



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

Título

Exoesqueleto ERMIS: Especificaciones de Prototipo a partir del modelo físico experimental.

**Tesis para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería**

Presenta:

José Luis Medina Valdés

Tutores Académicos:

Dr. Luis Adrián Zúñiga Avilés

Dra. Adriana H. Vilchis González

Dr. Giorgio Mackenzie Cruz Martínez

Julio de 2021.

Agradecimientos

Resumen

En este estudio, se analizó el modelo físico experimental del ERMIS (Exoesqueleto de Rehabilitación de Miembro Superior) para el incremento en su madurez tecnológica. El exoesqueleto proporciona un enfoque terapéutico para la rehabilitación del miembro superior, mediante los movimientos del hombro, codo y muñeca, contando con 7 grados de libertad. Se analizaron la amplitud de movimiento (ROM) del exoesqueleto, el correcto funcionamiento de las articulaciones y los movimientos de estas al realizar las trayectorias de rehabilitación. Este trabajo presenta la aplicación de una metodología que sintetizó el estudio del ERMIS, con adquisición de datos y tratamiento para su comparación con los reportados por el modelo físico experimental (MFE), esto sentó las bases para el refinamiento del diseño y así poder obtener las especificaciones de prototipo. Se validó el ERMIS comparando puntos en sus trayectorias generadas por el ERMIS contra las propuestas por los casos de estudio, al final se logró la obtención de un error permisible de 5 mm. Se realizó un análisis por elemento finito con el cual se propusieron materiales para su manufactura.

Abstrac

In this study, the experimental physical model of the ERMIS (Upper Limb Rehabilitation Exoskeleton) was analyzed for its increasing technological maturity. The exoskeleton provides a therapeutic approach for the rehabilitation of the upper limb, through the movements of the shoulder, elbow, and wrist, with 7 degrees of freedom. The range of motion (ROM) of the exoskeleton, the correct functioning of the joints, and their movements when performing the rehabilitation trajectories were analyzed. This work presents the application of a methodology that synthesized the ERMIS study, with data acquisition and processing for comparison with those reported by the physical experimental model (MFE), this laid the foundation for the refinement of the design and thus to obtain the prototype specifications. The ERMIS was validated by comparing points in their trajectories generated by the ERMIS against those proposed by the case studies. In the end, an allowable error of 5 mm was obtained. Finite element analysis was performed to propose materials for its manufacture.

Índice

Resumen.....	4
Abstrac	5
Lista de figuras	8
Lista de tablas	9
Capítulo I Introducción	11
1.1 Justificación.....	12
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivo general	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.3 Meta de Ingeniería.....	13
1.4 Alcances y limitaciones.....	13
1.4.1 Alcances.....	13
1.4.2 Limitaciones	13
1.5 Estructura de la tesis.....	14
Capítulo II Marco Teórico	15
2.1 Dispositivos para rehabilitación médica	15
2.2 Exoesqueletos	16
2.2.1 Clasificación.....	17
2.3 Especificaciones de diseño en la generación de nuevos productos.....	17
2.3.1 Niveles de madurez tecnológica.....	20
2.3.2 Materiales para exoesqueletos	21
2.3.3 Diseño centrado en la manufactura.....	23
2.4 Normatividad	24
Capitulo III Estado del arte	29
Capitulo IV Metodología.....	33
4.1 Metodología para el diseño de sistemas mecatrónicos	33
4.2 Implementación de tareas.....	38
4.2.1 Análisis de posición.....	39
4.2.2 Análisis geométrico.....	42
4.2.3 Análisis de vibración.	42
4.2.4 Análisis por elemento finito.	43
Capítulo V Resultados y discusión.....	44
5.1 Artículo 1: Study to increase the technology readiness level of the ERMIS exoskeleton	44
5.2 Artículo 2:.....	46

5.3	Patentes	47
5.4	Discusión	47
Capítulo VI Conclusiones y trabajos futuros		48
Bibliografía		51
Apéndice A		57
Apéndice B		60

Lista de figuras

Fig. 1 Ciclo de vida de un producto, figura adaptada de [14].	18
Fig. 2 Especificaciones de diseño [18].	20
Fig. 3 Niveles de madurez tecnológica y niveles de madurez en manufactura [19].	21
Fig. 4 Selección de materiales en diseño mecánico [28].	22
Fig. 5 Organismos internacionales y nacionales de normalización y organismos reguladores de dispositivos médicos.	28
Fig. 6 Modelo en CAD del ensamble y modelo físico experimental del ERMIS [54].	31
Fig. 7 Ciclo de diseño mecatrónico [55].	33
Fig. 8 Diagrama de la metodología propuesta.	35
Fig. 9 Mapa maestro para proyecto ERMIS.	38
Fig. 10 Robot de configuración angular.	40
Fig. 11 Base fija y Trigno Standard Sensor.	43

Lista de tablas

Tabla 1. Lista de abreviaturas.	10
Tabla 2 Clasificación de los exoesqueletos [4].	17
Tabla 3 Rangos de funcionamiento del exoesqueleto ERMIS.	32

Tabla 1. Lista de abreviaturas.

AAMI	Association for the Advancement of Medical Instrumentation
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
COFEPRIS	Comisión Federal para Protección contra Riesgos Sanitarios
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DFM	Design for manufacturing
DHF	Design History File
DOF	Degrees of freedom
EMC	Pruebas de compatibilidad electromagnética
ERMIS	Exoesqueleto de Rehabilitación Pasiva de Miembro Superior
FDA	Food and Drug Administration
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRL	Niveles de madurez para la integración
ISO	International Organization for Standardization
MFE	Modelo físico experimental
MRL	Niveles de Madurez para la Manufactura
NOM	Norma Oficial Mexicana
PLM	Gestión del ciclo de vida del producto
TRL	Niveles de Madurez Tecnológica

Capítulo I Introducción

La capacidad de moverse de un individuo es necesaria para realizar actividades básicas de la vida diaria, la cual se ve limitada por los trastornos del movimiento que reducen significativamente la calidad de vida de un paciente, estos trastornos en las extremidades superiores condicionan la independencia de los pacientes

En el censo de población del año 2015 realizado por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), en México había un 6% de población con alguna discapacidad. De esta población, un 33% muestra una discapacidad en el miembro superior [1]. El alto índice de personas con alguna discapacidad ha provocado el interés en desarrollar dispositivos robóticos para rehabilitación.

Estos dispositivos aplican la tecnología en su desarrollo para asistir y mejorar las terapias de rehabilitación en personas con alguna dificultad motriz [2].

Este tipo de rehabilitación en comparación con los métodos tradicionales supera sus limitaciones, favorece en la innovación de terapias de rehabilitación y nos proporciona una rehabilitación constante y extensa bajo las mismas condiciones. Esto provoca que los costos a largo plazo sean menores y una evaluación del paciente gracias a una base de datos [3].

Con el fin de dar solución a esta problemática se continuo con el desarrollo de un MFE (Modelo Físico Experimental) a prototipo que es capaz de generar rutinas de rehabilitación pasiva de miembro superior efectuadas por los terapeutas como trayectorias en el espacio.

Para superar esos problemas, se empleó una metodología involucra el diseño de sistemas mecatrónicos concurrente para así garantizar el cumplimiento de los objetivos, de una forma ordenada, minimizando los tiempos permitiendo iteraciones en todas las etapas del refinamiento del diseño. El esquema de trabajo permitió trabajar de forma concurrente y simultánea intercambiando información constantemente, siendo esta la característica más importante de las metodologías actuales.

En general, el capítulo 2 revisa el marco teórico, el capítulo 3 comprende el estado del arte y la técnica referente al MEF. En el capítulo 4, se describe la metodología para lograr las características de prototipo. El capítulo 5 abarca los resultados y los productos obtenidos

de esta investigación. Por último, la discusión sobre las características obtenidas del prototipo del ERMIS con la conclusión y el trabajo futuro se presentan en el capítulo 6.

1.1 Justificación

Un sistema robótico para rehabilitación son los exoesqueletos, estos por su constitución se acoplan a la estructura del cuerpo humano para desempeñar ciertas funciones, normalmente son usados de tal forma que la estructura transfiere energía mecánica y recíprocamente información. Son diseñados para coincidir con la morfología y desempeño del cuerpo humano [2].

Entre las desventajas [4] se encuentran: las dimensiones antropométricas para su diseño, su alto valor en el mercado y costo mantenimiento los hacen difíciles de adquirir para la gran parte de instituciones de salud en México, especialmente para las que se encuentran en zonas vulnerables.

Entre las dificultades para generar un dispositivo para rehabilitación están: las especificaciones del diseño mecánico para cumplir con las terapias de rehabilitación, ya que la disposición de estas y el acceso mecánico limitan el diseño y control del mismo [5].

Con base en lo anterior es por qué se justifica el desarrollo de este proyecto, el cual parte de la necesidad de generar la fase de prototipo (alcanzar nivel TRL 5) para que el proyecto pueda consolidarse (incrementar madurez tecnológica) tendiente a incrementar la generación de un nuevo producto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar los requerimientos y restricciones del exoesqueleto ERMIS para especificar el diseño de cada componente que lo constituye, con base en el incremento del nivel de madurez tecnológica y la implementación de normas aplicables a fin de definir los materiales y métodos de manufactura que permitan alcanzar la conformación y operación del sistema.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analizar el diseño y funcionamiento del exoesqueleto ERMIS para la obtención de especificaciones.

- b) Establecer restricciones de diseño con base en el funcionamiento, materiales y manufactura de los componentes.
- c) Realizar diseño centrado en la manufactura y establecer puntos de ajuste por componente.
- d) Realizar diseño centrado en la manufactura y establecer puntos de ajuste por ensamble.
- e) Realizar análisis numérico utilizando el método de elemento finito para la validación del dimensionamiento y materiales propuestos para prototipo.
- f) Identificar las normas aplicables para el refinar el diseño del exoesqueleto ERMIS.

1.3 Meta de Ingeniería

Especificar el diseño de cada componente que conforma el exoesqueleto ERMIS, de acuerdo con los requerimientos y ciclos de funcionamiento, considerando materiales, métodos de manufactura, tolerancias permisibles, adecuadas para el funcionamiento del sistema como prototipo, utilizando las normas aplicables.

1.4 Alcances y limitaciones

1.4.1 Alcances

- a) Se incluye en las aportaciones el diseño mecánico (la funcionalidad, robustez, seguridad, apariencia, ajustable, etc.), la caracterización de materiales y sistemas de manufactura.
- b) La generación de planos de ingeniería para su manufactura.
- c) Redacción de revisión de materiales para exoesqueletos y artículo sobre diseño de exoesqueletos.

1.4.2 Limitaciones

- a) Se caracterizarán los componentes, considerando como constante los actuadores, el control, sistema de energía, la instrumentación electrónica.
- b) La certificación formará parte de la siguiente etapa, realizada en un trabajo posterior. Se aplicará normatividad solo para el diseño.

1.5 Estructura de la tesis

Esta tesis está organizada de la siguiente manera: El capítulo 1 presenta la introducción, la motivación y la propuesta de este proyecto. Básicamente, se establecen las bases para el incremento en la madurez tecnológica del ERMIS. En el capítulo 2 se resumen los antecedentes teóricos y los conceptos relacionados con esta investigación. En el capítulo 3 se informa sobre los parámetros de funcionamiento del exoesqueleto ERMIS en su etapa de modelo físico experimental. Además, en el capítulo 4, se proporciona una metodología para el refinamiento del diseño para el incremento de la madurez tecnológica aplicable en dispositivos para rehabilitación. El capítulo 5 presenta los resultados obtenidos en esta investigación. Por último, al final de este documento se discuten las conclusiones y los trabajos futuros.

Capítulo II Marco Teórico

2.1 Dispositivos para rehabilitación médica

Los dispositivos para la rehabilitación médica son esenciales para que el tratamiento sea seguro y eficaz. Estos dispositivos pueden ser utilizados por el personal clínico o por los pacientes según el tratamiento médico determinado por el especialista, lo cual involucra el conocimiento de los obstáculos para un correcto funcionamiento y dar solución mediante el diseño para que los pacientes puedan llevar una vida cotidiana normal.

Este estudio necesita el conocimiento de conceptos básicos para el uso de estos dispositivos, entre los más importantes están:

Cinesiterapia: Es parte de la terapia física, esta puede definirse como el conjunto de métodos que utilizan el movimiento con finalidad terapéutica, la cual opera por medio del estudio del movimiento mecánico y elabora sus movimientos con base en el aparato locomotor [6], para establecer y desarrollar las funciones del mismo. El movimiento terapéutico de los órganos del aparato locomotor ocupa el mayor tiempo de trabajo del fisioterapeuta.

Dentro del amplio concepto del movimiento terapéutico, podemos clasificar dos diferentes tipos [7]:

- a. Cinesiterapia pasiva: Aquella donde la actividad terapéutica es realizada sin ayuda del paciente.
- b. Cinesiterapia activa: El movimiento es realizado por el paciente, con o sin asistencia, e incluso oponiéndose a este.

En la cinesiterapia los valores relevantes a medir para el movimiento involucran posiciones angulares y lineales, estos son medidos para determinar el punto de inicio de un tratamiento y evaluar su progresión en el tiempo.

Los dispositivos de rehabilitación desempeñan un papel importante en la cinesiterapia pasiva, toda vez que, estos movilizan la extremidad enferma y facilitan el trabajo de los especialistas [8].

La mecanoterapia, incluida en la cinesiterapia, puede considerarse como una variedad instrumental que engloba un conjunto de técnicas que requieren el empleo de aparatos

mecánicos diversos [9]. Dentro de esta actualmente se utilizan un par de dispositivos los cuales son:

- a. Los dispositivos mecano-terapéuticos, los cuales tienen actuadores para realizar solo un conjunto de movimientos programados.
- b. Los dispositivos robóticos, que son aquellos dispositivos que buscan ser antropomórficos, ergonómicos e interactivos, equipados con motores para realizar o asistir en el movimiento requerido.
- c. Ambos dispositivos pueden estar equipados con sensores y, por lo tanto, utilizar retroalimentación biológica.

Los dispositivos y movimientos mencionados anteriormente contribuyen a recuperar una función, movimiento o actividad del cuerpo, conocida como rehabilitación. La repetición frecuente de un solo movimiento o ejercicio para la rehabilitación es difícil, especialmente, si hay una necesidad de fuerza física proporcionada por el instructor o para el uso de sistemas de soporte de peso corporal [10].

La aplicación correcta de los dispositivos ya mencionados con fines de rehabilitación requiere cierta información de fondo, entre la cual se encuentra: el grado de padecimiento del paciente, el diagnóstico preciso del estado del paciente con base en el análisis muscular y articular. Una solución eficaz ha sido construir dispositivos que combinan la capacidad de crear las condiciones requeridas, no solo para una rehabilitación exitosa, sino también para la adaptación de la extremidad [10].

Lo anterior nos lleva al uso de robots en la rehabilitación los cuales han demostrado que el entrenamiento motor para los movimientos dirigidos requiere que los dispositivos utilizados se adapten a las características anatómicas y biomecánicas de las extremidades. Esto es necesario para proporcionar un control total sobre los movimientos en cada articulación, especialmente cuando se realiza un movimiento complejo, a fin de garantizar la efectividad y la seguridad durante los ejercicios.

2.2 Exoesqueletos

Una de las necesidades de desarrollo y efectiva fue, crear dispositivos de terapia mecánica que tengan una estructura de exoesqueleto [10].

Estos se ajustan a la morfología externa del cuerpo humano y cumplen ciertas tareas, tienen la peculiaridad de su alta dependencia en relación a los movimientos de las articulaciones y aparato motriz del cuerpo humano, son usados por personas de tal forma que se conduce energía mecánica [11] [12].

2.2.1 Clasificación

Los exoesqueletos se pueden clasificar generalmente de acuerdo con las categorías descritas por Gopura y Kiguchi [4] (Ver Tabla 2). Estos dispositivos no se limitan a un solo tipo de clasificación, sino que también pueden ser una combinación de dos o más.

Tabla 2 Clasificación de los exoesqueletos [4].

Categorías	Tipos
Por función	Rehabilitación, asistencia de movimiento, amplificador de potencia humana, interacción háptica, tele operación, prótesis, etc.
Por segmento aplicado	Parte del cuerpo humano donde se une el exoesqueleto: extremidades superiores e inferiores (clasificación principal), brazo, antebrazo, mano, segmentos combinados
Por actuadores	Motores eléctricos, músculos neumáticos, actuadores hidráulicos, mecánicos, etc.
Por transmisión de energía	Accionamiento por engranajes, accionado por cable, mecanismos de articulación, combinados, etc.
El número de grados de libertad (DOF)	

Algunas de las limitaciones en los exoesqueletos se encuentran en los grados de libertad, movimientos limitados [13], estructuras sólidas complejas, articulaciones actuadas voluminosas y pesadas, falta de medidas de seguridad adecuadas y el complejo tendido de cables hacia los actuadores y diversos sensores [4].

Con base en las limitaciones mencionadas un exoesqueleto con buena resistencia mecánica, menos peso, suficiente fuerza de agarre, bajo consumo de energía, una capacidad computacional compatible con el esquema de control y una alta velocidad de operación sería un diseño ideal [14].

2.3 Especificaciones de diseño en la generación de nuevos productos

El diseño se define como las especificaciones de una actividad deseada y ciertas limitaciones, el proceso ofrece la explicación de un modelo que cumple la tarea requerida y sus limitaciones [15].

El diseño del producto es el proceso de generación y desarrollo de ideas eficiente y eficaz con el objetivo de crear nuevos productos, este incluye el trabajo de ingeniería y diseño que implica un producto desde el concepto inicial hasta la producción [16].

Un modelo de proceso de diseño es el siguiente:

- a) Planificación del producto y clarificación de la tarea. Implica el conocimiento de los requerimientos y la exposición de ideas iniciales del producto, se obtiene una lista de requerimientos.
- b) Diseño Conceptual. Utiliza la conceptualización para definir los principales inconvenientes, definir arreglos funcionales, investigar fundamentos de trabajo, mezclar los fundamentos y arreglos de trabajo, elegir un arreglo de trabajo optimo e implementar una solución.
- c) Diseño de Detalle se refiere más que nada a planos de manufactura y detalles del producto, tanto de conjunto como de componente.

El proceso de diseño es parte del desarrollo de nuevos productos que a su vez es una gran parte del proceso de manufactura. Todos los productos tienen un ciclo de vida útil, estos necesitan ser desarrollados continuamente para reemplazarlos. El ciclo de vida del producto [17], es el ciclo a través del cual cada producto pasa desde la introducción hasta el retiro o la eventual desaparición (Ver Fig. 1).



Fig. 1 Ciclo de vida de un producto, figura adaptada de [18].

La gestión del ciclo de vida del producto (PLM, por sus siglas en inglés) es un proceso de gestión del ciclo de vida completo de un producto desde su inicio, pasando por el diseño y la manufactura de ingeniería, hasta el servicio y la eliminación de los productos fabricados.

En el desarrollo del diseño de un dispositivo médico se debe conocer su objetivo, entorno de uso, peligros y rentabilidad por el uso. En este caso tenemos que conocer y aplicar la definición y trascendencia del término "dispositivo médico" [6] acorde a lo señalado por la normatividad aplicable.

La finalidad de un dispositivo médico [19] es facilitar la toma de decisiones y los métodos de intervención en la salud, habitualmente la función del producto y su diseño dependen del paciente. Entre sus necesidades están la efectividad, seguridad, la calidad y la no intimidación del dispositivo. Por tanto, la consideración del paciente en los equipos médicos constituye un elemento específico a considerar en el diseño. En este caso es importante destacar que los requerimientos de diseño deben ser mas precisos, y el entorno de validación debe ser más controlado.

Actualmente la generación de un producto es difícil sin tener en cuenta el diseño formal, este no solo se limita a la apariencia sino, además, al buen funcionamiento y el valor del producto. Se aprecian así un par de funciones del diseño, identificar soluciones formales y la ingeniería del producto.

El diseño de un exoesqueleto involucra la reducción de esfuerzo debido a la restricción de peso, la fuerza de agarre y el consumo de energía mediante la elección adecuada de los actuadores [14]. Para lograr lo anteriormente expuesto, los desarrolladores deben determinar los criterios de diseño específicos durante la fase de conceptualización del desarrollo del producto, es importante diseñar una interacción entre humanos y robots que sea amigable y robusta [20].

Para poder determinar estos criterios de diseño es necesario conocer los problemas de diseño mecánico, dentro de los cuales se encuentran las limitaciones, en la tecnología del actuador, la complejidad de las articulaciones humanas y los materiales utilizados [14]. El exoesqueleto debe ser lo suficientemente seguro [4] y no debe restringir la función de otras partes del cuerpo [21]. Es por esto que la Interacción humano robot se vuelve muy importante.

Dentro de este rango de criterios [4] es importante considerar las opciones para un exoesqueleto, los cuales incluyen: el número de grados de libertad, el número de actuadores, el tipo de mecanismos (accionados por ligadura, impulsados por tendones, etc.), el tipo de actuadores, el número de miembros a mover y articulaciones para incluir, etc.

La Fig. 2 contiene un resumen de acuerdo a los requisitos necesarios para la obtención del diseño [22], muchas de las especificaciones de diseño dependen en gran medida de las características del miembro a rehabilitar.



Fig. 2 Especificaciones de diseño [22].

Es de gran importancia contemplar durante la fase de diseño que los exoesqueletos deben estar diseñados adecuadamente para prevenir complicaciones y lesiones adicionales. Aunado a esto la importancia de la elección del material que debe incluir entre sus características la resistencia mecánica, flexibilidad y el peso [4].

2.3.1 Niveles de madurez tecnológica

El objetivo principal de la generación de proyectos es la aplicación del conocimiento disponible o conseguido por los desarrolladores del proyecto, en prototipos, plantas piloto, productos para verificar el beneficio al satisfacer una necesidad [23].

Para lograr el objetivo de un proyecto es necesario conocer el nivel de desarrollo tecnológico que se entiende como [24]: Implementación de los resultados, o de otro tipo de conocimiento científico, para la manufactura de materiales, productos, para la implementación de procesos nuevos, métodos de manufactura o servicios.

Para poder cumplir con esa tarea se implementa el uso de los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL, por sus siglas en inglés), son un tipo de sistema de medición para evaluar el nivel de madurez de una tecnología en particular [24].

Las TRL se desarrollaron para definir explícitamente las diferentes etapas de la preparación tecnológica (nueve etapas), promover el entendimiento común y facilitar el traspaso entre las partes interesadas [25]. La clasificación TRL en realidad determina qué tan lejos está una tecnología particular de ser implementada por la industria o el público [26].

Similar a TRL, los Niveles de Madurez para la Manufactura (MRL, por sus siglas en inglés) se utilizan para evaluar la madurez de una tecnología dada desde una perspectiva de manufactura [27].

La conexión o ensamble de cada nivel en el desarrollo de un proyecto se realiza mediante la utilización de Niveles de madurez para la integración (IRL, por sus siglas en inglés), es el proceso de ensamblar el sistema a partir de sus componentes, que debe ensamblarse a partir de los requisitos especificados, y la comparación consistente de la madurez entre los puntos de integración (TRL).

El uso de los IRL no solo proporciona una verificación de dónde se encuentra la tecnología en una escala de preparación para la integración, sino también una dirección para mejorar la integración con otras tecnologías. (Ver Fig. 3).



Fig. 3 Niveles de madurez tecnológica y niveles de madurez en manufactura [23].

Los TRL y los MRL proporcionan un lenguaje común para definir la tecnología desde el concepto hasta la producción comercial y hasta el final de la vida útil [28].

2.3.2 Materiales para exoesqueletos

Dentro de las características y consideraciones de diseño de un exoesqueleto se encuentra la reducción del peso, esto para eliminar la sensación de incomodidad o fatiga del usuario

[29]. Para poder lograr esto se necesitan materiales ligeros que puedan soportar grandes fuerzas y no susceptibles de fatiga, que sean flexibles, livianos, fuertes y baratos, por lo tanto, se tiene que encontrar datos sobre el módulo de elasticidad, la densidad, la resistencia, tenacidad, durabilidad, y el costo de los diferentes materiales.

En el desarrollo de nuevos productos, una de las decisiones centrales es la elección de materiales, acabados y tecnologías de manufactura. La selección de materiales es un problema de toma de decisiones de múltiples criterios que implica buscar el mejor compromiso entre las propiedades del material y los requisitos de diseño [30], como las condiciones funcionales, los límites de diseño, los comportamientos del usuario y las condiciones ambientales [31].

Se han desarrollado varios métodos y herramientas para guiar la selección de materiales [32]. Centrados en la evaluación técnica de propiedades, los métodos basados en ingeniería son los primeros y más utilizados [30].

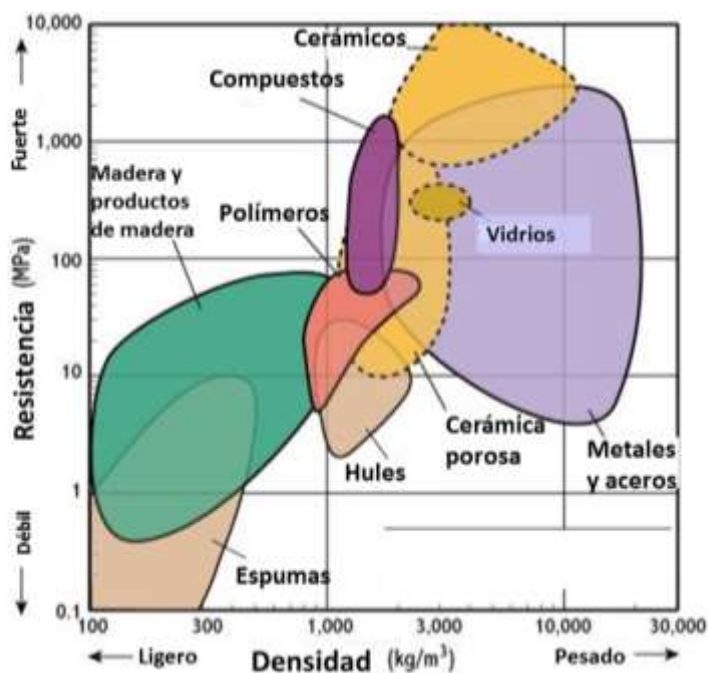


Fig. 4 Selección de materiales en diseño mecánico [28].

Un método para la selección de materiales para el diseño se basa en los diagramas de Michael Ashby pueden limitar la gama de materiales a los que se ajusten propiedades como la fuerza y energía necesarias asociadas a la densidad y el costo (Ver Fig. 4).

Atakan Peker, ex vicepresidente de tecnología de Liquid Metal Technologies, menciona que uno de los principales problemas en los materiales para exosqueletos era que nadie

parecía estar aplicando activamente la ciencia de los materiales directamente al desarrollo de los mismos [33].

Como un avance la ciencia de materiales se encuentran los materiales con rigidez variable tienen el potencial de proporcionar una gama de nuevas funcionalidades, incluida la reconfiguración del sistema mediante el ajuste de la ubicación de los enlaces rígidos y las uniones. En particular, las aplicaciones portátiles se beneficiarían de los materiales de rigidez variable en el contexto de las abrazaderas activas que pueden endurecerse cuando sea necesario y suavizarse cuando se requiere movilidad [33].

Los avances tecnológicos en ingeniería de materiales y en el campo de la nanotecnología pueden reducir drásticamente el tamaño y el peso de las estructuras mecánicas de los exoesqueletos [34].

Los exoesqueletos están hechos de una variedad de materiales utilizados tradicionalmente; titanio, carbono, aluminio o acero [35]. Otros materiales usados son una combinación de plásticos reforzados con carbono y poliamida PA6, para un diseño liviano, robusto y rígido [36]. Como una alternativa de solución se están desarrollando exoesqueletos blandos hechos de materiales suaves, ligeros y compatibles [36].

2.3.3 Diseño centrado en la manufactura

El diseño para la manufactura (DFM, por sus siglas en inglés de Design for manufacturing) es utilizado para el diseño del producto y la planificación del proceso, su objetivo es diseñar productos para facilitar el proceso de manufactura, reducir la complejidad de manufactura, optimizar todas las funciones de manufactura, costo, la calidad, el cumplimiento de la regularidad, la fiabilidad, el tiempo de comercialización y la satisfacción del cliente [37] [38].

La importancia del diseño para la manufactura se destaca por el hecho de que aproximadamente el 70% de los costos de fabricación de un producto (costo de los materiales, procesamiento y ensamblaje) están determinados por decisiones de diseño, las decisiones en producción (como la planificación de procesos o la selección de la máquina-herramienta) son responsables de sólo el 20% del costo [37].

El corazón de cualquier diseño para el sistema de fabricación es un grupo de principios o directrices de diseño que están estructurados para ayudar al diseñador a reducir el costo y

la dificultad de la manufactura de un artículo. Las siguientes características son una lista de reglas para proponer diseño centrado en la manufactura:

- a) Reducir el número total de piezas.
- b) Desarrollar un diseño modular.
- c) Usar componentes estándar.
- d) Diseñar piezas para que sean multifuncionales.
- e) Diseñar piezas para usos múltiples.
- f) Diseñar piezas para facilitar la manufactura.
- g) Evitar sujetadores separados.
- h) Minimizar las direcciones de montaje.
- i) Maximizar el cumplimiento.
- j) Minimizar el manejo.

2.4 Normatividad

Cuando se establece la normatividad sobre la valoración de dispositivos médicos se debe realizar clasificación del dispositivo, esta determinara la clase, la funcionalidad, nomenclatura, y posible riesgo al usuario, tomando en cuenta que el riesgo lo mostrara el proveedor con base en un estudio de riesgos ejecutado en su producto [39].

La Comisión Federal para Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) hizo una clasificación de los dispositivos médicos tomando como base la clasificación de la Agencia Federal de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América (FDA, por sus siglas en inglés de Food and Drug Administration) [40]:

- a) Clase I: Insumos que en la práctica medica están comprobados además que no se introducen al organismo.
- b) Clase II: Insumos acreditados en el acto médico que pueden tener variaciones en su material de manufactura o concentración, son introducidos al organismo en un periodo menor a treinta días.
- c) Clase III: Insumos recién incorporados en el acto médico, son introducidos al organismo en un periodo mayor a treinta días o de forma permanente.

En México la COFEPRIS tiene variadas clasificaciones de los dispositivos médicos, las cuales coinciden con la normatividad internacional. Una de ellas se basa en la aplicación y propósito de uso del dispositivo médico, entre los cuales están [41]:

- a) Equipo médico.
- b) Prótesis, órtesis y ayudas funcionales.
- c) Agentes de diagnóstico.
- d) Insumos de uso odontológico.
- e) Materiales quirúrgicos y de curación.
- f) Productos higiénicos.

La FDA [42] tiene un sistema de regulación que acompaña análogamente al ciclo de vida de un dispositivo, simplificando el desarrollo de diseño, distribución y su uso permitiendo la supervisión y trazabilidad de los productos y solucionar los casos de accidentes que se susciten con los mismos.

La etapa del diseño es de gran interés para la FDA, la calidad, seguridad y efectividad de un dispositivo médico se aprueban durante esta. Se requieren controles de diseño, entre las necesidades más importantes de normalización están: generar instrucciones escritas para la inspección del diseño, realizar el reconocimiento, comprobación y confirmación del diseño, y dejar evidencia de todo el desarrollo de diseño del dispositivo en el Archivo de historial de diseño (DHF, por sus siglas en inglés de Design History File).

La idea o modelo del producto se sintetiza en el diseño y manufactura de un modelo físico experimental. En la fase de experimentación, y por medio de ensayos en laboratorio y experimentación preclínica, se valida su funcionamiento y la certidumbre de las actividades por las que se diseñó. En esta etapa del desarrollo se anexa el cumplimiento de la normatividad en seguridad, calidad y conectividad o interoperabilidad. Por medio de ensayos y arreglos del diseño del prototipo se establece la viabilidad del dispositivo en el medio clínico y el apartado económico. Se determinan los detalles técnicos del dispositivo, se verifican los algoritmos en sistemas de computo y los requisitos como accesorios o componentes consumibles. Se detallan las propiedades de los materiales utilizados en la manufactura del dispositivo [19].

En la fase de manufactura se implementa la normatividad, estándares y ejecutar las medidas de metrología que aseguren la calidad, seguridad y conformidad de los

dispositivos. Una característica grave durante la manufactura es la validación del cumplimiento de la normatividad, para los métodos de fabricación y los dispositivos finales [42]. Algunas de estas normas son:

- a) Norma Oficial Mexicana NOM-240-SSA1-2012, Instalación y operación de la Tecnovigilancia.
- b) NOM-137 - Etiquetado de dispositivos médicos, instituye los requerimientos, que funcionan para informar al usuario, que debe contener el etiquetado de dispositivos médicos.
- c) NOM-241-SSA1-2012 - Buenas prácticas de manufactura de dispositivos médicos, Indica los requerimientos que deben contener las diferentes fases, su objetivo es que se cumplan los requerimientos de calidad y funcionalidad al ser manipulados por el usuario final.
- d) Norma ISO-13485, especifica los requisitos de un sistema de gestión de la calidad en la industria de dispositivos médicos. Está pensada y creada para su implementación en el diseño y proceso de manufactura, instalación, servicios y ventas. Entre los puntos importantes que se mencionan en la norma están [43]:
 - Planeación del diseño y desarrollo.
 - Verificación y validación del diseño y desarrollo.
 - Transferencia de diseño y desarrollo.
 - Control de cambios del diseño y desarrollo.
 - Registros de diseño y desarrollo.
- e) Normas de Gestión Riesgo ISO-14971, norma para la gestión del riesgo en los dispositivos médicos. Se establece la metodología para determinar la seguridad de un producto durante todo el ciclo de vida del producto (diseño y manufactura).
- f) Norma IEC-60601 [4] sobre seguridad eléctrica. Esta incluye todo sobre requisitos de seguridad para sistemas eléctricos.
- g) Norma IEC-62353 sobre pruebas recurrentes posteriores a la reparación de equipos médicos.

La seguridad en los dispositivos médicos en relación con el paciente es de vital importancia por parte de la jurisdicción sanitaria de los diferentes países. Para el diseño de dispositivos robóticos para rehabilitación se aplican normas y certificaciones según el caso.

Las normas protegen al usuario y el medio de aplicación, pero poco hablan del paciente. Esta depende de un riguroso análisis de riesgos, para el que se aplican diferentes normas y metodologías [44]. Varias legislaciones requieren el establecimiento de especificaciones para que el uso del dispositivo sea el previsto, y se hayan identificado riesgos para su reducción al mínimo [45]. Este proceso ha de ser además iterativo. Es evidente que esto tiene implicaciones en el diseño puesto que va a añadir nuevos requisitos no sólo en la fase inicial de análisis sino en las posteriores iteraciones.

El estudio de la usabilidad y ergonomía en el diseño de un producto se conoce también como factores humanos. La FDA [42] tiene varios documentos que específicamente tratan del estudio de los factores humanos para dichos dispositivos, por ejemplo, hacerlo por diseño- una introducción a los factores humanos, aplicación de factores humanos e ingeniería de usabilidad para optimizar el diseño de dispositivos médicos. También hay normas para temas como Ingeniería de factores humanos - Diseño de dispositivos médicos.

Una gran cantidad de normas están pensadas para dispositivos específicos y otras de forma más general deben ser implementadas en el diseño y validación de los productos. Existen instituciones que crean normas y protocolos que se emplean en los dispositivos médicos, para su conexión a sistemas de información como: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés de Institute of Electrical and Electronics Engineers) sobre protocolos de comunicación; la Asociación para el Avance de la Instrumentación Medica (AAMI, por sus siglas en inglés de Association for the Advancement of Medical Instrumentation) entre otros.

De la búsqueda de normas para dispositivos médicos se propone la Fig. 5 que muestra organismos internacionales y nacionales que son reguladores de dispositivos médicos, así como los estándares aplicables en los mismos.

Organismos Internacionales			Estándares aplicables
América	Europa	Asia	
<ul style="list-style-type: none"> • USA - Agencia Federal de Alimentos y Medicamentos (FDA) • Canadá - Salud Canadá (HC) • Brasil - Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA) • Argentina - Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) • Colombia - Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alemania: Instituto Federal de Medicamentos y Dispositivos Médicos (BfArM) • Reino unido- Regulación de Medicamentos y Dispositivos Médicos (MHRA) • Países bajos- Inspección Sanitaria • Suiza - Agencia de productos terapéuticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Japón - Agencia de Productos Farmacéuticos y Dispositivos Médicos (PHSB) • Australia - Administración de productos Terapéuticos (TGA) • China -Administración de Alimentos y Medicamentos de China (CFDA) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Organización Internacional de Normalización (ISO). <ol style="list-style-type: none"> A. ISO 9001 - Sistema de Gestión de Calidad. B. ISO 13485 - Gestión de Calidad para Dispositivos Médicos. 2. Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). 3. FDA - Buenas prácticas de manufactura. FDA 21 CFR Part 820. 4. Canadá - SOR 98/282. 5. Comunidad Europea - CE Mark. Certificado MDR 2017/745. 6. Buenas prácticas de manufactura (GMP), Japón.
<ul style="list-style-type: none"> • Foro Internacional de Reguladores de dispositivos médicos (IMDRF) • Comisión Europea, marca CE, Unión Europea • Organización Mundial de la Salud (OMS) • Programa de Auditoría Única de Dispositivos Médicos (MDSAP) 			
Organismos nacionales			
Regulación Sanitaria	Normas		
Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)	<ul style="list-style-type: none"> • NOM 240 - Tecnovigilancia • NOM 241 - Buenas prácticas de fabricación • NOM 137 - Etiquetado de dispositivos médicos 		
Acreditación	Entidad Mexicana de Acreditación (EMA)		

Fig. 5 Organismos internacionales y nacionales de normalización y organismos reguladores de dispositivos médicos.

El uso de las normas ayuda al avance técnico, el progreso económico y la prosperidad en la vida, con base a la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization - ISO, por sus siglas en inglés) [46].

Los requerimientos específicos, que se mencionan como certificación, están incluidos en normas, códigos o instrumentos de normatividad y definiciones técnicas [47].

Capitulo III Estado del arte

Existen muchas dificultades de diseño para desarrollar un diseño mecánico adecuado de un exoesqueleto de extremidad superior. La mayoría de ellos están impuestos por la anatomía de la extremidad superior [4].

El proceso de un producto debe contemplar más que las fases habituales de obtención y uso de métodos de diseño como una solución. Debe tener énfasis en habilidades administrativas que impliquen los requerimientos del usuario final, introduciendo estos en el diseño del producto.

Las determinaciones tomadas para el diseño del producto durante en el primer 5% establecen en gran parte el precio del producto, particularidades en la manufactura y calidad. La implementación del diseño para la manufactura puede repercutir de manera favorable en la rentabilidad y éxito del mismo [48].

Para la reducción del tiempo de lanzamiento de productos, especialmente la optimización del tiempo en el área de diseño, valores del diseño pueden ser implementados para permitir un nuevo diseño, especialmente si se implementan herramientas como el Diseño Asistido por Computadora (Computer-Aided Design - CAD por sus siglas en ingles). El planteamiento se puede extender para determinar herramental y accesorios para su posible uso, evadiendo rediseños.

Las herramientas para el DFM y sus fundamentos proporcionan un rumbo ordenado para obtener diseños sintetizados. La complejidad del dispositivo se puede disminuir mediante la implementación de unidades de manufactura modular para el ensamble de dispositivos [48].

Las herramientas de industrialización del diseño logran apoyar en el proceso económico de variadas elecciones de diseño, así como en su valoración. Entre las que abarcan el CAD, la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE por sus siglas en ingles de Computer Aided Engineering), modelado de sólidos, análisis por el método del elemento finito.

La revisión de la literatura ha demostrado que se han propuesto varios dispositivos para brindar asistencia en la rehabilitación de las extremidades superiores [13, 49, 36, 50, 21, 10, 51, 52]. Sin embargo, la mayoría de estos desarrollos tecnológicos han mostrado el

concepto de diseño en relación con su principio de funcionamiento y no en la sistematización del incremento de la maduración tecnológica.

Una de las áreas de oportunidad de diseño de la versión actual del exoesqueleto ERMIS es que se consideraron aspectos ergonómicos en su desarrollo; no obstante, dichos aspectos necesitan ser revisados. En consecuencia, es importante tener en mente la importancia del concepto que considere la ergonomía, justificada por la interacción [53].

Se reportan algunos trabajos de exoesqueletos que han tenido un cambio en su madurez tecnológica:

- Gupta ha desarrollado un robot de exoesqueleto de brazo háptico 5 DoF para rehabilitación y entrenamiento asistidos por robot. El robot de exoesqueleto ha sido rediseñado y nombrado como robot de Mecatrónica e Interfaces Hápticas (MAHI) por Sledd y O ' Mallya [52].

Los esfuerzos en el rediseño se han centrado principalmente en garantizar el funcionamiento sin problemas de las partes móviles del exoesqueleto para minimizar el retroceso, reducir el costo y el tiempo de construcción al simplificar el diseño y aumentar la salida de par mientras se siguen usando los actuadores eléctricos para facilitar el control [54].

- Tsagarakis y Caldwell [55] han diseñado un prototipo de exoesqueleto de rehabilitación de brazo con 7DOF. Una ventaja del sistema mencionado es la baja masa y la excelente relación potencia / peso. La estructura del brazo se ha construido principalmente de aluminio y materiales compuestos, con secciones de unión de alta tensión fabricadas en acero.
- El L-EXOS es un robot de exoesqueleto de extremidades superiores para la interacción háptica en un entorno virtual. Todos los motores del robot exoesqueleto han sido ubicados en el marco fijo, el exoesqueleto alcanza un alto nivel de integración con la articulación del eje para perseguir completamente la reducción de peso, con lo cual se mejoró de la rigidez del sistema [5].
- El exoesqueleto llamado Órtesis Activa de miembro inferior, realiza un refinamiento en el diseño sin necesidad de reemplazar el trabajo previamente realizado con ayuda del método de optimización estructural. Aunado a esto consigue un ahorro en el peso [53].

Para ayudar a las personas en el proceso de rehabilitación de una discapacidad física en el miembro superior, se ha desarrollado [56] un modelo físico experimental (MFE) de un exoesqueleto de 7 grados de libertad (DOF) llamado Exoesqueleto de Rehabilitación Pasiva de Miembro Superior (ERMIS).

El ERMIS se centra en la rehabilitación pasiva, el MFE enfrenta desafíos particulares al tratar con estos pacientes, debe garantizar que los elementos del brazo se mantengan en la posición y dentro de los rangos específicos de cada ejercicio, además de ejercer la tracción y empuje en los lugares adecuados donde los terapeutas aplican fuerza durante los ejercicios [56].

En la Fig. 6 podemos observar el modelo CAD del ensamble del exoesqueleto propuesto de igual forma el MFE construido y validado en un ambiente de laboratorio.

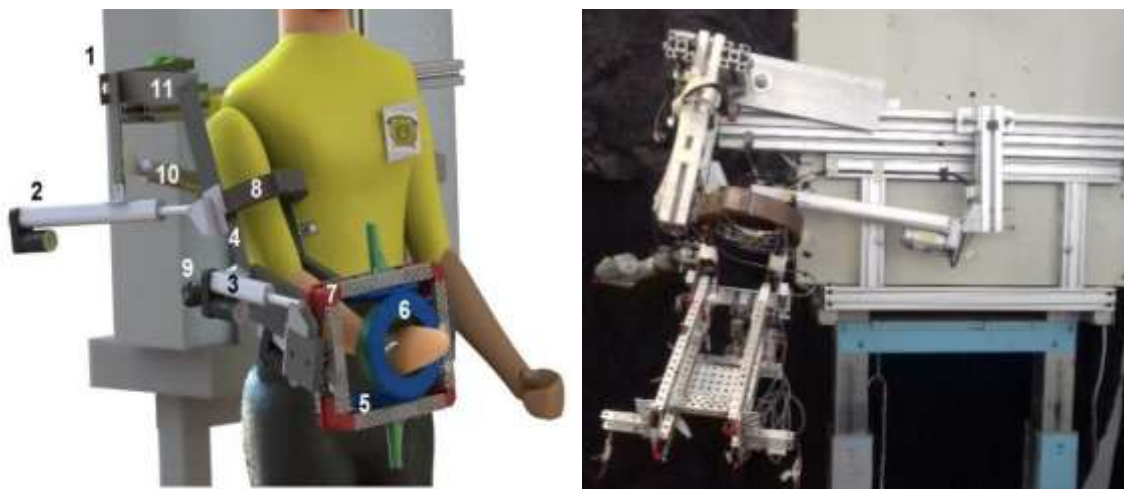


Fig. 6 Modelo en CAD del ensamble y modelo físico experimental del ERMIS [56].

El objetivo del ERMIS es proporcionar rehabilitación para las articulaciones del miembro superior [56]:






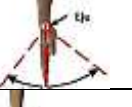
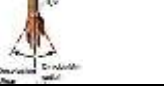
- a) Hombro, con tres DOF que corresponden a:
 - Aducción/abducción.
 - Flexión/extensión.
 - Rotación interna/externa.
- b) Codo, con dos DOF que corresponden a los movimientos de:
 - Flexión/extensión.
 - Pronación/supinación.
- c) Muñeca, con dos DOF que corresponden a los movimientos de:

- Flexión/extensión.
- Desviación radial/cubital).

Los datos obtenidos cuando el exoesqueleto realiza los movimientos anatómicos del miembro superior se muestran en la

Tabla 3.

Tabla 3 Rangos de funcionamiento del exoesqueleto ERMIS.

Sistema	Movimiento		Reportado Máximo y mínimo
Hombro	Aducción-abducción		5° a 45° Amplitud 40°
	Flexión-extensión		112° a 170° Amplitud 58°
	Rotación interna y externa		-85° a -47° Amplitud de 60°
Codo	Flexo- extensión		150° a 83° Amplitud 67°
	Articulación de pronosupinación		Sin información
Muñeca	Flexo-extensión		-36° a -1° Amplitud 52°
	Desviación cubito-radial		-38° a 22° Amplitud 60°

Capitulo IV Metodología

Se presenta la metodología que permitirá el desarrollo de la plataforma integral que incluya el desarrollo de las especificaciones de prototipo a partir del modelo físico experimental del exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior ERMIS.

4.1 Metodología para el diseño de sistemas mecatrónicos

La propuesta de metodología para diseñar, modelar y simular un dispositivo robótico para rehabilitación, un exoesqueleto en este caso, se muestra en la Fig. 7, la metodología evita un desarrollo secuencial donde una etapa depende de la precedente, es decir, se sigue una metodología concurrente, la cual describe el planteamiento, el desarrollo y la experimentación del sistema en estudio [57].

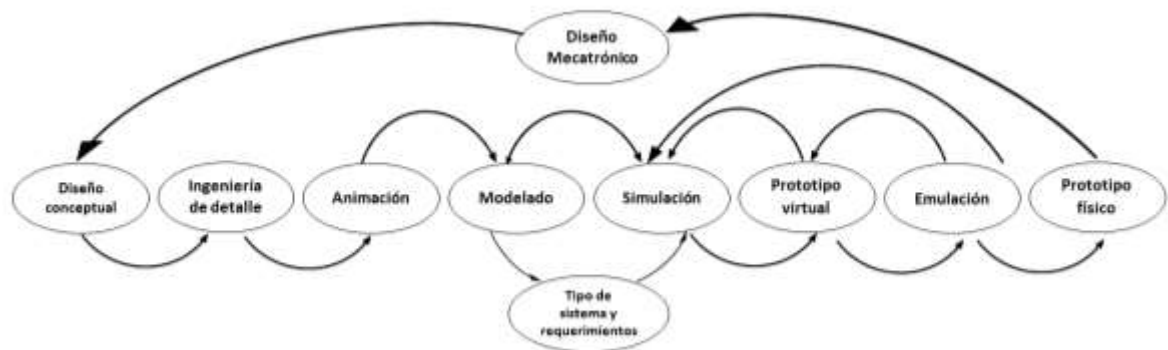


Fig. 7 Ciclo de diseño mecatrónico [57].

La metodología dividida y organizada en 10 etapas, se muestran a continuación:

- Identificación del problema.
- Documentación.
- Casos de estudio.
- Implementación de tareas
- Diseño conceptual.
- Agrupamiento del sistema
- Ingeniería de detalle.
- Arquitectura unificada.
- Emulación y simulación.
- Especificaciones de prototipo.

Estas etapas abarcan el desarrollo de la plataforma desde la identificación del problema hasta el punto donde sea posible dar las especificaciones de prototipo. Son etapas en donde se plantean los puntos donde se debe hacer análisis, evaluaciones y en donde es necesario hacer retroalimentaciones que permitan corregir o mejorar el desempeño.

Para lograr el objetivo de esta metodología, se divide en dos fases (1 y 2) y 10 etapas, se muestran y se detallan en la *Fig. 8*. La descripción de estas fases y pasos se proporciona en los siguientes párrafos.

1. Identificación del problema.

En esta etapa se selecciona el área de interés en la que se ha encontrado una oportunidad de mejora. Se realiza la valoración de los parámetros de funcionamiento, se plantean los objetivos a lograr con el refinamiento del diseño.

2. Documentación.

El problema es mejor entendido si nos adentramos a las definiciones y conceptos de diseño en exoesqueletos. Posteriormente se debe entrar en detalle en el funcionamiento del ERMIS y entender los movimientos de los casos de estudio, así como del estado del arte, estado de la técnica, normatividad y jurídica que aplique a la problemática. Esta metodología integra desde el inicio un estudio de campo con el análisis del funcionamiento. Información que será traducida en las especificaciones de diseño para el MEF ERMIS.

3. Casos de estudio.

El caso de estudio está incluido dentro de la problemática el cual está perfectamente limitado, estos casos de estudio sirven para hacer mediciones de los rangos de movimiento del ERMIS, permite identificar dificultades específicas en el funcionamiento del exoesqueleto.

Se presentarán tablas con las métricas para que sean analizadas con el fin de validar el funcionamiento y obtener el índice permisible de error.

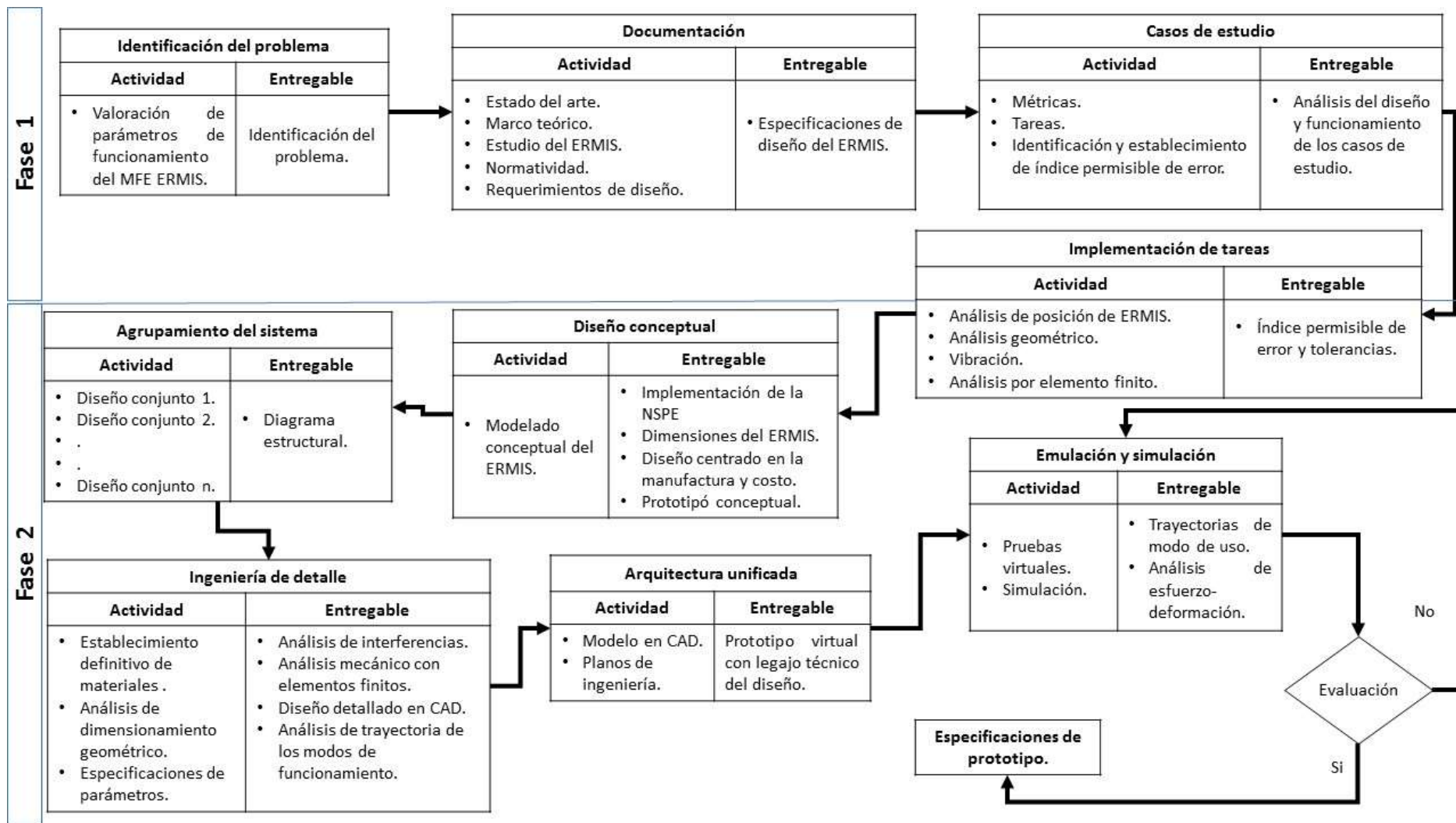


Fig. 8 Diagrama de la metodología propuesta.

4. Implementación de tareas.

Las tareas son implementadas con el análisis de las trayectorias del exoesqueleto, son discretizadas de tal forma que sirvan de consigna para la obtención del índice permisible de error y las tolerancias de diseño.

5. Diseño conceptual.

La implementación de tareas brindara de forma ordenada la información necesaria que sirve para plantear el refinamiento del diseño con el cual se pretende tener las especificaciones de prototipo, se trabajara hasta que se convierta en una representación en CAD que contenga las especificaciones necesarias para poder alcanzar el nivel de prototipo.

6. Agrupamiento del sistema.

Con el modelo conceptual en CAD es posible encontrar los conjuntos que lo forman y hacer un diagrama estructural que contenga los puntos de interacción entre dichos conjuntos. Se debe buscar que los conjuntos sean independientes en sus funciones con el fin de poder trabajar la ingeniería en detalle de forma concurrente en cada uno de ellos, así el tiempo de desarrollo se reduce. Al final de esta etapa se cuenta con un diagrama estructural identificando conjuntos, subconjuntos y las partes que lo componen mediante una identificación alfanumérica propia.

7. Ingeniería de detalle.

En esta fase se toma como punto de partida el concepto de los variados subsistemas o paquetes de trabajo y se conduce a formalizar el diseño y la ingeniería del exoesqueleto y desarrollo de la manufactura. Entre las tareas a realizar están:

- indicación definitiva de los materiales y procesos.
- Análisis mecánico por elementos finitos para el dimensionamiento geométrico.
- Prototipos CAD virtuales o rápidos.

- Pruebas de concepto referencial.

8. Arquitectura unificada.

Los conjuntos se integran en un solo CAD y se migran a un software específico para el análisis del sistema, donde se pueden realizar los análisis propuestos, los planos de ingeniería para su manufactura, etc. El entregable de esta etapa son las especificaciones de prototipo.

9. Emulación y simulación.

Se entiende por emulación al efecto de hacer pruebas con el prototipo en CAD de rangos de movimientos en articulaciones, de precisión, exactitud, resolución, carga soportada.

Valder Dolga [58] establece que la simulación de sistemas mecatrónicos es una forma de validación del diseño el cual tiene un papel importante durante una investigación que tiene como objetivo un producto ya que gracias a los sistemas de simulación es posible generar el producto y realizar las iteraciones necesarias sin que esto afecte al presupuesto final de la investigación.

Trabajar de forma simultánea con emulación y simulación permite validar el prototipo realizando comparación de resultados de ambos y en caso de haber discrepancias hacer los ajustes necesarios en software.

10. Especificaciones de prototipo.

En esta etapa se generan las especificaciones de prototipo que permite el ensamble de los componentes , así como la demostración mecánica de su funcionamiento, o de sus características tecnológicas.

Otra forma de presentar la metodología es través de un diagrama llamado mapa maestro, conteniendo las etapas y pasos del proyecto con respecto a la división del sistema para su análisis (Ver Fig. 9).

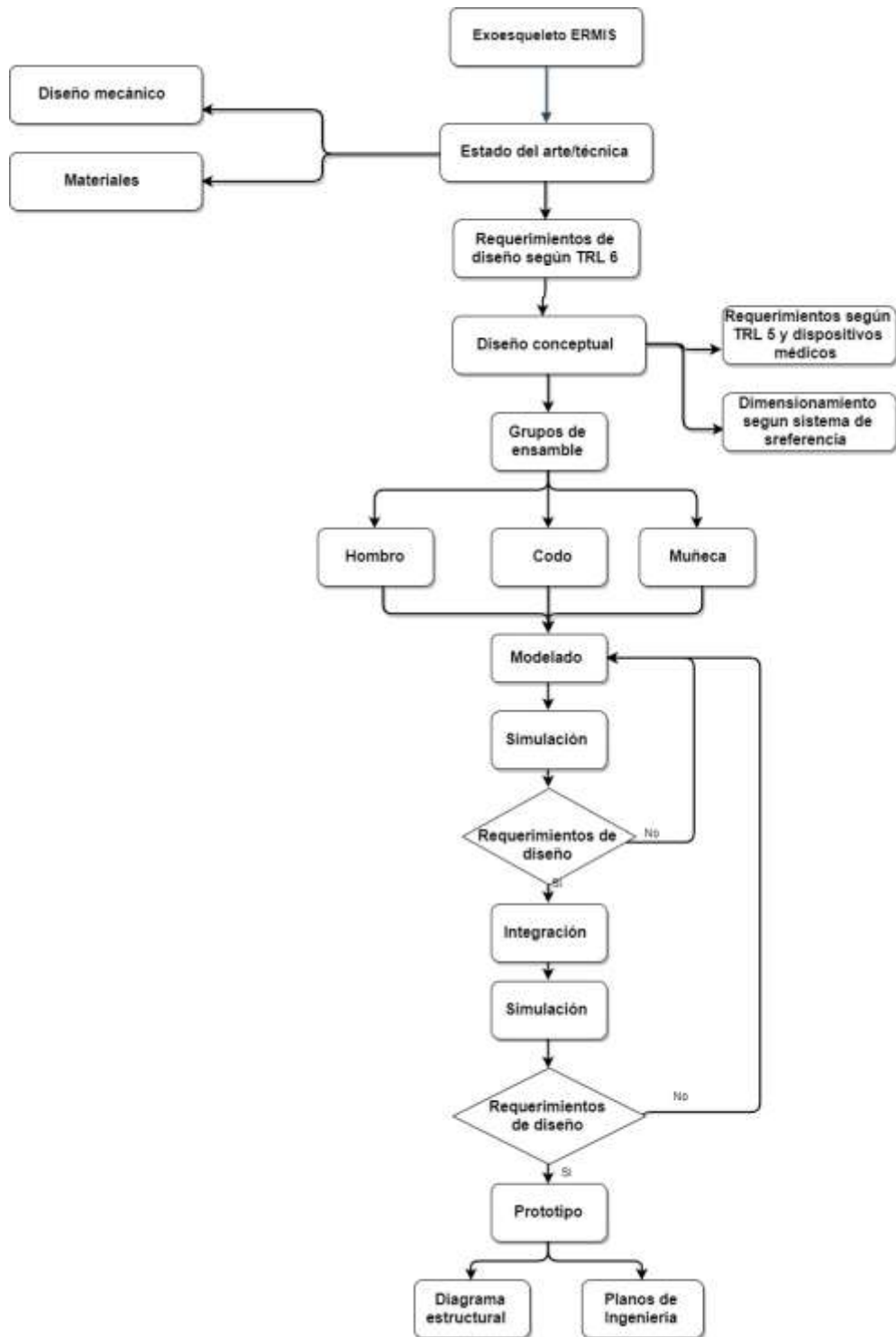


Fig. 9 Mapa maestro para proyecto ERMIS.

4.2 Implementación de tareas.

Con el objetivo obtener una base de datos que corresponda a los movimientos articulares del exoesqueleto ERMIS durante la ejecución de los mismos es necesario

caracterizarlos, para obtener los rangos de funcionamiento, posiciones por cada grado de libertad, dimensiones geométricas.

Las tareas que se implementarán son:

- Análisis de posición.
- Análisis geométrico.
- Vibración.
- Análisis por elemento finito.

Los datos obtenidos permiten comparar los resultados reportados en el modelo físico experimental y así hacer la identificación y establecimiento del índice permisible de error. Nos proporcionara las restricciones de funcionamiento y requerimientos de diseño con los cuales se puede plantear el diseño conceptual de cada uno de los componentes y el ensamble.

Un objetivo de este diseño es disminuir el porcentaje de error e incrementar el porcentaje de confianza por medio de la parte mecánica.

4.2.1 Análisis de posición.

Con base en las trayectorias observadas en el funcionamiento del ERMIS, en los tipos de movimientos del exoesqueleto y los objetivos que pretenden alcanzar, se realizaron las siguientes pruebas:

- Análisis en vacío.
 - Goniómetro.
 - Mecanismo antropomórfico.
- Análisis con carga.
 - Carga de 2.2 kg.
 - Carga de 4.2 kg.
 - Con sujeto sano.

Las pruebas se han planteado como excluyentes entre sí, es decir se complementan, además se plantean de tal forma que sean graduales y lleven un orden de acuerdo con los requerimiento y exigencia de las pruebas.

4.2.1.1 Sistema de adquisición de datos.

Con el objetivo de obtener una base de datos que corresponda a los movimientos articulares del ERMIS es necesario caracterizarlos, para obtener los rangos, posiciones. Se ha seleccionado la adquisición de datos mediante la goniometría, la cual se encarga de medir los ángulos formados por la interacción en las articulaciones en cualquier punto en el espacio [59].

Se obtuvieron datos con un sistema de adquisición de datos (tarjeta de adquisición de datos USB 6008), se configuro un dispositivo para registrar los valores articulares de las trayectorias programadas en el exoesqueleto ERMIS.

Se implementó un robot con una configuración angular (Ver Fig. 10), en cada DOF se usó un potenciómetro de 5 K Ω de alta linealidad para efectuar las mediciones, con rotación de 360°, de esta forma la medición es directamente proporcional al ángulo. Cada potenciómetro se conecta a una entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos USB 6008 que permite hacer mediciones de los 3 canales de forma simultánea.



Fig. 10 Robot de configuración angular.

Estos datos son procesados en MATLAB donde se escalan y guardan en archivos para su posterior manejo.

4.2.1.2 Mediciones experimentales en vacío.

Para la caracterización en vacío se han seleccionado dos opciones que son:

1. Goniómetro (forma manual).

En el uso del goniómetro de forma manual se han considerado los movimientos: de abducción-aducción del hombro, la flexo-extensión del hombro, la rotación

interna-externa y la flexo-extensión del codo. Se toma la lectura del ángulo de la interacción entre eslabones.

2. Mecanismo antropomórfico.

En el sistema instrumentado se ha considerado los movimientos: de abducción-aducción del hombro, la flexo-extensión del hombro, la rotación interna-externa, la flexo-extensión del codo, además de dos casos de estudio propuestos en el funcionamiento del ERMIS, caso de estudio 1 - Serie de ejercicios por articulación excluyentes y caso de estudio 3 - Activación de la memoria de músculo a través del seguimiento de trayectorias.

Se toma la lectura de los ángulos de la interacción entre eslabones con apoyo del robot de configuración angular.

4.2.1.3 Mediciones experimentales con carga.

Para la caracterización con carga se han seleccionado tres opciones que se describen a continuación:

1. Carga de 2.2 kg.

Para la experimentación con carga se ha utilizado una carga de 2.2 kg distribuida uniformemente en los eslabones del ERMIS, los movimientos analizados fueron: abducción-aducción del hombro, la flexo-extensión del hombro, la rotación interna-externa y la flexo-extensión del codo.

2. Carga de 4.2 kg.

Se utilizo una carga de 4.2 kg distribuida uniformemente en los eslabones del ERMIS, los movimientos analizados fueron: abducción-aducción del hombro, la flexo-extensión del hombro, la rotación interna-externa y la flexo-extensión del codo.

3. Con sujeto sano.

Se hace la lectura de los datos con una persona sana utilizando el ERMIS, los movimientos analizados fueron: abducción-aducción del hombro, la flexo-extensión del hombro, la rotación interna-externa y la flexo-extensión del codo.

Se toma la lectura de los ángulos de la interacción entre eslabones con apoyo del robot de configuración angular.

4.2.2 Análisis geométrico.

El análisis de la geometría de los componentes tiene un fin importante pues permite conocer cómo trabaja cierto componente o ensamble, de manera que se puedan entender las necesidades de diseño. Las dimensiones definen el tamaño y la forma de los componentes para que funcione tal y como se diseñó. El dimensionado puede resultar en una reducción en los costos de producción ya que puede proporcionar uniformidad en las dimensiones de los componentes.

Se analizaron los componentes con mayor interacción con otros componentes o que sean susceptibles a fallar.

4.2.3 Análisis de vibración.

El análisis de vibraciones se aplica con el fin de diagnosticar fallos mecánicos en equipos, para optimizar la calidad y procesos en los diferentes productos.

Con base en el funcionamiento del ERMIS, se realizaron pruebas en las mismas condiciones que para el análisis de posición.

Se seleccionan los sensores Trigno EMG (Delsys. Inc., USA), es un dispositivo inalámbrico de adquisición de datos de electromiografía y aceleración. Entre sus características, tiene un ancho de banda de 20-450 Hz y una sensibilidad del acelerómetro de $\pm 1,5g$ o $\pm 6g$.

Se ocupan sensores inalámbricos que tienen un rango de actuación de 40 m, con unas medidas de 37mm x 26mm x 15mm y un peso de 14g, además cuentan con una autonomía de 8 horas.



Fig. 11 Base fija y Trigno Standard Sensor.

Una vez obtenida la señal en los sensores, esta se transmite de forma inalámbrica a la base, donde se guarda la información para su posterior transferencia a un ordenador donde será procesada. Los datos analizados en relación a su desviación estándar para poder encontrar el error permisible.

4.2.4 Análisis por elemento finito.

El método de elementos finitos da la posibilidad de ejecutar un modelo matemático para el sistema real, mas sencillo y barato de cambiar que un modelo físico. Pero esto no deja de hacerlo un método aproximado de cálculo, que facilita una solución exacta exclusivamente en puntos discretos definidos (nodos).

Para este análisis se emplea el software Ansys, que despliega, distribuye y facilita el fundamento a la ingeniería a través de software de simulación para pronosticar cómo trabajara y reaccionará determinado producto en un entorno real, nos permitirá satisfacer muchas necesidades complejas de diseño y análisis.

Capítulo V Resultados y discusión

De la investigación mencionada, se escribieron dos artículos, de los cuales el primero ha sido enviado y segundo esta en procesos de revisión. Por tanto, en base a la normativa de la titulación del Reglamento de Estudios Avanzados (REA), Capítulo 8 de la evaluación final y de la valoración del título, concretamente en los artículos 59 y 60, el presente título de maestría ha obtener es a través de esta modalidad, cumpliendo con todos los requisitos expuestos.

5.1 Artículo 1: Study to increase the technology readiness level of the ERMIS exoskeleton

By: J. L. Medina-Valdes, Luis Adrián Zúñiga-Avilés, G. M. Cruz-Martínez, Adriana H. Vilchis-González, Usiel S. Silva-Rivera

Abstract: This article presents a study to increase the technology readiness level based on the analysis of the operating parameters of an exoskeleton for rehabilitation of upper limb called ERMIS that provides an approach for passive rehabilitation of the upper limb by formulating exercises including its anatomical and functional movements. The validation of the passive rehabilitation movements was performed through the characterization of points of the same, for the acquisition of data was used an anthropomorphic mechanism that measures the position. The results obtained from the movements performed with the exoskeleton are presented, obtaining an acceptable performance in the precision based on the applicable regulations for robotic medical devices, the permissible error rate is 5 mm, and the characteristics that this number represents in the refinement of the ERMIS design to achieve its increasing of technological maturity.

El artículo ha sido enviado como se muestra a continuación.

~User Menu

- Home (/user/myprofile)
- Manage Accounts (/user/manage_accounts)
- Change Password (/user/chgpwd)
- Edit Profile (/user/edit)
- Logout (/user/logout)

~Submissions Menu

- Submit Manuscript (/user/manuscripts/upload)
- Display Submitted Manuscripts (/user/manuscripts/status)
- Display Co-Authored Manuscripts (/user/manuscripts/co-authored)
- English Editing (/user/pre_english_article/status)
- Discount Vouchers (/user/discount_voucher)
- Invoices (/user/invoices)
- LaTeX Word Count (/user/getlatex_word_count)

~Reviewers Menu

- Reviews (/user/reviewer/status)
- Volunteer Preferences (/volunteer_reviewer_info/view)

Manuscript Information Overview

Manuscript ID	appls-ci-1307253
Status	Pending review
Article type	Article
Title	Study to increase the technology readiness level of the exoskeleton "ERMIS"
Journal	Applied Sciences (https://www.mdpi.com/journal/appls-ci)
Abstract	This article presents a study to increase the level of technological maturity based on the analysis of the operational parameters of an "ERMIS" exoskeleton for upper limb rehabilitation. Passive rehabilitation of the upper limb was analyzed through the formulation of exercises, including the anatomy and functional movements of the patient. The validation of the passive rehabilitation movements was carried out by characterizing the points of their trajectory, and an anthropomorphic mechanism has used that measures the position for the acquisition of data. The results obtained from the movements made with the exoskeleton are presented, obtaining a permissible error of 5 mm, which achieves a significant improvement in the characteristics of the ERMIS exoskeleton design and an increase in its technological readiness. Likewise, this is an acceptable performance in accuracy, based on the applicable regulations for robotic medical devices.
Keywords	Exoskeleton, Design, Upper limb rehabilitation, TRL.
Manuscript File	manuscript.docx (/user/manuscripts/displayFile/b936315915f4b62a2bafad3f36c95e61)
PDF File	manuscript.pdf (/user/manuscripts/displayFile/b936315915f4b62a2bafad3f36c95e61/latest_pdf)

Preprints You can put your paper online **immediately and before peer review** at Preprints.org (<https://www.preprints.org/>), with the following benefits:

- Anyone can read and download your work immediately, before peer review is complete.
- Receive comments and feedback.
- Make your work citable via assignment of a digital object identifier.
- Immediate indexing by Google Scholar and other online databases.
- Papers are put online within 24 hours.

Upload to Preprints (/user/sciprints/manuscript/b936315915f4b62a2bafad3f36c95e61)

data Data is of paramount importance to scientific progress, yet most research data drowns in supplementary files or remains private. Enhancing the transparency of the data processes will help to render scientific research results reproducible and thus more accountable. Co-submit your methodical data processing articles or data descriptors for a linked data set in Data (<https://www.mdpi.com/journal/data>) journal to make your data more citable and reliable.

- Deposit your data set in an online repository, obtain the DOI number or link to the deposited data set.
- Download and use the Microsoft Word template (<https://www.mdpi.com/files/word-templates/data-template.dot>) or LaTeX template (<https://www.mdpi.com/authors/latex>) to prepare your data article.
- Upload and send your data article to the Data (<https://www.mdpi.com/journal/data>) journal

here (/user/manuscripts/upload?
form%5Bjournal_id%5D=176&form%5Barticle_type_id%5D=47).
Submit To Data (/user/manuscripts/upload?
form%5Bjournal_id%5D=176&form%5Barticle_type_id%5D=47)

Author Information

Submitting Author LUIS ADRIAN ZUNIGA AVILES
Corresponding Author Luis Adrian Zufiga-Aviles
Author #1 Jose Luis Medina-Valdes
E-Mail joseluis_07@hotmail.com
Author #2 Luis Adrian Zufiga-Aviles
E-Mail lazuniga@uaemex.mx
Author #3 GIORGIO MACKENZIE CRUZ MARTINEZ
E-Mail gmcruz@uaemex.mx
Author #4 ADRIANA HERLINDA VILCHIS-GONZALEZ
E-Mail avilchis@uaemex.mx
Author #5 USIEL SANDINO SILVA-RIVERA
E-Mail ussilva@uaemex.mx



Manuscript Information

Received Date 5 July 2021
Page Count 16

APC Information

5.2 Artículo 2:

By: J. L. Medina-Valdes, Luis Adrián Zúñiga-Avilés, G. M. Cruz-Martínez, Adriana H. Vilchis-González.

Abstract: As an important parameter in the design of robotic devices for rehabilitation, research on the structural behavior of the ERMIS exoskeleton has not been performed. Numerical analysis of stresses and deformations generated by the exoskeleton structure in different positions. The finite element method was used with equal boundary and loading conditions in both configurations, specifying the materials of the physical and experimental models. The results show that the exoskeleton in its 45 degrees configuration suffers a maximum stress of is $6.0155e7$ Pa, with a safety factor of 4.98 for aluminum which makes it acceptable for its application, with a maximum deformation of 1.08 mm. Compared to the 5 degree configuration which undergoes a maximum stress of $1.5358e8$ Pa, with a safety factor of 1.95 for aluminum making it acceptable for application, with a maximum deformation of 1.21 mm. The deformation in the exoskeleton is present in the

components that hold the forearm. The differences in stresses and deformations obtained indicate the parameters for design refinement to achieve a TRL 5 . This has application in the development and manufacture of robotic devices for rehabilitation.

5.3 Patentes

Del desarrollo de las especificaciones del MEF de ERMIS, esta investigación permite una patente que ha sido presentada al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). Al final de este documento, en el Apéndice B, se pueden encontrar más detalles.

Diseño industrial (modelo industrial, No. 60497): esta patente está relacionada con el desarrollo de un modelo industrial de dispositivo para medición de posición. Este dispositivo funcionará como banco de pruebas para lograr las prestaciones del ERMIS.

5.4 Discusión

Los comentarios sobre los resultados se describen en los artículos escritos y parte se muestran en los apéndices anexados a esta investigación, estos se siguen desarrollando, teniendo en cuenta la comparación en la parte mecánica, los materiales, vibración y geometría del ERMIS y por tanto nos centramos en las diferencias y similitudes entre ellos.

El objetivo de esta investigación era la determinación los requerimientos y restricciones del exoesqueleto ERMIS, los requerimientos y restricciones encontradas nos dan pauta para la propuesta del diseño mecánico.

Los resultados obtenidos en cada una de las tareas se sometieron a un análisis e interpretación como consecuencia de la aplicación de la metodología implementada. La organización y tabulación del análisis de los datos implico una etapa de reflexión para dar una adecuada interpretación para el problema planteado. Las tablas generadas dieron origen a la solución de cada uno de los requerimientos para que el ERMIS logre una fase de prototipo.

Para la interpretación y análisis de datos se realizó una selección estadística, se elaboraron tablas y graficas descriptivas donde se mostraba el error y datos del

ERMIS, se utilizó la estadística descriptiva para su correcto análisis e interpretación en ciertos casos.

Los resultados nos dieron el valor del error permisible con el cual se especificó las características del diseño de cada componente que constituye el exoesqueleto, las características tomaron como base la necesidad del incremento del nivel de madurez tecnológica para su futura comercialización.

Los componentes en los que se presentó un cambio significativo son los ejes, bujes y tornillería, estos son lo que provocaron en gran medida el error obtenido en la generación de cada uno de sus movimientos. Se generaron tablas con lista de materiales para componentes tomando como base los requerimientos y disponibilidad.

La implementación de normatividad a la par nos dio pie a definir los materiales y métodos de manufactura que permitirán alcanzar la conformación y operación del sistema en una fase de prototipo.

Capítulo VI Conclusiones y trabajos futuros

Esta tesis propone el refinamiento del diseño del MFE del exoesqueleto ERMIS, sistema que realiza movimientos para cuatro casos de estudio con 7 movimientos que son hombro (aducción abducción, flexión-extensión y rotación interna-externa),

codo (flexo-extensión y pronación supinación) y muñeca (flexo-extensión y desviación radial-cubital). Todos estos movimientos son fundamentales para lograr la rehabilitación del paciente.

Una de las aportaciones de este trabajo es la comprobación de una metodología para el refinamiento del diseño de dispositivos robóticos para rehabilitación. Esta metodología abarca una evaluación de ingeniería en la cual se desarrollan las siguientes tareas:

- Se identifica el problema.
- Se realiza la documentación para conocer el funcionamiento del exoesqueleto y la normatividad aplicable.
- Los casos de estudio nos dan las métricas los rangos de movimiento y así identificar dificultades específicas en el funcionamiento del exoesqueleto.
- Implementación de tareas para conocer el índice permisible de error y las tolerancias de diseño.
- Con la información necesaria se planteó el refinamiento del diseño y se obtuvo un modelo CAD de los componentes.

Se observa que la investigación del exoesqueleto ERMIS ofrece una alternativa en la metodología para el refinamiento de dispositivos médicos para rehabilitación.

El diseño de ERMIS estaba creado para una solución particular (anatomía de una persona) pero se puede generalizar para diferentes dimensiones anatómicas debido a su diseño modular.

Los dos artículos, producto de este trabajo, establecen conocimientos para el estudio de dispositivos médicos en fase de MFE y ofrecen una propuesta de solución para incrementar su madurez tecnológica.

Los principales productos y actividades de esta investigación son

- Dos artículos publicados en revistas indexadas.
- Solicitud de diseño industrial al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

Como trabajo futuro, se considera la manufactura del exoesqueleto ERMIS en su fase de prototipo, pruebas en un entorno relevante. Además, se podrían explorar nuevas estrategias en el diseño de una familia de productos.

Bibliografía

- [1] INEGI, «Estadísticas a propósito del Día Internacional de las Personas con Discapacidades,» 2015. [En línea]. Available: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825090203.pdf. [Último acceso: 29 Abril 2018].
- [2] J. L. Pons, *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeleton*, Chichester: England: Jhon Wiley & Sons, 2008.
- [3] S. Xie, *Advanced Robotics for Medical Rehabilitation*, Springer Tracts in Advanced Robotics, 2016.
- [4] R. A. R. C. Gopura y K. Kiguchi, «Mechanical Designs of Active Upper-Limb Exoskeleton Robots State-of-the-Art and Design Difficulties,» *International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 178-187, 2009.
- [5] R. Gopura, D. Bandara, K. Kiguchi y G. Man, «Developments in hardware systems of active upper-limb exoskeleton robots: A review,» *Robotics and Autonomous Systems*, 2015.
- [6] M. .. M. Morillo, J. .. P. Vega y F. S. Portero, *Manual de Medicina Física*, Madrid, España: : Harcourt Brace, 1998.
- [7] JMGR, «Fisioterapia online,» Cinesiterapia., 2008. [En línea]. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [8] O. FILIP y T. DEACONESCU, «Cutting-Edge Actuating Systems of the Upper Limb Rehabilitation Devices,» *Advances in Production, Automation and Transportation Systems*, pp. 55-59.
- [9] H. Shewe, W. Heipertz y A. Hüter-Becker, *Fisioterapia: Descripción de las técnicas y tratamientos*, España: Paidotribo, 2003.
- [10] C. Lyudmila, N. Suponeva, M. Piradov y A. Klochkov, «Robotic and Mechanotherapeutic Technology to Restore the Functions of the Upper Limbs: Prospects for Development (Review),» *Neuroscience research*, vol. 8, nº 4, pp. 222-230, 2016.
- [11] J. L. P. *Wearable, Robots: Biomechatronic Exoskeleton*, England:: Jhon Wiley & Sons, 2008.
- [12] E. Rocon, J. M. Belda-Lois, A. F. Ruiz, M. Manto, J. C. Moreno y J. L. Pons, «Design and Validation of a Rehabilitation Robotic Exoskeleton for Tremor Assessment and Suppression,» *Neural systems and rehabilitation engineering*, vol. 15, nº 3, pp. 367-378, 2007.
- [13] H. BIAN, W.-W. ZHANG, E.-W. LI y 2. Xiao-Qian WANG1, «The Design of a Hybrid Exoskeleton for Distal Arm Rehabilitation,» *Mechanics Design, Manufacturing and Automation (MDM 2016)*, 2016.
- [14] R. M. Singh y S. Chatterji, «Trends and Challenges in EMG Based Control Scheme of Exoskeleton Robots- A Review,» *Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 3, nº 8, 2012 .
- [15] J. López Soto, N. Toledo Gandarias, P. Jimbert Lacha, M. Herrero Bengoechea y J. Caro Rodríguez, «El diseño industrial y desarrollo de producto,» de *CAD con Solid Edge. Resolución de conjuntos basada en PBL*, UPV/EHU, 2013.
- [16] Oxford Product Design , «What is Product Design? and other FAQs,» [En línea]. Available: <https://www.oxfordproductdesign.com/product-design-faqs/>. [Último acceso: Marzo 2019].

- [17] F. PRODINTEC, Diseño para fabricación y embalaje, Gijon Asturias - España.
- [18] Estr@tegia Magazine Administración, Marketing y Tecnología., «El Ciclo de Vida de los Productos,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.estrategiamagazine.com/administracion/el-ciclo-de-vida-de-los-productos-ciclo-de-exito-ciclo-de-fracaso-lanzamiento-crecimiento-desarrollo-madurez-declinacion-retiro/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [19] I. A. Hernández, «Diseño de dispositivos médicos,» el Hospital, Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.elhospital.com/temas/Diseno-de-dispositivos-medicos+8090832?pagina=1>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [20] Y. He, D. Eguren, T. P. Luu y J. L. Contreras-Vidal, «Risk management and regulations for lower limb Risk management and regulations for lower limb,» *Medical Devices: Evidence and Research*, 2017.
- [21] H. S. Lo y Q. S. Xie, «Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: State of the art and future prospects,» *Medical Engineering & Physics*, vol. 34, nº 3, pp. 261– 268,, 2012.
- [22] D.-Z. Chen y W.-M. Pai, «A Methodology for Conceptual Design of Mechanisms by Parsing Design Specifications,» *Journal of Mechanical Design*, vol. 27, nº 6, pp. 1039-1044, 2005.
- [23] L. A. Z. Avilés, «Propiedad intelectual como herramienta para generar nuevos productos,» de *Primer coloquio de investigación en ingeniería*, Toluca, 2018.
- [24] National Aeronautics and Space Administration - NASA, Technology Readiness Level, 7 Agosto 2017. [En línea]. Available: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html. [Último acceso: Octubre 2108].
- [25] M. J. Ward, S. T. Halliday y J. Foden, «A readiness level approach to manufacturing technology development in the aerospace sector: an industrial approach,» *J. Engineering Manufacture*, vol. 226, 2011.
- [26] M. Fedkin, «Technology readiness levels (TRL) – technical metrics,» College of Earth and Mineral Sciences at The Pennsylvania State University., 2017. [En línea]. Available: <https://www.e-education.psu.edu/eme807/node/557>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [27] B. J. Sauser, J. E. Ramirez-Marquez, D. Henry y D. DiMarzio, «A System Maturity Index for the Systems Engineering Life Cycle,» *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 3, nº 6, 2008.
- [28] R. W. (LowCVP) y J. B. (GKN), «Technology and Manufacturing Readiness Levels [Draft] A Guide to Recognised Stages of Development,» *Automotive Council*.
- [29] R. A. R. C. Gopura, K. Kiguchi y D. S. V. Bandara, «A brief review on upper extremity robotic exoskeleton systems,» *Conference on Industrial and Information Systems*, nº 6, pp. 346 - 351, 2011.
- [30] M. Ashby, H. Shercliff y D. Cebon, *Materials Engineering, Science, Processing and Design*, London: Butterworth-Heinemann, 2007.
- [31] M. Ashby, *Material selection in mechanical design*, Cambridge: Pergamon Press, 1992.
- [32] R. Q. Carrasco, *Manual de usuario del software de selección de materiales CES EduPack y diseño de unas prácticas para la docencia de Ciencia de los Materiales en grado*, Villanova - España, 2011.

- [33] T. GREEN, «Exoskeleton Revolution: From Rigid to Soft to Ultra Soft,» *Robotics Business Review*, Noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.roboticsbusinessreview.com/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [34] B. S. Rupal, S. Rafique, A. Singla, E. Singla, M. Isaksson y G. S. Virk, «Lower-limb exoskeletons: Research trends and regulatory guidelines in medical and non-medical applications,» *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 1, nº 27, 2017.
- [35] POSCO's, «Transforming Lives with Exoskeletons,» *Steel Matters*, Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://newsroom.posco.com/en/transforming-lives-exoskeletons/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [36] L. M. V. Benitez, M. Tabie, NielsWill, S. Schmidt, M. Jordan y E. A. Kirchner, «Exoskeleton Technology in Rehabilitation: Towards an EMG-Based Orthosis System for Upper Limb Neuromotor Rehabilitation,» *Journal of Robotics*, vol. 2013, p. 13, 2013.
- [37] T.-C. Chang, R. A. Wysk y H.-P. Wang, «Design for Manufacturing - Guidelines,» de *Computer-Aided Manufacturing*, Prentice Hall, 1998, pp. 596 - 598.
- [38] M. Weber, «WHAT IS DESIGN FOR MANUFACTURING (DFM)?,» *Mechanica Electrical Electronics Engineers*, Junio 2018. [En línea]. Available: <https://meee-services.com/what-is-design-for-manufacturing-dfm/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [39] J. C. G. VALENCIA, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE VALIDACIÓN PARA EQUIPOS MÉDICO/QUIRÚRGICOS DE MONITOREO Y CONTROL, Antioquia, 2016.
- [40] Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, *Reglamento de insumos para la salud*, México, 1998.
- [41] Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, *Ley general de salud*, México, 1987.
- [42] U.S. Food and Drug Administration, «Medical Devices,» [En línea]. Available: <https://www.fda.gov/>. [Último acceso: Enero 2019].
- [43] B. Enos y M. Swanson, «ISO 13485 - Los cambios que se proponen y lo que significan para usted,» BSI Standards Ltd., México, 2019.
- [44] E. Martinell, «El diseño industrial en el ámbito de los dispositivos médicos,» *Elisava Temes de disseny*, nº 32, pp. 48-55, 2016.
- [45] FDA, *Design control guidance for medical device manufacturers*, 1997.
- [46] ISO, «International Organization for Standardization,» *When the world agrees*, [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standards.html>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [47] T. O. Molina, «MATERIALES,» 2016.
- [48] J. C. Olgún, «Diseño para la manufacturabilidad y desarrollo integral de productos,» Marzo 2002. [En línea]. Available: <https://www.gestiopolis.com/disenio-para-la-manufacturabilidad-y-desarrollo-integral-de-productos/>. [Último acceso: Noviembre 2018].
- [49] B. Birch, E. Haslam, I. Heerah, N. Dechev y E. J. Park, «Design of a continuous passive and active motion device for hand rehabilitation,» *Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2018.
- [50] M. M. Fomashi, M. Troncossi y V. P. Castelli, «Design of a New Hand Exoskeleton for Rehabilitation of Post-Stroke Patients,» *Romansy 19 – Robot Design, Dynamics and Control. CISM International Centre for Mechanical Sciences*, vol. 544, pp. 159-166, 2013.
- [51] F. Ragazzo, «Review on Upper Limb Continuous Passive Motion Devices,» *MATECWeb of Conferences*, 2016.

- [52] T. M. Schnieders y R. T. Stone, «Current Work in the Human-Machine Interface for Ergonomic Intervention with Exoskeletons,» *International Journal of Robotics Applications and Technologies*, vol. 5, nº 1, pp. 1-19, 2017.
- [53] C. A. L. Estrada, Optimización estructural evolutiva de un exoesqueleto de miembros pélvicos, Mexico, 2016.
- [54] A. Sledd y M. K. O'Malley, «Performance Enhancement of a Haptic Arm Exoskeleton,» *Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 375 - 381, 2006.
- [55] N. G. T. a. D. C. Caldwell, «Development and Control of a 'Soft-Actuated' Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training,» *Journal of Autonomous Robots*, 2003.
- [56] G. M. C. Martínez, Generación de trayectorias de un exoesqueleto para rehabilitación de miembros superiores, 2018.
- [57] L. A. Z. Avilés, METODOLOGÍA PARA MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE MANIPULADORES MÓVILES APLICADA EN EL DISEÑO MECATRÓNICO DE UN ROBOT EOD., México, 2012.
- [58] V. Dolga, «Modelling, Simulation and Virtual Instrumentation in Mechatronics,» *Annals of the OREDA UNIVERSITY*, vol. 6, nº 16, pp. 1108-1117, 2007.
- [59] M. Nordin y V. H. Frankel, Biomechanica basica del sistema musculoesqueletico, España: Mc Graw Hill, 2001.
- [60] Universidad complutense de madrid , «Niveles de madurez tecnológica – Technology Readiness Levels (TRLs),» Febrero 2016. [En línea]. Available: https://oficinaeuropea.ucm.es/index.php?option=com_k2&view=item&id=141:niveles-de-madurez-tecnologica-technology-readiness-levels-trl&Itemid=342. [Último acceso: Mayo 2018].
- [61] G. M. Cruz-Martínez, A. H. Vilchis-González, L. A. Zúñiga-Avilés, J. C. Ávila-Vilchis y A. I. Hernández-Sánchez, «Diseño de Exoesqueleto con base en Cuatro Casos de Estudio de Rehabilitación de Miembro Superior,» *Revista mexicana de ingeniería biomédica* , vol. 39, nº 1, Abril 2018.
- [62] A. G. C., «Ortesis miembros superior.,» 2005. [En línea]. Available: "http://www.arcesw.com/o_m_s.pdf" http://www.arcesw.com/o_m_s.pdf .. [Último acceso: Mayo 2018].
- [63] K. K. Y. L. S.-7. Gopura RARC, «A 7-DOF Upper-Limb Exoskeleton Robot with Muscle-Model-Oriented EMG-Based Control,» *In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2009)*, pp. 11–15,, 2009.
- [64] O. Sandoval-González, I. Herrera-Aguilar, J. M. Jacinto-Villegas, C. Daza-Merino y J. R. P. Cortes, «Diseño e implementación de un sistema robótico de posicionamiento espacial con retroalimentación háptica aplicado a rehabilitación, transferencia de habilidades e interacción humano-computadora.,» de *IX Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*, Cuernavaca Morelos, México, 2011.
- [65] y. S. y. J. C. P. O. L. A. Zúñiga Aviles, «Systematic Analysis of an IEED Unit based in a New Methodology for M&S,» *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 7, 2010.
- [66] P. A. Gómez, M. D. Rodríguez y V. Amela, «Diseño de Dispositivo Robótico para la Rehabilitación y Diagnóstico de Extremidades Inferiores.,» de *Diseño de Dispositivos para Rehabilitación y Órtesis*, 2017, pp. 15-42.

- [67] F. S. M.A. Peiró, «Tratamiento rehabilitador de los procesos traumáticos del miembro superior,» de *Cirugía menor y procedimientos en medicina de familia*, JARPYO, 2006, pp. 1627 - 1638.
- [68] Knowledge Valley, «Bancos de prueba y análisis,» [En línea]. Available: <http://kv2001.com/pruebas.aspx>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [69] Bosch Rexroth, «Bancos de pruebas,» Bosch, 2014. [En línea]. Available: <https://www.boschrexroth.com/es/ar/industrias/aplicaciones-e-ingenieria-de-maquinaría/bancos-de-pruebas/testing-technology-3>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [70] D. & A.-M. M. & L.-G. E. Sosa-Méndez, «Diseño de un Prototipo de Exoesqueleto para Rehabilitación del Hombro,» *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, pp. 330-342, 2017.
- [71] J. W. Robinson, D. J. H. Levack, R. E. Rhodes y T. Chen, «The Need for Technology Maturity of Any Advanced Capability to Achieve Better Life Cycle Cost (LCC),» *45th AIAA/ASME/JSAE/JASEE Joint Pmpulsion Conference*, Agosto 2009.
- [72] M. D. Macías y A. G. Miranda, «Generalidades de la cinesiterapia,» *Medicina de Rehabilitación BIOMECÁNICA*, 2018.
- [73] J. W. Robinson, D. J. H. Levack, R. E. Rhodes y T. Chen, «The Need for Technology Maturity of Any Advanced Capability to Achieve Better Life Cycle Cost (LCC),» *45th AIAA/ASME/JSAE/JASEE Joint Pmpulsion Conference*, Agosto 2009.
- [74] H. S. Lo y S. Q. Xie, «Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: State of the art and future prospects,» *Medical Engineering & Physics*, vol. 34, p. 261– 268, 2012.
- [75] R. O. Yasielski, «Conocimiento, Tecnología y Productos Madurez tecnológica e Ingeniería concurrente».
- [76] C. Fredriksson, «Facilitating the Teaching of Product Development,» de *American Society for Engineering Education*, Indianapolis, 2014.
- [77] K. Behdinan, M. Fahimian y R. Pop-Iliev, «A Tool for Systematically Accessing the Level of Readiness of Engineering Design in Product Development,» *Canadian Engineering Education Association (CEEA17)*, Junio 2017.
- [78] M. Suarez-Escobar, J. A. Galleg-Sanchez y E. Rendon-Velez, «Mechanisms for linkage-driven underactuated hand exoskeletons: conceptual design including anatomical and mechanical specifications,» *J Interact Des Manuf*, 2016.
- [79] J. M. I. d. A. Quintana, «NIVELES DE MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA TECHNOLOGY READINESS LEVELS.TRLS. Una Introduccion».
- [80] H. Millán, «Escala de madurez TRL, IRL y modelo de negocio CANVAS,» *SECRETARIA DE ECONOMIA - CONACYT FIT 2015*, 2015.
- [81] D. Kara, «Industrial exoskeletons arrive, more to come,» Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.therobotreport.com/industrial-exoskeletons-arrive/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [82] A. Sirinterlikci y I. Swink, «3D Printing Orthotic and Prosthetic Devices,» *Advanced Manufacturing Media - SME*, Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.sme.org/MEMagazine/Article.aspx?id=8589935763&taxid=1426>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [83] P. D. E. Baniqued, R. G. Baldovino y N. T. Bugtai, «Design Considerations in Manufacturing Cost-Effective Robotic Exoskeletons for Upper Extremity Rehabilitation,» *International*


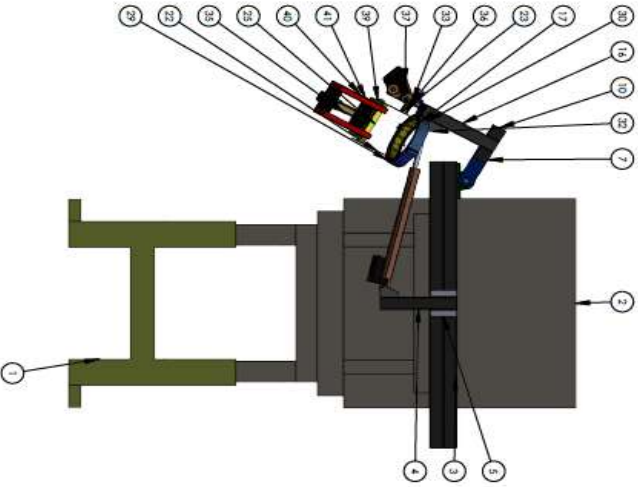
Conference Humanoid, Nanotechnology, Information Technology Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2015.

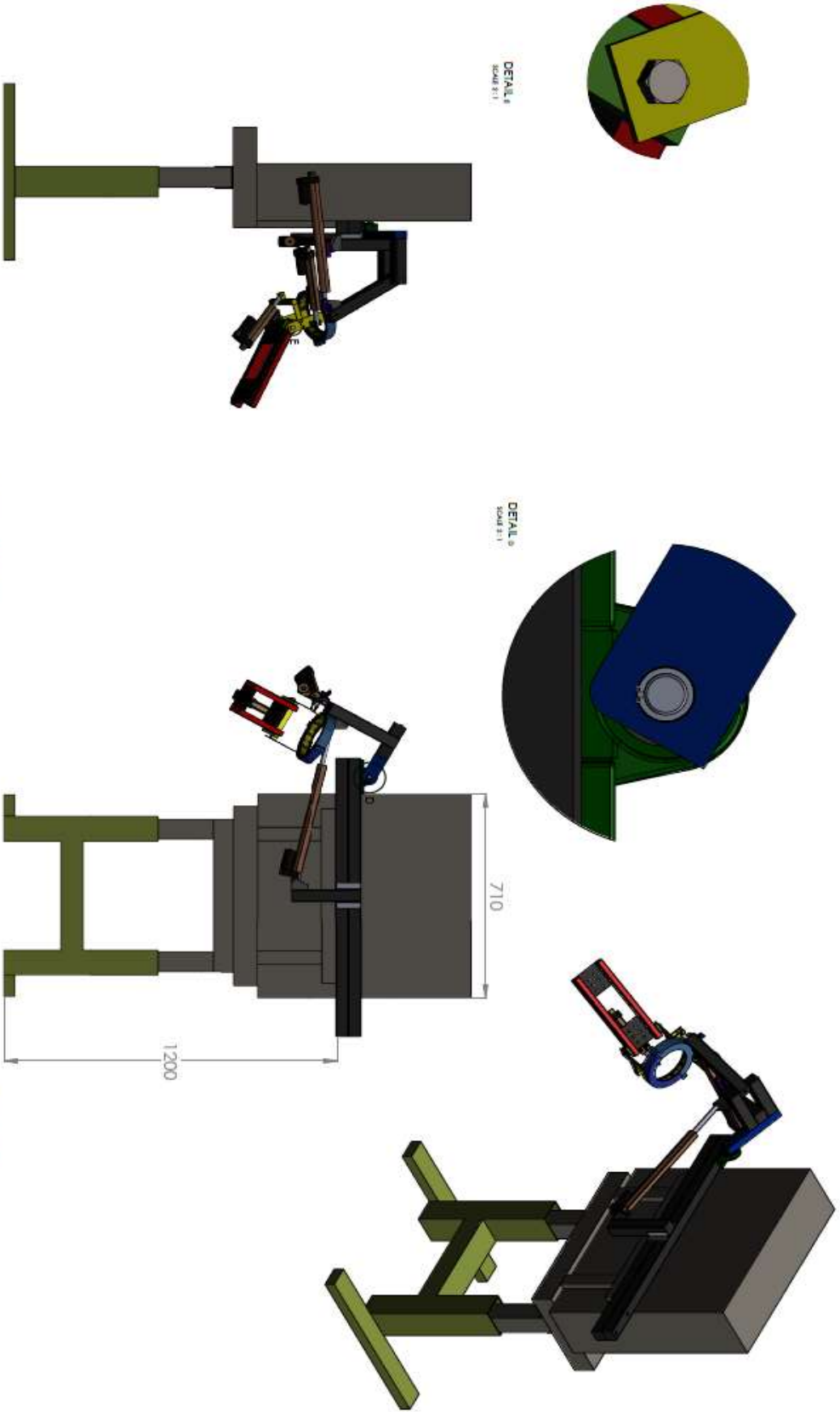
- [84] P. D. E. Baniqued, R. G. Baldovino y N. T. Bugtai, «Design Considerations in Manufacturing Cost-Effective Robotic Exoskeletons for Upper Extremity Rehabilitation,» *International Conference Humanoid, Nanotechnology, Information Technology Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), 2015.*
- [85] Organización Mundial de la Salud , «Discapacidades y rehabilitación,» [En línea]. Available: <https://www.who.int/disabilities/es/>. [Último acceso: Junio 2019].
- [86] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), «La discapacidad en México, datos al 2014,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094409>. [Último acceso: Enero 2020].
- [87] S. Xie, *Advanced Robotics for Medical Rehabilitation*, Springer International Publishing, 2016.
- [88] I. d. S. P. d. Chile, «Ciclo de Vida de un Dispositivo Médico,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.ispch.cl>. [Último acceso: Enero 2019].

Apéndice A

Planos de ingeniería y lista identada

Los números del plano son los mismos mostrados en la lista identada.

UAEMex Facultad de Ingeniería Dinámica de Sistemas y Control				NOMBRE DE PROYECTO: EXOSQUELETO PARA MIEMBROS SUPERIORES (ERMIS)	NOMBRE DEL INGENIERO: CONUNTO MECÁNICO - SISTEMA HOMBRO	TIPO DE PLANO: <input checked="" type="checkbox"/> ENSAMBLE <input type="checkbox"/> SEPARACIONADO <input type="checkbox"/> FAMILIAR	No. STRIPADO No. STRIPADO/INSTRUMENTAL No. STRIPADO No. STRIPADO	1-10 1-1 1
EFECTUACIONES DE INGENIERIA MATERIAL: ACERO INOXIDABLE/ ALUMINIO DUREZA: DENSIDAD: CARGA LIMITE DE FALGASE: CAPACIDAD DE CARGA ESTADICA: RESISTENCIA A LA TRACCION: TRATAMIENTO SUPERFICIAL:		PROCESO DE FABRICACION: CARACTERISTICA DINAMICA: OBSERVACIONES:		FECHA USUAL DE REVISION:				
DISEÑO JEFE DE PROYECTO: José Luis Medina Vadda		JEFE DE LA FABRICA No. 80 Dr. Adson Zúñiga		9700 de Vadda lo 2000 de Volante de zinc Angulo: 2.7°		NOMBRE DE LA PIEZA: ENSAMBLE HOMBRO		
No. DISEÑO: UAEM-FI-100 160		No. DISEÑO: ERMIS-01-M.160				ESCALA: 2:1 ACCIONES: mm		
No. DEBIL: 1 DE 1		No. DEBIL: 1 DE 1		TAMAÑO: A				



Especificaciones de Ingeniería		Fecha última de revisión:	
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE/ ALUMINIO	PROCESO DE FABRICACIÓN:	
DISEÑO:		CONFECCIÓN GRÁFICA:	
DIBUJA:		OBSERVACIONES:	
CARGA LÍMITE DE FLEXIÓN:			
CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA:			
RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN:			
TRATAMIENTO SUPERFICIAL:			

DISEÑO	JEFE DE LA FABRICA	3 no se indica lo contrario las tolerancias son Angular: 2.2°
USER DE PROYECTO	Dr. Adilson Zaniga	
João Luis Medina Voldes		

NOMBRE DE LA PIEZA: ENSAMBLE HOMBRO		Nº. DISEÑO: ERMIS-01-M.160
Nº. IDENT: UAEM-FI-100.160	ESCALA: 2:1	ACCIÓNES: mm
	NO. DE 1 DE 1	TAMBO: A

Lista identada "Exoesqueleto ERMIS "						
No.	Descripción	No. de piezas	No. de diseño	No. de identidad	Material	Materia prima
1	Carro inferior	1	ERMIS.01-S.030	UAEM-FI-100030	Estándar	Acero laminado
2	Carro superior	1	ERMIS.01-S.035	UAEM-FI-100035	Estándar	Acero laminado
3	Perfil de soporte (horizontal)	2	ERMIS.01-S.040	UAEM-FI-100040	Estándar	Aluminio estructural
4	Perfil de soporte (vertical)	1	ERMIS.01-S.045	UAEM-FI-100045	Estándar	Aluminio estructural
5	Angulo union de perfil soportes	1	ERMIS.01-S.050	UAEM-FI-100050	Metal	Aluminio estructural
6	Barra lineal hombro	1	ERMIS.01-S.055	UAEM-FI-100055	Estándar	Aluminio estructural
7	Chumaceras	1	ERMIS.01-S.060	UAEM-FI-100060	Estándar	Acero
8	Buje eje hombro	1	ERMIS.01-S.065	UAEM-FI-100065	Estándar	Nylamid
9	Eje movimiento hombro	1	ERMIS.01-S.070	UAEM-FI-100070	Estándar	Acero estructural
10	Anillo sujecion de eje	1	ERMIS.01-S.075	UAEM-FI-100075	Estándar	Acero estructural
11	Soporte de actuador	1	ERMIS.01-S.080	UAEM-FI-100080	Estándar	Aluminio estructural
12	Anillo sujecion de eje 2	1	ERMIS.01-S.085	UAEM-FI-100085	Estándar	Acero estructural
13	Eje movimiento hombro - solera	1	ERMIS.01-S.090	UAEM-FI-100090	Estándar	Acero estructural
14	Buje de hombro 2	1	ERMIS.01-S.095	UAEM-FI-100095	Estándar	Nylamid
15	Barra vertical de hombro - soporte actuadores	1	ERMIS.01-S.100	UAEM-FI-100100	Estándar	Aluminio estructural
16	Barra vertical de hombro	1	ERMIS.01-S.105	UAEM-FI-100105	Metal	Aluminio estructural
17	Soporte anillo con junta deslizante	1	ERMIS.01-S.110	UAEM-FI-100110	Estándar	Aluminio estructural
18	Tornillo para soporte de chumacera M12	2	ERMIS.01-S.115	UAEM-FI-100115	Estándar	Aleacion de acero
19	Tornillo para solera M9	2	ERMIS.01-S.120	UAEM-FI-100120	Estándar	Aleacion de acero
20	Tornillo para soporte hombro M20	1	ERMIS.01-S.125	UAEM-FI-100125	Estándar	Aleacion de acero
21	Soporte lateral de actuador	1	ERMIS.01-S.130	UAEM-FI-100130	Metal	Aluminio estructural
22	Tornillo para soporte de actuador M8	6	ERMIS.01-S.135	UAEM-FI-100135	Estándar	Aleacion de acero
23	Complemento anillo con junta deslizante	1	ERMIS.01-S.140	UAEM-FI-100140	Metal	Acero
24	Rodamientos radiales	1	ERMIS.01-S.145	UAEM-FI-100145	Estándar	Acero
25	Carril solera	1	ERMIS.01-S.150	UAEM-FI-100150	Metal	Acero
26	Soporte de actuador	2	ERMIS.01-S.155	UAEM-FI-100155	Metal	Aluminio estructural
27	Soporte lateral actuador	2	ERMIS.01-S.160	UAEM-FI-100160	Metal	Aluminio estructural
28	Barra soporte brazo	2	ERMIS.01-S.165	UAEM-FI-100165	Metal	Aluminio estructural
29	Union de barras soporte brazo	1	ERMIS.01-S.170	UAEM-FI-100170	Metal	Acero
30	Barra muñeca atrás	1	ERMIS.01-S.175	UAEM-FI-100175	Metal	Acero
31	Tornillo para soporte de actuador M8	14	ERMIS.01-S.180	UAEM-FI-100180	Estándar	Aleacion de acero
32	Tornillo para soporte de carril solera M17	2	ERMIS.01-S.185	UAEM-FI-100185	Estándar	Aleacion de acero
33	Nodo de union barras muñeca	4	ERMIS.01-S.190	UAEM-FI-100190	Plastico	ABS
34	Soporte de actuador	1	ERMIS.01-S.195	UAEM-FI-100195	Metal	Aluminio estructural
35	Barra soporte horizontal	4	ERMIS.01-S.200	UAEM-FI-100200	Metal	Aluminio estructural
36	Barra soporte vertical	4	ERMIS.01-S.205	UAEM-FI-100205	Metal	Aluminio estructural
38	Eje horquilla - union brazo muñeca	2	ERMIS.01-S.210	UAEM-FI-100210	Estándar	Acero estructural
39	Eje acople corredera	2	ERMIS.01-S.215	UAEM-FI-100215	Estándar	Acero estructural
49	Actuador lineal L400 350 mm	2	ERMIS.01-S.220	UAEM-FI-100220	Estándar	
50	Actuador lineal LA10E 150 mm	1	ERMIS.01-S.225	UAEM-FI-100225	Estándar	
51	Actuador lineal LA10E 350 mm	1	ERMIS.01-S.230	UAEM-FI-100230	Estándar	

Apéndice B

Patente 60497

REPRESENTACIÓN DE LA SOLICITUD DE REGISTRO DE DISEÑO INDUSTRIAL ENVIADA A TRAVÉS DEL PORTAL DE ACCESO A SERVICIOS ELECTRÓNICOS (PASE).

Homoclave del formato	Folio
IMPI-00-009	Folio: MX/E/2019/080149

Fecha de publicación en el DOF	Fecha de solicitud del trámite
24 05 2018	25 11 2019

Datos generales de la solicitud

<input type="radio"/> Solicitud de Patente <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad <input checked="" type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial Especifique cual: <input checked="" type="radio"/> Modelo Industrial <input type="radio"/> Dibujo Industrial	Expediente: MX/f/2019/003273 ID Solicitud: 19568 Fecha: 25/11/2019 09:19:39
---	---

Datos del (de los) solicitante(s)

Personas físicas
CURP:
Nombre(s):
Primer apellido:
Segundo apellido:
Nacionalidad:
Teléfono (Lada, Número, Extensión):
Correo electrónico:
<input type="radio"/> Continúa en anexo

Personas morales
RFC:
Denominación o razón social: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
Nacionalidad: MÉXICO
Teléfono (Lada, Número, Extensión):
Correo electrónico: innovacion.uaem@gmail.com
<input checked="" type="radio"/> Continúa en anexo

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Domicilio del (de los) solicitante(s)

Código postal: 50000

Calle: INSTITUTO LITERARIO OTE.

Número exterior: 100

Número interior:

Colonia: CENTRO

Municipio o delegación: TOLUCA

Localidad:

Estado o entidad federativa: ESTADO DE MÉXICO

Entre calles:

País: MÉXICO

Datos del (de los) inventor(es) /diseñador(es)

CURP:

Nombre(s): José Luis

Primer apellido: MEDINA

Segundo apellido: VALDÉS

Nacionalidad: MÉXICO

Teléfono (Lada, Número, Extensión):

Correo electrónico:

 Continúa en anexo

Domicilio del (de los) inventor(es)/diseñador(es)

Código postal: 50900

Calle: SIN NOMBRE

Número exterior: S/N

Número interior:

Colonia:

Municipio o delegación: ALMOLOYA DE JUÁREZ

Localidad:

Estado o entidad federativa: ESTADO DE MÉXICO

Entre calles:

País: MÉXICO

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Datos del (de los) apoderado(s)

CURP: RAGR481230HMCMLG02	RGP:
Nombre(s): Rogerio	Personas autorizadas para oír/recibir notificaciones: Maria Del Rosario VILCHIS BERNAL
Primer apellido: RAMIREZ	
Segundo apellido: GIL	
Nacionalidad: MÉXICO	
Teléfono (Lada, Número, Extensión):	
Correo electrónico: innovacion.uaem@gmail.com	<input type="radio"/> Continúa en anexo

Domicilio del (de los) apoderado(s)

Código postal: 50000	
Calle: INSTITUTO LITERARIO OTE.	
Número exterior: 100	Número interior:
Colonia: CENTRO	
Municipio o delegación: TOLUCA	Localidad:
Estado o entidad federativa: ESTADO DE MÉXICO	Entre calles:
País: MÉXICO	

Datos de la Solicitud

Denominación o título de la invención: MODELO INDUSTRIAL DE DISPOSITIVO PARA MEDICIÓN DE POSICIÓN
Fecha divulgación previa:

Divisional de la solicitud

Fecha presentación:
Número:
Figura jurídica:

Prioridad Reclamada

País:	Fecha de Presentación:	Número de Serie:

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Observaciones

Bajo protesta de decir verdad, el firmante manifiesta que los datos asentados en esta solicitud son ciertos y que en caso de actuar como mandatario, cuenta con facultades para llevar a cabo el presente trámite.



Cadena Original

ROGERIO RAMIREZ GIL|CURP|RAGR481230HMCMLG02|RENAPO|25/11/2019 09:19:25|1000537|20| Documento_Firma_Electronica.pdf|2976.11 KB|d8/CtKy6EozruL98kNcanxmEZVY=|000019568|DISEÑO INDUSTRIAL|Modelo Industrial |DE DISPOSITIVO PARA MEDICIÓN DE POSICIÓN|UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO| MORAL|José Luis MEDINA VALDÉS|Rogelio RAMIREZ GIL|RAGR481230HMCMLG02|

Sello Digital

aQST9zzTcH+YLRlo3uoB6qkB4z8xFSYuQ7NSdfoaqU4=

Anexo(s)

Hoja anexa a la solicitud ID: 19568

De Fecha: 25/11/2019 09:19:39

Lista Inventores/Diseñadores

Inventor/Diseñador 2

- Nombre: Luis Adrián ZÚÑIGA AVILÉS
- CURP:
- Nacionalidad: MÉXICO
- Domicilio: Calle REFORMA, Ext. 21, C. P. 50280
- Población, Estado y País: CALIXTLAHUACA, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

Inventor/Diseñador 3

- Nombre: Giorgio Mackenzie CRUZ MARTÍNEZ
- CURP:
- Nacionalidad: MÉXICO
- Domicilio: Calle SIERRA PARACAIMA, Ext. 311, Col. VALLE DON CAMILO, C. P. 50140
- Población, Estado y País: TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

Inventor/Diseñador 4

- Nombre: Adriana Herlinda VILCHIS GONZÁLEZ
- CURP:
- Nacionalidad: MÉXICO
- Domicilio: Calle RAFAEL GARCÍA MORENO, Ext. 109, Col. CUAUHTÉMOC, C. P. 50130
- Población, Estado y País: TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Total de Diseños Manifestados

- Número de Diseños : 1