inicia el modelado muscular, el trabajo sobre el subsistema óseo se realiza de forma conjunta con el subsistema muscular; la subordinación se entiende como priorización funcional: el modelo óseo será modificado iterativamente para destacar y optimizar los puntos de inserción muscular (facilitando su identificación y diseño de ensamblajes en CAD) conforme avance el modelado muscular.

Resultado: Planificación y obtención de tomografías para reanudar el modelado con mayor densidad de cortes; reorganización de la secuencia de trabajo de modo que el modelado muscular guíe las adaptaciones del modelo óseo [21].

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se planificó y se obtuvo la adquisición de tomografías de mayor densidad y se reorganizó la secuencia de trabajo para que el modelado muscular dirigiera las adaptaciones del subsistema óseo con el fin de garantizar geometrías fiables; esta acción tuvo la finalidad de hacer operativa una solución técnica identificada como necesaria. Dicha finalidad coincidió con lo que el *What it does* del método plantea, porque busca transformar una hoja de ruta estratégica en acciones concretas que eviten la desalineación entre metas de implementación y competencias organizacionales, y la ficha actuó exactamente para ejecutar una medida técnica que habilita la continuación del modelado. En cuanto al *How it works*, la ficha reflejó pasos iniciales equivalentes a revisar la situación y definir respuestas (revisión de las limitaciones de las RM y definición de la adquisición de Tomografías), lo que se corresponde con las primeras etapas del método orientadas a revisar estrategias y describir el contexto; sin embargo, no se realizaron las actividades posteriores que el método describe: no se creó una matriz explícita de soluciones versus desafíos de implementación, no se discutieron formalmente las implicaciones organizacionales ni se asignaron responsables, ni se compiló un *master plan* con cronograma y responsables. Por tanto, la correspondencia existió en el núcleo operativo (hacer accionable la solución técnica), pero fue parcial por cuanto no se realizó la instrumentación completa que el método prescribe para convertir la decisión en un plan de implementación detallado.

5.4.2. Ficha 16.b — Manufactura iterativa de actuadores blandos (subsistema Muscular)

Actores: NMM (hasta 16.b.1); FSCZ (a partir de 16.b.2); JUCG (diseño y manufactura de moldes); JASR.

Descripción: Proceso iterativo de diseño y fabricación de actuadores blandos termoactivados destinado a producir variaciones volumétricas controladas en los módulos musculares. JUCG diseñó y manufacturó por impresión 3D los moldes empleados; cada molde contenía cuatro probetas. El diseño de moldes y los procedimientos de encapsulamiento se iteraron simultáneamente con las pruebas.

Motivación / Objetivo: Determinar la configuración de materiales y geometría que proporcione la máxima expansión radial utilizable en el simulador, con seguridad eléctrica y hermeticidad repetible.

Resultado: (ver subfichas 16.b.1–16.b.9)

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se diseñó y manufacturó, mediante manufactura aditiva, un conjunto de moldes para producir actuadores blandos termoactivados, y se iteraron simultáneamente el encapsulamiento y las pruebas con el fin de determinar la configuración de materiales y geometría que ofreciera la mayor expansión radial utilizable, con seguridad eléctrica y hermeticidad repetible. Ese propósito coincide con lo que el método hace, en la medida en que busca probar soluciones innovadoras en contextos de desempeño real para aprender de su comportamiento y ajustar su forma antes de una adopción más amplia. Asimismo, la secuencia descrita refleja la lógica operativa de construir, ensayar, revisar y volver a ensayar, aunque la ficha se mantuvo en un entorno técnico de laboratorio y no realizó un despliegue en un mercado de prueba ni una evaluación de aceptación por usuarios finales. También faltaron la definición explícita de métricas de desempeño, la aprobación de un piloto y la análisis sistemática de resultados en un contexto de lanzamiento, por lo que la correspondencia es sólida en el núcleo experimental, pero no plena. En consecuencia, la asociación se considera directa, con nivel parcial, porque la ficha ejecutó el aprendizaje iterativo propio del método, aunque sin completar su componente de validación piloto en entorno de oferta real.

Ficha 16.b.1 — Primera iteración (prototipos iniciales) — participación y hallazgos

Descripción: Fabricación inicial de probetas empleando moldes en TPU y resina; embobinado con distintos calibres de nicromo, empalmes iniciales y encapsulado con Ecoflex. JUCG diseñó los moldes base (4 probetas, 2 piezas atornilladas). NMM participó en esta fase y concluyó su intervención al término de la misma.

Hallazgos:

- Inhibición de curado en moldes de resina/TPU; defectos superficiales y porosidades.
- Expansión mayoritariamente axial (alargamiento) en las primeras probetas.
- Pérdidas por fuga en prototipos con sellado insuficiente.

Decisión: Sustituir moldes por PLA y revisar estrategia de encapsulado y sellado; NMM finalizó su participación y el apoyo experimental quedó a cargo de FSCZ.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.2 — Iteración: mejoras en los moldes y funcionalidades añadidas

Descripción: JUCG rediseñó moldes incorporando mejoras orientadas a facilitar el vertido, sellado y parametrización de dimensiones. Las mejoras incluyeron: (1) molde base en 2 piezas para 4 probetas con atornillamiento; (2) huecos para escape de aire durante el vertido y diseño parametrizado para modificar diámetros y longitudes; (3) pestañas para facilitar el sellado; (4) canales internos para fuga de aire; (5) mejora de canales de purga

para facilitar la limpieza.

Resultado: Optimización de la usabilidad de los moldes; reducción de defectos por burbujas y mejoras en la reproducibilidad geométrica entre lotes.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*) **Nivel de correspondencia: Parcial**

Ficha 16.b.3 — Iteración: comparación de calibres y tipos de alcohol

Descripción: Recreación de actuadores según la bibliografía y comparación de distintos calibres de nicromo y dos alcoholes (isopropílico y etílico) como medio de expansión.

Hallazgos:

- El alambrado con menor paso (mayor densidad de espiras) y el uso de alcohol etílico ofrecieron mejor desempeño en expansión y redujeron la pérdida de fluido.
- El alcohol etílico presentó menor olor residual que el isopropílico, lo que favorece su uso en entorno docente.

Decisión: Para cuestiones presupuestarias y de reproducibilidad se delimitó el uso preferente a nicromo 22 AWG y alcohol etílico 96 %.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.4 — Iteración: definición de etapas de preparación (propuesta inicial)

Descripción: Formalización de etapas de preparación de actuadores a partir de observaciones previas: (1) embobinado con nicromo; (2) recubrimiento del embobinado con silicona pura (núcleo); (3) recubrimiento del núcleo con mezcla de silicona y alcohol.

Hallazgos: La preparación produjo aumento de volumen (2×) pero concentrado en dirección axial; por lo tanto se propone la inclusión de una restricción mecánica del núcleo en la siguiente iteración.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.5 — Iteración: introducción de restricción mecánica y encapsulados intermedios

Descripción: Aplicación de restricción mecánica del núcleo (malla de acero inoxidable) para forzar expansión radial; protocolo de encapsulado iterativo para aislamiento eléctrico y hermeticidad. Se definieron las etapas de manufactura ampliadas: (1) embobinado con nicromo; (2) empalme extremos con alambre de cobre magneto 20 AWG; (3) recubrimiento con silicona pura; (4) segunda capa de silicona pura (aislamiento); (5) envoltura con malla de acero inoxidable; (6) recubrimiento con mezcla de silicona y alcohol.

Hallazgos: Reducción de fugas y mejor comportamiento radial; persistieron retos de aislamiento en puntos de empalme, lo que motivó capas adicionales de recubrimiento en

iteraciones posteriores.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.6 — Iteración: adición de capa de silicona entre malla y mezcla activa

Descripción: Se añadió una capa extra de silicona pura entre la malla de acero inoxidable y la mezcla activadora (silicona+alcohol) para evitar desprendimientos de la capa activa durante la activación. Las etapas de manufactura quedaron re-ordenadas y ampliadas: (1) embobinado nicromo; (2) empalme con cobre magneto; (3) recubrimiento silicona pura; (4) segunda capa silicona pura; (5) envoltura malla acero; (6) nueva capa silicona pura; (7) recubrimiento con mezcla silicona+alcohol; (8) capa final de silicona pura para sellado.

Hallazgos: Aislamiento eléctrico mejorado; primera activación mostró expansión apreciable, pero la repetitividad decrecía en ciclos sucesivos (al enfriarse, la expansión no se reproducía con la misma magnitud).

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.7 — Iteración: análisis de repetibilidad y alternativas

Descripción: Análisis de las causas de pérdida de repetibilidad en la expansión volumétrica; evaluación de dos alternativas: (A) volver a la preparación con núcleo simple (núcleo recubierto por mezcla activadora) para obtener mayor repetibilidad aunque con expansión más axial; (B) probar un nuevo arreglo del nicromo en canales paralelos dentro de la probeta.

Decisión: Autorizar una última ronda de experimentación con la alternativa B (rediseño de moldes para canales) manteniendo, en paralelo, probetas con la alternativa A como control por si la nueva alternativa resultaba infructuosa.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.8 — Iteración: rediseño de arreglo interno (canales) y resultados

Descripción: Rediseño del molde para permitir la disposición del nicromo en canales paralelos — una sola línea de alambre distribuida en la probeta en hasta 17 pasadas — con el objetivo de maximizar la expansión radial y minimizar la axialidad.

Hallazgos: La nueva disposición produjo duplicación de la expansión radial en comparación con la configuración de bobina; la expansión longitudinal quedó prácticamente anulada. Las pruebas de repetitibilidad mostraron reducción en el volumen alcanzado en ciclos sucesivos, pero conservaron un volumen final mayor que la alternativa A.

Resultado operativo: Se acordó que, una vez concluido el modelado muscular en

InVesalius, se diseñaría un molde geométrico para el músculo Tríceps (por su tamaño) y se fabricaría actuadores con ambas metodologías (bobina y canales) para seleccionar la solución final en función de expansión radial, durabilidad y repetitividad.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.b.9 — Observaciones finales y limitaciones

Descripción: Conclusiones sobre la serie iterativa de prototipos.

Observaciones:

- La elección final del material activo y del calibre (nicromo 22 AWG y alcohol etílico) se fundamenta en desempeño y restricciones presupuestarias.
- El método seleccionado impide representar atrofia muscular (los actuadores sólo aumentan volumen); esto condiciona el rango de escenarios de práctica posibles en el simulador.
- JUCG fue responsable del diseño y la manufactura de moldes durante todas las iteraciones; en cada iteración se emplearon simultáneamente moldes antiguos y nuevos para disponer de tamaños y configuraciones diversas.
- Persisten desafíos en repetitividad que deberán ser abordados en futuras rondas de ajuste y en la definición de protocolos de operación (control térmico y ciclo de uso).

Asociación con Kumar: Método 4.18 Marco de síntesis (*Summary Framework*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se sintetizaron conclusiones sobre una serie iterativa de prototipos y se adoptaron decisiones técnicas respecto del material activo, del calibre, de la representatividad funcional y de la repetitividad, con el fin de cerrar la iteración y orientar ajustes posteriores. Ello coincide con la finalidad del método, que integra hallazgos, conocimientos y principios de diseño en un todo articulado al término del análisis, así como con su lógica operativa, ya que exige revisar los resultados previos y organizarlos en un soporte de síntesis para hacerlos comunicables y útiles en etapas posteriores. No obstante, en la ficha no se realizó de manera explícita una tabla de referencia de métodos, hallazgos, conocimientos y principios, tampoco se construyó un *Summary Framework* ni se formularon principios de diseño de forma sistemática. En consecuencia, la correspondencia es directa por propósito y secuencia analítica, pero parcial porque faltó la formalización estructurada propia del método.

5.4.3. Ficha 16.c — Caracterización experimental del subsistema Adiposo

Actores: FSCZ; JUCG; JASR.

Descripción: Protocolo de caracterización reológica y térmica de materiales candidatos a representar tejido graso, con especial atención al aceite de coco y alternativas propuestas en la literatura. El procedimiento incluyó la ejecución de ensayos de laboratorio diferenciados por instrumento y metodología para validar la idoneidad del material frente a los requisitos

de simulación docente y control mecatrónico.

Motivación / Objetivo: Obtener curvas viscosidad-temperatura reproducibles que permitan definir los parámetros de control térmico y de dimensionamiento del sistema de desplazamiento (piñón-cremallera) del material adiposo.

Resultado: (ver subfichas 16.c.1–16.c.2)

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 7. Materializar la solución

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se ejecutaron ensayos de laboratorio para caracterizar reológicamente y térmicamente materiales candidatos al subsistema adiposo, con el fin de obtener curvas viscosidad-temperatura reproducibles que permitieran definir parámetros de control y dimensionamiento del sistema de desplazamiento; esa finalidad coincide con la lógica general del modo de materializar soluciones mediante prueba, evaluación y ajuste iterativo, y también con la intención del método de poner la oferta a prueba para aprender sobre su desempeño. Asimismo, la secuencia de selección de materiales, aplicación de instrumentos y metodologías diferenciadas, validación de idoneidad y análisis de resultados se aproxima a los pasos del método orientados a planificar, medir el desempeño y revisar iteraciones. Sin embargo, no se realizó el despliegue en un mercado de prueba, ni la medición de aceptación comercial, retroalimentación de usuarios o aprobación de lanzamiento, y tampoco se incorporaron las decisiones de escalado propias de un piloto en contexto de oferta real. Por ello, la correspondencia se establece con el modo por afinidad funcional, pero el encaje con el método 7.4 es solo parcial.

Ficha 16.c.1 — Primera ronda de experimentación (viscosímetro Brookfield)

Descripción: Ensayos iniciales de viscosidad con viscosímetro Brookfield para obtener una primera aproximación del comportamiento térmico del aceite de coco.

Hallazgos: Mediciones no concluyentes por volumen de muestra insuficiente y problemas de montaje; resultados descartados como base para decisiones finales.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.c.2 — Segunda ronda de experimentación (reómetro Anton Paar)

Descripción: Repetición y ampliación de las mediciones con reómetro Anton Paar Physica MCR 101, barriendo un rango de 26 a 71 °C para obtener curvas reológicas reproducibles [28].

Hallazgos:

- Obtención de curvas viscosidad-temperatura robustas que permiten definir la temperatura de transición y la potencia requerida para el calentamiento.
- Validación preliminar del aceite de coco como candidato por su estabilidad y similitud en densidad; se estableció la necesidad de replicar mediciones en lotes adicionales para confirmar reproducibilidad.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

5.4.4. Ficha 16.d — Evaluación de materiales de interfaz (sub-sistema Cutáneo)

Actores: ISFR; JUCG; JASR; Dr. Eliezer Hernández Mecinas (IIM-UNAM).

Descripción: Fase de preparación y ensayo de materiales para la piel artificial con un proceso iterativo que incluyó diseño y manufactura de moldes, ensayos preliminares y selección final del material.

Motivación / Objetivo: Determinar el material de interfase cutáneo-adiposo que mejor compagine realismo táctil, durabilidad y compatibilidad térmica con los actuadores musculares.

Resultado: (ver subfichas 16.d.1–16.d.3)

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se preparó y ensayó de manera iterativa un conjunto de materiales para la piel artificial mediante el diseño y la manufactura de moldes, la ejecución de ensayos preliminares y la selección final del material, con el fin de determinar la interfase cutáneo-adiposa que mejor compaginara realismo táctil, durabilidad y compatibilidad térmica con los actuadores musculares. Esa finalidad coincide con la del método, orientado a poner ofertas en contexto de prueba para conocer su desempeño y la experiencia de uso, de modo que ambos privilegian la validación práctica, la comparación de alternativas y el refinamiento progresivo. Asimismo, la secuencia descrita se ajusta a la lógica operativa del método en cuanto a selección de la solución, preparación del plan de prueba, ejecución de ensayos y análisis de resultados, ya que hubo pilotaje experimental y revisión comparativa de materiales. Sin embargo, no se realizó el despliegue en un mercado de prueba ni la medición de aceptación de usuarios, y tampoco se incorporó el circuito completo de retroalimentación y reemisión que el método contempla; por ello, la correspondencia es directa, aunque parcial.

Ficha 16.d.1 — Diseño de moldes para primeras pruebas y preparación de probetas

Descripción: Diseño y manufactura en impresión 3D de los moldes por JUCG en concordancia con especificaciones provistas por ISFR (IIM-UNAM). Fabricación de probetas de gel balístico (jabón, grenetina, vinagre) y formulaciones de Ecoflex.

Resultado: Producción de probetas iniciales y programación de ensayos de dureza Shore y elasticidad en IIM-UNAM [32].

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.d.2 — Rediseño de moldes y ensayos con silicona y piel para tatuar

Descripción: Rediseño de moldes para ajustar grosor y geometría de los pliegues; realización de ensayos comparativos con piel sintética para tatuar (lennoxsupply) y

distintas formulaciones de Ecoflex.

Resultado: Mejora en la homogeneidad dimensional de los pliegues y recopilación de datos preliminares sobre resistencia a punción y comportamiento al plegado.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Ficha 16.d.3 — Análisis de gráficas y selección del material de interfaz

Descripción: Análisis de las curvas de dureza Shore, elasticidad y pruebas de plegado; evaluación de durabilidad en ciclos y compatibilidad térmica con actuadores.

Resultado: Preferencia por siliconas (Ecoflex) por su durabilidad y compatibilidad térmica; el gel balístico se descartó por degradación y problemas de preservación. Se planificaron pruebas de validación adicionales para confirmar la selección en condiciones de operación real.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

5.5. Bloque IV: Definición de criterios de integración

Esta sección agrupa las fases relacionadas con las decisiones de interconexión entre las 4 propuestas de implementación de cada subsistema y su control.

5.5.1. Ficha 17 — Gestión de insumos estructurales y adecuación física de la estructura base

Actores: JASR; JUCG; GACD; AMIH.

Descripción: Localización y selección de perfiles de aluminio procedentes de proyectos previos mediante la vinculación con el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica (CDMIT). Se procedió al corte de los perfiles en el Laboratorio de Manufactura Convencional de la DIMEI para conformar una estructura de soporte con un volumen interno de $40 \times 40 \times 20$ cm.

Motivación / Objetivo: Proveer una base estructural robusta y reutilizable que permita alojar de forma organizada los sistemas de control, potencia, almacenamiento y actuación del fluido adiposo.

Resultado: Estructura base completada con dimensiones internas verificadas para la integración de los subsistemas.

Asociación con Kumar: Método 6.9 Prototipo de solución (*Solution Prototype*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: La documentación evidencia la construcción física del prototipo de soporte (selección, corte, ensamblaje y verificación dimensional), lo cual corresponde al núcleo operativo del Método 6.9, construir prototipos de apariencia/función para explorar integraciones físicas y se alinea con las mentalidades de experimentación y materialización propias del Modo 6. Sin embargo, no se constatan actividades de involucramiento de usuarios, observación sistemática de la interacción ni análisis e iteración posteriores que permitan

validar experiencias y refinar el diseño; adicionalmente, la Síntesis morfológica (Método 6.1) no aparece aplicada para contrastar alternativas conceptuales ni justificar la selección de la configuración estructural. En consecuencia, la ficha muestra correspondencia funcional con 6.9 en su dimensión de materialización, pero carece de la evaluación de uso y de la fundamentación conceptual que exige el método; por ello el nivel de correspondencia se mantiene: Parcial.

5.5.2. Ficha 18 — Organización jerárquica y división por células de trabajo

Actores: JUCG (Dirección y Organización); JASR (Asesoría).

Descripción: Reestructuración del equipo de trabajo en cinco unidades operativas denominadas “células”. A cada célula se le asignó un líder responsable de contextualizar a los nuevos integrantes mediante el uso de “Guías de trabajo” diseñadas para cada área. Esta organización busca optimizar la ejecución técnica ante la incorporación masiva de colaboradores.

Motivación / Objetivo: Optimizar la velocidad de ejecución y la gestión del conocimiento, evitando confusiones terminológicas y operativas en el desarrollo de los subsistemas.

Resultado: Definición de roles y responsabilidades jerárquicas con la siguiente integración operativa:

- **Célula de Electrónica (Elec):** ISFR (Líder); JSMM; AAMS; GOMG.
- **Célula de Manufactura, Mantenimiento y Documentación (MMD):** AAMS (Líder); CGBV; OOZC; AMIH; JSMM.
- **Célula de Mecánica (Mec):** FSCZ (Líder); EERA; ASR; AAMS; CGBV; GOMG.
- **Célula de Control (Ctrl):** JUCG (Líder); GACD; ARG; JSMM; OOZC.
- **Célula de Modelado (Mod):** UMJ (Líder); EERA; AMIH.

Asociación con Kumar: Método 7.7 Plan de conformación de equipos (*Team Formation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: La reorganización en células con líderes y guías de trabajo demuestra una acción coherente con el propósito del Método 7.7, conformar equipos multidisciplinarios alrededor de iniciativas, al establecer roles, liderazgo y mecanismos básicos de contextualización para nuevos integrantes. No obstante, no se documenta la formalización exigida para correspondencia plena: no se tradujeron las soluciones en iniciativas vinculadas a la estructura organizativa, no existe una matriz iniciativas versus departamentos que evidencie aportes y responsabilidades, no se definieron ni registraron las capacidades requeridas por cada célula ni la selección de miembros en función de dichas capacidades, y tampoco se presenta un plan de coordinación y evolución intercélulas que asegure gobernanza y continuidad operativa. En consecuencia, la ficha coincide en su núcleo organizativo con el Método 7.7 pero adolece de la instrumentación y planificación metodológica necesaria; por ello el nivel de correspondencia se asigna como parcial.

5.5.3. Ficha 19 — Integración del subsistema de control y diseño de HMI

Actores: JUCG; GACD; ARG; JSMM; OOZC.

Descripción: Proceso de desarrollo técnico orientado a la implementación del sistema de control basado en la plataforma Raspberry Pi y el entorno CODESYS. El trabajo se documenta de forma secuencial, estableciendo los hitos de investigación, validación física y programación final.

Motivación / Objetivo: Establecer un sistema de control con entorno de programación industrial que integre la lógica de operación y la interfaz visual del simulador.

Resultado: (Ver subfichas 19.Ctrl.1 a 19.Ctrl.7)

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: La documentación (subfichas 19.Ctrl.1–19.Ctrl.7) evidencia la planificación secuencial de hitos técnicos, validaciones y actividades de integración, lo que corresponde al componente operativo del Método 7.5 orientado a transformar soluciones en planes de implementación. No obstante, no se identifican los artefactos metodológicos que constituyen la formalización exigida para correspondencia plena: falta una descripción del contexto cambiante que fundamente decisiones de implementación; no existe una matriz que vincule soluciones con desafíos (operativos, de gestión, financieros o de mercado); no se documentan recursos asignados, cronograma consolidado ni responsabilidades organizacionales; y no aparece registro de retroalimentación de partes interesadas utilizado para ajustar el plan. En consecuencia, la ficha muestra alineamiento en su núcleo técnico pero carece de la planificación estratégica y la instrumentación metodológica requeridas; por ello el nivel de correspondencia se asigna como parcial.

Ficha 19.Ctrl.1 — Determinación del software de programación y diseño de HMI

Estado: Realizado.

Descripción: Búsqueda y selección de un entorno de programación compatible con Raspberry Pi 4 que permitiera el uso de lenguaje *Ladder*, basándose en la experiencia previa del equipo con *TIA Portal* y los *Programmable Logic Controllers* (PLC's) *Siemens S1200*. Se seleccionó *CODESYS* (versión de prueba) por su capacidad de integrar la lógica de control y el diseño de la Interfaz Humano Máquina (*HMI* por sus siglas en inglés) en una sola plataforma.

Condición técnica: Se determinó que la restricción de 2 horas de *Runtime* de la versión gratuita es suficiente para las fases de prueba del prototipo.

Resultado: Adopción de *CODESYS* como plataforma oficial de control y diseño preliminar de la arquitectura de la interfaz hombre-máquina.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 7. Materializar la solución

Justificación: Se adoptó *CODESYS* como plataforma técnica capaz de integrar lógica de control e interfaz HMI para la *Raspberry Pi 4*, motivado por la necesidad de establecer una base tecnológica que soporte programación en *Ladder* y por la experiencia previa del equipo; este acto constituye una decisión operacional de “elección de plataforma” que guarda relación con el *What it does* del método 7.2 en cuanto a enmarcar la solución como plataforma y revisar atributos técnicos fundamentales (compatibilidad de lenguaje

en escalera e integración lógica con una HMI). Asimismo, se reflejaron parcialmente pasos del *How it works*: se identificaron atributos relevantes de la plataforma (soporte de estándares, capacidad de integración) y se evaluó una restricción técnica operativa (*Runtime* de 2 horas), lo cual alinea la ficha con las primeras etapas del método (discutir atributos e identificar soluciones con potencial de plataforma). No se realizó, sin embargo, la elaboración de un plan temporal para el crecimiento o despliegue de la plataforma, no se aplicaron sistemáticamente los cuatro principios de plataforma ni se definieron socios, responsabilidades ni una estrategia de evolución/expansión en el tiempo; por consiguiente, la correspondencia es parcial y procede como criterio de excepción dentro del Modo 7, pues la acción ejecutada constituye un núcleo técnico de un Plan de plataforma pero carece del alcance estratégico y de la planificación completa que exige el método.

Ficha 19.Ctrl.2 — Pruebas de integración entre Raspberry Pi y CODESYS

Estado: Realizado.

Descripción: Ejecución de los protocolos de comunicación y carga de entorno (Runtime) establecidos por CODESYS para procesadores basados en arquitectura ARM. Se verificó la visibilidad del dispositivo dentro de la red local y la capacidad de establecimiento de sesión entre la estación de ingeniería (PC) y el objetivo (Raspberry Pi 4 Model B).

Resultado: Vinculación exitosa entre hardware y software, permitiendo la transferencia de proyectos y el monitoreo en tiempo real de variables del sistema.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 7. Materializar la solución

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se ejecutaron acciones de validación técnica consistentes en la carga de un entorno de ejecución y la verificación de protocolos de comunicación aplicados a una arquitectura de hardware específica. El propósito de estas actividades se alinea directamente con la mentalidad evaluativa del modo, orientada a transformar una conjetura técnica en una realidad funcional mediante la comprobación de su viabilidad en un entorno operativo. Sin embargo, estas acciones no se realizaron bajo el rigor metodológico de un plan de prueba piloto formal, pues no se seleccionó un mercado de prueba, ni se definieron métricas de desempeño o procesos de retroalimentación de usuarios. Por tanto, la ficha se identifica mejor como una aplicación práctica de los principios de materialización y evaluación del modo que como la ejecución completa de uno de sus métodos estratégicos o de planificación.

Ficha 19.Ctrl.3 — Pruebas de integración física vía GPIO

Estado: En desarrollo.

Descripción: Validación de la cadena de mando física mediante la configuración de los registros de entrada y salida (GPIO) de la Raspberry Pi dentro del mapa de memoria de CODESYS. Se realizan pruebas de encendido/apagado de actuadores simples y lectura de señales de sensores para confirmar que la lógica del programa se traduce correctamente en cambios de estado de los pines físicos.

Resultado: Comprobación de la integridad de la interfaz física y determinación de las latencias de respuesta entre el programa lógico y el hardware periférico.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 7. Materializar la solución

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se validó la cadena de mando física mediante la configuración de los registros

GPIO, la activación de actuadores simples y la lectura de señales provenientes de sensores, con el propósito de comprobar que la lógica del programa se tradujera correctamente en cambios de estado del hardware periférico. Esta actuación coincide con el sentido del modo (*mindset: Evaluating in Reality*), porque busca volver tangible una solución técnica y someterla a verificación en condiciones operativas. También coincide con la lógica de evaluación en realidad, ya que se verificó el comportamiento del sistema y se midieron latencias de respuesta. Sin embargo, no se realizó un esquema formal de prueba piloto con métricas de aceptación, análisis sistemático de resultados ni ajustes posteriores, por lo que la correspondencia queda como parcial.

Ficha 19.Ctrl.4 — Integración de entradas/salidas con HMI básica

Estado: Por realizarse.

Descripción: Vinculación de los objetos de visualización de la HMI con las variables internas del programa que controlan los pines GPIO. Esta fase busca validar que la interacción del usuario a través de la pantalla táctil dispare las rutinas de control correspondientes y que el estado de los sensores se refleje visualmente en la interfaz.

Resultado proyectado: Interfaz operativa básica que permita el control manual de las salidas físicas desde la pantalla capacitiva.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 7. Materializar la solución.

Asociación con Kumar: Método 6.4 - Mapa de vinculación de conceptos

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se describe la vinculación entre objetos de visualización de la HMI, variables internas del programa y pines GPIO, es decir, la conexión de componentes complementarios para formar una solución operativa básica. Esto coincide con el Método 6.4 porque su propósito es enlazar ideas o componentes compatibles para construir un sistema de solución. También se alinea con el Modo 6 en el *mindset* de *Conceiving Holistic Solutions*, ya que la atención está en integrar partes del sistema en una estructura funcional. No se asocia con evaluación de soluciones ni con prototipado en sentido de prueba formal, por lo que la correspondencia queda parcial.

Ficha 19.Ctrl.5 — Generación del programa de control orientado al prototipo

Estado: Por realizarse.

Descripción: Codificación del algoritmo definitivo de operación del simulador. El programa deberá integrar la lógica de control para los actuadores blandos (termoactuación por Modulación de ancho de pulso, PWM por sus siglas en inglés, o voltaje) y el control de posición del sistema de desplazamiento de aceite de coco, incluyendo las medidas de seguridad y tiempos de ciclo.

Resultado proyectado: Programa de control maestro configurado con los parámetros técnicos finales derivados de las caracterizaciones de cada subsistema.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 6. Configurar la solución.

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: No se realizaría todavía una prueba o validación, sino la codificación del algoritmo definitivo que integra varias funciones del sistema: actuadores blandos, desplazamiento, seguridad y tiempos de ciclo. Por eso no encaja de manera limpia con un método específico de evaluación o escenario, sino con la lógica general de integrar

componentes en una solución coherente. El mejor encuadre es como criterio de excepción dentro del Modo 6, porque la tarea consiste en consolidar una solución técnica holística antes de pasar a la fase de prototipo y verificación. No se selecciona un método como 6.2, 6.10 o 6.11 porque aquí no hay valoración, *roadmap* ni clasificación, sino construcción del núcleo funcional del sistema.

Ficha 19.Ctrl.6 — Implementación en circuito de prueba

Estado: Por realizarse.

Descripción: Montaje de la electrónica de control y potencia en un entorno de pruebas controlado (fuera de la estructura base). Se busca verificar el comportamiento del conjunto (fuentes de alimentación, drivers de potencia y controladores) bajo condiciones de carga simulada antes del montaje definitivo.

Resultado proyectado: Validación del sistema de integración electrónica y confirmación de la estabilidad térmica del control de potencia.

Asociación con Kumar: Método 6.9 - Prototipo de solución

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: La ficha plantea montar la electrónica de control y potencia en un entorno controlado para verificar el comportamiento bajo carga simulada. Esto corresponde de forma muy directa al Método 6.9, porque este método contempla la construcción de prototipos de desempeño y su prueba en ambientes simulados para observar el comportamiento de la solución. Aunque todavía no se trata de una prueba definitiva en condiciones de uso real, sí se trata de una materialización técnica orientada a validar supuestos. Por eso el ajuste con el método es claro, pero aún parcial.

Ficha 19.Ctrl.7 — Implementación en el prototipo unido a la HMI

Estado: Por realizarse.

Descripción: Instalación física del sistema de control e interfaz visual en la estructura de soporte. Esta fase representa el cierre de la integración de la célula de control, donde el sistema gobierna los subsistemas anatómicos integrados en el simulador.

Resultado proyectado: Sistema de control operativo integrado y funcional, permitiendo la operación autónoma del simulador de plicometría.

Asociación con Kumar: Método 6.9 - Prototipo de solución

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Esta ficha describe la instalación física del sistema de control e interfaz visual en la estructura de soporte, cerrando la integración de la célula de control. Eso también encaja con el Método 6.9, ya que se trata de llevar la solución a una forma tangible y operativa en prototipo antes de su validación final. Aunque todavía no se explicita una observación sistemática de usuarios o una evaluación formal, sí hay una intención clara de materializar la solución integrada. Por eso su correspondencia es parcial, pero suficiente para ubicarla en el ámbito del prototipado de solución.

5.5.4. Ficha 20 — Diseño del sistema mecánico de inyección y sujeción de actuadores

Actores: FSCZ (Líder); EERA; ASR; AAMS; CGBV; GOMG; JUCG (Diseño de moldes); JASR (Asesoría).

Descripción: Proceso de diseño conceptual, modelado paramétrico y determinación de

las interfaces de acoplamiento del subsistema de inyección de fluido adiposo (aceite de coco desodorizado) y las estructuras de soporte de los actuadores del simulador. La tarea implicó la transición de sistemas de jeringas simples a unidades modulares de acero inoxidable herméticas y la resolución de la transmisión de par mecánico bajo carga.

Motivación / Objetivo: Diseñar un sistema mecánico funcional capaz de desplazar un fluido de alta viscosidad de manera controlada y uniforme hacia las bolsas adiposas, garantizando la hermeticidad del circuito hidráulico, mitigando las vibraciones de la línea de potencia y asegurando la compatibilidad de montaje sobre los actuadores musculares.

Resultado: (Ver subfichas asociadas 20.Mec.1 a 20.Mec.8)

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 6. Configurar la solución.

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se ejecutó un modelado paramétrico, definición de interfaces y selección/ajuste de componentes comerciales, actividades coherentes con la Diagramación de soluciones (Método 6.6) y con la fase de vinculación conceptual (Método 6.4) para integrar conceptos en una configuración sistémica; asimismo se materializaron elementos mecánicos orientados a desempeño que reflejan una dimensión de prototipado (Método 6.9) enfocada en la verificación funcional. No obstante, no se realizaron los artefactos metodológicos necesarios para correspondencia plena: falta un Mapa de vinculación de conceptos con criterios y puntajes que justifiquen la elección de la configuración, no se presentan diagramas formales que documenten flujos, dependencias y alternativas evaluadas, no hay registro de ensayos con observación sistemática ni retroalimentación de usuarios/operadores para validar desempeño en contexto, y no se existió un proceso iterativo de evaluación y archivo (*Solution Database*) que respalde la decisión final. En consecuencia, la ficha evidencia alineamiento técnico y de materialización con el Modo 6 y los métodos 6.6/6.4/6.9, pero adolece de la evaluación, justificación cuantitativa y sistematización exigidas; por ello la correspondencia es parcial hacia el Modo 6.

Ficha 20.Mec.1 — Investigación y propuestas de sujeción para el sistema de inyección adiposa a la estructura base

Actores: CGBV; FSCZ; JUCG.

Descripción: Identificación, análisis técnico y experimentación de alternativas para transmitir torque desde el eje del motor eléctrico hacia el tornillo sin fin del inyector, así como el diseño de las interfaces de soporte para atenuar perturbaciones dinámicas.

Motivación / Objetivo: Prevenir desalineaciones axiales entre el motor y la varilla roscada que pudiesen bloquear la transmisión de potencia, amortiguar las vibraciones operativas del motor de corriente directa y fijar mecánicamente el conjunto de inyección a los perfiles de la base para evitar movimientos relativos destructivos.

Resultado: Decisión técnica de implementar un cople helicoidal flexible comercial de 5 mm a 8 mm acoplado mediante prisioneros Allen. Modificación física de la varilla roscada mediante el desbastado tangencial de un tercio de su espesor por un centímetro de longitud con un mototool, generando una cara plana paralela análoga a la del eje del motor para evitar el patinamiento bajo carga. Diseño preliminar de una bancada semicircular de montaje en PETG equipada con juntas amortiguadoras de caucho sintético.

Asociación con Kumar: Método 6.4 Mapa de vinculación de conceptos (*Concept-Linking Map*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se identificaron y se compararon de alternativas y se propuso una configu-

ración integrada, acciones que responden a la lógica del Método 6.4 al generar opciones y combinar conceptos para formar una solución coherente. Sin embargo, no se plantearon los artefactos metodológicos que formalizan esa elección: falta una matriz o mapa con criterios y puntajes que evalúen las alternativas según valor para usuario/proveedor; no se aprecia una descripción comparativa que explique por qué la combinación seleccionada supera otras opciones en términos de compatibilidad y viabilidad; y no existe documentación de seguimiento analítico (p. ej. análisis de sensibilidad o priorización) que respalde la selección final. En consecuencia, la ficha muestra alineamiento con la intención del Método 6.4 en su componente exploratorio y de síntesis, pero carece de la evaluación y la sistematización exigidas para considerarla de correspondencia plena; por ello es parcial.

Ficha 20.Mec.2 — Modelado CAD preliminar de componentes estándar y estructurales

Actores: FSCZ; EERA; JUCG.

Descripción: Creación de las representaciones geométricas tridimensionales en entorno digital de las piezas estandarizadas comerciales y estructurales requeridas para el montaje del sistema de desplazamiento de fluido.

Motivación / Objetivo: Disponer de una base de datos dimensionalmente fiel para efectuar el análisis espacial del volumen destinado a la inyección dentro de la estructura general, asegurando la correspondencia entre los componentes reales seleccionados y el espacio físico disponible.

Resultado: Modelos tridimensionales individuales de los tubos contenedores cilíndricos de acero inoxidable de 4 pulgadas de diámetro y 16 cm de largo, el motor eléctrico RS-775, los rodamientos de bolas de soporte radial, las variables geométricas del émbolo y los perfiles de aluminio para la estructura de soporte.

Asociación con Kumar: Método 6.6 *Diagramación de soluciones (Solution Diagramming)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: La generación de modelos CAD aportó representaciones visuales que permiten el análisis espacial y la verificación dimensional, cumpliendo la fase inicial de diagramación establecida por el Método 6.6 al traducir soluciones en visualizaciones útiles; sin embargo faltan los artefactos que sostienen correspondencia plena, pues no se presenta una justificación del tipo de diagrama elegido para comunicar relaciones funcionales, no existe evidencia de refinamiento iterativo de las visualizaciones a partir de hallazgos experimentales, no se acompaña una narrativa técnica que aclare la intención comunicativa de cada representación y no se documentó intercambio con actores pertinentes para ajustar las visualizaciones. En consecuencia, la ficha muestra alineamiento funcional con el Método 6.6 pero carece de la comunicación estructurada y del ciclo iterativo de refinamiento requeridos, por lo que la correspondencia se mantiene parcial con respecto al método.

Ficha 20.Mec.3 — Configuración del ensamble provisional y análisis de volumen base disponible

Actores: FSCZ; ASR; JUCG.

Descripción: Integración virtual preliminar de las piezas modeladas en la Ficha 20.Mec.2 y estudio de la relación volumétrica de entrega frente a los requerimientos máximos de dosificación de grasa en el simulador.

Motivación / Objetivo: Validar la viabilidad de la configuración física modular propues-

ta (dos contenedores activos) para alcanzar una capacidad de almacenamiento de cinco litros de aceite de coco líquido, analizando si el recorrido del émbolo a lo largo de la varilla satisface el gradiente de volumen necesario para las prácticas de plicometría.

Resultado: Archivo de ensamble espacial que confirma una capacidad física total aproximada de cinco litros, lo que valida la holgura del volumen operacional frente a las variaciones antropométricas de tejido adiposo especificadas en la literatura biomédica.

Asociación con Kumar: Método 6.9 *Prototipo de solución (Solution Prototype)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se construyó un prototipo virtual y se ejecutaron simulaciones orientadas a evaluar la capacidad y el comportamiento espacial del ensamble, actividad coherente con la dimensión de prototipado del Método 6.9; no obstante, no se realizaron ensayos con usuarios ni observación sistemática de interacciones, no existen registros analíticos que documenten resultados empíricos y no se implementó un ciclo iterativo de análisis y refinamiento basado en hallazgos, faltas que impiden validar la experiencia en contexto y completar la fase de prototipado con correspondencia plena, por lo que la relación se mantiene parcial con el método.

Ficha 20.Mec.4 — Desarrollo del archivo rector de ensamble general en Auto-desk Inventor

Actores: FSCZ; EERA; ASR; GOMG; CGBV; JUCG.

Descripción: Construcción del modelo digital maestro (*Master Assembly*) del sistema mecánico completo, asegurando la jerarquía espacial asociativa entre subensambles e incorporando volúmenes virtuales de reserva espacial para otros subsistemas.

Motivación / Objetivo: Centralizar las referencias dimensionales de todas las piezas mecánicas estructurales y comerciales en un único archivo rector para coordinar el trabajo de diseño de forma síncrona, verificar tolerancias de ensamble y prevenir obstrucciones geométricas con la electrónica y los actuadores musculares.

Resultado: Un archivo digital de ensamble maestro estructurado en tres subensambles principales: unidad de potencia (motor RS-775 y transmisión), bloque de dosificación (recipientes de acero inoxidable de 4 pulgadas y émbolos de empuje) y bastidor estructural ajustable. El modelo integró zonas de exclusión espacial que garantizaron la compatibilidad volumétrica con los actuadores termoactivados musculares de silicona Ecoflex.

Asociación con Kumar: Método 6.6 *Diagramación de soluciones (Solution Diagramming)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se elaboró un archivo maestro que funcionó como representación estructural y espacial de la solución, integrando jerarquías asociativas y zonas de exclusión, acciones equivalentes a la elaboración de diagramas para visualizar la disposición física según el Método 6.6; no obstante, no se produjeron diagramas formales que documentaran flujos funcionales, dependencias y alternativas de diseño, no se acompañó la modelación con narrativas o escenarios prospectivos que articulen el comportamiento del sistema en contextos de uso tal como propone el Método 6.5, y no se registraron procesos de revisión y refinamiento derivados de evaluaciones o talleres que permitan iterar sobre las representaciones; por consiguiente la ficha evidencia coherencia con la diagramación técnica pero carece de los artefactos de comunicación, evaluación y prospectiva necesarios para correspondencia plena, razón por la cual la relación se mantiene parcial.

Ficha 20.Mec.5 — Protocolo de conversión y estandarización analítica de archivos de malla (STL a .ipt) bajo restricciones paramétricas

Actores: FSCZ; CGBV; JUCG.

Descripción: Importación, reducción de densidad poligonal, remallado y conversión de archivos STL volumétricos procedentes de reconstrucción anatómica (resonancias magnéticas y tomografías computarizadas) a sólidos editables de tipo pieza (.ipt) en el software de diseño mecánico.

Motivación / Objetivo: Integrar las geometrías orgánicas del brazo humano en el entorno de diseño paramétrico de ingeniería, posibilitando operaciones de modificación a los modelos para el diseño de moldes y garantizando la correspondencia dimensional con la estructura del simulador.

Resultado: Implementación del protocolo de remallado que redujo las mallas orgánicas complejas a un rango de operación controlado de entre 4,000 y 7,000 polígonos. Los archivos resultantes se convirtieron con éxito en sólidos no paramétricos editables dentro de *Inventor*, sirviendo como base anatómica unificada para el desarrollo de componentes periféricos.

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 6. Configurar la solución.

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se importaron, redujeron y remitieron mallas anatómicas a sólidos editables y se estableció un procedimiento de estandarización que facilitó la incorporación operativa de geometrías al entorno de diseño, acciones que se alinean con la lógica de organización y archivo que promueve el Método 6.12 (Solution Database) y con la mentalidad de estructuración de soluciones del Modo 6; no obstante, no se desarrolló una base de datos ni se definieron atributos, criterios de clasificación o metadatos para catalogar y comparar soluciones, tampoco se documentaron procesos de indexado y recuperación ni registros que permitan auditoría o análisis comparativos posteriores, carencias que impiden la evaluación y sistematización necesarias para correspondencia plena, de modo que la relación se mantiene parcial.

Ficha 20.Mec.6 — Diseño paramétrico y de moldes para la caracterización del sistema muscular

Actores: FSCZ; JUCG; JASR.

Descripción: Diseño tridimensional de moldes segmentados para el vaciado y curado de silicona platino Ecoflex 00-50, configurando cavidades para alojar guías de embobinado internas destinadas al alambre de nicromo 22 AWG.

Motivación / Objetivo: Producir herramientas de conformado rígidas que toleren el proceso exotérmico de solidificación del elastómero de silicona, impidan la deformación no controlada de las paredes del actuador durante el vaciado y garanticen la reproducibilidad dimensional de las secciones musculares del simulador.

Resultado: Modelos tridimensionales de moldes bipartitos optimizados para su manufactura mediante manufactura aditiva. El análisis de iteraciones previas determinó la desestimación definitiva de moldes de poliuretano termoplástico (TPU) por fallas químicas en la cinética de curado del elastómero, seleccionando ácido poliláctico (PLA) como material definitivo del herramental de vaciado.

Asociación con Kumar: Método 6.9 *Prototipo de solución (Solution Prototype)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se diseñaron y optimizaron moldes bipartitos y se seleccionó PLA tras descartar TPU por incompatibilidades de curado, acciones orientadas a construir prototipos de manufactura que permitan evaluar desempeño y manufacturabilidad en consonancia con la función de prototipado del Método 6.9; no obstante, no se documentaron ensayos con usuarios ni observación sistemática de interacciones, no existen registros analíticos de resultados de desempeño y no se implementó un ciclo formal de análisis y refinamiento basado en hallazgos, carencias que impiden validar la experiencia en contexto y completar la fase de prototipado con correspondencia plena, por lo que la relación se mantiene parcial con el método.

Ficha 20.Mec.7 — Diseño geométrico de tapones y sellos herméticos para el contenedor de grasa volumétrica

Actores: CGBV; FSCZ; JUCG.

Descripción: Rediseño y modelado de las tapas de obturación de los contenedores cilíndricos de acero inoxidable, incorporando geometrías adaptadas para solventar la interferencia de ensamble detectada en las líneas de inyección de aceite de coco.

Motivación / Objetivo: Conseguir un sellado hidráulico hermético que contenga el fluido adiposo a temperatura de fusión (27 °C) bajo la presión estática ejercida por el émbolo de tornillo sin fin, previniendo fugas y permitiendo a su vez el posicionamiento libre de los inyectores sin obstruir físicamente su inserción axial.

Resultado: Diseño de tapas de contenedor con geometría perimetral en “C” (abertura inferior). Esta configuración resolvió la colisión geométrica en la punta de los inyectores al posibilitar un tope mecánico robusto adaptado al diámetro menor del inyector, facilitando el montaje rápido y el acoplamiento estanco por presión sobre el perfil estructural del bastidor.

Asociación con Kumar: Método 6.4 *Mapa de vinculación de conceptos (Concept-Linking Map)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se rediseñaron las tapas integrando criterios de compatibilidad geométrica, hermeticidad y acceso axial, acciones que reflejan la combinación de conceptos complementarios propia del Método 6.4; sin embargo, no se elaboró un mapa de vinculación con criterios y puntajes que sistematice la priorización de alternativas, no se registraron comparaciones cuantitativas entre opciones ni se documentaron procesos de evaluación que sustentaran la elección final, faltas que obstaculizan la sistematización y la justificación cuantitativa exigidas para correspondencia plena, por lo que la relación se mantiene parcial con el método.

Ficha 20.Mec.8 — Diseño de guías metálicas de soporte y acoplamientos mecánicos

Actores: FSCZ; CGBV; EERA.

Descripción: Modelado tridimensional de soportes metálicos articulados y guías auxiliares de desplazamiento en el bastidor, integrando alojamientos geométricos específicos para baleros rígidos comerciales y tuercas de seguridad roscadas.

Motivación / Objetivo: Restringir los grados de libertad espaciales no deseados del tornillo sin fin de inyección, neutralizar la componente de deflexión (pandeo) presente en las varillas roscadas largas y mantener alineados los ejes bajo carga de torsión y vibraciones.

Resultado: Soportes de guía en forma de “Y” impresos en filamento PETG de alta

resistencia térmica y mecánica, equipados con alojamientos hexagonales internos calibrados para la inserción a presión de rodamientos de bolas radiales comerciales serie 608ZZ y tuercas de inserción hexagonal. Este conjunto mecánico minimizó significativamente la fricción durante el avance axial del inyector y protegió permanentemente los cojinetes internos del motor de corriente directa.

Asociación con Kumar: Método 6.4 *Mapa de vinculación de conceptos (Concept-Linking Map)*

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se integraron y combinaron conceptos de sujeción, alineación y reducción de fricción mediante el modelado y la incorporación de alojamientos para rodamientos y elementos de fijación, acciones coherentes con la lógica de combinación de conceptos del Método 6.4; no obstante, no se construyó un mapa de vinculación con criterios y puntajes que permitiera priorizar alternativas, no se registraron comparaciones cuantitativas entre opciones ni se documentaron procesos de evaluación que fundamentaran la elección final, carencias que impidieron la sistematización y la justificación cuantitativa necesarias para correspondencia plena, por lo que la relación se mantiene parcial con el método.

5.5.5. Ficha 21 — Definición eléctrica del sistema: alimentación, potencia, sensado e interconexión

Actores: ISFR (Líder); JSMM; AAMS; GOMG; JUCG; JASR (Asesoría).

Descripción: Proceso de investigación documental, modelado conceptual, estimación teórica de consumos y estructuración de la arquitectura eléctrica de potencia, alimentación y sensado del simulador. La actividad se centró en la planeación de los bloques de conversión de energía, la separación teórica de las etapas lógicas y de alta corriente, la validación mediante simulaciones de software y el planteamiento del arreglo de sensores para la retroalimentación del sistema.

Motivación / Objetivo: Establecer las bases técnicas y el diseño de la infraestructura eléctrica que permita satisfacer las futuras demandas energéticas de la termoactivación muscular y del motor de inyección adiposa, asegurando la viabilidad de la conmutación de señales y la protección del microordenador central.

Resultado: (Ver subfichas asociadas 21.Elec.1 a 21.Elec.7)

Asociación con Kumar: Criterio de excepción asociación con el Modo 6. Configurar la solución.

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se integraron y estructuraron múltiples actividades (estimación de requerimientos, diseño AC/DC, segmentación de líneas, interconexión, selección de componentes, simulación y arreglo de sensado) para conformar una arquitectura eléctrica coherente y reutilizable; esa actividad responde al *mindset* de Configurar la solución al organizar ideas en jerarquías y categorías útiles para implementación futura y al propósito de crear estructuras que permitan evaluar y combinar conceptos. En su operación, se reunieron descripciones, diagramas y reportes y se los organizó para ser referenciables (coincidiendo con los pasos de la *Solution Database*), si bien no se emprendió una implementación piloto a escala real ni un despliegue masivo; por tanto, la ficha funciona como un núcleo integrador y repositorio proximal para fases posteriores. Por ello se clasifica siguiendo el Criterio de excepción pues la ficha opera mejor como encuadre a nivel de Modo 6 que como correspondencia con un único método.

Ficha 21.Elec.1 — Estimación inicial de los requerimientos eléctricos del sistema

Actores: ISFR; GOMG; AAMS.

Descripción: Recopilación bibliográfica y cálculo analítico de las demandas máximas de corriente y voltaje teóricas asociadas a los transitorios de arranque del motor de inyección de grasa y la activación Joule de las bobinas de nicromo.

Motivación / Objetivo: Determinar la capacidad nominal teórica que deberá suministrar la fuente de alimentación para evitar caídas de tensión críticas en la lógica de control durante la operación simultánea de los actuadores.

Resultado: Documento de requerimientos eléctricos que define los picos de corriente calculados y establece los límites teóricos de operación térmica segura para la selección de conductores.

Asociación con Kumar: Método 4.1 De observaciones a conocimientos (*Observations to Insights*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se recopiló y analizó información técnica para transformar observaciones bibliográficas en requerimientos eléctricos concretos con el fin de establecer límites operativos y picos de corriente; esa finalidad conecta con lo que el método realiza al extraer conocimientos útiles a partir de observaciones. Las acciones ejecutadas reproducen los primeros pasos del método porque se reunieron observaciones (datos bibliográficos) y se interpretaron mediante análisis técnico, pero no se realizó la discusión grupal orientada a formular y refinar *insights* mediante el cuestionamiento colectivo ni se organizaron en una hoja de trabajo colaborativa para su posterior priorización. No se realizó la fase de refinamiento iterativo y consenso del “por qué” que completa el ciclo del método. Por ello la asociación parcial porque el núcleo analítico coincide con 4.1, pero faltaron los pasos colectivos de refinamiento e institucionalización de los *insights*.

Ficha 21.Elec.2 — Diseño de la arquitectura de alimentación AC/DC (rectificación, regulación y protección)

Actores: ISFR; JSMM.

Descripción: Estructuración del diagrama de flujo de corriente proyectado desde la red eléctrica convencional hasta las etapas del circuito de corriente directa del simulador, integrando dispositivos de protección conceptuales.

Motivación / Objetivo: Plantear un esquema de transformación de energía seguro que incorpore mecanismos de interrupción física ante fallas eléctricas imprevistas.

Resultado: Diagrama eléctrico de diseño que contempla un bloque de entrada AC de 120V a 60Hz, propuesta de interruptor de enclavamiento, módulo de transformación con protección por fusible y un circuito rectificador orientado a la transferencia estable de energía.

Asociación con Kumar: Método 6.6 Diagramación de soluciones (*Solution Diagramming*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se estructuró la solución de alimentación como un diagrama de bloques que muestra la transformación y protección de la energía con la finalidad explícita de clarificar la arquitectura y reducir ambigüedad, lo cual corresponde exactamente con el *What it does* del método al traducir soluciones en representaciones visuales; en la ejecución se determinó el tipo de diagrama, se realizó la representación y se incorporaron elementos de protección, reproduciendo los pasos del *How it works* (selección del tipo de diagrama y

refinamiento mediante diagramación). No se realizó aún la validación práctica posterior en prototipo físico, pero la tarea completa de diagramación y refinamiento conceptual se realizó conforme a la lógica operativa del método. Por ello se considera una asociación directa, nivel plena.

Ficha 21.Elec.3 — Especificación de líneas de alimentación independientes para lógica (*Raspberry Pi*) y potencia (Motor RS-775)

Actores: ISFR; JSMM; GOMG.

Descripción: Segmentación de la distribución de corriente directa en ramas teóricas aisladas para mitigar el acoplamiento de ruido transitorio entre componentes de potencia y la electrónica digital de la unidad de control.

Motivación / Objetivo: Analizar las posibles colisiones eléctricas generadas por el ruido de conmutación del motor y las variaciones abruptas de potencia en la termoactivación muscular para preservar la estabilidad de la lógica de control.

Resultado: Propuesta de distribución eléctrica que establece una línea de regulación de precisión a 5V y 3A proyectada para terminal USB-C acoplada al microcontrolador, y una rama independiente de potencia dimensionada para las demandas dinámicas del puente H del motor.

Asociación con Kumar: Método 6.1 Síntesis morfológica (*Morphological Synthesis*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se organizó la solución separando funciones eléctricas y se combinó regulación de precisión con una rama de potencia dedicada, acciones correspondientes a la selección de categorías y la combinación de conceptos del Método 6.1; no obstante, no se elaboró un cuadro morfológico formal, no se compararon sistemáticamente permutaciones alternativas ni se definieron criterios y puntajes para evaluar opciones, y no se registraron análisis comparativos que justificaran cuantitativamente la elección de la configuración, carencias que impidieron la formalización completa del método y mantienen la correspondencia como parcial con la síntesis morfológica.

Ficha 21.Elec.4 — Definición del bloque de interconexión para distribución de señales de control y potencia

Actores: ISFR; AAMS.

Descripción: Planteamiento conceptual de la interfaz centralizadora de señales, diseñando la conectividad teórica entre las salidas del microcontrolador y las etapas de potencia de los actuadores.

Motivación / Objetivo: Optimizar la futura distribución del cableado interno mediante una planificación lógica que facilite el mantenimiento y la modularidad del sistema.

Resultado: Esquema de interconexión proyectado que consolida la distribución de señales de control y potencia dirigida hacia las secciones de termorregulación y actuación muscular.

Asociación con Kumar: Método 6.6 Diagramación de soluciones (*Solution Diagramming*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se diseñó y representó un esquema de interconexión para mostrar cómo interactúan los componentes de control y potencia con la intención explícita de clarificar estructura y facilitar mantenimiento, lo cual coincide el *What it does* del método; en términos operativos se siguieron los pasos del *How it works* al determinar el tipo de diagrama (relaciones y flujos), elaborar la representación y refinar la solución a partir de

la visualización. No se realizó la puesta a prueba física del diagrama en un banco real, pero la tarea de diagramación y refinamiento conceptual se cumplió de acuerdo con la lógica del método. Así, la asociación es directa, nivel plena.

Ficha 21.Elec.5 — Selección de componentes electrónicos según criterios de par y consumo

Actores: ISFR; JUCG.

Descripción: Análisis y validación de componentes del mercado eléctrico aplicando restricciones teóricas de capacidad de disipación calórica, rango de operación de voltaje y disponibilidad física de sustitutos.

Motivación / Objetivo: Respaldo la selección de transmisores, relevadores u optoacopladores mediante la correspondencia con las especificaciones de carga reportadas por la célula de mecánica para motor y actuadores.

Resultado: Fichero preliminar de componentes sugeridos donde se especifican diodos amortiguadores para la reactancia inductiva del motor, transistores de conmutación térmica y optoacopladores destinados al aislamiento galvánico de señales digitales.

Asociación con Kumar: Método 6.4 Mapa de vinculación de conceptos (*Concept-Linking Map*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se identificaron y compararon componentes complementarios y se propusieron combinaciones preliminares coherentes con la lógica de vinculación conceptual del Método 6.4; no obstante, no se implementó una matriz de puntuación sistemática ni se plasmó un mapa con ejes de valor que permitiera observar patrones y priorizar alternativas, tampoco se registraron criterios ponderados ni documentación de evaluación cuantitativa que justificara la selección final, carencias que impidieron la formalización metodológica necesaria para correspondencia plena y que mantienen la relación como parcial con el método.

Ficha 21.Elec.6 — Validation mediante simulación de de circuitos en entorno PROTEUS

Actores: ISFR; JSMM.

Descripción: Simulación digital y comprobación del comportamiento dinámico de las propuestas de circuitos de acoplamiento y control de potencia lógica en un entorno virtual.

Motivación / Objetivo: Verificar la viabilidad teórica de los diseños frente a transitorios de conmutación y validar la topología de interconexión antes de cualquier adquisición de componentes físicos o manufactura de placas.

Resultado: Reporte de resultados analíticos en PROTEUS que confirma el funcionamiento estable de los esquemas de aislamiento lógico y la respuesta esperada de los semiconductores ante señales de control.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se ejecutó una validación mediante simulación que incluyó la planificación básica del ensayo virtual, la ejecución y el monitoreo de respuestas dinámicas en PROTEUS, actividades coherentes con la intención de aprendizaje y prototipado del Método 7.4; no obstante, no se identificó ni aprobó un mercado o contexto de prueba real, no se definieron métricas de desempeño cuantificables ni mecanismos de recolección de retroalimentación

en campo, no se lanzó ni monitorizó un piloto físico y no se registraron análisis empíricos para iterar la solución, carencias que impidieron completar las fases de implementación y evaluación en contexto real y que mantienen la correspondencia como parcial con el método.

Ficha 21.Elec.7 — Configuración teórica del arreglo de sensado (temperatura, posición y límites de carrera)

Actores: ISFR; GOMG; AAMS.

Descripción: Planificación lógica de la ubicación e integración de dispositivos transductores analógicos y digitales encargados del monitoreo de variables de estado en el simulador.

Motivación / Objetivo: Prever la instrumentación necesaria para que el sistema de control procese en tiempo real el calentamiento Joule, el avance longitudinal de inyección de grasa y las paradas de carrera extremas sin sobrepasar las capacidades de entrada y salida GPIO.

Resultado: Planteamiento conceptual del arreglo que ubica un grupo de sensores de temperatura integrados al sistema muscular, un codificador de pulsos para la posición del eje y finales de carrera lógicos para el paro mecánico preventivo.

Asociación con Kumar: Método 6.6 Diagramación de soluciones (*Solution Diagramming*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se planificó el tipo de diagrama y se elaboró un diagrama conceptual que mostró la integración de transductores y el flujo de información hacia el control central, actividades coherentes con la Diagramación de soluciones; no obstante, no se iteró el diagrama a partir de ensayos de bancada ni se documentaron refinamientos empíricos, tampoco se generaron diagramas detallados de flujos, dependencias y alternativas evaluadas, y no se registraron pruebas ni criterios de validación que justificaran la selección final, carencias que impidieron la formalización metodológica necesaria para correspondencia plena y que mantienen la relación como parcial con el método.

5.5.6. Ficha 22 — Gestión de manufactura, mantenimiento de infraestructura y estandarización documental

Actores: GACD (Líder); AMIH; OOCZ; AAMS; FSCZ; UMJ; CGBV.

Descripción: Ejecución de los protocolos de preparación, calibración y mantenimiento preventivo de la maquinaria de manufactura aditiva y sustractiva, así como la adecuación de la infraestructura física del espacio de trabajo y la generación de documentación técnica. Esta labor aseguró la disponibilidad y seguridad de los equipos para la producción de los componentes del simulador.

Motivación / Objetivo: Garantizar que el parque de maquinaria y el mobiliario del laboratorio operen en condiciones óptimas y seguras, estableciendo un marco documental que permita la trazabilidad de los procesos y la estandarización operativa entre las distintas células.

Resultado: (Ver subfichas asociadas 22.MMD.1 a 22.MMD.7)

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se ejecutaron protocolos y acciones de calibración y acondicionamiento con la finalidad de asegurar operatividad, seguridad y trazabilidad para la producción; esto

responde a la lógica del método 7.5 que consiste en convertir una hoja de ruta estratégica en acciones concretas y en pensar sistemáticamente los desafíos de implementación. Se corresponde con el *What it does* en tanto las actividades realizadas constituyen insumos prácticos para crear matrices de soluciones versus desafíos y para pensar las respuestas organizacionales; asimismo, coincide parcialmente con pasos del *How it works* como la revisión de estrategias y la identificación y discusión de desafíos operativos. No se realizó la formalización completa requerida por el método pues no se creó una matriz explícita de soluciones versus desafíos (mercado, operativo, gestión, financiero) ni un Plan Maestro consolidado con cronograma tipo Gantt y asignación detallada de recursos. Por ello, la asociación es directa pero parcial, porque la ficha cubrió el núcleo operativo necesario para implementar acciones pero no alcanzó la totalidad de los pasos de planificación y síntesis que exige el método.

Ficha 22.MMD.1 — Verificación, calibración y mantenimiento de impresoras 3D

Actores: GACD; AAMS; FSCZ; OOZC; JUCG.

Descripción: Intervención técnica para la nivelación de plataformas, tensado de correas y limpieza de sistemas de extrusión de los equipos de manufactura aditiva.

Motivación / Objetivo: Asegurar la repetibilidad dimensional y prevenir fallas críticas en impresiones de larga duración, garantizando que la deposición de material sea uniforme para los moldes y componentes anatómicos.

Resultado: Protocolo de mantenimiento ejecutado que incluyó la calibración fina de las camas calientes y la verificación de flujo en boquillas, dejando los equipos operativos para la fase de producción.

Asociación con Kumar: Método 6.9 Prototipo de solución (*Solution Prototype*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se ejecutaron ajustes técnicos y calibraciones que permitieron construir prototipos funcionales de impresión y preparar un entorno de prueba operativo, actividades coherentes con la fase de construcción de prototipos y preparación del ambiente del Método 6.9; no obstante, no se realizó involucramiento de usuarios ni observación estructurada de interacciones con los prototipos, no se registraron datos ni entrevistas post-prueba para extraer retroalimentación y no se condujo un análisis iterativo de resultados para refinar las soluciones, ausencias que impidieron completar la evaluación experiencial y la iteración necesarias para correspondencia plena y que mantienen la relación como Parcial con el método.

Ficha 22.MMD.2 — Configuración de perfiles de impresión para los equipos disponibles

Actores: GACD; AMIH; OOZC.

Descripción: Determinación de parámetros lógicos (temperaturas, velocidades y densidades) optimizados para los equipos *Dremel 3D20*, *Flashforge Guider IIs* y *Creality K2 Plus*.

Motivación / Objetivo: Adaptar el código de control a las propiedades mecánicas de cada equipo y a los materiales seleccionados (PLA, TPU, PETG), maximizando la calidad superficial de los componentes.

Resultado: Repositorio de perfiles de impresión validados que aseguran la consistencia técnica en la fabricación de los subsistemas del brazo.

Asociación con Kumar: Método 6.12 Base de datos de soluciones (*Solution Database*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se generaron y validaron perfiles de impresión y se consolidaron en un repositorio consultable, cumpliendo los pasos iniciales de recolección y archivo establecidos por el Método 6.12; no obstante, no se definieron atributos de indexado ni metadatos estandarizados, no se implementó una estructura relacional con funciones de búsqueda avanzada ni se documentaron criterios de etiquetado y control de versiones para facilitar recuperación y comparación desde múltiples perspectivas, carencias que impidieron la formalización completa de la base de datos y que mantienen la correspondencia como Parcial con el método.

Ficha 22.MMD.3 — Mantenimiento y adecuación de la infraestructura física del espacio de trabajo

Actores: GACD; AMIH.

Descripción: Labores de mantenimiento preventivo, ajuste y reparación del mobiliario y muebles técnicos destinados al soporte de los equipos de control y manufactura.

Motivación / Objetivo: Proveer un entorno de trabajo organizado y seguro que permita el montaje estable de la instrumentación y el almacenamiento adecuado de los insumos del proyecto.

Resultado: Muebles e infraestructura física del laboratorio rehabilitados y estabilizados para su uso continuo durante las fases de integración del prototipo.

Asociación con Kumar: Método 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se consolidaron evidencias operativas sobre la rehabilitación y estabilización del mobiliario que permitieron identificar requerimientos materiales y necesidades de recursos, aportando insumos para la construcción preliminar de una matriz soluciones-versus-desafíos y para la definición inicial de responsabilidades técnicas y recursos asignables, actividades coherentes con la lógica del Plan de implementación del Modo 7; no obstante, no se formalizó un plan maestro con cronograma integrado ni se documentaron de forma exhaustiva los desafíos en las dimensiones de mercado, operativa, gestión y financiera, tampoco se registró la participación interdepartamental necesaria para validar plazos y asignaciones ni se generó un Gantt o sistema de seguimiento que permitiera rastrear responsables y hitos, ausencias que impidieron completar la formalización exigida por el método y que mantienen la correspondencia como Parcial.

Ficha 22.MMD.4 — Selección y priorización del equipo de impresión según geometría del componente

Actores: GACD; OOZC; AAMS.

Descripción: Establecimiento del protocolo de asignación y jerarquización de la maquinaria de manufactura aditiva disponible en el laboratorio físico para la fabricación de mallas óseas, mallas de músculo y moldes estructurales.

Motivación / Objetivo: Optimizar los tiempos de producción y asegurar la calidad superficial y resistencia de los componentes mediante una matriz de selección basada en las especificaciones técnicas, resolución, área útil y compatibilidad de filamentos de cada impresora disponible.

Resultado: Matriz operativa de asignación que prioriza el uso de la maquinaria bajo el siguiente criterio:

- ***Creality K2 Plus***: Establecida como primera opción de uso general al encontrarse desocupada, debido a sus capacidades superiores en velocidad de impresión, variabilidad de materiales compatibles, alta resistencia estructural y calidad óptima en acabados superficiales para geometrías anatómicas complejas.
- ***Flashforge Guider IIs***: Seleccionada como opción prioritaria para la fabricación de moldes o piezas que requieran grandes dimensiones, resistencia estructural acentuada o para la deposición flexible de poliuretano termoplástico (TPU).
- ***Dremel 3D20***: Reservada como equipo de respaldo para el procesamiento de componentes rígidos de baja volumetría y piezas pequeñas, operando cuando las plataformas principales se encuentran bajo carga de trabajo.

Asociación con Kumar: Método 6.2 Evaluación de conceptos (*Concept Evaluation*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se construyó una matriz operativa que jerarquiza equipos según criterios técnicos y se procedió a priorizar su uso para distintas geometrías, lo cual es coherente con el *What it does* del Método 6.2 que propone puntuar conceptos frente a criterios de valor y representar resultados en una matriz para la toma de decisiones; las actividades descritas reproducen los pasos del *How it works* como la conformación de una lista de opciones, la definición de criterios y la creación de una matriz de evaluación. No se realizó un sistema formal de puntuación ni se presentó el trazado gráfico de resultados ni la discusión detallada de calibración de criterios entre participantes. Por ello la asociación es directa por correspondencia metodológica, con nivel parcial por ausencia de formalización cuantitativa y visual requerida.

Ficha 22.MMD.5 — Puesta a punto de la cortadora láser *Sculpfun S9*

Actores: GACD; OOZC; UMJ; CGBV.

Descripción: Calibración de la focalización del lente láser, ajuste de velocidad de avance y potencia para procesos de corte y grabado.

Motivación / Objetivo: Habilitar la manufactura aditiva sustractiva para la creación de componentes estructurales planos y el grabado de superficies con precisión milimétrica.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se calibraron parámetros y se ejecutaron y registraron ensayos de repetibilidad y precisión para corte y grabado, así como bitácoras operativas que permitieron medir desempeño técnico y consistencia de procesos, actividades alineadas con la preparación y la ejecución de pruebas piloto del Método 7.4; no obstante, no se definió un mercado o contexto de prueba representativo ni se establecieron métricas de aceptación externa ni indicadores comerciales para evaluar desempeño en contexto real, tampoco se planificó ni ejecutó un piloto a escala de prueba de mercado, ausencias que impidieron la evaluación contextual y la iteración orientada a usuarios y que mantienen la correspondencia como parcial.

Ficha 22.MMD.6 — Pruebas de manufactura de PCBs (por sus siglas en inglés *Printed Circuit Boards*)

Actores: UMJ; GACD; OOZC; CGBV.

Descripción: Ejecución de pruebas de grabado láser sobre placas fenólicas enmascaradas

con pintura para validar la viabilidad del método de fabricación de circuitos.

Motivación / Objetivo: Proveer a la célula de electrónica de evidencia técnica sobre la resolución y repetibilidad del grabado láser como alternativa para la creación de placas de interconexión.

Resultado: Registro de pruebas de sustracción térmica de máscara que definen los niveles de potencia óptimos para el trazado de pistas eléctricas.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se llevaron a cabo pruebas experimentales de grabado láser con registro operativo y mediciones de resolución y repetibilidad que completaron la fase técnica de preparación y ejecución de pruebas prevista por el Método 7.4; no obstante, no se definió ni validó un contexto o mercado de prueba representativo, no se establecieron métricas de aceptación externa ni criterios comerciales comparativos, no se planificó ni ejecutó un piloto a escala y no se implementó un protocolo de análisis iterativo con retroalimentación de usuarios o stakeholders, ausencias que impidieron la evaluación contextual y la transición a un pilotaje formal y que mantienen la correspondencia como Parcial con el método.

Ficha 22.MMD.7 — Integración de procedimientos operativos y registros de trazabilidad

Actores: GACD; CGBV; AMIH.

Descripción: Consolidación de manuales de uso, bitácoras de fallos y guías de seguridad en el repositorio documental del proyecto.

Motivación / Objetivo: Asegurar que la memoria técnica de manufactura sea accesible y replicable, cumpliendo con los estándares de documentación institucional.

Resultado: Carpeta maestra de documentación de la célula de MMD con registros de mantenimiento y procedimientos operativos estandarizados.

Asociación con Kumar: Método 6.12 Base de datos de soluciones (*Solution Database*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se consolidaron manuales, bitácoras y guías en una carpeta maestra que completó la fase de recopilación de insumos prevista por el Método 6.12; no obstante, no se definieron atributos de indexado ni se establecieron metadatos normalizados para etiquetado y búsqueda avanzada, no se construyó un sistema de búsqueda ni relacional para consulta y filtrado por atributos estratégicos, y no se implementaron protocolos de carga ni de control de versiones que permitan auditoría y comparación entre soluciones, ausencias que impidieron la formalización de un repositorio conforme al método y mantienen la correspondencia como parcial.

5.5.7. Ficha 23 — Procesamiento de modelos anatómicos y adecuación de archivos para diseño

Actores: UMJ (Líder); JUCG; AAMS; FSCZ; ISFR (Intercélula); JASR (Asesoría).

Descripción: Ejecución del flujo de trabajo para convertir y adecuar las mallas recuperadas de Invesalius en modelos útiles para el diseño del simulador. El procedimiento de ejecución proviene directamente de los cursos tomados por el equipo, enfocándose en la limpieza de archivos, la separación de músculos y la preparación de superficies para conectar los subsistemas del brazo.

Motivación / Objetivo: Generar modelos digitales que mantengan la anatomía del brazo y sean compatibles con el software de diseño y las interfaces de los componentes internos.

Resultado: (Ver subfichas asociadas 23.Mod.1 a 23.Mod.5)

Asociación con Kumar: **Método 6.6** Diagramación de soluciones (*Solution Diagramming*)

Nivel de correspondencia: Plena

Justificación: Se ejecutó la articulación geométrica de volúmenes y la definición de superficies e interfaces con el propósito de generar modelos digitales compatibles con software de diseño e interfaces mecánicas; dicha finalidad se corresponde con el *What it does* del método, que traduce soluciones en representaciones visuales y selecciona tipos de diagrama según el aspecto a destacar, permitiendo clarificar relaciones estructurales, procesos y arreglos espaciales. Asimismo, las acciones descritas en la ficha, identificación de planos de corte, marcaje de puntos de inserción y preparación de superficies, reflejan las operaciones del *How it works* (elección del tipo de diagrama, elaboración y refinamiento de diagramas, documentación y compartición) en la medida en que los diagramas guían la ejecución y la verificación dimensional.

Ficha 23.Mod.1 — Delimitación del criterio de exportación y limpieza de archivos STL

Actores: UMJ; JUCG.

Descripción: Definición de los criterios para exportar y limpiar los archivos STL obtenidos de la segmentación, eliminando errores en la malla según los procedimientos aprendidos en la formación del equipo.

Motivación / Objetivo: Obtener archivos con la resolución adecuada para trabajar en el software de diseño sin exceder la capacidad de procesamiento, manteniendo la forma necesaria para la plicometría.

Resultado: Archivos STL limpios y cerrados, listos para su conversión a formato de sólido.

Asociación con Kumar: **Método 7.4** Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*) **Nivel de correspondencia:** Parcial

Justificación Se definió y validó un *pipeline* técnico para exportación y limpieza de archivos STL que permitió caracterizar resolución, tiempos de procesamiento y tasa de errores de malla, actividades coherentes con la preparación y ejecución de pruebas previstas por el Método 7.4; no obstante, no se identificó ni se validó un contexto o mercado de prueba representativo, no se establecieron métricas de aceptación de usuarios finales ni criterios comerciales comparativos, y no se planificó ni ejecutó un piloto a escala con protocolos de recolección de *feedback* externo e iteración, ausencias que impidieron evaluar la adopción en contexto real y que mantienen la correspondencia como parcial.

Ficha 23.Mod.2 — Preparación del modelo óseo para interfaz muscular y conexión con la estructura

Actores: UMJ; FSCZ; JUCG.

Descripción: Adecuación del modelo del húmero mediante la identificación de planos de corte, marcaje de los puntos de inserción de los músculos y acanalamiento de la superficie.

Motivación / Objetivo: Adaptar el modelo del hueso para que sirva como base de apoyo, permitiendo la conexión con la estructura mecánica y el anclaje preciso de los músculos.

Resultado: Modelo del húmero con planos de corte, marcas de inserción y acanalamientos

para la interfaz con los demás sistemas.

Asociación con Kumar: Método 6.6 Diagramación de soluciones (*Solution Diagramming*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se elaboraron diagramas y esquemas de interfaz que tradujeron la preparación del húmero en representaciones visuales destinadas a orientar cortes y puntos de anclaje, actividades coherentes con la determinación del tipo de diagrama y su refinamiento previstos por el Método 6.6; no obstante, no se formalizaron especificaciones numéricas de tolerancias CAD ni se acompañaron los diagramas con protocolos de verificación dimensional o registros de ensayos físicos para validar el ajuste y la integración mecánica, ausencias que impiden alcanzar correspondencia plena y que requieren la complementación mediante detalles CAD, tablas de tolerancias y procedimientos de prueba documentados.

Ficha 23.Mod.3 — Delimitación individual de músculos y evaluación de factibilidad dimensional

Actores: UMJ.

Descripción: Separación de los músculos individuales, conversión de los archivos STL a formato .ipt y evaluación de si sus dimensiones permiten construirlos como actuadores.

Motivación / Objetivo: Determinar si cada músculo puede fabricarse por separado o si es necesario combinar músculos adyacentes para asegurar que quepan los componentes internos de activación.

Resultado: Modelos musculares en formato .ipt evaluados dimensionalmente y propuestas de combinación de músculos según la factibilidad de construcción.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se convirtieron los modelos musculares a formato .ipt y se evaluó su factibilidad dimensional para decidir opciones de fabricación, acciones alineadas con la preparación técnica y la obtención de evidencia operativa contempladas en el Método 7.4; no obstante, no se definió un contexto de pilotaje representativo ni se establecieron métricas de aceptación o criterios de evaluación con usuarios, no se diseñaron protocolos de ensayo con participantes externos ni se ejecutó un piloto a escala que permitiera iteración basada en retroalimentación, carencias que impidieron validar la adopción en contexto real y que mantienen la correspondencia como Parcial.

Ficha 23.Mod.4 — Preparación del modelo adiposo para conexión con mangueras y adaptación muscular

Actores: FSCZ; UMJ.

Descripción: Ajuste del modelo de la grasa subcutánea para permitir la conexión de las mangueras del inyector y asegurar que embone correctamente con los músculos de la capa inferior.

Motivación / Objetivo: Asegurar que el compartimento de grasa pueda conectarse al sistema hidráulico y se adapte a la forma de la arquitectura muscular del brazo.

Resultado: Modelo del sistema adiposo con puntos de conexión para mangueras y forma adaptada a los músculos subyacentes.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se definieron puntos de conexión y se verificó el encaje geométrico entre el compartimento adiposo y la arquitectura muscular en modelos digitales, acciones coherentes con la preparación técnica y la verificación previa al pilotaje contempladas por el Método 7.4; no obstante, no se establecieron métricas de desempeño ni criterios de aceptación, no se diseñaron protocolos de estanqueidad ni ensayos hidrostáticos o de fatiga, y no se ejecutó un piloto en un contexto representativo con seguimiento y análisis de resultados, carencias que impiden validar la integridad hidráulica y la adaptación funcional en condiciones reales y que mantienen la correspondencia en parcial.

Ficha 23.Mod.5 — Adaptación del modelo cutáneo con la estandarización de los sistemas subyacentes

Actores: ISFR; FSCZ; UMJ.

Descripción: Ajuste y suavizado del modelo de la piel a partir de la unión de todos los volúmenes de los sistemas internos (hueso, músculos y grasa).

Motivación / Objetivo: Obtener una superficie exterior continua y uniforme que sirva de base para el diseño de los moldes y permita realizar la plicometría de forma realista.

Resultado: Geometría del modelo de la piel suavizada y lista para el diseño de moldes de fabricación.

Asociación con Kumar: Método 6.9 Prototipo de solución (*Solution Prototype*) **Nivel de correspondencia: Parcial** **Justificación** Se construyó un prototipo de apariencia que permitió representar la continuidad superficial requerida para el diseño de moldes y se prepararon las condiciones para evaluar plicometría en entorno controlado, acciones coherentes con la fase de construcción y preparación de pruebas del Método 6.9; no obstante, no se realizaron pruebas con participantes ni mediciones instrumentadas de plicometría, no se establecieron protocolos estandarizados de ensayo ni se efectuó un ciclo de observación-análisis-iteración orientado a validar percepción sensorial y precisión dimensional, carencias que impiden la validación completa en contexto y que mantienen la correspondencia como parcial.

5.6. Bloque V: Planificación de la construcción del prototipo

Se presentan las fichas correspondientes al ensamblaje final de los subsistemas y las pruebas finales de funcionamiento del simulador.

5.6.1. Ficha 24 — Ensamble del conjunto mecánico-anatómico y fijación muscular

Actores: JUCG; UMJ; FSCZ; AAMS.

Descripción: Integración física de los modelos óseos y musculares sobre la base estructural del simulador. El proceso consistió en el montaje del húmero en los soportes mecánicos y la fijación de los actuadores de silicona en los puntos de inserción y acanalamientos previamente definidos en la fase de modelado.

Motivación / Objetivo: Consolidar la arquitectura interna del brazo para asegurar la estabilidad mecánica de los componentes anatómicos frente a los esfuerzos de tracción y

expansión térmica generados por los actuadores durante su funcionamiento.

Resultado: Conjunto interno del brazo ensamblado, con los músculos alineados respecto a la anatomía ósea y listos para la conexión de los lazos de control térmico.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se integraron físicamente los subconjuntos óseo y muscular y se efectuaron verificaciones operativas básicas de montaje y fijación, actividades análogas a la preparación y despliegue a escala reducida contempladas por el Método 7.4; sin embargo, no se documentó un plan de pilotaje con cronograma, presupuesto y responsables, no se definieron métricas cuantitativas ni criterios de aceptación, no se obtuvo aprobación de un contexto de prueba representativo ni se implementó un protocolo de monitorización y análisis post-ensayo, carencias que impiden medir desempeño en condiciones reales y justificar una correspondencia plena.

5.6.2. Ficha 25 — Acoplamiento hidráulico y mecánico del sub-sistema adiposo

Actores: JUCG; FSCZ; UMJ.

Descripción: Conexión del sistema de inyección (motor y mangueras) con el compartimento de tejido graso subcutáneo, asegurando el sellado de las interfaces y la libertad de movimiento del fluido.

Motivación / Objetivo: Establecer la continuidad física necesaria para la transferencia de fluido hacia el modelo adiposo, permitiendo que el sistema responda a los comandos de expansión volumétrica controlada.

Resultado: Circuito hídrico integrado al brazo simulador, validando la ausencia de obstrucciones mecánicas en las mangueras de interconexión con el sistema de inyección.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se seleccionó el subsistema adiposo para validación funcional y se ejecutaron pruebas de integración hidráulica que verificaron el sellado de interfaces y la continuidad del flujo, actividades alineadas con la fase de preparación y despliegue a escala reducida del Método 7.4; sin embargo, no se definieron métricas cuantitativas ni criterios de aceptación, no se documentó un plan de pilotaje con cronograma, presupuesto y responsables, no se obtuvo aprobación de un contexto de prueba representativo ni se implementó un protocolo de monitorización y análisis post-ensayo ni se realizó una revisión iterativa para ajuste del sistema, carencias que impiden evaluar desempeño en condiciones reales y mantienen la correspondencia como parcial.

5.6.3. Ficha 26 — Integración de la red de sensado y cableado de potencia

Actores: ISFR; GOMG; AAMS; JUCG.

Descripción: Tendido y conexión del cableado de los sensores de temperatura, el motor para inyección y los actuadores musculares hacia la interfaz centralizadora de señales definida en la arquitectura electrónica.

Motivación / Objetivo: Habilitar la comunicación física entre el hardware del simulador

y la unidad de control, garantizando el aislamiento galvánico y la integridad de las rutas de señales de retroalimentación.

Resultado: Sistema eléctrico interconectado con terminaciones etiquetadas y conectadas a los puertos GPIO y etapas de potencia, permitiendo el flujo de datos y energía hacia los componentes activos.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se tendió y conectó el cableado de sensado y potencia y se verificó la integridad de rutas y terminaciones, actividades equivalentes a la selección y puesta en operación de la solución a pilotear previstas por el Método 7.4; no obstante, no se elaboró un plan de pilotaje formal con cronograma, presupuesto y responsables, no se definieron métricas cuantitativas ni criterios de aceptación, no se identificó ni obtuvo aprobación de un contexto de prueba representativo y no se implementó un protocolo de monitorización y análisis post-ensayo ni una revisión iterativa documentada, carencias que impiden evaluar desempeño en condiciones reales y justificar una correspondencia plena.

5.6.4. Ficha 27 — Desarrollo e implementación de la interfaz de control (HMI)

Actores: ISFR; FSCZ; JUCG.

Descripción: Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario para el control del simulador, así como su implementación en la unidad de procesamiento central. La interfaz permite la activación de los subsistemas y la visualización de variables de operación.

Motivación / Objetivo: Proveer un medio de interacción directo entre el usuario y el sistema, permitiendo controlar la activación muscular y el sistema de inyección de manera intuitiva desde la pantalla táctil.

Resultado: Interfaz funcional desplegada en la pantalla del sistema, con controles básicos para la operación de los subsistemas y visualización de estados.

Asociación con Kumar: Método 6.9 Prototipo de solución (*Solution Prototype*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación: Se desarrolló e implementó una interfaz gráfica de usuario en la unidad de procesamiento central para habilitar la activación de los subsistemas y la **Justificación** Se desarrolló e implementó un prototipo funcional de la interfaz HMI y se integró en la unidad de procesamiento, actividades equivalentes a la construcción del prototipo y la preparación del entorno de prueba descritas en el Método 6.9; no obstante, no se ejecutó la participación de usuarios ni la observación sistemática de la interacción, no se registraron evidencias de interacción (video, notas o entrevistas), no se definieron métricas de experiencia ni criterios de éxito, no se realizó el análisis de resultados ni se aplicaron iteraciones de refinamiento basadas en hallazgos, omisiones que impiden validar la propuesta desde la perspectiva del usuario y justifican la clasificación como parcial.

5.6.5. Ficha 28 — Pruebas de funcionamiento integrado del sistema

Actores: ISFR; JUCG; UMJ; FSCZ; AAMS.

Descripción: Ejecución de pruebas iniciales del sistema completo con todos los subsistemas conectados, evaluando la respuesta conjunta del sistema muscular, el sistema adiposo

y la interfaz de control.

Motivación / Objetivo: Verificar la compatibilidad entre subsistemas y detectar fallas de integración que puedan afectar la operación general del simulador.

Resultado: Registro de pruebas donde se identifican comportamientos esperados y desviaciones en la respuesta del sistema, estableciendo una base para ajustes posteriores.

Asociación con Kumar: Método 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*) **Nivel de correspondencia: Parcial** **Justificación** Se ejecutaron pruebas integradas del sistema y se registraron comportamientos esperados y desviaciones, actividades equivalentes al lanzamiento y monitorización inicial de una prueba piloto conforme al Método 7.4; no obstante, no se elaboró un plan de pilotaje formal que incluyera cronograma, presupuesto y responsables, no se identificó ni obtuvo aprobación de un contexto de prueba representativo, no se definieron métricas cuantitativas ni criterios de aceptación, no se implementó un protocolo estandarizado de registro y monitorización de interacciones y no se documentaron ciclos de análisis e iteración basados en los hallazgos, omisiones que impiden evaluar adopción y desempeño en condiciones reales y justifican la clasificación como Parcial.

5.6.6. Ficha 29 — Generación del Documento final de desarrollo

Actores: JASR; JUCG; UMJ; FSCZ; ISFR; OAM; AMIH; GACD; JSMM; OOZC; EERA; ASR; AAMS; ARG; GOMG; CGBV.

Descripción: Recopilar la información documentada a lo largo de todo el proceso de diseño, así como el desarrollo experimental y sus resultados. Exponer los alcances logrados del primer prototipo con respecto a lo que se espera del producto final y así enmarcar el trabajo a desarrollar a futuro. Anexando el ejercicio presupuestal expuesto en el Anexo C.

Motivación / Objetivo: Generar un documento resumen de todo el proceso de Diseño.

Resultado: Obtención del Documento final de desarrollo.

Asociación con Kumar: Método 7.9 Documento de innovación (*Innovation Brief*)

Nivel de correspondencia: Parcial

Justificación Se compiló y sintetizó la evidencia del proceso de diseño y desarrollo experimental y se produjo el Documento final de desarrollo con su ejercicio presupuestal anexo, acciones que responden a la función central del *Innovation Brief* de traducir planes e *insights* en materiales comunicativos para interesados; no obstante, no se identificaron segmentos de audiencia ni se diseñaron formatos adaptados para perfiles técnicos, financieros o gerenciales, no se definieron mensajes clave diferenciados ni canales de entrega específicos, no se pilotaron los materiales con representantes de las audiencias ni se registraron resultados de esas pruebas para ajustar el enfoque comunicativo, carencias que limitan la capacidad del documento para facilitar la comprensión y la acción en distintos públicos y justifican la clasificación como Parcial.

6. Análisis del desarrollo experimental y resultados

6.1. Introducción al análisis

Este capítulo presenta el análisis sistemático del proceso de desarrollo del contraste metodológico documentado en el Capítulo 5, estructurado mediante el contraste metodológico desarrollado en el Capítulo 4. El propósito del análisis es responder a los objetivos específicos **3**, **4** y **5** planteados en la introducción, mediante la evaluación cuantitativa y cualitativa de las 90 fichas registradas, su correspondencia con los métodos y modos de Vijay Kumar [1], y la identificación de patrones, divergencias y alineaciones metodológicas.

6.2. Tabla resumen de la asociación de las fichas con la Metodología de Kumar

La Tabla 6.1 sintetiza la asociación de las 90 fichas del Capítulo 5 con los modos y métodos de Kumar, así como el nivel de correspondencia asignado (Plena / Parcial / Nula / Criterio de excepción). Cada fila corresponde a una fase registrada; la columna «Asociación con Kumar» indica el método/modo referenciado y la columna «Correspondencia» resume el juicio metodológico empleado durante la auditoría.

Cuadro 6.1: Resumen de fases de desarrollo catalogadas.

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
1	1	Encargo inicial y generación de la idea	1.14 Declaración de intención	Parcial
2	2	Diseño del instrumento de consulta y planificación de entrevistas	3.2 Encuesta de planificación de la investigación	Parcial
3	3	Ejecución de entrevistas de campo (Feria y facultades)	3.8 Entrevista etnográfica	Parcial
4	4	Recuperación y análisis de datos de campo	3.8 Entrevista etnográfica	Parcial
5	5	Identificación de los criterios de diseño	5.1 De principios a oportunidades	Parcial
6	6	Formulación de la propuesta de proyecto en concordancia con la convocatoria PAPIME	7.5 Plan de implementación	Parcial
7	7	Revisión de convocatoria CAPSEM I+DT y reorientación de la propuesta	7.5 Plan de implementación	Parcial

Continúa en la siguiente página

Cuadro 6.1 – *Continuación de la tabla*

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
8	8	Aceptación institucional por Capital Semilla	Modo 7: Materializar la solución	Plena
9	9	Constitución ampliada del equipo, definición de roles operativos y elaboración IEA	7.7 Plan de conformación de equipos	Parcial
10	10	Reacondicionamiento del espacio de trabajo y provisión de mobiliario y equipamiento	7.5 Plan de implementación	Parcial
11	11.a	Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Óseo	2.3 Investigación de publicaciones especializadas	Plena
12	11.b	Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Muscular	2.3 Investigación de publicaciones especializadas	Plena
13	11.c	Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Adiposo	2.3 Investigación de publicaciones especializadas	Plena
14	11.d	Investigación del estado del arte (IEA) — subsistema Cutáneo	2.3 Investigación de publicaciones especializadas	Plena
15	12.a	Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Óseo	6.9 Prototipo de solución	Parcial
16	12.b	Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Muscular	6.2 Evaluación de conceptos	Parcial
17	12.c	Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Adiposo	6.10 Evaluación de soluciones	Parcial
18	12.d	Selección preliminar de alternativas de implementación — subsistema Cutáneo	6.10 Evaluación de soluciones	Parcial
19	13	Coordinación operativa: reuniones semanales y flujo de entregables	7.3 Taller de planeación estratégica	Parcial
20	14	Compras y gestión presupuestal	7.5 Plan de implementación	Parcial

Continúa en la siguiente página

Cuadro 6.1 – *Continuación de la tabla*

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
21	15	Acondicionamiento del espacio de trabajo y homologación	Modo 7: Materializar la solución	Parcial
22	16.a	Caracterización imagenológica y capacitación (subsistema Óseo y Muscular) — descripción	Modo 2: Comprender el entorno	Parcial
23	16.a.1	Curso SOSBI y comienzo de modelado en <i>3D Slicer</i>	2.13 Discusión con grupos de interés	Parcial
24	16.a.2	Curso DUNNE e introducción de InVesalius	4.1 De observaciones a conocimientos	Parcial
25	16.a.3	Identificación de conflictos asociados a las RM	4.7 Mapa de posicionamiento de entidades	Parcial
26	16.a.4	Decisión: adquisición de tomografía y subordinación funcional del subsistema Óseo	7.5 Plan de implementación	Parcial
27	16.b	Manufactura iterativa de actuadores blandos (subsistema Muscular)	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
28	16.b.1	Primera iteración (prototipos iniciales) — participación y hallazgos	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
29	16.b.2	Iteración: mejoras en los moldes y funcionalidades añadidas	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
30	16.b.3	Iteración: comparación de calibres y tipos de alcohol	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
31	16.b.4	Iteración: definición de etapas de preparación (propuesta inicial)	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
32	16.b.5	Iteración: introducción de restricción mecánica y encapsulados intermedios	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
33	16.b.6	Iteración: adición de capa de silicona entre malla y mezcla activa	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
34	16.b.7	Iteración: análisis de repetibilidad y alternativas	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
35	16.b.8	Iteración: rediseño de arreglo interno (canales) y resultados	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial

Continúa en la siguiente página

Cuadro 6.1 – *Continuación de la tabla*

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
36	16.b.9	Observaciones finales y limitaciones	4.18 Marco de síntesis	Parcial
37	16.c	Caracterización experimental del subsistema Adiposo	Modo 7: Materializar la solución	Parcial
38	16.c.1	Primera ronda de experimentación (viscosímetro Brookfield)	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
39	16.c.2	Segunda ronda de experimentación (reómetro Anton Paar)	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
40	16.d	Evaluación de materiales de interfaz (subsistema Cutáneo)	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
41	16.d.1	Diseño de moldes para primeras pruebas y preparación de probetas	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
42	16.d.2	Rediseño de moldes y ensayos con silicona y piel para tatuar	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
43	16.d.3	Análisis de gráficas y selección del material de interfaz	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
44	17	Gestión de insumos estructurales y adecuación física de la estructura base	6.9 Prototipo de solución	Parcial
45	18	Organización jerárquica y división por células de trabajo	7.7 Plan de conformación de equipos	Parcial
46	19	Integración del subsistema de control y diseño de HMI	7.5 Plan de implementación	Parcial
47	19.Ctrl.1	Determinación del software de programación y diseño de HMI	Modo 7: Materializar la solución	Parcial
48	19.Ctrl.2	Pruebas de integración entre Raspberry Pi y CODESYS	Modo 7: Materializar la solución	Parcial
49	19.Ctrl.3	Pruebas de integración física vía GPIO	Modo 7: Materializar la solución	Parcial
50	19.Ctrl.4	Integración de entradas/salidas con HMI básica	Modo 7: Materializar la solución	Parcial

Continúa en la siguiente página

Cuadro 6.1 – *Continuación de la tabla*

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
51	19.Ctrl.5	Generación del programa de control orientado al prototipo	Modo 6: Configurar la solución	Parcial
52	19.Ctrl.6	Implementación en circuito de prueba	6.9 Prototipo de solución	Parcial
53	19.Ctrl.7	Implementación en el prototipo unido a la HMI	6.9 Prototipo de solución	Parcial
54	20	Diseño del sistema mecánico de inyección y sujeción de actuadores	Modo 6: Configurar la solución	Parcial
55	20.Mec.1	Investigación y propuestas de sujeción para el sistema de inyección adiposa	6.4 Mapa de vinculación de conceptos	Parcial
56	20.Mec.2	Modelado CAD preliminar de componentes estándar y estructurales	6.6 Diagramación de soluciones	Parcial
57	20.Mec.3	Configuración del ensamble provisional y análisis de volumen base disponible	6.9 Prototipo de solución	Parcial
58	20.Mec.4	Desarrollo del archivo rector de ensamble general en Autodesk Inventor	6.6 Diagramación de soluciones	Parcial
59	20.Mec.5	Protocolo de conversión y estandarización analítica de archivos de malla (STL a .ipt)	Modo 6: Configurar la solución	Parcial
60	20.Mec.6	Diseño paramétrico y herramental de moldes para la caracterización del sistema muscular	6.9 Prototipo de solución	Parcial
61	20.Mec.7	Diseño geométrico de tapones y sellos herméticos para el contenedor de grasa volumétrica	6.4 Mapa de vinculación de conceptos	Parcial
62	20.Mec.8	Diseño de guías metálicas de soporte y acoplamientos mecánicos	6.4 Mapa de vinculación de conceptos	Parcial
63	21	Definición eléctrica del sistema: alimentación, potencia, sensado e interconexión	Modo 6: Configurar la solución	Plena

Continúa en la siguiente página

Cuadro 6.1 – *Continuación de la tabla*

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
64	21.Elec.1	Estimación inicial de los requerimientos eléctricos del sistema	4.1 De observaciones a conocimientos	Parcial
65	21.Elec.2	Diseño de la arquitectura de alimentación AC/DC (rectificación, regulación y protección)	6.6 Diagramación de soluciones	Plena
66	21.Elec.3	Especificación de líneas de alimentación independientes para lógica y potencia	6.1 Síntesis morfológica	Parcial
67	21.Elec.4	Definición del bloque de interconexión para distribución de señales de control y potencia	6.6 Diagramación de soluciones	Plena
68	21.Elec.5	Selección de componentes electrónicos según criterios de par y consumo	6.4 Mapa de vinculación de conceptos	Parcial
69	21.Elec.6	Validación mediante simulación de circuitos en entorno <i>PROTEUS</i>	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
70	21.Elec.7	Configuración teórica del arreglo de sensado (temperatura, posición y límites de carrera)	6.6 Diagramación de soluciones	Parcial
71	22	Gestión de manufactura, mantenimiento de infraestructura y estandarización documental	7.5 Plan de implementación	Parcial
72	22.MMD.1	Verificación, calibración y mantenimiento de impresoras 3D	6.9 Prototipo de solución	Parcial
73	22.MMD.2	Configuración de perfiles de impresión para los equipos disponibles	6.12 Base de datos de soluciones	Parcial
74	22.MMD.3	Mantenimiento y adecuación de la infraestructura física del espacio de trabajo	7.5 Plan de implementación	Parcial
75	22.MMD.4	Selección y priorización del equipo de impresión según geometría del componente	6.2 Evaluación de conceptos	Parcial
76	22.MMD.5	Puesta a punto de la cortadora láser <i>Sculpfun S9</i>	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial

Continúa en la siguiente página

Cuadro 6.1 – *Continuación de la tabla*

#	Ficha	Título de la Ficha	Asociación con Kumar	Correspondencia
77	22.MMD.6	Pruebas de manufactura de PCBs	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
78	22.MMD.7	Integración de procedimientos operativos y registros de trazabilidad	6.12 Base de datos de soluciones	Parcial
79	23	Procesamiento de modelos anatómicos y adecuación de archivos para diseño	6.6 Diagramación de soluciones	Plena
80	23.Mod.1	Delimitación del criterio de exportación y limpieza de archivos STL	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
81	23.Mod.2	Preparación del modelo óseo para interfaz muscular y conexión con la estructura	6.6 Diagramación de soluciones	Parcial
82	23.Mod.3	Delimitación individual de músculos y evaluación de factibilidad dimensional	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
83	23.Mod.4	Preparación del modelo adiposo para conexión con mangueras y adaptación muscular	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
84	23.Mod.5	Adaptación del modelo cutáneo con la estandarización de los sistemas subyacentes	6.9 Prototipo de solución	Parcial
85	24	Ensamble del conjunto mecánico-anatómico y fijación muscular	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
86	25	Acoplamiento hidráulico y mecánico del subsistema adiposo	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
87	26	Integración de la red de sensado y cableado de potencia	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
88	27	Desarrollo e implementación de la interfaz de control (HMI)	6.9 Prototipo de solución	Parcial
89	28	Pruebas de funcionamiento integrado del sistema	7.4 Desarrollo y prueba piloto	Parcial
90	29	Generación del Documento final de desarrollo	7.9 Documento de innovación	Parcial

6.3. Mapeo de la metodología de diseño en el Diagrama de los 7 Modos

El mapeo sistemático de las fases documentadas en las fichas hacia los modos y métodos propuestos por Vijay Kumar constituye el eje metodológico de este capítulo. Su valor radica en tres aspectos complementarios:

- Servir como instrumento de contraste entre la práctica efectivamente ejecutada durante el desarrollo del prototipo y el marco conceptual de referencia.
- Permitir identificar qué ámbitos del repertorio metodológico han sido privilegiados por el equipo de trabajo.
- Señalar vacíos o ausencias metodológicas que constituyen oportunidades de mejora para procesos de diseño futuros.

La Figura 6.1 muestra la distribución de las fichas sobre el diagrama de los 7 Modos de Kumar, siguiendo la metodología de reconstrucción presentada en la Sección 4.3.

6.4. Análisis de la distribución y focos metodológicos del proceso

En esta sección se analiza la distribución y los focos metodológicos del proceso de diseño a partir del mapeo presentado en la Tabla 6.1 y en el diagrama de los siete modos (Figura 6.1). Mediante una lectura integrada de los resultados cuantitativos (distribución por modos y por métodos) y de las evaluaciones cualitativas de correspondencia, se identifican las actividades con mayor incidencia, se caracterizan los procedimientos recurrentes y se señalan las carencias metodológicas que condicionaron la transición desde la conceptualización hasta la materialización del prototipo. Los hallazgos permiten interpretar las asignaciones no solo como conteos, sino como manifestaciones de los *mindsets* que guiaron las decisiones de diseño y, a partir de ello, formular recomendaciones para mejorar la formalización metodológica en desarrollos futuros.

6.4.1. Concentración estratégica por modos

El gráfico de la Figura 6.2 muestra una concentración evidente de las fichas en los Modos 6 y 7 (31 y 44 fichas, respectivamente), mientras que los Modos 1 y 5 registran una presencia marginal y los Modos 2 a 4 presentan valores intermedios. Esta polarización sugiere que el proceso privilegió etapas orientadas a la configuración y materialización de la solución (prototipado, integración y puesta a punto técnica), con una transición rápida desde la comprensión conceptual hacia la ejecución operativa. En consecuencia, el análisis subsecuente (secciones 6.4.2 y 6.4.4) se centrará en identificar los métodos concretos que explican esa concentración y en clarificar las razones por las cuales numerosas asociaciones resultaron clasificadas como parciales, con el objetivo de proponer acciones que fortalezcan la formalización metodológica en futuras iteraciones.

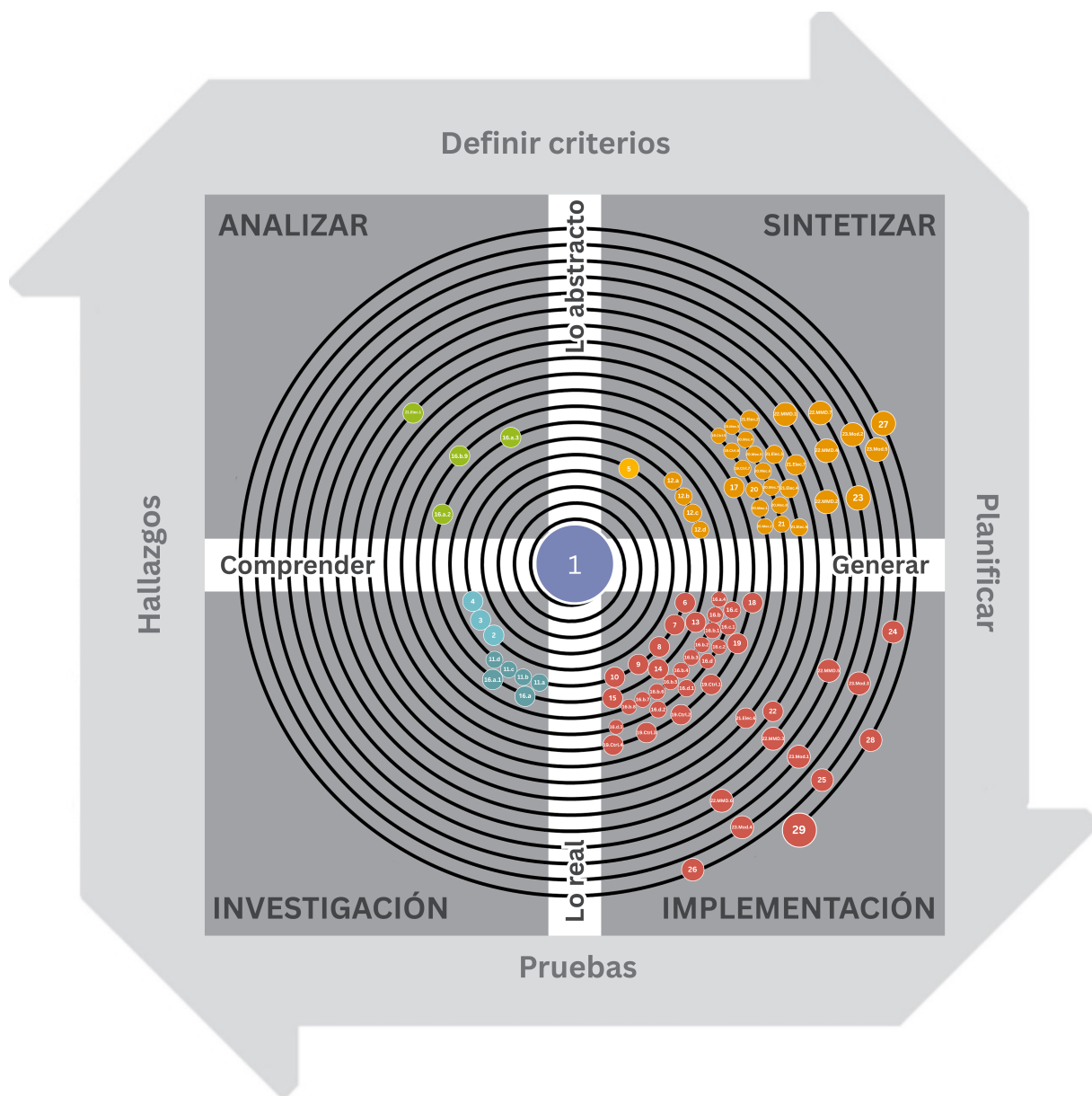


Figura 6.1: Mapeo del proceso de diseño seguido durante el desarrollo del prototipo en el diagrama de los 7 Modos de Vijay Kumar [1].

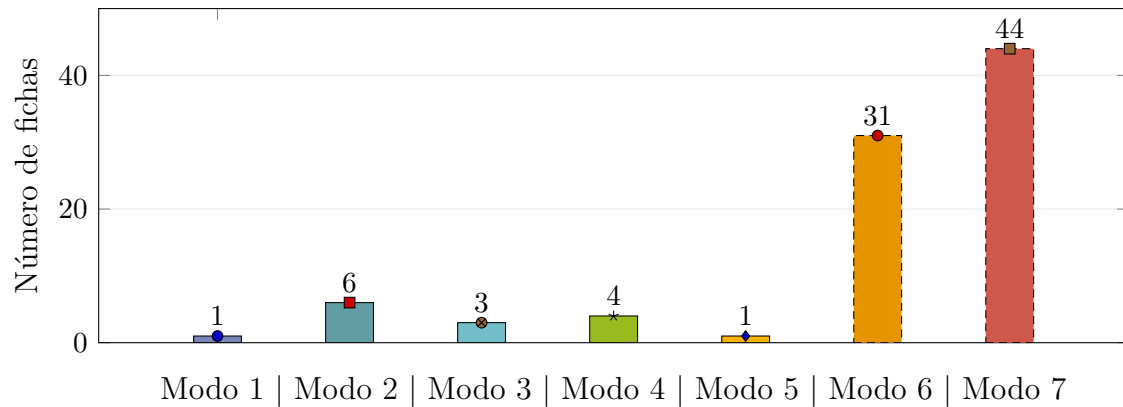


Figura 6.2: Distribución de las 90 fichas por Modo (V. Kumar).

6.4.2. Recurrencia de actividades por métodos

La Figura 6.3 muestra una marcada recurrencia de actividades vinculadas a los métodos *Desarrollo y prueba piloto* (7.4), *Prototipo de solución* (6.9), *Plan de implementación* (7.5) y *Diagramación de soluciones* (6.6). Esta concentración operacional indica que el trabajo se orientó predominantemente a la producción y validación empírica de artefactos (iteraciones de prototipado, ensayos de bancada y ajustes de diseño), junto con tareas de planificación logística (adquisiciones y coordinación) y representación técnica (modelado CAD y esquemas eléctricos). En términos metodológicos, la repetición de estos métodos evidencia una estrategia de aprendizaje basada en la experimentación ("hacer para aprender") que facilita resolver restricciones técnicas, pero que exige mecanismos de trazabilidad y protocolos de prueba para elevar la reproducibilidad de los resultados. En consecuencia, resulta pertinente priorizar la estandarización de protocolos de pilotaje, la definición de métricas y criterios de aceptación, y la sistematización documental para convertir las actividades reiteradas en evidencia metodológica verificable.

6.4.3. Síntesis metodológica de la distribución

La Figura 6.4 presenta la distribución de las 90 fichas según el nivel de correspondencia asignado durante la auditoría metodológica (Plena / Parcial / Criterio de excepción / Nula). Los conteos empleados en el diagrama se basan en el mapeo definitivo del Capítulo 5.

La prevalencia de las acciones ligadas a los Modos 6 y 7 encuentra respaldo directo en las definiciones y *mindsets* de dichos modos: el Modo 6 enfatiza la combinación, evaluación y estructuración de conceptos en soluciones sistemáticas, la organización de las opciones y la traducción de soluciones en representaciones visuales y prototipos iterativos; el Modo 7 insiste en construir prototipos para aprender, evaluar en condiciones reales, y en concebir planes y hojas de ruta para llevar soluciones a implementación [1]. En la práctica del proyecto esto se tradujo en una carga significativa de actividades de diagramación y modelado (correspondientes a 6.6), en rondas continuas de prototipado y ensayo (vinculables a 6.9) y en tareas orientadas a la planificación e implementación (7.5) y al pilotaje (7.4). El detalle operativo de los métodos consultados confirma que, para alcanzar una correspondencia plena, Kumar espera no solo la ejecución técnica (construir prototipos, producir diagramas, planear pilotos), sino también artefactos formales asociados: matrices de evaluación, protocolos de pilotaje y métricas de desempeño, registros de observación

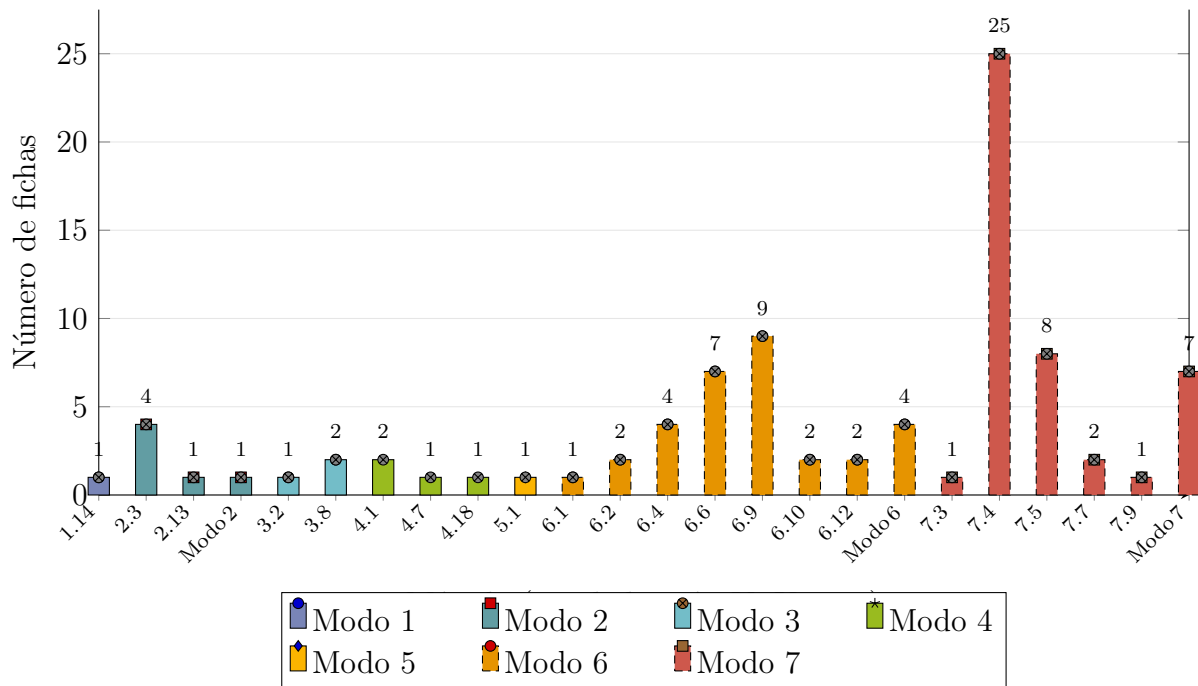


Figura 6.3: Coincidencias por método (90 fichas). Los criterios de excepción se han asignado al modo correspondiente.

de usuarios y planificaciones consolidadas (entradas, salidas y criterios explícitos en los *how it works* de los métodos) [1]. La frecuencia de intervenciones prácticas, unida a la urgencia por materializar resultados (financiación institucional y plazos de convocatoria), explica la alta proporción de correspondencia parcial: el equipo priorizó la operatividad y la resolución de restricciones técnicas inmediatas, pero en muchos casos no completó la formalización metodológica requerida para documentar y validar sistemáticamente las decisiones. En consecuencia, la predominancia de modos y métodos asociados a prototipado y materialización aparece como una estrategia coherente con los *mindsets* de Kumar, a la vez que clarifica por qué numerosas fichas coinciden funcionalmente con los métodos señalados pero quedan clasificadas como parciales frente a los criterios de documentación, métricas y pilotaje que dichos métodos prescriben [1].

6.4.4. Análisis por niveles de correspondencia

Correspondencia plena

Las fichas clasificadas como *Plena* se organizan en dos conjuntos con criterios de coincidencia distintos. Por una parte, se encuentran aquellas cuya correspondencia se establece de manera directa con un método específico de la metodología de Kumar; por otra, se ubican las fichas cuya alineación depende de su coincidencia exacta con la disposición general del modo al que fueron asociadas. Este segundo conjunto se retomará en el apartado correspondiente al *criterio de excepción*, por lo que en el presente apartado solo se aborda la correspondencia plena sustentada en un método particular.

En este primer grupo se identifican las fichas 11.a, 11.b, 11.c y 11.d, asociadas al método 2.3 *Investigación de publicaciones especializadas*, así como las fichas 21.Elec.2, 21.Elec.4 y 23, vinculadas al método 6.6 *Diagramación de soluciones*. En ambos casos, la correspondencia plena se sustenta en la congruencia entre la finalidad de la ficha, la

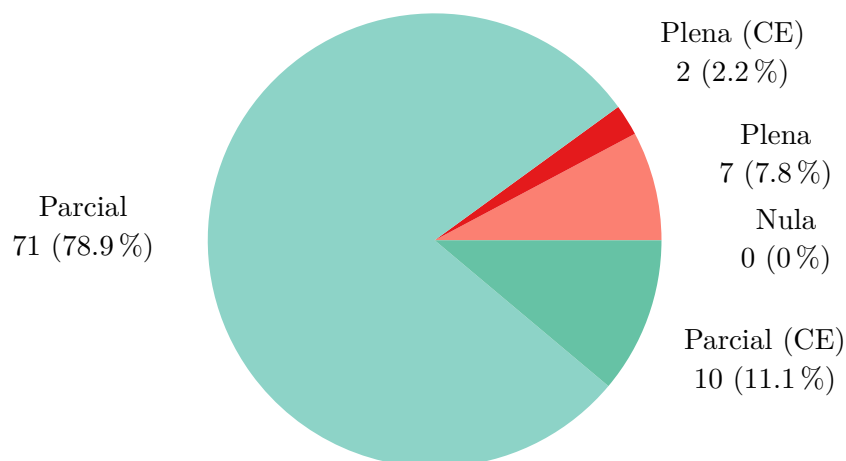


Figura 6.4: Distribución de las 90 asociaciones con la metodología de Kumar. CE representa las fichas que fueron denominadas también con un Criterio de Exclusión.

secuencia de acciones realizadas y el producto obtenido, lo que permite reconocer una alineación metodológica clara y verificable.

Las fichas 11.a, 11.b, 11.c y 11.d comparten un patrón de trabajo orientado a la delimitación precisa de un subsistema, la búsqueda de información especializada y la organización de hallazgos en una base documental de apoyo para decisiones posteriores. Su ubicación en el proceso corresponde a una etapa temprana de comprensión del problema, en la que resulta prioritario construir una base de conocimiento suficiente para orientar el desarrollo técnico. En consecuencia, su vínculo con el método 2.3 es directo, pues las acciones registradas reproducen la lógica de investigación documental, selección temática y sistematización de información que caracteriza dicho método.

Por su parte, las fichas 21.Elec.2, 21.Elec.4 y 23 se sitúan en una etapa posterior del proceso, centrada en la estructuración técnica de la solución. En ellas predomina la representación de relaciones funcionales, espaciales y de interconexión entre componentes, ya sea mediante la arquitectura de alimentación eléctrica, la definición del bloque de señales o la adecuación geométrica de modelos anatómicos para su uso en el diseño. En estos casos, la correspondencia con el método 6.6 es igualmente directa, porque las acciones documentadas no solo describen una solución, sino que la traducen en una forma organizada y legible que permite clarificar su estructura y su funcionamiento.

En conjunto, estas siete fichas comparten dos rasgos principales. En primer lugar, se insertan en momentos del proceso en los que la organización del conocimiento y la clarificación de relaciones técnicas resultan decisivas. En segundo lugar, presentan una relación explícita entre el procedimiento descrito y el método de Kumar asignado, sin que sea necesario recurrir a una lectura más amplia del modo para justificar su clasificación. Por ello, su correspondencia plena puede entenderse como una alineación metodológica sólida, derivada de la congruencia entre propósito, desarrollo y resultado.

Correspondencia parcial

Las fichas clasificadas como *Parcial* se organizan en dos conjuntos con criterios de coincidencia diferenciados. Por una parte, se encuentran las fichas cuya correspondencia se establece en relación con un método específico de la metodología de Kumar; por otra, se ubican las fichas cuya alineación se atribuye a la disposición general del modo al que

fueron asociadas. Este segundo conjunto, compuesto por las fichas asociadas directamente a un modo, será tratado en profundidad en el apartado correspondiente al criterio de excepción, de modo que en la presente subsección se aborda exclusivamente el conjunto de fichas con correspondencia parcial sustentadas en un método particular, el cual abarca un total de setenta y un registros.

En el grupo de fichas con método asociado predomina una orientación experimental y de materialización de soluciones. El método siete punto cuatro, denominado Desarrollo y prueba piloto, concentra la mayor proporción de registros, seguido por el método seis punto nueve, relativo al Prototipo de solución. Esta concentración indica que el proceso de diseño puso un fuerte énfasis en la producción de prototipos, ensayos de bancada y validaciones técnicas inmediatas. No obstante, la clasificación como parcial obedece, en términos generales, a la presencia de una asimetría entre la ejecución técnica y la formalización metodológica requerida para una correspondencia plena. Si bien las acciones registradas reproducen la lógica operativa de los métodos, suelen carecer de artefactos complementarios, tales como planes de pilotaje formales, cronogramas, presupuestos, protocolos de prueba estandarizados, definición de métricas y criterios de aceptación, o la sistematización documental en bases de soluciones, elementos que permitirían verificar la alineación metodológica de manera plena y replicable.

Al agrupar las fichas parciales por tipo de método recurrente emergen patrones útiles para el análisis. Se identifican clústeres centrados en prototipado y pruebas, como los métodos siete punto cuatro y seis punto nueve; grupos orientados a planificación e implementación, como el método siete punto cinco; y grupos enfocados en representación técnica y diagramación, como el método seis punto seis. Cada uno de estos conjuntos comparte carencias comunes que explican la parcialidad, entre las que destacan la ausencia de métricas cuantitativas y criterios de aceptación, la falta de protocolos de registro y monitoreo, la escasa validación con usuarios finales y la documentación incompleta de los ciclos iterativos de decisiones.

En consecuencia, la correspondencia parcial no debe interpretarse como una falta de capacidad técnica o de avance experimental, sino que expresa una priorización de la operatividad sobre la sistematización metodológica. Para orientar acciones futuras de mejora, se sugiere priorizar la incorporación de los artefactos faltantes según la naturaleza del método. Por ejemplo, es conveniente definir protocolos de medición y aceptación para los grupos dedicados al prototipado, así como generar matrices de responsabilidades y bases de soluciones para los grupos de planificación y diagramación, con el fin de transitar las actividades desde una correspondencia parcial hacia una correspondencia plena.

Criterio de excepción

La metodología de Kumar reconoce explícitamente la posibilidad de que existan métodos adicionales a los documentados en su recopilación original. En la conferencia con motivo del décimo aniversario de la publicación de *101 Design Methods*, Vijay Kumar aclara que la lista de métodos refleja su experiencia documentada pero no constituye un cierre absoluto: otros métodos podrían encajar en la metodología según la singularidad de cada proceso de diseño [1], [35]. Esta observación fundamenta el presente criterio de excepción: permitir la asociación de registros de trabajo (fichas) con los *mindsets* de un modo determinado cuando la actividad realizada coincide sustantivamente con la lógica general del modo, aun cuando no exista un método predefinido que describa con exactitud la operación ejecutada.

Este criterio complementa la categoría *Nula*. Bajo el enfoque adoptado en este trabajo, la inexistencia de asociaciones de tipo nulo (cero fichas) se explica porque se concede la

oportunidad de mapear acciones que, aunque no estén cubiertas por uno de los 101 métodos, sí se alinean con los propósitos y mentalidades (*mindsets*) de un modo concreto. De este modo, la ausencia de fichas clasificadas como *Nula* no implica que todas las actividades sean equivalentes a un método específico, sino que, en su planteamiento, motivación y objetivos, las acciones documentadas en el desarrollo del prototipo se integran coherentemente dentro del marco metodológico de Kumar mediante la asignación a un modo y, cuando procede, mediante la distinción entre correspondencia plena y parcial.

Cabe puntualizar aquí una distinción metodológica importante para las fichas incluidas bajo el criterio de excepción. Parte de las fichas catalogadas como *Parcial* lo fueron inicialmente debido a una asociación parcial con un método previamente existente (dicha asociación aparece indicada en cada ficha). No obstante, en el análisis comparativo se determinó que, en esos casos, la afinidad predominante no era con el método concreto referido, sino con los *mindsets* y el propósito general del modo al que finalmente se asignó la ficha. En otras palabras: la ficha presentaba una correspondencia doble (parcial con un método y, a la vez, con el modo) y la afinidad predominante con el modo motivó la clasificación como *Parcial* bajo el criterio de excepción. En contraste, las fichas clasificadas como *Plena* bajo este mismo criterio no fueron relacionadas con un método existente; su correspondencia es directa con los *mindsets* del modo, sin que un método documentado describa la acción con la misma fidelidad. Esta diferenciación es relevante porque, en el marco del criterio de excepción, la correspondencia plena y la parcial operan de modo distinto que en las fichas que no están sujetas a este criterio.

Entre las fichas clasificadas como **correspondencia plena** (Ficha 8 y Ficha 21) existe una coincidencia clara: ambas operan como núcleos habilitadores de la materialización y la configuración del sistema. La Ficha 8 actúa como habilitador institucional y de recursos (modo 7), cuya plenitud se explica por su impacto estratégico sobre el despliegue del proyecto (financiación, ampliación de equipo, inicio formal de actividades). La Ficha 21 cumple una función análoga en el terreno técnico (modo 6), pues articula y organiza la arquitectura eléctrica (artefactos, diagramas y estimaciones) que constituyen la estructura técnica necesaria para la integración posterior de subsistemas. En ambos casos la correspondencia plena no proviene de la existencia de un método documentado entre los 101, sino de la coincidencia directa entre el propósito y el *mindset* del modo asignado: habilitar y estructurar la posibilidad de avanzar en la materialización y configuración de la solución.

En las fichas clasificadas como **correspondencia parcial** bajo criterio de excepción (Ficha 15; Ficha 16.a; Ficha 16.c; Fichas 19.Ctrl.1–19.Ctrl.5; Ficha 20; Ficha 20.Mec.5) se identifican patrones comunes que explican su clasificación y señalan oportunidades de mejora metodológica:

- Ubicación en el proceso. La mayor parte de estas fichas se ubica entre los Bloques II a IV (preparación de infraestructura, puesta a punto técnica, integración y definición de criterios de acoplamiento). Es decir, predominan en las etapas intermedias y finales del proceso de diseño, cuando la acción es operativa y orientada a hacer funcional la solución.

- Afinidad modal predominante. La asociación principal se concentra en los modos 6 y 7 (Configurar la solución; Materializar la solución). Aunque algunas fichas presentan una asociación parcial a métodos específicos (por ejemplo, actividades de prototipado o de evaluación de conceptos), la afinidad dominante es con los *mindsets* del modo: habilitar la infraestructura, integrar componentes, verificar comportamientos básicos y consolidar bloques técnicos.

- Naturaleza operativa y habilitadora. Estas fichas documentan acciones prácticas (acondicionamiento de espacios, capacitaciones técnicas, caracterizaciones experimentales,

selección de plataformas de control, pruebas de integración física y diseño mecánico paramétrico) cuyo propósito es resolver restricciones técnicas inmediatas para continuar el desarrollo.

- Carencias metodológicas recurrentes que explican la parcialidad: - Ausencia de artefactos de formalización metodológica exigidos por Kumar para correspondencia plena: matrices soluciones-desafíos, tablas de criterios y puntajes, *roadmaps* estratégicos, Gantt maestro, definición explícita de responsables y presupuestos. - Falta de protocolos de validación y pilotaje formalizados (cronogramas, métricas de aceptación, criterios de éxito), y ausencia de registros estructurados de retroalimentación de usuarios o *stakeholders*. - Limitada sistematización documental (metadatos, repositorios con atributos, procedimientos de indexado) que impida transformar evidencia técnica en artefactos replicables y auditablemente reproducibles.

6.4.5. Implicaciones para la práctica de diseño

La lectura conjunta de los gráficos y el análisis cualitativo indica que el proceso privilegió la materialización y el ajuste técnico, lo que facilitó avances operativos pero limitó la generación y formalización de evidencias metodológicas necesarias para correspondencias plenas.

Para proyectos futuros conviene priorizar, de forma concreta, tres líneas de actuación. Primero, reforzar las actividades de definición temprana del rumbo mediante prácticas sistemáticas de *Sense Intent* (informes de actualidad, compilación de hechos clave y declaración de intención), de modo que la toma de decisiones operativas esté fundada en una intención inicial explícita y rastreable; esto permite anticipar riesgos y orientar recursos estratégicamente [1]. Segundo, fortalecer la fase de exploración conceptual (sesiones de ideación estructuradas, generación de hipótesis de valor, prototipos de concepto y narrativas de futuro) para garantizar que las soluciones emergentes se sometan a contrastes creativos y a pruebas tempranas que expliquen su valor y sus supuestos (por ejemplo: desafiar supuestos, definir personas y construir prototipos de comportamiento) [1]. Tercero, implementar instrumentos transversales de formalización: protocolos de pilotaje estandarizados, métricas y criterios de aceptación, plantillas para la documentación de iteraciones, y repositorios centrales (catálogo de conceptos y bases de observaciones de usuarios) que permitan convertir actividades repetidas en evidencia auditable y transferible.

Estas prioridades conectan directamente con las conclusiones del capítulo y con las recomendaciones para el trabajo futuro: integrar desde el inicio un plan de investigación que recupere las funciones de los modos 1 a 5 (detección de oportunidades, comprensión del entorno, empatía con usuarios, estructuración de hallazgos y conceptualización), y coordinarlo con las prácticas operativas de modos 6 y 7 para que la materialización ocurra sobre una base metodológica verificable. La adopción sostenida de estas acciones facilitará transitar fichas clasificadas como parciales hacia correspondencias plenas y fortalecerá la reproducibilidad y escalabilidad de desarrollos subsiguientes [1].

6.5. Hallazgos transversales y aspectos metodológicos

El propósito de esta revisión es evaluar el grado de alineación entre el proceso de diseño registrado (fichas, figuras y análisis) y el marco metodológico de Kumar, determinando hasta qué punto dicho marco describe, estructura y aporta herramientas útiles para el desarrollo del prototipo [1]. La evaluación se apoya en la evidencia cuantitativa y cualitativa

ya presentada (Tabla 6.1; Figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4) y en el análisis de correspondencias plena, parcial y bajo criterio de excepción desarrollado en las subsecciones previas.

6.5.1. Síntesis cuantitativa

Los conteos muestran una concentración clara en los modos 6 y 7 (31 y 44 fichas, respectivamente), mientras que los modos 1 y 5 registran presencia marginal (Figura 6.2). Por método, predominan 7.4 (*Desarrollo y prueba piloto*), 6.9 (*Prototipo de solución*), 7.5 (*Plan de implementación*) y 6.6 (*Diagramación de soluciones*) (Figura 6.3). En términos de correspondencia, la categoría *Parcial* concentra la mayoría de registros (véase Figura 6.4). Estos resultados indican que el proceso fue mayoritariamente operativo y orientado a la materialización, con menor registro de actividades de diagnóstico temprano y conceptualización formal.

6.5.2. Evaluación cualitativa por criterios

Cobertura. El marco de Kumar permitió clasificar la práctica documentada en la casi totalidad de fichas; la inexistencia de casos *Nula* sugiere que los modos ofrecen una estructura interpretativa amplia para actividades de diseño diversas (evidencia: Tabla 6.1 y Figuras citadas).

Fidelidad metodológica. Cuando la correspondencia fue plena (fichas 11.a–11.d, 21.Elec.2, 21.Elec.4, 23) existió congruencia entre propósito, secuencia de acciones y producto, lo que confirma la validez del marco para describir ciertos tipos de intervención. En contraste, en fichas asociadas a prototipado y pruebas (como las 16.b.1, 16.b.4, 16.c.1) la ejecución técnica reprodujo la lógica operativa del método, pero faltaron artefactos formales que Kumar prescribe para una correspondencia plena, como matrices de evaluación, protocolos y métricas.

Operacionalidad. El marco aporta categorías conceptuales y *métodos* de trabajo, sin embargo su traducción a instrumentos operativos para pilotaje y validación resultó limitada en este caso. La práctica documentada mostró protocolos ad hoc en lugar de procedimientos estandarizados, lo que redujo la trazabilidad de resultados.

Explicatividad. El marco facilita comprender por qué se priorizaron decisiones técnicas, por ejemplo en respuesta a restricciones de financiamiento y plazos, dado que los modos 6 y 7 explicitan la lógica de configurar y materializar soluciones; no obstante, esa explicación es parcial cuando se requiere detallar las razones internas de diseño, como hipótesis y criterios de selección que sustentan cada iteración.

Adaptabilidad contextual. El marco es aplicable, pero demanda complementos para operar en contextos con alta interdisciplinaridad y urgencia operativa; la prevalencia de correspondencias *Parcial* evidencia la necesidad de herramientas que traduzcan los métodos en prácticas verificables.

6.5.3. Identificación de vacíos metodológicos y causas

La predominancia de actividades orientadas al prototipado y a la implementación condicionó la formalización metodológica. Desde la perspectiva de los modos menos repetidos, es posible asociar las principales carencias con funciones propias de esos modos:

Modo 1. La función de declaración de intención y delimitación de propósito está poco representada; su ausencia explica la falta de una declaración inicial explícita y rastreable

que hubiera orientado prioridades y métricas. Esto dificulta reconstruir por qué ciertas decisiones operativas fueron preferidas [1].

Modo 5. El trabajo de pasar de principios a oportunidades aporta herramientas para convertir principios en criterios evaluables; su limitada ocupación se traduce en la carencia de matrices de evaluación y criterios de aceptación que permitan transformar ensayos y prototipos en evidencias comparables.

Modos 2 a 4. Las funciones de comprensión del entorno, empatía y generación conceptual habrían reforzado la articulación de hipótesis de diseño y la sistematización de observaciones de usuarios; su presencia moderada explica la escasez de registros estandarizados de interacción con usuarios y de análisis de impacto contextual. Estas funciones se describen en los *mindsets* y en la definición de métodos de Kumar [1].

En términos causales, la conjunción de demandas externas (plazos de convocatoria y necesidad de mostrar resultados operativos), la composición interdisciplinaria del equipo y la priorización de la resolución técnica inmediata favorecieron actividades correspondientes a los modos 6 y 7 en detrimento de prácticas de definición, evaluación y documentación propias de los modos 1–5. Esto explica por qué muchas fichas son coherentes funcionalmente con métodos de Kumar pero no alcanzan la formalización documental asociada a una correspondencia plena.

6.5.4. Veredicto y consecuencias

El marco de Kumar resulta útil y suficientemente amplio para describir y estructurar el proceso de desarrollo del prototipo; sin embargo, en entornos con alta exigencia operativa su aplicación requiere complementos prácticos que permitan transformar la actividad técnica reiterada en evidencia metodológica verificable. Como prioridades inmediatas se recomiendan: (1) metodológica, incorporar plantillas y protocolos vinculados a los métodos de pilotaje y evaluación, tales como matrices de criterios, registros de observación y métricas de aceptación; (2) operativa, establecer un flujo documental mínimo que obligue a registrar entradas, salidas y criterios de decisión en cada iteración, lo cual facilitará transitar fichas de *Parcial* a *Plena*.

6.5.5. Consideraciones metodológicas y limitaciones

El veredicto se basa en la reconstrucción documental efectuada (fichas, mapeo y análisis de correspondencias) y en criterios de evaluación definidos en este capítulo; por tanto, conserva un grado de subjetividad inherente al juicio de correspondencia. No se incorporaron entrevistas de validación con el equipo ni reconstrucciones temporales detalladas, lo que limita la capacidad para afirmar causalidades finas entre decisiones internas y registros de las fichas. Aun con estas limitaciones, el análisis permite extraer recomendaciones operativas que pueden implementarse en iteraciones futuras para mejorar la trazabilidad metodológica y la reproducibilidad del proceso.

7. Conclusiones y trabajo futuro

7.1. Resumen ejecutivo

A partir del mapeo de 90 fichas y la reconstrucción del proceso descrito en el Cap. 5, este estudio muestra que la metodología de los Siete Modos permite describir y ordenar

las acciones de diseño examinadas, facilitando la interpretación de decisiones técnicas y organizativas (véase Cap. 6). La mayor concentración en los Modos 6 y 7 explica la prevalencia de actividades materializadoras y la elevada proporción de correspondencias parciales, dado que muchas acciones resolvieron restricciones operativas sin producir artefactos formales verificables [1]. En consecuencia, el veredicto global es positivo respecto a la capacidad descriptiva del marco, pero condicionada: su utilidad práctica mejora sustancialmente cuando se complementa con instrumentos operativos (protocolos de pilotaje, métricas y repositorios con metadatos) que permitan convertir iteraciones de prototipado en evidencia verificable. La principal contribución de la tesis consiste en ofrecer tanto la validación metodológica del proceso como un conjunto de herramientas y recomendaciones concretas destinadas a robustecer la trazabilidad y la evaluabilidad de futuros procesos de diseño.

7.2. Conclusiones generales

7.2.1. Objetivo general

El objetivo general de la tesis consistió en analizar el proceso de desarrollo de un primer prototipo de simulador médico mecatrónico del brazo mediante su contraste con la metodología de los Siete Modos de Vijay Kumar. A partir de la codificación de 90 fichas y su mapeo sistemático, se demuestra que el marco de Kumar permite interpretar y ordenar las acciones ejecutadas, puesto que la mayoría de las fases pudo asociarse a modos y métodos concretos (ver Tabla 6.1 y Figuras 6.2–6.4). No obstante, la aplicación retrospectiva revela una tensión entre la capacidad descriptiva del marco y la necesidad de instrumentos operativos que faciliten la formalización (por ejemplo, métricas y protocolos) cuando el proceso es predominantemente materializador, tal como ocurrió en las fichas asociadas a prototipado e integración (16.b.1 y 19.Ctrl.2) [1].

7.2.2. Objetivos específicos

- **Describir el proceso de desarrollo del simulador.** El mapeo cronológico y la catalogación de fases ofrecieron una reconstrucción detallada de las decisiones técnicas, organizativas y de integración, lo que permitió identificar hitos clave del proyecto (aceptación por Capital Semilla, acondicionamiento de taller, iteraciones de prototipado) y su impacto en la ejecución experimental (véase Bloques I–V en Cap. 5). Esta documentación constituye una base empírica sólida para análisis posteriores y para la trazabilidad del diseño.
- **Sistematizar las actividades de diseño.** La plantilla de fichas y el procedimiento de mapeo propuestos posibilitaron sistematizar actividades heterogéneas (investigación bibliográfica, experimentación material, integración eléctrica), lo que permitió homogeneizar la evidencia técnica y facilitar comparaciones entre fases; sin embargo, se identificaron carencias en la estandarización de protocolos de registro que limitaron la reproducibilidad documental de algunas iteraciones (16.b.4 y 16.c.1).
- **Mapear las acciones con los modos y métodos de Kumar.** El ejercicio de mapeo resultó efectivo para asignar la mayoría de las fichas a modos y métodos, evidenciándose una concentración en los Modos 6 y 7 (configurar y materializar la

solución) que explica la alta presencia de actividades de diagramación, prototipado y prueba piloto (véase Fig. 6.2 y Fig. 6.3) [1]. Esta correspondencia confirma la utilidad del marco como herramienta interpretativa para procesos mecatrónicos.

- **Identificar divergencias metodológicas.** Se detectaron divergencias consistentes entre la práctica ejecutada y los procedimientos formales que Kumar asocia a correspondencias plenas: muchas fichas cumplían la finalidad operativa de un método pero no completaron los artefactos formales que éste prescribe (matrices de evaluación, protocolos de pilotaje, métricas), lo que justificó la prevalencia de la categoría *Parcial* en la auditoría (véase Fig. 6.4).
- **Evaluar el grado de alineación entre proceso y marco.** El marco de Kumar demostró ser capaz de describir y estructurar las principales decisiones del proyecto, pero su aplicación total requiere complementos operativos para transformar evidencia técnica en documentación metodológica verificable; en la práctica, la priorización de la materialización a corto plazo favoreció la ejecución técnica sobre la formalización metodológica, condición que redujo la fidelidad de algunas asignaciones.
- **Documentar el caso y preservar la trazabilidad.** La tesis produjo una base documental consistente (90 fichas) y un mapeo reproducible que permite seguir la evolución del prototipo y justificar decisiones técnicas posteriores; este acervo facilita la replicación del análisis en etapas futuras y sirve como repositorio inicial para estrategias de sistematización y transferencia.

7.3. Contribuciones de la tesis

7.3.1. Contribuciones metodológicas

- Adaptación operativa del marco de Vijay Kumar para su aplicación retrospectiva en procesos con alta carga material y técnica, proponiendo criterios de asignación de fichas a modos y métodos que facilitan su uso en contextos mecatrónicos [1].
- Definición y validación de un protocolo de auditoría documental (plantilla de fichas, criterios de correspondencia Plena/Parcial/Nula y procedimiento para el *criterio de excepción*) que permite evaluar la fidelidad metodológica de actividades heterogéneas.
- Propuesta de una convención de mapeo reproducible entre artefactos técnicos (diagramas, archivos CAD, protocolos de prueba) y los métodos de Kumar, con el fin de reducir la ambigüedad en la asignación modal en estudios futuros.

7.3.2. Contribuciones empíricas

- Generación y codificación de una base de 90 fichas que documentan el proceso de desarrollo del simulador, organizada y referenciada en Tabla 6.1, lo que constituye un repositorio empírico para análisis posteriores.
- Aplicación sistemática del mapeo modos-métodos que permitió identificar la concentración de la práctica en los Modos 6 y 7 y la recurrencia de métodos como 7.4 y 6.9 (véase Figuras 6.2 y 6.3).

- Documentación de casos ejemplares que ilustran correspondencia plena y parcial (por ejemplo, fichas 11.a y 21.Elec.2), útil para validar y ejemplificar el protocolo de auditoría.

7.3.3. Contribuciones prácticas

- Recomendaciones operativas para equipos interdisciplinarios: plantillas de ficha estandarizadas, checklists para ciclos de prototipado y un conjunto mínimo de métricas para pilotaje reproducible.
- Diseño de lineamientos para la consolidación de una *base de soluciones* (repositorio con metadatos y etiquetas por modo/método/correspondencia) que facilite el reuso y la trazabilidad técnica en proyectos sucesivos.
- Orientaciones para integrar actividades administrativas y logísticas dentro del análisis metodológico, de modo que tareas de gestión (financiación, acondicionamiento, adquisición) sean registradas como eventos metodológicamente relevantes para la evaluación del proceso.

7.4. Limitaciones del trabajo

El presente estudio reconoce las siguientes limitaciones con sus consecuencias para la interpretación de los resultados y para el diseño de investigaciones futuras.

- **Reconstrucción temporal y control de actividades.** La reconstrucción de los Bloques I a III estuvo condicionada por un control y monitoreo deficiente de las actividades, puesto que no se documentaron de forma exhaustiva las asignaciones a miembros del equipo ni sus resultados inmediatos; la reconstrucción se realizó a partir de los registros que sí existían. En contraste, la Fase IV contó con un registro más completo y permite una reconstrucción más fidedigna. Impacto: esta asimetría temporal puede introducir sesgos en la representación de la secuencia y en el conteo de fichas por modo, lo que afecta la interpretación de la evolución del proceso. Implicación para trabajo futuro: establecer protocolos de registro desde el inicio del proyecto (actas, bitácoras de tareas, trazabilidad de entregables) que permitan una reconstrucción longitudinal más precisa.
- **Tratamiento de las fichas del Bloque V.** Para efectos del mapeo, ciertas fichas del Bloque V fueron consideradas como actividades desarrolladas y terminadas, contemplando sus resultados esperados como si fueran resultados obtenidos. Impacto: esta convención facilita el mapeo completo del proceso, pero puede sobreestimar el grado de avance real y conducir a discrepancias entre el registro documental y la práctica efectiva. Implicación para trabajo futuro: documentar explícitamente el estado de avance de cada ficha (planificado, en curso, completado) y actualizar el repositorio conforme se concreten las actividades.
- **Limitaciones empíricas.** El prototipo analizado corresponde a una primera versión con alcance reducido y sin validación clínica ni de usuario final. Impacto: las conclusiones sobre desempeño y adecuación técnica no pueden extrapolarse a contextos de uso real ni considerarse evidencia de eficacia clínica. Implicación para

trabajo futuro: planificar etapas de validación clínica y de usabilidad, así como definir protocolos experimentales con métricas claras para evaluar impacto en condiciones representativas.

- **Limitaciones de generalización.** Se trata de un estudio de caso único centrado en un prototipo mecatrónico particular; no se realizó una comparación sistemática con otros marcos metodológicos ni con proyectos equivalentes. Impacto: la capacidad de generalizar hallazgos a otros equipos, dominios o metodologías es reducida. Implicación para trabajo futuro: realizar estudios comparativos y replicaciones en otros casos que permitan evaluar la robustez del mapeo modos-métodos y la aplicabilidad de las recomendaciones operativas.

En conjunto, estas limitaciones no invalidan los hallazgos principales, pero sí condicionan su alcance y la precisión de algunas inferencias. Las acciones sugeridas (protocolos de registro, entrevistas de validación, métricas de pilotaje y repositorios con metadatos) constituyen prioridades para reducir la incertidumbre documental y fortalecer la validez del mapeo metodológico en iteraciones futuras.

7.5. Alcances

El presente trabajo se circunscribe al análisis, documentación y contraste metodológico del proceso de diseño del simulador mecatrónico del brazo. En concreto, abarca la reconstrucción del flujo de trabajo registrado en las fichas (90 registros), el mapeo de dichas fichas hacia los modos y métodos de la metodología de Vijay Kumar [1] y la evaluación cualitativa de la correspondencia entre la práctica efectuada y el marco de referencia (véase Tabla 6.1 y Fig. 6.2). El alcance incluye además la identificación de patrones recurrentes, la caracterización de focos metodológicos (por ejemplo, concentración en los Modos 6 y 7) y la formulación de recomendaciones operativas orientadas a mejorar la formalización del proceso de diseño.

En términos temporales y de contenidos, el análisis considera fases desde la exploración y revisión del estado del arte hasta la integración técnica y la estructuración del desarrollo mediante herramientas de planificación. Para facilitar el mapeo completo del proceso, ciertas fichas del Bloque V se han tratado como actividades desarrolladas y sus resultados esperados han sido registrados como resultados obtenidos; esta convención permite la continuidad del mapeo, aunque se reconoce su naturaleza provisional dentro del corpus documental. Asimismo, la reconstrucción de los Bloques I a III se realizó a partir de los registros disponibles, dada la ausencia de control y monitoreo exhaustivo en esas etapas, mientras que la fase IV cuenta con un registro más detallado y permite una reconstrucción más fidedigna del proceso.

Queda fuera del alcance de esta tesis la validación clínica del dispositivo, la certificación del prototipo como producto para uso en entornos sanitarios y la realización de comparativas sistemáticas con otros marcos metodológicos. Del mismo modo, el trabajo no pretende entregar un producto final listo para su implementación, ni evaluar en profundidad el desempeño funcional del simulador en condiciones clínicas o educativas. Estas limitaciones delimitan la aplicabilidad directa de las conclusiones en contextos de práctica clínica y exigen estudios posteriores para validar resultados técnicos y de impacto.

En suma, el trabajo entregado proporciona una base documental y metodológica para comprender y mejorar el proceso de diseño en proyectos similares, sin sustituir las etapas

necesarias de validación, verificación y comparación que corresponden a trabajos subsiguientes. Las recomendaciones y prioridades metodológicas propuestas en este documento orientan precisamente la planificación de esas etapas futuras, por ejemplo la definición de protocolos de pilotaje, la incorporación de métricas y la conformación de repositorios con metadatos para garantizar trazabilidad y reproducibilidad.

7.6. Síntesis metodológica final

La metodología de Vijay Kumar resulta, en términos generales, adecuada para describir y estructurar el proceso de diseño analizado, pues proporciona un marco comprensivo que permite mapear actividades heterogéneas y articularlas en torno a modos y métodos [1]. No obstante, la aplicación práctica en este caso muestra la necesidad de adaptaciones contextuales: la predominancia de las fichas asociadas a los Modos 6 y 7 (configuración y materialización de la solución) explica en buena medida la alta frecuencia de correspondencia parcial observada (véase Tabla 6.1 y Fig. 6.2), dado que las acciones operativas priorizaron la producción de prototipos y pruebas inmediatas sobre la generación de artefactos formales que permiten una verificación plena (protocolos de pilotaje, métricas de aceptación, registros normalizados). En este sentido, la parcialidad no refleja tanto una insuficiencia del marco teórico como una preferencia operativa del equipo por resolver restricciones técnicas y de integración en el corto plazo; las fichas 7.4 y 6.9 ilustran este sesgo hacia el prototipado rápido, mientras que ejemplos de correspondencia plena como 11.a y 21.Elec.2 muestran que, cuando existen productos documentales claros, la correspondencia con los métodos de Kumar es directa. Por último, la relativa escasez de registros asociados a los Modos 1 a 5 (etapas de comprensión, investigación, definición y generación de conceptos) contribuye a explicar vacíos metodológicos detectados, pues la ausencia o debilidad de estos insumos dificulta la formalización y evaluación sistemática de las soluciones propuestas; esto sugiere que, para fortalecer la aplicabilidad del marco en contextos de alta carga operativa, es necesario complementar su uso con protocolos de registro, métricas y procedimientos de validación que favorezcan la transición desde una correspondencia parcial hacia una correspondencia plena [1].

7.7. Trabajo futuro

7.7.1. Líneas prioritarias

1. Desarrollar y estandarizar plantillas y artefactos operativos para cada método relevante (matrices de evaluación, formatos de observación y protocolos de registro).
2. Consolidar una *base de soluciones* centralizada con metadatos y control de versiones para facilitar el reuso y la trazabilidad técnica.
3. Implementar procedimientos de pruebas piloto y un conjunto mínimo de métricas cuantitativas y cualitativas para validar iteraciones de prototipado.
4. Realizar estudios de replicación del mapeo modos-métodos y subestudios comparativos con al menos otro marco de diseño.
5. Diseñar una guía operativa que traduzca los *mindsets* de Kumar a evidencias mínimas exigibles por cada modo [1].

7.7.2. Propuestas para robustecer la capacidad analítica del marco

- Contrastar la metodología de Kumar con al menos un marco alterno en un subestudio comparativo para identificar fortalezas y vacíos relativos.
- Formalizar reglas de adaptación y documentarlas como parte del protocolo de mapeo, de modo que las decisiones interpretativas sean replicables.
- Desarrollar una guía operativa que traduzca los *mindsets* a evidencias mínimas exigibles por modo, facilitando la evaluación objetiva de la correspondencia.
- Incorporar métricas de confiabilidad intercodificador y procedimientos de validación cualitativa (triangulación) como componentes permanentes del análisis metodológico.
- Promover la publicación de instrumentos y casos de uso para fomentar la discusión académica y la mejora colectiva del método aplicado a contextos mecatrónicos.

7.7.3. Medidas para mejorar la trazabilidad documental

- Implementar un repositorio centralizado con control de versiones y un esquema de metadatos obligatorio que vincule objetivos, procesos y resultados.
- Establecer formatos estandarizados para la asignación de tareas (plantillas de trabajo) que se registren en el repositorio al momento de su emisión.
- Exigir que cada artefacto técnico (modelos CAD, código, protocolos de ensayo) incluya metadatos de contexto y enlace a la ficha correspondiente.
- Definir políticas de nombrado y control de versiones para evitar ambigüedades en la trazabilidad de entregables.
- Mantener bitácoras de decisiones y actas de reunión con referencias a fichas afectadas, de modo que las decisiones orales queden registradas y auditablemente vinculadas al proceso.

En su conjunto, estas líneas y propuestas buscan fortalecer tanto la capacidad de los equipos para conducir procesos de diseño más rigurosos como la capacidad analítica para contrastar la práctica con el marco de Kumar [1], de modo que futuras aplicaciones del mapeo modos-métodos generen evidencias verificables y fácilmente replicables.

7.8. Implicaciones para la práctica de diseño

- Integrar de manera deliberada las etapas tempranas (Modos 1–5) con las fases de configuración y materialización (Modos 6–7) mejora la coherencia del proceso y reduce la pérdida de insumos conceptuales al momento del prototipado, tal como indican los resultados del mapeo (Tabla 6.1, Fig. 6.2) [1].
- Instrumentar la capacidad de ensayo mediante protocolos de pruebas piloto estandarizadas y un conjunto mínimo de métricas para transformar iteraciones operativas en evidencia verificable, una condición necesaria para elevar correspondencias parciales a correspondencias plenas.

- Establecer trazabilidad rigurosa entre asignaciones, artefactos y decisiones (repositorio con metadatos, control de versiones y bitácoras de decisión) facilita la auditoría metodológica y el reuso técnico, además de incrementar la reproducibilidad del proceso de diseño.
- Operar los modos mediante plantillas de evidencia mínima (qué se exige como prueba para cada modo y método) contribuye a homogeneizar prácticas interdisciplinarias y a reducir la ambigüedad en la asignación modal durante auditorías posteriores.
- Fortalecer prácticas de equipo (roles claros, ciclos de revisión, talleres de contraste y formación en documentación) favorece la sistematización de actividades y disminuye la priorización exclusiva de la urgencia operativa en detrimento de la formalización metodológica.

7.9. Cierre

El análisis realizado demuestra que el proceso de diseño del prototipo puede ser descrito y ordenado mediante la metodología de los Siete Modos, puesto que la mayoría de las fichas halladas permite una asignación modal coherente (véase Tabla 6.1 y Fig. 6.2). No obstante, la identificación de acciones y la formulación de medidas de mejora no implican que el proceso original se haya desarrollado siguiendo de forma estricta cada método propuesto por Kumar; de haber sido así las discrepancias habrían sido evidentes desde el momento en que no se completan los pasos y artefactos formales que cada método prescribe [1]. Más bien, el hecho de que las etapas del proyecto puedan mapearse sugiere la existencia de un *mindset* orientado a la innovación, compatible con el marco teórico, aunque con deficiencias en la formalización metodológica y en la sistematización de evidencias. Las propuestas de trabajo futuro y las recomendaciones operativas buscan precisamente suplir esas carencias, de modo que la práctica material del prototipado pueda confluir con procedimientos verificables (protocolos, métricas, repositorios) y así elevar la correspondencia parcial a correspondencia plena. En consecuencia, la principal contribución de la tesis no es afirmar que el equipo siguió literalmente la metodología de Kumar, sino ofrecer una validación del proceso de diseño mediante un marco reconocido y proporcionar herramientas concretas para mejorar su rigor en futuras iteraciones. Estas aportaciones permiten, finalmente, orientar la planificación de procesos sucesivos hacia una mayor trazabilidad, reproducibilidad y capacidad de evaluación metodológica.

A. Apéndice A: 101 Métodos de diseño de Kumar

Breve descripción de los métodos que componen los 7 modos del proceso de diseño innovador de Kumar propuestos en [1].

Modo 1: Definir el propósito (*Sense intent*)

- 1.1 Informes de actualidad emergente (*Buzz reports*):** Recopilar y compartir información sobre las últimas tendencias procedentes de una amplia variedad de fuentes. La inspiración para la innovación no proviene únicamente de la investigación principal, sino también de fuentes tangenciales o periféricas que, aunque parezcan ajenas al proyecto, permiten identificar oportunidades de valor.
- 1.2 Exploración de medios masivos (*Popular Media Scan*):** Comprensión de fenómenos culturales clave mediante la revisión de medios populares (noticiarios, revistas, televisión, etc.) para identificar corrientes culturales y actividades relevantes. Este método proporciona una visión de alto nivel sobre las tendencias actuales y las percepciones sociales que pueden influir en la definición de la intención inicial del proyecto.
- 1.3 Hechos clave (*Key Facts*):** Recopilación de información concisa y verificable (estadísticas, opiniones de expertos, evidencias documentales) que ancla la justificación de la intención inicial y actúa como punto de partida para la investigación adicional.
- 1.4 Compendio de fuentes de innovación (*Innovation Sourcebook*):** Enfoque estructurado para recopilar y organizar ejemplos exitosos de ofertas (productos y servicios), organizaciones y personas; comparar y analizar estas prácticas permite identificar las estrategias de plataforma subyacentes que sirven de referencia e inspiración a lo largo del proceso de innovación.
- 1.5 Entrevistas con expertos en tendencias (*Trends Expert Interview*):** Consultas estructuradas con especialistas (académicos, futuristas o investigadores) para identificar rápidamente novedades y escenarios futuros en un ámbito específico. Este método proporciona información estratégica de alto valor y orienta la búsqueda de fuentes de información adicionales.
- 1.6 Bibliometría de palabras clave (*Keyword Bibliometrics*):** Búsqueda sistemática mediante palabras clave en grandes bases de datos especializadas para localizar artículos relevantes y, mediante el análisis de la lista resultante, identificar la naturaleza de la producción sobre un tema y relaciones emergentes no evidentes.
- 1.7 Marco de los diez tipos de innovación (*Ten Types of Innovation Framework*):** Metodología desarrollada por Doblin para analizar sectores u organizaciones e identificar oportunidades de innovación en cuatro áreas críticas: finanzas, procesos, oferta y entrega. Permite determinar qué aspectos requieren un análisis exhaustivo y hacia dónde orientar los futuros esfuerzos de investigación.
- 1.8 Panorama de innovación (*Innovation Landscape*):** Aplicación del marco de Doblin para generar un mapa tridimensional (tipo de innovación en X, tiempo en Y y número de ocurrencias como altura/Z) que visualiza intensidad, diversidad y ritmo

de cambio en un sector, facilitando la identificación de áreas con oportunidades de innovación.

- 1.9 Matriz de tendencias (*Trends Matrix*):** Herramienta de síntesis que visualiza cómo las fuerzas de cambio impactan áreas críticas (tecnología, negocios, sociedad, cultura y política) para identificar el rumbo futuro y la influencia recíproca entre estos ámbitos.
- 1.10 Mapa de convergencia (*Convergence Map*):** Visualización del solapamiento entre esferas de la vida cotidiana (laboral, familiar, comunicaciones) y sectores industriales para identificar nuevos comportamientos emergentes. Estas áreas de intersección permiten analizar cambios en las actividades humanas y detectar oportunidades de innovación.
- 1.11 Exploración del cambio (*From... To Exploration*):** Método para transformar la perspectiva actual basada en convenciones hacia una nueva visión basada en tendencias. Al cuestionar ideas establecidas y explorar nuevas posibilidades, propone cómo mejorar el contexto actual y sugiere líneas de investigación futuras.
- 1.12 Mapa de oportunidades iniciales (*Initial Opportunity Map*):** Herramienta estratégica en formato 2x2 que posiciona al equipo frente a otros actores para identificar espacios de oportunidad. Basado en el análisis de tendencias, este método ayuda a responder la pregunta fundamental de la estrategia: ¿dónde actuar?
- 1.13 Mapa de Oferta-Actividad-Cultura (*Offering-Activity-Culture Map*):** Análisis sistémico que integra las funciones de la oferta (productos/servicios), las actividades del usuario y su contexto cultural. Este enfoque permite concebir la innovación como una solución que conecta profundamente con la forma de vida de las personas.
- 1.14 Declaración de intención (*Intent Statement*):** Formalización de la intención inicial de innovación basada en las oportunidades detectadas. Este documento de síntesis proporciona la justificación estratégica y el punto de vista preliminar que guiará los esfuerzos de desarrollo posteriores.

Modo 2: Comprender el entorno (*Know Context*)

- 2.1 Plan de investigación contextual (*Contextual Research Plan*):** Método para desarrollar un plan general y un cronograma que define qué se investigará sobre el entorno y cómo se llevará a cabo, aportando rigor y claridad a las actividades exploratorias al inicio del proyecto. Sus componentes clave (equipos, actividades, fechas, recursos, métodos, hitos y entregables) facilitan la gestión eficiente del tiempo y la alineación del equipo en torno a un entendimiento común del contexto a estudiar.
- 2.2 Búsqueda en medios de difusión masiva (*Popular Media Search*):** Revisión sistemática del panorama mediático (prensa, medios audiovisuales y contenidos web) para identificar novedades y opiniones relacionadas con el contexto de interés. La síntesis de estas referencias permite comprender el estado actual del sector y las influencias que configuran el entorno.
- 2.3 Investigación de publicaciones especializadas (*Publications Research*):** Análisis de literatura técnica y profesional para comprender cómo líderes de opinión y actores del sector abordan temas derivados del objetivo de innovación. La identificación

de patrones en estas fuentes puede revelar tendencias emergentes y consolida una base de referencia para el desarrollo del proyecto.

- 2.4 Mapa de eras (*Eras Map*):** Representación gráfica de periodos históricos diferenciados que aporta perspectiva temporal al contexto estudiado. La comparación de sus características permite identificar patrones de cambio y anticipar posibles trayectorias futuras del sector.
- 2.5 Mapa de evolución de la innovación (*Innovation Evolution Map*):** Visualización histórica que compara la trayectoria innovadora de la organización con la del sector para identificar periodos de avance o rezago competitivo. La correlación con indicadores de desempeño (cuota de mercado, capitalización o ingresos) permite comprender la relación entre actividad innovadora y resultados estratégicos.
- 2.6 Perfil financiero (*Financial Profile*):** Análisis comparativo del desempeño financiero de organizaciones y sectores para identificar oportunidades estratégicas. La integración de indicadores clave (capitalización, ingresos, rentabilidad, cuota de mercado e inversión en I+D) en mapas unificados permite obtener una visión amplia del posicionamiento económico dentro de la industria.
- 2.7 Modelos análogos (*Analogous Models*):** Identificación y análisis de comportamientos, estructuras o procesos en dominios ajenos que presentan similitudes funcionales con el contexto del proyecto. La abstracción de estos modelos permite estudiar factores de éxito o fracaso en industrias remotas, proporcionando inspiración estratégica para adoptar soluciones innovadoras o evitar riesgos previamente documentados.
- 2.8 Mapa de competidores y complementadores (*Competitors-Complementors Map*):** Representación gráfica que sitúa a la organización frente a otros actores del sector en función de dimensiones clave como precio, calidad o cuota de mercado. La inclusión de empresas complementadoras en este análisis permite identificar alianzas estratégicas y ventajas competitivas, transformando datos complejos en visualizaciones de rápida interpretación para el diagnóstico del entorno.
- 2.9 Diagnóstico de los diez tipos de innovación (*Ten Types of Innovation Diagnostics*):** Aplicación del marco de Doblin para evaluar la cartera de innovaciones de una organización e identificar brechas estratégicas en áreas críticas (finanzas, procesos, oferta y entrega). La construcción de este perfil permite reconocer las capacidades más sólidas y los puntos de debilidad, facilitando la comparación directa con otros actores del sector para orientar futuros esfuerzos de desarrollo.
- 2.10 Diagnóstico de la industria (*Industry Diagnostics*):** Evaluación multidimensional del estado actual y la intensidad competitiva de un sector mediante marcos de análisis estratégicos (como las fuerzas de Porter). El estudio de factores críticos (competidores, sustitutos, proveedores, clientes y complementadores) permite detectar oportunidades tempranas para la innovación y fundamentar el posicionamiento estratégico de la organización en el mercado.
- 2.11 Análisis FODA (*SWOT Analysis*):** Evaluación de alto nivel de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de una organización en relación con sus competidores y el mercado. El análisis de factores internos y externos permite determinar la viabilidad de los objetivos estratégicos propuestos, facilitando un diagnóstico rápido y general del contexto durante las fases iniciales del proyecto.

2.12 Entrevista con expertos en la materia (*Subject Matter Experts Interview*): Consultas estructuradas con especialistas para acelerar la comprensión general de un campo específico y obtener información sobre sus avances más recientes. El uso de marcos de referencia temporales (pasado, presente y futuro) durante estas conversaciones permite recopilar datos esenciales, opiniones técnicas y perspectivas estratégicas que orientan la búsqueda de fuentes de información adicionales.

2.13 Discusión con grupos de interés (*Interest Groups Discussion*): Inmersión en comunidades profesionales o informales para identificar temas emergentes, noticias y cambios próximos mediante el seguimiento activo de foros y reuniones especializadas. El análisis de estos diálogos permite captar una amplia variedad de puntos de vista y comportamientos extremos de los usuarios, proporcionando información actualizada sobre las tendencias y preocupaciones que definen el discurso actual del sector.

Modo 3: Empatizar con el usuario (*Know People*)

3.1 Mapa de participantes en la investigación (*Research Participant Map*): Herramienta de visualización que permite identificar y seleccionar a las personas relevantes para el proyecto en función de sus roles y actividades cotidianas. El uso de matrices de atributos facilita la clasificación de los participantes y asegura que los esfuerzos de investigación se centren en los perfiles que mejor contribuyen a cumplir con la intención de innovación definida.

3.2 Encuesta de planificación de la investigación (*Research Planning Survey*): Cuestionarios breves y de construcción flexible utilizados en las fases iniciales para identificar rápidamente actitudes, comportamientos y tendencias generales sobre un tema de interés. Los resultados permiten orientar el enfoque de la investigación detallada y funcionan como una herramienta de filtrado para seleccionar participantes adecuados para estudios etnográficos posteriores.

3.3 Plan de investigación de usuarios (*User Research Plan*): Documento de planificación que establece los objetivos, métodos y protocolos necesarios para interactuar con los participantes y recolectar información de manera disciplinada. La definición de aspectos operativos (perfiles de usuario, cronogramas, presupuestos y entregables esperados) asegura la organización del trabajo de campo y la obtención de hallazgos alineados con las metas del proyecto.

3.4 Los cinco factores humanos (*Five Human Factors*): Marco de observación diseñado para analizar la experiencia del usuario a través de cinco dimensiones críticas (física, cognitiva, social, cultural y emocional). La descomposición de la vivencia en estos elementos constituyentes permite realizar una evaluación holística y profunda de las necesidades de las personas, fundamentando el desarrollo de soluciones que consideren la complejidad del comportamiento humano.

3.5 Marco POEMS (POEMS): Estructura observacional que facilita el análisis sistémico de un contexto mediante el estudio de cinco elementos interrelacionados: personas, objetos, entornos, mensajes y servicios (*People, Objects, Environments, Messages, Services*). Este enfoque permite a los investigadores mirar más allá de un producto aislado para comprenderlo como parte de un sistema de relaciones complejas dentro de su entorno de uso.

- 3.6 Visita de campo (*Field Visit*):** Método de inmersión directa que permite establecer empatía con los usuarios mediante la observación de sus actividades en entornos reales. A diferencia de las encuestas, este enfoque prioriza la indagación abierta sobre el comportamiento observado, facilitando la identificación de necesidades no satisfechas y conductas no evidentes a través del diálogo espontáneo en el contexto de uso.
- 3.7 Etnografía en video (*Video Ethnography*):** Técnica de documentación visual utilizada para capturar procesos dinámicos y patrones de comportamiento en situaciones complejas o espacios públicos. El registro audiovisual permite un análisis detallado y posterior de las interacciones, los sonidos y las actividades temporales, funcionando como una herramienta de documentación propia o de autorregistro por parte de los participantes.
- 3.8 Entrevista etnográfica (*Ethnographic Interview*):** Conversación exploratoria realizada en el entorno habitual del usuario para comprender sus experiencias y actividades desde su propia perspectiva. El desarrollo del diálogo en el contexto real reduce el sesgo de memoria y permite a los sujetos demostrar sus prácticas cotidianas, proporcionando relatos detallados y menos abstractos que los obtenidos en entornos artificiales.
- 3.9 Entrevista sobre fotografías del usuario (*User Pictures Interview*):** Método que combina la documentación visual con la entrevista directa para profundizar en las experiencias y necesidades de los participantes a través de las imágenes capturadas por ellos mismos. El análisis conjunto de las fotografías permite generar narrativas ricas en detalles sobre actividades específicas, revelando percepciones y significados que podrían pasar desapercibidos en entrevistas tradicionales.
- 3.10 Artefactos culturales (*Cultural Artifacts*):** Uso de objetos tangibles o conceptos intangibles con carga emocional para descubrir percepciones y prácticas arraigadas en grupos socioculturales específicos. Este método aprovecha el significado cultural de los artefactos para explorar tradiciones y pensamientos que definen la identidad de un grupo, permitiendo identificar factores de diseño que suelen ser omitidos por otros enfoques de investigación.
- 3.11 Clasificación de imágenes (*Image Sorting*):** Técnica proyectiva que utiliza la organización de imágenes simbólicas para revelar asociaciones, percepciones y valores emocionales de los participantes sobre un tema específico. El análisis de las narrativas generadas durante el ejercicio permite identificar creencias compartidas o divergencias en los puntos de vista, facilitando la comprensión de ideas abstractas que difícilmente emergen en entrevistas tradicionales.
- 3.12 Simulación de experiencias (*Experience Simulation*):** Método de investigación basado en la construcción de entornos controlados para observar cómo interactúan las personas con nuevas ofertas de servicios o productos. La recreación de situaciones específicas permite evaluar qué elementos de la experiencia resultan más relevantes para el usuario, proporcionando datos directos sobre el comportamiento y la toma de decisiones en contextos diseñados.
- 3.13 Actividad de campo (*Field Activity*):** Estrategia de inmersión que involucra a los usuarios en actividades contextuales específicas para observar sus respuestas ante situaciones reales. La combinación de la ejecución de tareas en el campo con

entrevistas de seguimiento permite validar supuestos sobre el comportamiento humano e identificar necesidades no satisfechas a partir de la vivencia directa del participante.

- 3.14 Investigación remota (*Remote Research*):** Uso de herramientas digitales y plataformas en línea para facilitar el autorregistro de actividades por parte de los usuarios en múltiples ubicaciones simultáneamente. Este enfoque permite el monitoreo continuo y en tiempo real de hallazgos (fotos, videos y bitácoras), eliminando la necesidad de presencia física del investigador y permitiendo una comunicación directa ante nuevas interrogantes.
- 3.15 Base de datos de observaciones de usuarios (*User Observations Database*):** Sistema de organización y etiquetado de datos recolectados (notas, videos y diagramas) mediante marcos de referencia como POEMS o los cinco factores humanos. La estructuración de esta información facilita la búsqueda de patrones y agrupamientos de observaciones a través de distintos proyectos, transformando registros aislados en una base de conocimiento acumulativa y estratégica para el diseño.

Modo 4: Estructurar los hallazgos (*Frame Insights*)

- 4.1 De observaciones a conocimientos (*Observations to Insights*):** Proceso sistemático de interpretación de los datos recolectados durante la investigación para extraer significados profundos y no evidentes sobre el comportamiento humano y el contexto. Al cuestionar el porqué de las acciones observadas, se generan revelaciones (*insights*) que encapsulan un punto de vista objetivo y racionalizado, transformando observaciones directas en aprendizajes estratégicos para el diseño.
- 4.2 Clasificación de conocimientos (*Insights Sorting*):** Método de organización manual que permite agrupar las declaraciones de conocimiento en núcleos y jerarquías lógicas para identificar patrones emergentes. El establecimiento de una estructura de agrupación consensuada facilita la comprensión profunda del tema de estudio y proporciona una base sólida para la posterior generación de conceptos de innovación.
- 4.3 Consultas a bases de observaciones de usuarios (*User Observation Database Queries*):** Uso de sistemas de información estructurados para recuperar y analizar registros específicos (fotos, videos y notas de campo) mediante el uso de palabras clave y marcos de referencia como POEMS. La realización de consultas basadas en conjeturas permite validar supuestos sobre el comportamiento de los usuarios y detectar patrones recurrentes que fundamentan la obtención de nuevos conocimientos.
- 4.4 Análisis de respuestas de usuarios (*User Response Analysis*):** Técnica de visualización y codificación de grandes volúmenes de datos cualitativos procedentes de encuestas, entrevistas y estudios etnográficos. La organización de la información en matrices y el uso de filtros permiten identificar visualmente los temas de mayor relevancia para los usuarios, facilitando la detección de patrones que orientan la toma de decisiones en el proyecto.
- 4.5 Diagrama de sistemas ERAF (*ERAF Systems Diagram*):** Herramienta de análisis sistémico que representa el contexto a través de cuatro componentes fundamentales: entidades (sustantivos), relaciones (verbos), atributos (adjetivos) y flujos (preposiciones). Esta visualización permite comprender las interacciones y dependencias dentro de un sistema complejo, identificando desequilibrios, vacíos o problemas potenciales que requieren una intervención de diseño.

- 4.6 Red de valor descriptiva (*Descriptive Value Web*):** Diagrama de red que visualiza el intercambio de recursos (dinero, información, materiales o servicios) entre los distintos actores de un sistema en un momento determinado. El análisis de estos flujos de valor permite comprender las condiciones actuales del entorno y las relaciones de dependencia entre los interesados, sirviendo como base para proponer configuraciones futuras más eficientes.
- 4.7 Mapa de posicionamiento de entidades (*Entities Position Map*):** Herramienta de análisis que permite situar diversos elementos del sistema en una matriz definida por dos escalas de atributos intersectadas. La visualización de la distribución y agrupación de estas entidades facilita la identificación de relaciones de proximidad, vacíos en el espectro analizado y patrones de concentración que orientan la toma de decisiones estratégicas.
- 4.8 Diagramas de Venn (*Venn Diagramming*):** Técnica de visualización utilizada para analizar las intersecciones y solapamientos entre distintos grupos o sectores industriales. El uso de círculos superpuestos permite identificar áreas de convergencia donde se producen innovaciones transversales, facilitando la comprensión de cómo diferentes dominios del conocimiento influyen recíprocamente en el contexto de estudio.
- 4.9 Diagramas de árbol y semirretícula (*Tree/Semi-Lattice Diagramming*):** Modelos gráficos empleados para analizar la naturaleza jerárquica de las relaciones entre los componentes de un sistema. Mientras que el diagrama de árbol establece estructuras de dependencia única, la semirretícula permite conexiones múltiples entre niveles, lo cual resulta fundamental para comprender organizaciones complejas y niveles de autoridad o flujo de información.
- 4.10 Matriz de agrupamiento simétrico (*Symmetric Clustering Matrix*):** Método de análisis relacional que permite organizar listas de elementos no estructurados en grupos basados en sus similitudes intrínsecas. La comparación sistemática de cada entidad frente a las demás revela patrones de orden superior, facilitando el desarrollo de marcos de referencia que guían la exploración de conceptos de innovación.
- 4.11 Matriz de agrupamiento asimétrico (*Asymmetric Clustering Matrix*):** Herramienta de clasificación que compara dos conjuntos distintos de entidades para identificar cómo se relacionan y agrupan entre sí. Este análisis permite comprender, por ejemplo, la correspondencia entre actividades específicas y los lugares donde ocurren, revelando estructuras organizativas que fundamentan la síntesis de hallazgos.
- 4.12 Red de actividades (*Activity Network*):** Visualización jerárquica que estructura las acciones de los diversos interesados (usuarios, proveedores y mantenedores) para mostrar sus interrelaciones sistémicas. El agrupamiento de actividades individuales en categorías de mayor nivel permite construir una visión integral de las necesidades humanas y detectar oportunidades de intervención en procesos complejos.
- 4.13 Matriz de agrupamiento de conocimientos (*Insights Clustering Matrix*):** Método de análisis relacional que organiza las revelaciones obtenidas de la investigación en clústeres y jerarquías lógicas. La visualización de estas interrelaciones permite construir una visión integral de los hallazgos, facilitando el desarrollo de marcos de referencia que guían la exploración de conceptos de innovación fundamentados en datos objetivos.

- 4.14 Perfil semántico (*Semantic Profile*):** Herramienta de medición de actitudes y percepciones basada en escalas de adjetivos opuestos (como simple frente a complicado o importante frente a irrelevante). La comparación de los perfiles resultantes permite analizar las diferencias en las valoraciones de distintos grupos de usuarios, identificando brechas y oportunidades de diseño en productos o servicios.
- 4.15 Definición de grupos de usuarios (*User Groups Definition*):** Técnica de segmentación que clasifica a los diversos actores de un contexto mediante el uso de matrices de atributos clave. La identificación de características comunes y la asignación de nombres descriptivos a cada cuadrante permiten obtener un retrato detallado del panorama de usuarios, facilitando el diseño de soluciones personalizadas para cada perfil.
- 4.16 Mapa de experiencia integral (*Compelling Experience Map*):** Marco de análisis que descompone cualquier experiencia en cinco etapas secuenciales (atracción, entrada, interacción, salida y extensión) para evaluar su impacto antes, durante y después del contacto principal. El estudio de atributos específicos (frescura, inmersión, accesibilidad y transformación) permite identificar puntos de contacto críticos para optimizar los resultados del diseño.
- 4.17 Mapa de viaje del usuario (*User Journey Map*):** Diagrama de flujo que rastrea cronológicamente los pasos de un usuario a través de una experiencia completa para identificar problemas y oportunidades de innovación. La descomposición del recorrido en actividades individuales y grupos de mayor nivel permite localizar puntos de fricción y áreas de mejora donde la intervención de diseño resulta más efectiva.
- 4.18 Marco de síntesis (*Summary Framework*):** Método de integración final que consolida los hallazgos, conocimientos y principios de diseño en una estructura unificada y coherente. Este marco proporciona una justificación estratégica del punto de vista del equipo, sirviendo como una transición crítica entre el análisis de la investigación y la generación de conceptos de solución.
- 4.19 Generación de principios de diseño (*Design Principles Generation*):** Transformación de los conocimientos derivados de la investigación en declaraciones de acción prospectivas que guían el proceso de conceptualización. Estos principios actúan como un puente entre la comprensión de las necesidades y la creación de soluciones, asegurando que los conceptos desarrollados estén fundamentados en datos objetivos y no en suposiciones subjetivas.
- 4.20 Taller de análisis (*Analysis Workshop*):** Sesión de trabajo colaborativo diseñada para alinear al equipo en torno a los patrones emergentes y la construcción de marcos de referencia para la conceptualización. El intercambio de perspectivas diversas durante las actividades de clasificación y agrupamiento fomenta la generación de nuevos conocimientos y profundiza en la comprensión sistémica del contexto estudiado.

Modo 5: Conceptualización (*Explore Concepts*)

- 5.1 De principios a oportunidades (*Principles to Opportunities*):** Método de transición que utiliza los principios de diseño para identificar las áreas más fértiles para la innovación antes de iniciar la generación de conceptos. Este enfoque disciplinado permite cerrar la brecha entre la comprensión de las necesidades y la definición de

soluciones, asegurando que las oportunidades detectadas estén fundamentadas en datos de investigación objetivos y no en suposiciones subjetivas.

- 5.2 Mapa mental de oportunidades (*Opportunity Mind Map*):** Herramienta de visualización utilizada al inicio de la exploración conceptual para organizar y representar gráficamente las áreas donde residen las oportunidades de innovación. Al situar el tema central en el eje del mapa y expandir las posibilidades hacia la periferia, el equipo puede analizar relaciones y jerarquías que orientan las conversaciones iniciales hacia el desarrollo de soluciones potenciales.
- 5.3 Hipótesis de valor (*Value Hypothesis*):** Definición sintética del valor que una propuesta de solución pretende crear para los usuarios y proveedores, funcionando como un marco de referencia para la exploración. Esta hipótesis integra los principios de diseño y el punto de vista del equipo para responder interrogantes clave sobre el público objetivo, las necesidades no satisfechas, los beneficios ofrecidos y la diferenciación competitiva de la nueva oferta.
- 5.4 Definición de personas (*Persona Definition*):** Método de caracterización que consiste en documentar perfiles de personalidad representativos de los usuarios objetivo a partir de atributos compartidos identificados en la investigación. La creación de un número finito de estas identidades permite delimitar el espacio de oportunidad y enfocar la generación de conceptos en soluciones que respondan a necesidades, comportamientos y contextos humanos específicos.
- 5.5 Sesión de ideación (*Ideation Session*):** Sesión de trabajo estructurada para la generación masiva de conceptos fundamentados en los conocimientos, principios y marcos de referencia desarrollados previamente. Mediante un enfoque multidisciplinario y protocolos que fomentan la construcción incremental de ideas (posponiendo el juicio crítico), se busca obtener propuestas audaces y diversas en un periodo corto de tiempo.
- 5.6 Matriz de generación de conceptos (*Concept-Generating Matrix*):** Herramienta de exploración creativa que utiliza la intersección de dos conjuntos de factores clave (como necesidades de usuario y etapas de una experiencia) para identificar soluciones potenciales. Esta estructura bidimensional asegura que la ideación permanezca vinculada a los hallazgos de la investigación, facilitando la alineación del equipo al definir marcos concretos para la propuesta de conceptos.
- 5.7 Metáforas y analogías conceptuales (*Concept Metaphors and Analogies*):** Técnica de pensamiento lateral que utiliza comparaciones con elementos familiares para inspirar la creatividad y replantear ideas convencionales. Mientras que las metáforas ofrecen interpretaciones vívidas para guiar la generación de conceptos memorables, las analogías permiten razonamientos directos sobre el funcionamiento de una solución, proporcionando un enfoque unificado para el proceso de diseño.
- 5.8 Ideación por juego de roles (*Role-Play Ideation*):** Estrategia de generación de ideas en la que los miembros del equipo asumen la identidad de distintos interesados (usuarios, ingenieros o proveedores) para analizar el concepto desde múltiples perspectivas. Este ejercicio fomenta el pensamiento centrado en el usuario y la empatía, permitiendo cuestionar supuestos iniciales y enriquecer la calidad de las propuestas mediante la comprensión de las necesidades de otros actores.

- 5.9 Juego de ideación (*Ideation Game*):** Uso de dinámicas lúdicas y actividades competitivas o colaborativas para superar barreras creativas y fomentar el pensamiento no convencional sobre el futuro. Al integrar desafíos de diseño basados en principios de investigación dentro de un entorno relajado e informal, se facilita la exploración de conceptos frescos y valiosos que podrían ser omitidos mediante métodos de consulta directos.
- 5.10 Escenario de marionetas (*Puppet Scenario*):** Dinámica de ideación colaborativa que utiliza la representación de situaciones futuras mediante el uso de figuras o actores simbólicos para hacer tangibles las ideas. Este método integra la exploración colectiva con elementos de diseño y juego, permitiendo que participantes de diversos perfiles profesionales visualicen y validen escenarios de uso de manera divertida y participativa.
- 5.11 Prototipo de comportamiento (*Behavioral Prototype*):** Método de simulación temprana que recrea situaciones de uso mediante artefactos, entornos o procesos ficticios para observar el comportamiento de los usuarios frente a un concepto. Este enfoque se centra en comprender factores humanos (físicos, cognitivos, sociales, culturales y emocionales), permitiendo validar y enriquecer las ideas a partir de la interacción observada.
- 5.12 Prototipo de concepto (*Concept Prototype*):** Representación tangible de una idea que permite evaluar su aceptación y comprensión por parte de usuarios y equipos de trabajo. Al materializar el concepto en formas físicas o digitales, se facilita la retroalimentación, se descubren limitaciones no evidentes y se orienta la evolución de la propuesta hacia soluciones más viables.
- 5.13 Boceto de concepto (*Concept Sketch*):** Visualización gráfica de ideas que transforma conceptos abstractos en representaciones concretas para facilitar su comprensión, discusión y desarrollo. El proceso de bocetado permite explorar rápidamente múltiples alternativas, estimulando la generación de nuevas ideas y mejorando la comunicación dentro del equipo.
- 5.14 Escenarios de concepto (*Concept Scenarios*):** Representación narrativa de situaciones de uso en las que se ilustra cómo un concepto opera en un contexto real. A través de secuencias visuales o descripciones estructuradas, este método permite anticipar problemas, validar supuestos y enriquecer la comprensión del funcionamiento de la propuesta en condiciones reales.
- 5.15 Clasificación de conceptos (*Concept Sorting*):** Proceso sistemático de organización que agrupa, depura y normaliza los conceptos generados durante la ideación en conjuntos coherentes. Esta estructuración permite identificar redundancias, relaciones y familias de soluciones, facilitando la selección y evolución de las propuestas más relevantes.
- 5.16 Matriz de agrupación de conceptos (*Concept Grouping Matrix*):** Herramienta de análisis que evalúa la relación entre conceptos mediante la asignación de valores de similitud en una matriz simétrica. El procesamiento de estas relaciones permite identificar patrones de agrupamiento, revelando conjuntos de ideas afines que pueden consolidarse en líneas de desarrollo coherentes.
- 5.17 Catálogo de conceptos (*Concept Catalog*):** Repositorio estructurado que organiza la información clave de todos los conceptos generados en un proyecto para facilitar

su consulta, comparación y evolución. Este sistema centralizado permite preservar el conocimiento generado, apoyar la toma de decisiones y servir como referencia para desarrollos futuros.

Modo 6: Configurar la solución (*Frame Solutions*)

- 6.1 Síntesis morfológica (*Morphological Synthesis*):** Método de generación de soluciones que organiza los conceptos bajo categorías centradas en el usuario (como necesidades, actividades o funciones) para combinarlos en configuraciones coherentes. La selección de combinaciones complementarias a partir de un conjunto estructurado de opciones permite construir soluciones integrales entendidas como sistemas de conceptos interrelacionados.
- 6.2 Evaluación de conceptos (*Concept Evaluation*):** Herramienta de análisis que valora los conceptos en función de su aporte para usuarios y proveedores mediante criterios comparables. La representación de estos valores en mapas de dispersión facilita la identificación de alternativas con mayor potencial y orienta la selección y combinación de conceptos hacia soluciones equilibradas.
- 6.3 Red de valor prescriptiva (*Prescriptive Value Web*):** Diagrama que representa cómo fluirá el valor entre los actores de un sistema ante la implementación de nuevas soluciones. A diferencia de los modelos descriptivos, este enfoque proyecta configuraciones futuras, permitiendo analizar nuevas relaciones, intercambios y dependencias dentro del sistema propuesto.
- 6.4 Mapa de vinculación de conceptos (*Concept-Linking Map*):** Método de integración que permite identificar y combinar conceptos complementarios de alto valor para conformar soluciones sistémicas. A partir de la evaluación previa, se establecen relaciones entre ideas que, al interactuar, amplían su alcance y permiten satisfacer un conjunto más amplio de necesidades.
- 6.5 Escenarios prospectivos (*Foresight Scenario*):** Herramienta de exploración que construye escenarios futuros a partir de tendencias emergentes (sociales, tecnológicas, económicas o culturales) para orientar el desarrollo de soluciones. La definición de contextos alternativos permite evaluar la pertinencia y adaptabilidad de los conceptos ante posibles cambios en el entorno.
- 6.6 Diagramación de soluciones (*Solution Diagramming*):** Uso de herramientas visuales racionales para representar la estructura, los procesos y los flujos de valor de una propuesta de solución. La traducción de ideas abstractas en diagramas universales permite reducir la ambigüedad en la comunicación técnica, facilitando la comprensión de las interacciones entre los componentes del sistema y la evolución de la oferta en el tiempo.
- 6.7 Guion gráfico de solución (*Solution Storyboard*):** Secuencia estructurada de ilustraciones y textos que narran la experiencia del usuario al interactuar con el sistema de solución en situaciones hipotéticas. El uso de elementos narrativos permite traducir abstracciones sistémicas en términos humanos, facilitando la identificación de puntos de mejora y la validación del valor que cada concepto aporta durante el recorrido del usuario.

- 6.8 Representación actuada de la solución (*Solution Enactment*):** Técnica de comunicación que consiste en escenificar el funcionamiento de una solución para demostrar cómo crea valor para los interesados en contextos específicos. A diferencia del guion gráfico, este método se enfoca en el detalle de escenas particulares de la interacción, permitiendo una conexión empírica y emocional con la audiencia sobre el desempeño real de la propuesta.
- 6.9 Prototipo de solución (*Solution Prototype*):** Simulación de experiencias mediante modelos de apariencia (estéticos) o de desempeño (funcionales) para observar la interacción del usuario con la propuesta integral. El registro y análisis de estas interacciones en entornos controlados permite validar o invalidar supuestos de diseño, asegurando que la solución final responda eficazmente a las necesidades detectadas.
- 6.10 Evaluación de soluciones (*Solution Evaluation*):** Método de valoración que califica las soluciones tangibles en función del valor que aportan tanto al usuario como al proveedor. La representación de estos resultados en mapas comparativos permite identificar los prototipos con mayor potencial de éxito, orientando la toma de decisiones sobre qué alternativas deben ser perseguidas, modificadas o descartadas.
- 6.11 Hoja de ruta de solución (*Solution Roadmap*):** Planificación estratégica que establece las fases de implementación de una solución, diferenciando entre iniciativas de corto plazo y desarrollos futuros de largo alcance. Este modelo permite visualizar la evolución autónoma o paralela de los componentes del sistema, asegurando una transición ordenada desde el concepto inicial hasta su despliegue completo.
- 6.12 Base de datos de soluciones (*Solution Database*):** Sistema disciplinado de organización y archivo que recopila toda la información generada durante el desarrollo de las soluciones (bocetos, diagramas, evaluaciones y narrativas). Este repositorio centralizado permite la consulta sistemática de los activos del proyecto, facilitando la comparación de atributos estratégicos y preservando el conocimiento para aplicaciones futuras.
- 6.13 Taller de síntesis (*Synthesis Workshop*):** Sesión de ideación estructurada y de alta intensidad orientada a la generación y combinación de conceptos bajo principios de diseño predefinidos. El proceso colaborativo permite producir un gran volumen de ideas en periodos cortos, culminando con la selección y documentación de las soluciones sistémicas más sólidas y su justificación racional.

Modo 7: Materializar la solución (*Realize Offerings*)

- 7.1 Hoja de ruta estratégica (*Strategy Roadmap*):** Herramienta de planificación que organiza la implementación de soluciones en horizontes de corto, mediano y largo plazo, estableciendo prioridades y secuencias de desarrollo. La distribución temporal de las iniciativas permite definir objetivos estratégicos diferenciados y anticipar sus implicaciones en el mercado y en la organización.
- 7.2 Plan de plataforma (*Platform Plan*):** Método que estructura soluciones como sistemas abiertos basados en una infraestructura común que permite la generación de múltiples ofertas interrelacionadas. La incorporación de principios como núcleo con extensiones, participación distribuida y colaboración con socios facilita la creación de ecosistemas de valor que evolucionan con el tiempo.

- 7.3 Taller de planeación estratégica (*Strategy Plan Workshop*):** Sesión colaborativa que reúne a actores clave de la organización para definir y alinear estrategias orientadas a la implementación de soluciones de innovación. El análisis conjunto de desafíos y capacidades permite construir un plan estratégico compartido que promueve la apropiación y ejecución coordinada de las iniciativas.
- 7.4 Desarrollo y prueba piloto (*Pilot Development and Testing*):** Método de validación que introduce soluciones en contextos reales a escala controlada para evaluar su desempeño en el mercado. El análisis de la aceptación, el comportamiento de los usuarios y el impacto organizacional permite ajustar la propuesta antes de su implementación completa.
- 7.5 Plan de implementación (*Implementation Plan*):** Herramienta operativa que traduce las estrategias en acciones concretas, definiendo recursos, capacidades y pasos necesarios para ejecutar las soluciones. Este enfoque permite anticipar brechas organizacionales y establecer mecanismos para resolverlas mediante desarrollo interno, alianzas o adquisiciones.
- 7.6 Plan de competencias (*Competencies Plan*):** Herramienta de planificación orientada a identificar y gestionar las capacidades críticas necesarias para el éxito de las iniciativas de innovación. El uso de matrices de competencias permite determinar si los recursos requeridos deben ser desarrollados internamente, adquiridos o gestionados mediante alianzas estratégicas, asegurando que la organización cuente con el soporte técnico y operativo adecuado para cada fase del proyecto.
- 7.7 Plan de conformación de equipos (*Team Formation Plan*):** Estrategia de organización que consiste en estructurar grupos de trabajo multidisciplinarios basados en el conocimiento y las habilidades específicas que demanda cada solución. Al integrar perfiles de diversas áreas (como ingeniería, mercadotecnia e investigación), se garantiza que los proyectos de innovación se ejecuten bajo procesos disciplinados que respeten la estructura funcional de la organización sin comprometer la agilidad necesaria para la implementación.
- 7.8 Declaración de visión (*Vision Statement*):** Método de síntesis que destila los resultados de la investigación, el análisis y la síntesis en una expresión concisa que comunica el propósito central de la innovación. Esta declaración proporciona una visión panorámica de la propuesta de valor, los usuarios objetivo y los factores clave de desempeño, funcionando como un eje rector que alinea los esfuerzos de todos los interesados hacia el cumplimiento de la intención estratégica.
- 7.9 Documento de innovación (*Innovation Brief*):** Marco estructurado de comunicación que traduce los planes de innovación en mensajes e imágenes comprensibles para diversos públicos, desde directivos hasta usuarios finales. Mediante el uso de analogías, metáforas y visualizaciones, este documento asegura la consistencia del mensaje y adapta la entrega de información según los intereses específicos de cada audiencia, facilitando la apropiación y el apoyo a las nuevas ofertas.

B. Apéndice B: Integrantes del equipo de trabajo

Líder de proyecto, encargado y asesor principal: Dr. José Antonio Silva Rico (JASR).

Gestor de diseño y personal: Josué Uriel Castro González (JUCG).

Miembros del equipo según su integración cronológica al proyecto:

1. Uziel Maldonado Jiménez (UMJ).
2. Franco Sebastián Cruz Zamora (FSCZ).
3. Italia Siret Flores Rodríguez (ISFR).
4. Omar Alfonso Monrroy (OAM).
5. Nancy Manzano Martínez (NMM).
6. Andrea Montserrat Iniestra Hernández (AMIH).
7. Gerardo Agustín Chowell Diosdado GACD.
8. Jorge Sebastián Martínez Martínez (JSMM).
9. Oscar Osiel Zavala Cosío (OOZC).
10. Eduardo Emiliano Rosales Ayala (EERA).
11. Adrián Saucedo Rodríguez (ASR).
12. Astrid Aimeé Mondragón Solorio (AAMS).
13. Anahí Rodríguez González (ARG).
14. Gael Oswaldo Minor García (GOMG).
15. Cesar Giovany Bautista Valdivia (CGBV).

C. Apéndice C: Ejercicio presupuestal por fecha de pedido con justificación de compra

01/01/2025

- Beca de titulación (\$42,000.00)
- Beca de servicio social (\$34,200.00)

26/03/2025

- Blumen Jr Jabón líquido (\$43.00): Requerido para la elaboración del gel balístico, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.
- Grenetina (\$66.00): Requerido para la elaboración del gel balístico, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.
- Vinagre de Manzana Barrilito (\$12.50): Requerido para la elaboración del gel balístico, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.

27/03/2025

- Cerradura para vitrina (\$289.00): Requerido para asegurar la vitrina, ubicada en el espacio de trabajo, que almacena los insumos comprados para la realización del proyecto.

01/04/2025

- Silicona platino Ecoflex 00-50 (16 lbs / 7.26 kg) (\$9,697.60):
 - Requerida para la elaboración de la membrana de silicona, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.
 - Requerida para la elaboración de los actuadores blandos, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido muscular.

08/04/2025

- Dremel Workstation 220-01 (\$1,798.00): Requerido para mejorar las capacidades de manufactura de precisión dentro del espacio de trabajo.
- Prensa de Banco Dremel 2500-01 Multi-Vise (\$1,334.00): Requerido para mejorar las capacidades de manufactura de precisión dentro del espacio de trabajo.
- Eje Flexible Dremel 225-01 (\$1,032.40): Requerido para mejorar las capacidades de manufactura de precisión dentro del espacio de trabajo.
- Mini Sierra Dremel 670-01 (\$1,055.60): Requerido para mejorar las capacidades de manufactura de precisión dentro del espacio de trabajo.
- Dremel A679-02 Kit de Afilas Cadena (\$545.20): Requerido para mejorar las capacidades de manufactura de precisión dentro del espacio de trabajo.
- APC RBC2 batería para sistema UPS Sealed Lead Acid (VRLA) (\$1,276.00): Requerido para reparar un regulador de voltaje con respaldo de batería al que se le conectan las impresoras 3D y cortadora láser.
- Ackers Boro3.3, Griffin Juego de vasos de vidrio (\$754.00):
 - Requerido para la elaboración de la membrana de silicona, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.
 - Requerido para la elaboración de los actuadores blandos, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido muscular.
- Tetera Eléctrica Heat-Select, MasterChef, 1.7 L (\$754.00):

- Requerida para la elaboración del gel balístico, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.
 - Aditamento que mejora las comodidades disponibles en el espacio de trabajo.
- Piel sintética (lennoxsupply), 3 piezas de 15 x 20 cm (\$336.40): Alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.

09/05/2025

- Impresora 3D K2 Plus Combo Creality+ CFS (\$41,504.80):
 - Requerida para la elaboración de la membrana de silicona, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido cutáneo.
 - Requerida para la elaboración de los actuadores blandos, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido muscular.

12/05/2025

- Elementos para construir puertas de las estanterías: Ubicadas en el espacio de trabajo para almacenar con seguridad los insumos comprados para la realización del proyecto. Aditamento que mejora las comodidades disponibles en el espacio de trabajo.
 - Melamina Blanca (\$749.00)
 - Clavos para madera (\$37.00)
 - Cubrecanto 16 mm blanco (\$115.00)
 - 2 cerraduras de muebles (\$210.00)
 - Piola de Nylon (\$95.00)
 - Set brocas madera (\$77.00)
 - 2 uniones esquineras (\$126.00)
 - 4 bisagras (\$196.00)
 - 4 porta candados (\$636.00)
 - 4 escuadras de Unión (\$136.00)
 - Mano de obra de corte (\$120.00): Realizado en The Home Depot para reducir las dimensiones de la melamina para facilitar su traslado.
- Vinil blanco (\$952.00): Requerido para cubrir las superficies de los escritorios recuperados desde Bajas UNAM, en homologación con las normas de muebles presentes en el Centro de Ingeniería Avanzada.

18/05/2025

- 4 unidades, TOPLIVING Silla de Oficina (\$5,939.20): Aditamento que mejora las comodidades disponibles en el espacio de trabajo.

22/05/2025

- Aceite de coco (\$82.00): Requerido para la caracterización de la sustancia a emplear para la representación de la grasa en el subsistema adiposo.

26/05/2025

- Bisagra Soporte Consola Níquel para Tapa de Puerta (\$213.00): Requeridas para el refuerzo de las puertas implementadas en las repisas.
- Aerosol negro (\$95.00): Requerido para el grabado de PCB's con la cortadora láser Sculpfun S9.
- Lija de agua Fandekt Extra Fina 1200 (\$25.50): Requerida para el grabado de PCB's con la cortadora láser Sculpfun S9.
- Alcohol isopropílico (\$259.00):
 - Requerido para el grabado de PCB's con la cortadora láser Sculpfun S9.
 - Requerido para la elaboración de los actuadores blandos, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido muscular.
- Placas fenólicas (\$57.00): Requerida para el grabado de PCB's con la cortadora láser Sculpfun S9.

30/05/2025

- Alambre de nicromel 22 AWG (\$159.00): Requerido para la elaboración de los actuadores blandos, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido muscular.

31/05/2025

- Resonancia magnética (\$3,885.00): Requerida para el diseño de moldes y referencias en los sistemas óseo, adiposo, cutáneo y muscular, lo que permite obtener los datos sin la necesidad de comprar modelos realizados por un tercero, garantizando que todo pertenezca a la misma persona.

18/06/2025

- Alcohol 70 Dibar Azul de 1 L (\$45.72): Requerido para la elaboración de los actuadores blandos, alternativa a caracterizar para la simulación de tejido muscular.
- 2 paquetes de cotonetes de algodón (\$33.08): Requerido para el mantenimiento de la cortadora láser Sculpfun S9.

29/06/2025

- Bote Rubbermaid con tapa (\$904.80): Bote de basura para el espacio de trabajo.
- Vinil blanco (\$1,295.00): Requerido para cubrir las superficies de los escritorios recuperados desde Bajas UNAM, en homologación con las normas de muebles presentes en el Centro de Ingeniería Avanzada.
- Cutter Anvil 18 mm Snap-Off (\$47.00): Cutter para el espacio de trabajo.
- 2 toallas multiusos SC (\$124.00): Para el aseo y limpieza del espacio de trabajo.
- Rollo de bolsas para basura (\$85.00): Para el aseo y limpieza del espacio de trabajo.
- 2 pares de guantes anticorte (\$298.00): Para el aseo y limpieza del espacio de trabajo.

- Kit de escoba más recogedor (\$367.00): Para el aseo y limpieza del espacio de trabajo.

30/07/2025

- Lente original SCULPFUN S9/S6 Pro (3 lentes y 2 cubiertas de acrílico) (\$904.80): Refacción para la cortadora láser SCULPFUN S9.
- Boquilla de carburo de tungsteno Mellow Phaetus Mk10, 0.4 mm (\$1,751.60): Refacción para la impresora 3D FlashForge Guider IIs CF.
- Creality K2 Series Obsidiano E3D genuino 0.4 (\$1,977.80): Refacción para la impresora 3D Creality K2 plus.
- FLASHFORGE Guider 2/2S Cinta de placa de construcción (\$522.00): Refacción para la impresora 3D FlashForge Guider IIs CF.
- Placa de Construcción PEI K2 PLUS (\$684.40): Refacción para la impresora 3D Creality K2 plus.
- Engrane de extrusión para K2 Plus, 2 piezas (\$174.00): Refacción para la impresora 3D Creality K2 plus.
- Tubo PTFE + Conector para K2 Plus (\$81.20): Refacción para la impresora 3D Creality K2 plus.
- Materiales para impresión 3D:
 - 2 piezas, Hyper PLA RFID Filamento 1.75 mm, 1 kg, negro (\$1,531.20)
 - 2 piezas, Hyper PLA RFID Filamento 1.75 mm, 1 kg, blanco (\$1,531.20)
 - 2 piezas, Hyper PETG Filamento 1.75 mm, 1 kg, transparente (\$1,229.60)
 - 2 piezas, Hyper PETG Filamento 1.75 mm, 1 kg, blanco (\$1,229.60)
 - Hyper ABS Filamento 1.75 mm, 1 kg, blanco (\$487.20)
 - Hyper ABS Filamento 1.75 mm, 1 kg, gris (\$487.20)
 - Hyper ABS Filamento 1.75 mm, 1 kg, negro (\$487.20)
 - Hyper PLA Filamento Fibra de carbón, verde oscuro (\$730.80)
 - Hyper PLA Filamento Fibra de carbón, negro (\$730.80)
 - Filamento Hyper PLA RFID 5kg (naranja, very peri, blanco) (\$4,036.80)
 - Boquilla de intercambio rápido K2 PLUS, “Unicornio” (\$1,154.20)

27/08/2025

- Materiales para construcción de la base del sistema:
 - Placa de acrílico transparente 0.177x24x36 in (\$1,175.00)
 - 2 piezas, Sellador de Silicón de uso general (\$290.00)
 - Cinta doble cara (\$82.00)

10/09/2025

- Tomografía de hombro y brazo (\$2,340.00): Es requerida para el diseño de moldes y referencias en los sistemas óseo, adiposo, cutáneo y muscular, lo que permite obtener los datos sin la necesidad de comprar modelos realizados por un tercero, garantizando que todo pertenezca a la misma persona.

24/09/2025

- Sensor de nivel (\$522.00): Refacción para la impresora Flashforge Guider IIs CF.
- Silicona platino Ecoflex 00-50 (16 lbs / 7.26 kg) (\$9,454.00): Requerida / refacción (según registro) para procesos relacionados con impresión o fabricación.

30/09/2025

- Elementos de electrónica y control:
 - Raspberry Pi 4 Modelo B (\$1,751.60)
 - Pantalla LCD IPS DSI de 800 x 480 (\$1,635.60)
 - Refacción de extrusor para la Flashforge Guider IIs CF (\$1,461.60)
- Elementos para la elaboración de los actuadores musculares:
 - Alcohol grado 96 puro de Caña Real 5 L (\$359.60)
 - Kilogramo de alambre de nicromel 22 AWG (\$2,842.60)

Referencias

- [1] V. Kumar, *101 design methods: A structured approach for driving innovation in your organization*. John Wiley & Sons, 2012.
- [2] M. Corvetto et al., «Simulación en educación médica: una sinopsis,» *Revista médica de Chile*, vol. 141, n.º 1, págs. 70-79, 2013.
- [3] B. A. García Bahena y V. J. Vásquez Enríquez, «Comparación de 4 métodos para el análisis del porcentaje de grasa corporal: bioimpedancia portátil y fija, antropometría y densitometría ósea en mujeres con índice de masa corporal normal,» Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario No. 100, Colonia Centro, C.P. 50000, Toluca de Lerdo, Estado de México, México, jun. de 2016.
- [4] Fabrication Enterprises, Inc. «Skinfold Calipers: Instructions for Use.» rev0725, Fabrication Enterprises, Inc., visitado 3 de jun. de 2026. dirección: https://www.fab-ent.com/MEDIA/41_INSTRUCTIONS/12-1110_MANUAL.PDF
- [5] G. J. Tortora y B. H. Derrickson, *Principios de anatomía y fisiología*, 15.ª ed. Ciudad de México: Editorial Médica Panamericana, 2018.
- [6] J. Ávila Olivares, «Efecto de un programa integral de control de peso sobre la dispersión del intervalo QT y su asociación con el VO2 en mujeres con sobrepeso y obesidad,» Tesis de Especialidad, Facultad de Medicina, División de estudios de Posgrado e Investigación, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, México., 2017.

- [7] L. A. Ríos Oliveros y J. Legorreta Soberanis, «Distribución de grasa corporal en diabéticos tipo 2, como factor de riesgo cardiovascular,» *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, vol. 43, n.º 3, págs. 199-204, 2005.
- [8] E. M. Rebato Ochoa et al., «Diferencias sexuales en la cantidad y distribución de grasa corporal en universitarios de la Comunidad Autónoma Vasca,» *Zainak*, vol. 27, 2005.
- [9] E. Moreno Benavides, *Diseño avanzado en ingeniería: una aproximación sistemática a la innovación sostenible*, 9.ª ed. Dextra Editorial S.L., 2020.
- [10] J. E. Shigley y C. R. Mischke, *Diseño en ingeniería mecánica*, 9.ª ed. Mexico McGraw-Hill, 2021.
- [11] J. S. Ramírez, D. C. R. Loaiza y W. J. Asprilla, «Humedales artificiales subsuperficiales: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del area superficial basado en la remoción de la materia organica,» *Ingenierías USBMed*, vol. 11, n.º 1, págs. 65-73, 2020.
- [12] A. Bahill et al., «The design-methods comparison project,» *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 28, n.º 1, págs. 80-103, 1998. DOI: 10.1109/5326.661092
- [13] K. Gericke y L. Blessing, «Comparisons of design methodologies and process models across domains: a literature review,» págs. 393-404, 2011.
- [14] J. V. Martínez Padua, J. S. Quitian Monroy e I. A. Castiblanco Jiménez, «Caracterización y comparación de metodologías ágiles y tradicionales de desarrollo de producto,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 32, n.º 2, págs. 9-26, 2022.
- [15] I. M. Ilevbare, D. Probert y R. Phaál, «A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice,» *Technovation*, vol. 33, n.º 2-3, págs. 30-37, 2013.
- [16] E. E. Günay et al., «TRIZ-Based Design Improvement for Facilitating Transmission Control Unit Remanufacturing,» *Journal of Mechanical Design*, vol. 148, n.º 7, pág. 074501, abr. de 2026, ISSN: 1050-0472. DOI: 10.1115/1.4071592 eprint: <https://asmedigitalcollection.asme.org/mechanicaldesign/article-pdf/148/7/074501/7604830/md-25-1706.pdf>. dirección: <https://doi.org/10.1115/1.4071592>
- [17] G. Donnici, M. Freddi y L. Frizziero, «TRIZ-AI approach for next-gen solutions,» *International Journal of Production Research*, vol. 0, n.º 0, págs. 1-14, 2026. DOI: 10.1080/00207543.2026.2651968
- [18] L. Waidelich, A. Richter, B. Kölmel y R. Bulander, «Design Thinking Process Model Review,» en *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2018, págs. 1-9. DOI: 10.1109/ICE.2018.8436281
- [19] N. R. Vallecillo, «Aplicación de Design Thinking para la sistematización de procesos artísticos en el alumnado de Secundaria,» *Revista de investigación en educación*, vol. 18, n.º 1, págs. 24-39, 2020.
- [20] J. A. Mejía-López, O. A. Ruiz-Guzmán, L. N. Gaviria-Ocampo y C. P. Ruiz-Guzmán, «Aplicación de metodología design thinking en el desarrollo de cortadora automática CNC para MiPyME de confección,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, n.º 3, págs. 157-168, 2019.

- [21] V. M. Araujo Monsalvo et al., «Finite element analysis evaluation of hypothetical alternative treatment scenarios for neglected developmental dysplasia of the hip,» *Cirugía y cirujanos*, vol. 92, n.º 5, págs. 588-593, 2024.
- [22] F. Daerden, D. Lefeber et al., «Pneumatic artificial muscles: actuators for robotics and automation,» *European journal of mechanical and environmental engineering*, vol. 47, n.º 1, págs. 11-21, 2002.
- [23] A. Miriyev, K. Stack y H. Lipson, «Soft material for soft actuators,» *Nature Communications*, vol. 8, n.º 596, 2017. DOI: 10.1038/s41467-017-00685-3 dirección: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00685-3>
- [24] Y.-L. Park, B.-R. Chen y R. J. Wood, «Design and Fabrication of Soft Artificial Skin Using Embedded Microchannels and Liquid Conductors,» 8, vol. 12, 2012, págs. 2711-2718. DOI: 10.1109/JSEN.2012.2200790
- [25] Y. Liu, S. Yibulayimu, Z. Sun, Y. Wang, Y. Wang y F. Li, «Design of Novel Adipose Tissue Mimicking Phantom Material for Liposuction Training,» en *2021 14th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, 2021, págs. 1-9. DOI: 10.1109/CISP-BMEI53629.2021.9624375
- [26] A. Filippou, I. Louca y C. Damianou, «Characterization of a fat tissue mimicking material for high intensity focused ultrasound applications,» *Journal of Ultrasound*, vol. 26, n.º 2, págs. 505-515, nov. de 2022. DOI: 10.1007/s40477-022-00746-4 dirección: <https://doi.org/10.1007/s40477-022-00746-4>
- [27] Grupo Industrial Aceltero. «Ficha técnica de aceite de coco.» [En línea]. Disponible: <https://giamx.com.mx/fichas-tecnicas/GIA-aceitecoco-2024.pdf>. dirección: <https://giamx.com.mx/fichas-tecnicas/GIA-aceitecoco-2024.pdf>
- [28] V. Mishra, S. P. Singh, M. Singh, V. S. Chandel y R. Manohar, «Optical, rheological, and dielectric properties of coconut oil between 100 kHz and 30 MHz,» *Heliyon*, vol. 10, n.º 14, e34565, jul. de 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e34565 dirección: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34565>
- [29] B. K. Johnson, «The Development and Control of Soft Robotic Materials Driven by Hydraulically Amplified Self-Healing Electrostatic (HASEL) Actuators,» Tesis doct., Paul M. Rady Dept. of Mechanical Engineering, University of Colorado, Boulder, CO, USA, 2022, págs. 23-24.
- [30] J. P. Wissman, A. K. Ikei, K. Sampath y C. A. Rohde, «Hydraulically Amplified Self-Healing Electrostatic (HASEL) Inspired Actuators,» Naval Research Laboratory, Washington, DC, USA, inf. téc. NRL/MR/7165-20-10195, 2020.
- [31] S. Kirkman, P. Rothmund, E. Acome y C. Keplinger, «Electromechanics of planar HASEL actuators,» *Extreme Mechanics Letters*, vol. 48, pág. 101408, oct. de 2021. DOI: 10.1016/j.eml.2021.101408 dirección: <https://doi.org/10.1016/j.eml.2021.101408>
- [32] J. Espinosa, J. Samblas y A. García, «Gelatina balística,» *Ingenia Materiales*, vol. 4, págs. 4-6, 2022. dirección: https://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/4906/5106
- [33] Kingpin Tattoo Supply. «Tattooing Fake Skin vs Real Skin: Key Differences and Tips,» Kingpin Tattoo Supply. dirección: <https://www.kingpintattoosupply.com/blogs/news/tattooing-fake-skin-vs-real-skin>

- [34] DW Español. «Crean piel viva que se regenera y da inquietante apariencia realista a los robots humanoides,» Deutsche Welle. dirección: <https://www.dw.com/es/crean-piel-viva-que-se-regenera-y-da-inquietante-apariencia-realista-a-los-robots-humanoides/a-69485414>
- [35] I. of Design (ID). «10 Years of 101 Design Methods with Vijay Kumar.» Vídeo, duración 1:06:43, visitado 9 de jun. de 2026. dirección: https://www.youtube.com/watch?v=Y1mqrl9v_1g&t=3473s