



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MÉXICO



FACULTAD DE MEDICINA  
LICENCIATURA EN BIOINGENIERÍA MÉDICA  
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN PROFESIONAL

“EXOSEP: SISTEMA DE ENERGÍA MODULAR PARA LA  
DISTRIBUCIÓN Y PORTABILIDAD DEL ARNÉS ACOPLADO AL  
EXOESQUELETO ERMIS”

**REPORTE DE RESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN**  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN BIOINGENIERA  
MÉDICA

PRESENTA:  
NANCY YAÑES MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. EN C. Y. T LUIS ADRIÁN ZÚÑIGA AVILÉS  
ASESORES:  
M. EN C. CLAUDIA IVETTE LEDESMA RAMIREZ  
DR, EN C. JOSÉ JAVIER REYES LAGOS

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO 2020

## INDICE

I.	DURACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL CARGO DESEMPEÑADO .....	4
II.	ANTECEDENTES DE LA TEMÁTICA.....	5
2.1	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1.1	Significado y partes de un sistema de energía .....	5
2.1.2	Estación de energía.....	6
2.1.3	Líneas de transmisión .....	8
2.1.4	Distribución de las líneas de transmisión eléctrica.....	11
2.1.5	Exoesqueletos en rehabilitación.....	12
2.1.6	Normatividad.....	14
2.1.7	Niveles de maduración tecnológica ( <i>Technology Readiness Level</i> ) 17	
2.2	ANTECEDENTES .....	19
2.3	ESTADO DEL ARTE .....	22
2.3.1	Arnés de cable en la actualidad .....	22
2.3.2	Distribución del arnés de cable <i>DressPack</i> .....	28
III.	IMPORTANCIA DEL PROBLEMA .....	32
3.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	32
3.2	JUSTIFICACIÓN .....	33
IV.	OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	35
4.1	GENERAL: .....	35
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	35
V.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	37
5.1	Análisis patentométrico .....	37
5.1.1	Enfoque estructural.....	38
5.1.2	Enfoque global .....	39
5.2	Diseño de diagramas de flujo y máquina de estado finito. ....	40
5.3	Diseño del sistema de energía EXOSEP .....	41
5.3.1	Fuente de alimentación.....	41
5.3.2	Arnés (Acoplamiento cinemático) .....	41
5.3.3	Carcasas y Anclajes .....	42
5.3.4	Panel de control .....	43
VI.	INFORME DE ACTIVIDADES .....	45
6.1	Análisis Patentométrico.....	45
6.2	Recopilación de la información disponible acerca del caso de estudio ERMIS.....	47
6.2.1	Primer diagrama de flujo.....	50

6.2.2	Segundo diagrama de flujo .....	56
6.3	Creación de la metodología.....	58
6.4	Diseño del arnés .....	62
6.4.1	Análisis del primer sistema de energía que tiene ERMIS:.....	62
6.4.2	Posibles opciones de caminos que puede tomar el arnés.....	65
6.4.3	Opciones de arnés combinando las diferentes opciones de módulos 75	
6.4.4	Evaluación de las opciones de arneses.....	83
6.4.5	Simulación del camino seleccionado.....	84
6.4.6	Cambio del arnés de cable anterior a la nueva propuesta .....	88
6.4.7	Cambios en el panel de control .....	93
6.5	Diseño de propuestas del modelado de carcasas.....	96
VII	Competencias y aprendizajes adquiridos .....	112
VIII	Resultados .....	114
8.1	Análisis Patentométrico.....	114
8.1.1	Enfoque estructural .....	114
8.1.2	Enfoque global.....	120
8.2	Máquina de estados finitos (MEF).....	125
8.3	EXOSEP (Sistema de energía para exoesqueletos portátil) .....	128
8.3.1	Arnés de cable.....	128
8.3.2	Modelado de las propuestas de las carcasas.....	131
8.4	Conclusiones .....	157
IX	REFERENCIAS.....	159
ANEXO A.....		171
	Bloques ocultos .....	172
ANEXO B.....		175

## I. DURACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL CARGO DESEMPEÑADO

En el periodo que corresponde del 1º de febrero del 2019 al 31 de enero 2020, realicé mi servicio social en el Programa Universitario de Investigación que se llevó a cabo en el laboratorio de Robótica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México. En donde participé en el desarrollo del proyecto titulado “Estudio para el perfeccionamiento y calibración de las variables de operación de un Exoesqueleto con base en un nuevo enfoque terapéutico”, derivado de la convocatoria PRODEP 2018 “Apoyo a la Incorporación de PTC” CONVENIO 511-6/18-8981; en este proyecto participé en el desarrollo de un sistema de energía para exoesqueleto portátil nombrado EXOSEP; el cual se aplicó en el exoesqueleto de rehabilitación para miembro superior nombrado “Exoesqueleto para rehabilitación de miembros superiores (ERMIS)”, con la finalidad de aumentar su nivel de madurez tecnológica.

## II. ANTECEDENTES DE LA TEMÁTICA

Este capítulo está dividido en tres subcapítulos, el primer subcapítulo es el marco teórico, en el que se definieron los conceptos que se utilizaron para describir a los sistemas de energía; además se ubica el trabajo dentro del contexto de los exoesqueletos; y se definieron los niveles de maduración tecnológica. El segundo subcapítulo se refiere a los antecedentes, en los cuales se describen los trabajos desarrollados previamente al sistema de energía, que son la idea de un exoesqueleto para rehabilitación pasiva y el desarrollo del exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior “ERMIS”. Por último, el tercer subcapítulo es el estado del arte, en donde se describen los trabajos que se han desarrollado sobre sistemas de energía, los cuales se tomaron como referencia para el diseño de EXOSEP.

### 2.1 MARCO TEÓRICO

En este apartado se definen conceptos que se usan al hacer referencia de los sistemas de energía, desde su significado hasta la descripción de las partes que lo integran; además de definir el contexto en el que el sistema de energía va a actuar, que es en exoesqueletos para rehabilitación. Por otra parte, se incluye la normatividad en la que se rige el sistema de energía con respecto al ámbito médico en el que se desenvuelve el exoesqueleto ERMIS.

#### 2.1.1 Significado y partes de un sistema de energía

Un sistema de energía es un “conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica, dotado de mecanismos de control, seguridad y protección” [1], el cual consiste esencialmente en tres componentes principales (Figura 1): la estación de energía (representa donde la energía eléctrica es producida), las líneas de transmisión (la manera en la que se va enviar la energía) y la distribución del sistema (representa la forma en la que se van a distribuir las líneas de transmisión y la estación de energía) [2]; los cuales son puntos esenciales para el diseño y construcción de cualquier sistema de energía.

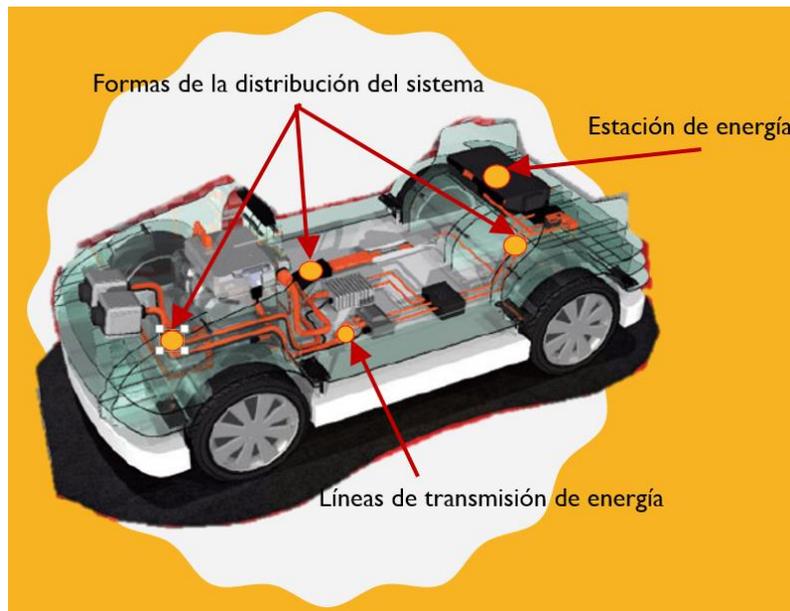


Figura 1. Partes del sistema de energía. Modificado de [3].

### 2.1.2 Estación de energía

La estación de energía depende del dispositivo que se va a alimentar, los tres tipos básicos de suministro de energía son eléctrica, hidráulica y neumática; una de las formas de alimentación energética es el empleo de baterías, que se clasifican en dos tipos: **recargables y no recargables** [4].

Anteriormente para cumplir con la transmisión de energía se creaban los sistemas de potencia centralizada, en los cuales todo el procesamiento de potencia se realizaba en una fuente de alimentación voluminosa **que proporcionaba la tensión final requerida por la carga** [2]; por lo que, actualmente se desarrolló el DPS (por sus iniciales en inglés *Distributed Power System*), **el cual se caracteriza por la distribución de las funciones de procesamiento de potencia entre muchas unidades** (PPU por sus iniciales en inglés *Power Proccesing Unit*) [2]; de las cuales se pueden identificar estructuras básicas:

- Paralelización (**sistema de suministro de potencia modular**), en esta configuración los módulos se pueden ubicar centralmente y se pueden usar módulos paralelos para los convertidores de carga frontal. Teniendo las siguientes características: gestión térmica,

fiabilidad, redundancia, modularidad, mantenibilidad y reducción del tamaño [2].

- Cascada: en la cual se conectan los procesadores de potencia para introducir un bus intermedio; este diseño está enfocado en la regulación de punto de carga, la eficiencia de distribución, la simplificación del arnés de bus y el manejo de variaciones de líneas anchas [2].
- División de la fuente de energía: permite el uso de fuentes separadas para suministrar una carga común, por lo que se asocia al respaldo de batería, fases separadas y múltiples buses (para la distribución de energía y el uso de convertidores de carga) [2].
- División de carga: los convertidores se utilizan para suministrar diferentes cargas, por medio de un bus intermedio equipado con un convertidor separado para la tensión, con un regulador por la independencia del bus, dos convertidores de carga para minimizar el ruido entre dos cargas, y una copia de seguridad de batería selectiva [2].
- Apilado de PPU: permite combinar las salidas individuales para obtener voltajes de suministro diferentes al voltaje nominal de cada PPU. **Existen dos configuraciones: de alto voltaje (suma de los voltajes nominales) y de muy bajo voltaje (diferentes entre los voltajes de las PPU individuales) [2].**

De acuerdo a los diferentes sistemas para el suministro de energía se deben tener una serie de concesiones, **relacionadas con el voltaje** del bus de distribución, la optimización de carga, la entrada y la integración del sistema [2]:

- Selección de voltaje de bus, donde se debe evaluar el nivel de voltaje y el grado de regulación de la tensión del bus.
- Nivel de potencia, debe ser lo suficientemente alto para reducir las corrientes de distribución de niveles aceptables (mayor voltaje, mayor potencia).

- Consideraciones de seguridad, voltaje del bus por debajo de 60V CD (corriente directa) y una tensión de bus por debajo de 32V.
- Requisito de respaldo de batería: el voltaje del bus debe ser compatible con el voltaje de la batería.
- PPU frontal debe tener las siguientes funciones: rectificación y filtrado de línea, corrección de factor de potencia y reducción de armónicos de corriente de línea de entrada, conversión CD/CD y almacenamiento de energía.
- Convertidores de carga en paralelo o en cascada.

### 2.1.3 Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión son conocidas como arnés de cable, que “es el ensamblaje de cables o grupo de cables utilizados para transmitir energía eléctrica a la unidad eléctrica del receptor”, **estos cables se unen mediante correas o aletas [5]**. Este tipo de arnés se puede ver de forma homóloga a los nervios o a la sangre del cuerpo, ya que este es el que vincula a los dispositivos electrónicos entre sí [3]; por lo que los cables deben agruparse y disponerse de manera que puedan adaptarse a la forma del dispositivo y acomodarse sin ser **visibles**. Su principal función es suministrar energía desde la batería hasta los dispositivos eléctricos, además de transmitir información (visual, auditiva) o señales de control, dependiendo de la función del equipo al que este sujeto el arnés.

#### 2.1.3.1 Partes del sistema de cableado eléctrico

La instalación del cableado eléctrico está conformada por [6]:

- Cableado abierto, es cualquier cable, o conjunto de cables no encerrados en un conducto, que ofrece ventajas de facilidad de mantenimiento y reducción de peso [7].
- Grupo de cables, dos o más cables en la misma ubicación.
- Conjunto de cables, dos o más grupo de cables unidos entre sí que van en la misma dirección en el punto donde se ubica la atadura.

- Cable protegido, es el que incluye un circuito de protección contra sobrecargas, fusibles u otros dispositivos limitadores.
- Cable sin protección.

Las consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento de instalar el cableado son [7]:

- El cableado debe instalarse con suficiente holgura.
- Cuando el arnés esté **conectado a una** parte móvil debe tener suficiente longitud para permitir el recorrido sin tensión.
- Los cables no deben exceder la **deflexión de** media pulgada entre los puntos de soporte, esta medición puede **excederse si el grupo** de cables no toca una superficie que pueda causar abrasión.
- Debe permitir el remplazo y facilidad de mantenimiento.
- El empalme del cable eléctrico debe mantenerse al mínimo y evitar los lugares sujetos a vibraciones extremas.
- Debe tener un radio de curva no menor a 10 veces el diámetro exterior del cable o más grande.

### 2.1.3.2 Reglas de enrutamiento

En el montaje del enrutamiento del arnés de cable es indispensable tomar en cuenta las siguientes reglas mientras aplique al equipo para el cual fue diseñado, aplicándose normalmente en la industria automovilística y aeronáutica [8]:

1. Evaluación de daños: cada EWIS (*Electrical Wiring Interconnection System*) representa los factores que pueden degradar el sistema de interconexión del cableado eléctrico, los cuales deben diseñarse e instalarse con una separación física de otros EWIS, de tal forma que la falla de un componente no cree una condición peligrosa.
2. Cumplimiento de Interferencia Electromagnética (EMI por sus siglas en inglés *Electromagnetic Interference*): cada EWIS se debe diseñar e instalarse de modo que cualquier interferencia que pueda presentarse no produzca efectos peligrosos **sobre el** sistema. Por lo que se deben consultar las siguientes fuentes de EMI: **ruido eléctrico, acoplamiento**

**eléctrico entre cables, corriente parasitaria, voltaje parasitario en EWIS**, la tierra, corriente de rayo y descarga eléctrica.

3. Cables de corriente pesada: los cables y alambres que transporten una gran corriente y sus componentes EWIS asociados deben diseñarse e instalarse para garantizar una separación física y un aislamiento eléctrico adecuado.
4. **Conexión de tierra y separación de potencia: la fuente de alimentación eléctrica independiente no debe compartir una tierra común, porque de esta manera, al separarlas, la falla de algún punto de conexión a tierra no daña ni desestabiliza el sistema. En el manejo del aislamiento de potencia se debe considerar el aspecto físico (análisis de causas y evaluación de daños potenciales) y funcional (que la falla de una fuente de alimentación no afecte a otras fuentes).**
5. Guía de separación de componentes: proporciona una conexión eléctrica a los componentes de los sistemas de combustible / hidráulico / oxígeno / residuos. El EWIS debe instalarse de manera que estén por encima de los componentes que transporten líquidos y oxígeno, lo que minimiza la probabilidad de contaminación por fluidos. Por otra parte, el cableado debe tener la máxima separación posible de todas las líneas que transportan fluido, separación positiva 0.5 pulgadas. En el caso del cable de control, debe existir una separación física adecuada con respecto al cable de **potencia para evitar** rozaduras, y de ocurrir una falla del componente EWIS, no se produzca una condición peligrosa. Algunos ejemplos de condiciones que **producen falla** son: arcos eléctricos que dañen o destruyan todos los cables, daño y **pérdida** de funcionalidad de un cable central o de varios, daños a sistemas cercanos o material fundido expulsado.

#### 2.1.3.3 Consideraciones técnicas del cableado y factores de degradación

Es necesario tomar en cuenta que los alambres y paquetes eléctricos se deben instalar en paralelo o en ángulo recto, sin embargo, existe una excepción que son los cables coaxiales; también se debe proporcionar un número suficiente de soportes como abrazaderas para evitar la vibración no deseada [6]. Por otro lado, existen factores que provocan la degradación de los cables como son [6, 9]:

diseño, mantenimiento, reparaciones, instalación, ambiente, abuso, tiempo, acumulación de suciedad y pelusas que crea un potencial para el humo y el fuego, por lo que al momento del montaje y diseño del arnés no sólo se debe tomar en cuenta que se acople al dispositivo, **sino también cómo va a influir sobre las actividades** que realiza el dispositivo así **como en los** factores externos e internos (EWIS y EMI) a los que está expuesto el arnés de cable.

#### 2.1.4 Distribución de las líneas de transmisión eléctrica

La distribución de las líneas de transmisión eléctrica puede ser de forma externa mediante paquetes energéticos conocidos como “*DressPack*”, los cuales se definen como “**un paquete de utilidad que se utiliza para aportar al manipulador los medios necesarios para nuevas aplicaciones**” [10], el cual está conformado, por elementos de soporte individuales para paquetes energéticos de montaje y de guía, sistemas de acoplamiento y conexión, conectores, tubos, cable (arnés de cable) [11]; que permiten el desarrollo de un conjunto de diversas configuraciones, **diseñadas** para diferentes aplicaciones que se pueden observar en la Figura 2 [10]:

- Tipo H: para manejo de materiales.
- Tipo S: para aplicaciones de soldadura por puntos con pistola neumática de transformación movida por el manipulador.
- Tipo HS: para aplicaciones de soldadura por puntos con pistola neumática de transformación fija a una base.
- Tipo Se: para aplicaciones de soldadura por puntos con pistola de transformación eléctrica con servo movida por el manipulador.
- Tipo HSe: para aplicaciones de soldadura por puntos con pistola de transformación eléctrica con servo fijada a una base.

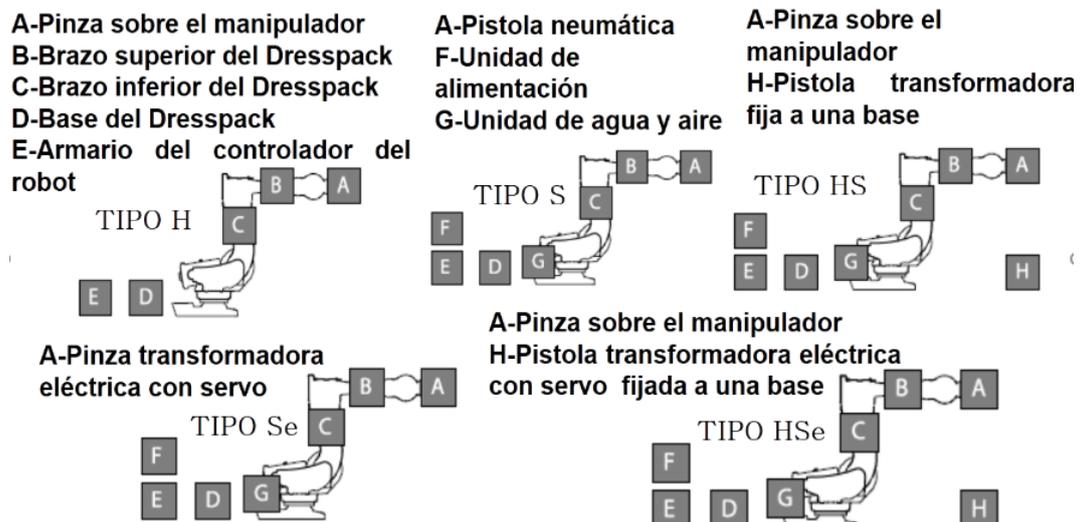


Figura 2. Tipos de *DressPack* adaptada de [10].

### 2.1.5 Exoesqueletos en rehabilitación

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la cultura (UNESCO), consideran la rehabilitación como “un proceso de duración limitada y con un objetivo definido, encaminado a permitir que una persona con deficiencia alcance un nivel físico, mental y/o social funcional óptimo, proporcionándole los medios para modificar su propia vida” [14]. De esta manera, en la rehabilitación de lesiones neurológicas se utilizan movimientos pasivos y activos [12], debido a que el 85% de los supervivientes de un evento cerebrovascular (EVC) presentan un deterioro agudo del brazo y el 40% tiene una deficiencia crónica o discapacidad permanente [13].

En lo que respecta a los dispositivos para rehabilitación de la extremidad superior son clasificados en dos grupos: exoesqueletos y efectores finales [15]. En este contexto, los exoesqueletos se pueden definir como un **“sistema biomecatrónico, donde el mecanismo está adaptado a la estructura física del cuerpo humano, con un control que puede provenir de las mismas señales del cerebro, con sensores conectados a la piel humana y con actuadores que son análogos a las funciones del cuerpo, actuando como un solo sistema integrado que puede desarrollar diversas actividades”** [16].

A su vez, los exoesqueletos de miembro superior pueden ser divididos de la siguiente forma [17] (Figura 3):

- Dependiendo la estructura o segmento a la cual se adosan, por ejemplo: a) mano y b) brazo y antebrazo, en donde se incluyen las articulaciones del codo (brazo-antebrazo) y el hombro [18].
- Con respecto al número de grados de libertad DoF (*degree of freedom* por sus siglas en inglés).
- Dependiendo el tipo de actuadores empleados para emular las articulaciones, por ejemplo: motores eléctricos, músculos neumáticos, actuadores hidráulicos entre otros.
- Con respecto a los métodos de transmisión de potencia, por ejemplo, mediante la transmisión de engranajes, mediante cables y poleas, por mecanismos de enlace, etc.
- Con respecto a la aplicación del exoesqueleto, por ejemplo: robots de rehabilitación, robots de asistencia, potenciador de capacidades humanas y uso combinado.

## EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR



Figura 3. Muestra ejemplos de la clasificación de exoesqueletos de miembro superior.

Por lo tanto, los exoesqueletos en rehabilitación tienen dos aplicaciones fundamentales [19]:

- Almacenar información de los movimientos activos del paciente (posición, velocidad, fuerza, entre otros).
- Se provocan movimientos pasivos o resistivos de la extremidad del paciente.

#### 2.1.6 Normatividad

Los sistemas de energía como parte de un producto tienen que cumplir con cierta normatividad que garantice la seguridad del cliente, en este caso que se refiere a un exoesqueleto de miembro superior, lo primero que se debe entender es el concepto de **equipo médico**, el cual de acuerdo con la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) [21] es un aparato, accesorio e instrumento para su uso específico destinado a la atención médica quirúrgica o a procedimientos de exploración, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de pacientes; por lo tanto un exoesqueleto es considerado un equipo médico para rehabilitación. Asimismo, esta dependencia clasifica a los exoesqueletos en la clase I, los cuales son “**dispositivos conocidos en la práctica médica, cuya seguridad y eficiencia están comprobados y que generalmente no permanecen en el organismo**” [20].

Por otra parte, los exoesqueletos también son clasificados como equipos electromédicos, los cuales se definen como “un equipo eléctrico que tiene una parte aplicada o que transfiere energía al paciente o **desde éste**, o que detecta dicha transferencia de energía hacia o desde el paciente; y que es un producto con no más de una conexión a una red de suministro o destinado al diagnóstico, tratamiento o vigilancia del paciente” [21]. **Esta clasificación** es recibida dado que los exoesqueletos aplican energía sobre el paciente (fuerza), el cual está provisto por una red de suministro destinada al tratamiento y/ o rehabilitación de algún miembro del cuerpo.

Es importante resaltar que el paciente no tiene contacto directo con el sistema de energía, por lo que la norma que se debe cumplir es la NOM-241-SSA1-2012 de “Buenas prácticas de fabricación de dispositivos médicos”, la cual establece los requisitos que deben reunir los procesos (desde diseño de la instalación, desarrollo, obtención, preparación, mezclado producción, ensamblado, manipulación, envasado, acondicionamiento, estabilidad, análisis, control,

almacenamiento y distribución) de los dispositivos médicos comercializados en el país, por el tipo de insumo de que se trate; y tiene por objeto asegurar que estos requerimientos de calidad y funcionalidad se cumplan para ser utilizados por el consumidor final o paciente [22].

Los sistemas de energía aplicados a exoesqueletos deben considerar, específicamente el apartado 11.5.1.3, el cual especifica que los registros de calibración deben ser resguardados y controlados, lo que a su vez da pie a la sección 15 que indica la validación de procesos y retrospectiva que tiene que cumplir, dándole prioridad al apartado 15.5.5 donde se mencionan que los parámetros críticos del dispositivo deben ser controlados y monitoreados durante los estudios de validación; considerando el número de corridas o lotes consecutivos con resultados satisfactorios, que dependen de la complejidad del proceso y la magnitud del cambio; teniendo como finalidad cumplir las especificaciones correctas según los dispositivos médicos y su impacto en el cuerpo.

#### 2.1.6.1 [Protocolos para sistemas de energía](#)

El protocolo EN 60601 Equipos y Sistemas Eléctricos Médicos del año 2008 es una directiva europea que consta de una familia de normas cuyo ámbito abarca la seguridad, el rendimiento esencial y la compatibilidad electromagnética de los equipos y sistemas electromédicos [21], a su vez está dividido en dos partes, la parte **uno** cubre la seguridad básica y el rendimiento esencial de todos los equipos electromédicos, y la parte dos cubre los requisitos para grupos específicos. **Para los exoesqueletos sólo concierne la parte uno**, en donde los estándares deben definir los requisitos para tecnologías y/o peligros específicos, como la compatibilidad electromagnética, la facilidad de uso y las alarmas [23, 24]; además de que en la tercera edición se han agregado las palabras “básico” y “rendimiento esencial”, donde se describe a la seguridad básica como “la ausencia de riesgos.” Y al rendimiento esencial lo ve como “el rendimiento del equipo necesario para lograr la libertad de riesgos inaceptables” [23]. Otros cambios en la parte eléctrica en esta familia de normas son los requisitos para los sistemas electromédicos **que se** encuentran en la cláusula 16 y para sistemas electromédicos programables (PEMS) dentro de la cláusula 14.

Por otro lado, la cláusula 9.6 introduce **los límites** audibles de energía acústica, excluyendo las alarmas que deben cumplir con el **estándar** colateral IEC 60601-1-8, además incluye límites para vibraciones transmitidas [23].

Por otra parte, la definición de equipo electromédico incluye al equipo que no se utiliza bajo supervisión médica, **por lo que los equipos** que se encuentra en el hogar entran en esta definición; también concierne al equipo utilizado para compensar o aliviar una enfermedad, lesión o discapacidad.

El siguiente protocolo es el IEC 60601 cuarta edición del año 2018 que proporciona requisitos generales en una serie de estándares, donde abordan los requisitos básicos de seguridad y rendimiento esencial de los equipos electromédico [25]. Existen cuatro ediciones:

- La primera edición se divide en dos partes, en la primera plantea los requerimientos básicos de seguridad y rendimiento esencial; y en la segunda se refiere a estándares particulares para diferentes equipos.
- La segunda edición plantea tres categorías de uso de severidad creciente, la primera es el tipo B (cuerpo), donde el equipo opera con proximidad sin contacto con el paciente; la segunda es el tipo BF (cuerpo flotante), donde el equipo hace contacto físico con el paciente, y la tercera es el tipo CF (cardíaco flotante) donde el equipo hace contacto físico con el corazón.
- La tercera edición extiende el enfoque al paciente y su protección, el primer nivel de protección se introdujo el concepto de MOP (medios de protección) con un reemplazo para la aislación y el aislamiento, el segundo nivel es MOPP (medios de protección al paciente) y el tercer nivel es MOOP (medios de protección del operador).
- La cuarta edición amplía el enfoque de análisis de riesgos, ya que profundiza en las preocupaciones de EMC (compatibilidad electromagnética) que afecten tanto al dispositivo médico como a otros dispositivos cercanos. Reconociendo las formas modernas de atención sanitaria (telesalud y la autosupervisión).

En la tercera edición del protocolo IEC60601 2010a se mencionan los escenarios, para los cuales están diseñados estos niveles de protección: el

primer nivel de protección (MOP) se aplica en contra de descargas eléctricas; el segundo nivel (MOPP) es planteado cuando un MOP relacionado con alguna parte del sistema es probable que contacte con el paciente; y por último en el tercer nivel (MOOP) se plantea cuando un MOP es relacionado con el usuario u otras personas que no necesitan el mismo nivel de protección **que el** paciente. Para complementar las normas y estándares en relación con la seguridad eléctrica en el ámbito médico **se encuentra** la ISO 14971, que se refiere a la gestión de riesgos para dispositivos médicos, el cual tiene como objetivo guiar a través de un proceso que asegure que los peligros se identifiquen y mitiguen [24]; para de esta forma abarcar la seguridad eléctrica tanto de una forma global como en el ámbito médico.

#### 2.1.7 Niveles de maduración tecnológica (*Technology Readiness Level*)

Los niveles de maduración tecnológica por sus siglas en inglés TRL, tienen como finalidad evaluar el riesgo asociado con la tecnología en desarrollo. Los TRL consisten en nueve niveles, en donde la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (mejor conocida como NASA) [26] especifica que las tecnologías deben madurar hasta un TRL 6 antes de que una misión pueda asumir la responsabilidad tecnológica. Los nueve niveles de maduración tecnológica se describen a continuación [26, 27]:

1. Investigación tecnológica: principios básicos observados e informados.
2. Concepto de tecnología y la aplicación formada.
3. Prueba de concepto: función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica.
4. Demostración tecnológica: validación de componentes y/o placas de prueba en ambiente de laboratorio.
5. Diseño conceptual y demostración de prototipos: mediante la validación de componentes y/o placas de prueba en entorno relevante. Requisitos de rendimiento, definición de entornos críticos, interfaces preliminares y diseño conceptual completo, componentes caracterizados, rendimiento de vida útil y robustez en entornos críticos validos por análisis de componentes y subconjuntos de nueva tecnología, o desarrollo de

ingeniería validado en áreas recientemente desarrolladas utilizando prototipos independientes.

6. Diseño preliminar y validación de prototipos: modelo el sistema/subsistema o prototipo cuya demostración tiene que ser en un entorno relevante. Ensamblaje preliminar, subsistema y hardware/software del sistema completo; múltiples conjuntos o subconjuntos que incorporan nueva tecnología o de desarrollo de ingeniería, validando nuevas áreas utilizando modelos de ingeniería (forma integrada, ajuste, función de prototipos).
7. Diseño detallado y nivel de ensamblaje: demostración del prototipo en un entorno relevante. Ensamblaje final, subsistema y diseño de hardware y software del sistema, interfaces, rendimiento y restricciones documentadas. Capacidad de producción y/o disponibilidad de piezas, papel, archivos CAD (*Computer-Aided Design*) /CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) y la capacidad actual. Pruebas de validación de rendimiento.
8. Subsistemas de compilación y prueba: sistema real completado y calificado a través de la práctica y la demostración.
9. Sistema operativo: sistema real probado con éxito (operaciones de la misión), sistema funcional y probado ambientalmente.

Posteriormente, se agregó el TRL 10, que está definido como un uso de tecnología de manera recurrente como parte de un sistema probado, validado y certificado de uso con niveles caracterizados y aceptables de solución de problemas y reparación [27]. Por lo que es conocido como “operaciones comprobadas” en donde la tecnología se ha utilizado sin incidentes (o con niveles de incidentes dentro de un rango aceptable) durante un periodo prolongado [27].

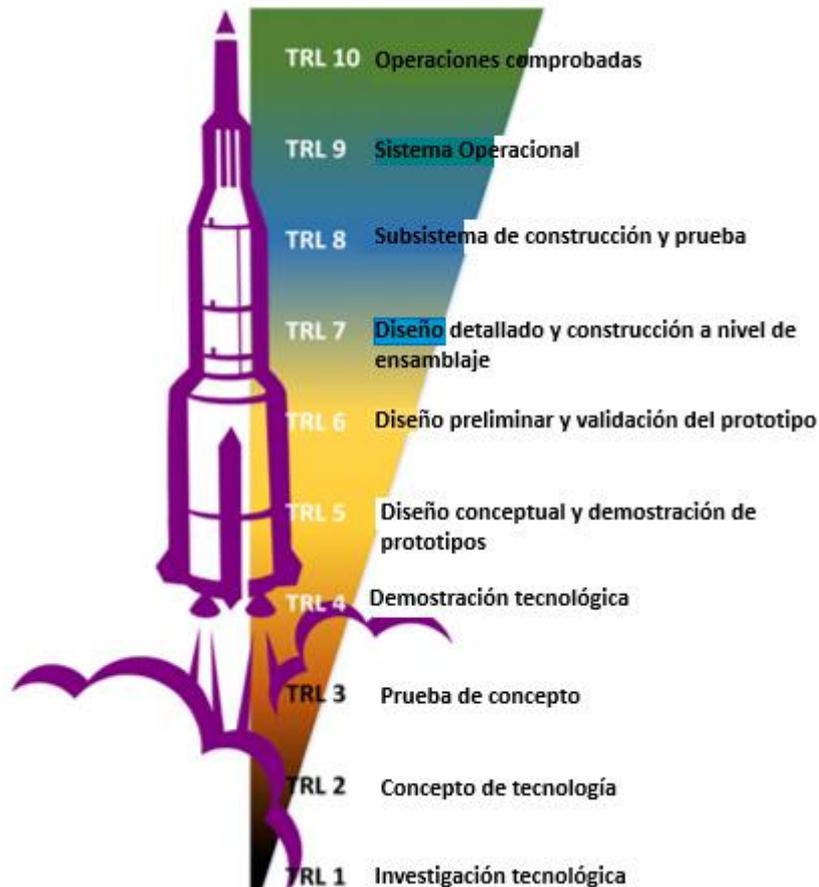


Figura 4. Diagrama del nivel de maduración tecnológica que incluye TRL 10

## 2.2 ANTECEDENTES

**Existen diversos robots** movilizados dedicados a la rehabilitación de miembro superior, en donde los principales dispositivos consisten en módulos mecatrónicos con sistemas lineales, que a su vez tienen sensores que les permiten mantener un control adecuado. Por lo que en 2014 la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (**UAEMéx**) **propuso un exoesqueleto que tenía como propósito ser ergonómico, de bajo peso**, con poca robustez y que pudiera ser transportado de manera sencilla, el cual tendría que ser funcionalmente seguro y duradero, cuya propuesta se puede observar en la Figura 5. Este exoesqueleto [28] permite la rehabilitación de los miembros superiores derecho y/ o izquierdo que puede ser usado en postura de bipedestación y sedestación; está dividido en cinco subsistemas: grupo columna, equipo de control y potencia, conjunto movilizador derecho, conjunto movilizador izquierdo e interfaz hombre máquina.

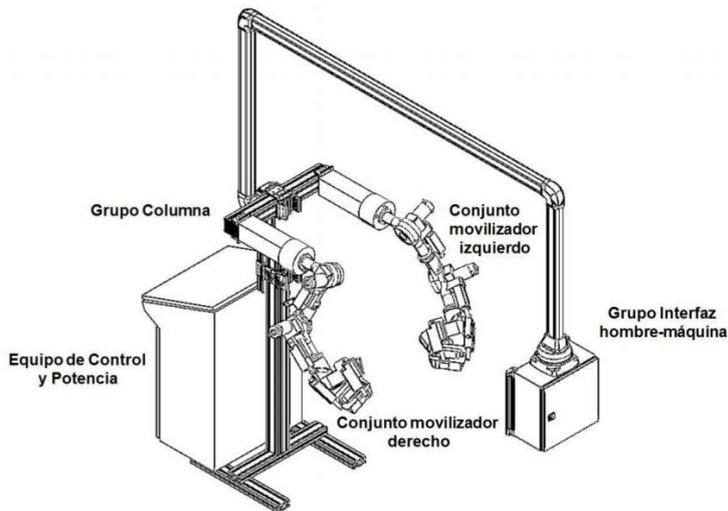


Figura 5. Robot movilizador de miembro superior (Diseño conceptual).

Dando seguimiento a este proyecto y con el objetivo de desarrollar la propuesta, en el periodo de 2015 a 2018 el Dr en Ciencias de la Ingeniería Giorgio Mackenzie Cruz Martínez desarrolló un exoesqueleto de rehabilitación de miembro superior nombrado ERMIS en la **UAEMéx** [30], que es un modelo físico experimental con 7 DoF (grados de libertad) cuyo propósito es la rehabilitación pasiva de miembro superior, el cual está basado en el diseño industrial descrito anteriormente.

ERMIS se muestra en la Figura 6, que a diferencia del diseño anterior consiste en la disposición articular de la extremidad superior derecha y sus movimientos; en donde los movimientos que se realizan en conjunto con las articulaciones describen los 7 DoF; estos movimientos son la extensión, flexión, rotación externa e interna del hombro; pronosupinación del codo; por otra parte la flexión, extensión, rotación interna y externa de la muñeca. ERMIS tiene como propósito principal cumplir con los **cuatro casos de estudio** para la rehabilitación de las tres articulaciones que conforman el miembro superior:

- **Caso de estudio 1: Serie de ejercicios por articulación excluyentes.**
- **Caso de estudio 2: Ejercicio con carga aparente.**
- **Caso de estudio 3: Activación de la memoria del músculo a través del seguimiento de trayectorias.**
- **Caso de estudio 4: Emulación rueda de hombro o timón**

ERMIS tiene varias modalidades, en un caso puede provocar rigidez en una articulación en particular y apoya al resto, y en otro caso trabajar todas las articulaciones al mismo tiempo; esto va dependiendo del caso al que se refiera. El control está dado por una consola que está formada por cuatro tarjetas, dos PLC (*Programmable Logic Controller*) y una fuente de poder, que determina qué articulaciones se moverán y **cómo** lo harán, sin embargo, todas las pruebas realizadas fueron hechas en condiciones específicas por lo que no ha sido probado fuera de un laboratorio.

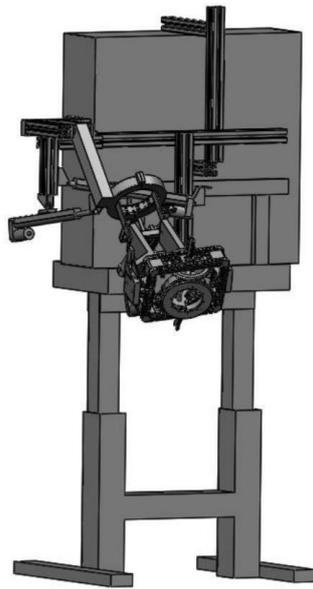


Figura 6. Exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior (ERMIS) modelo físico experimental

ERMIS al igual que su sistema de energía, se encuentra en un TRL 4, ya que solo se ha validado a nivel de componentes de laboratorio y no ha sido utilizado en ningún otro entorno; además de que solo ha sido utilizado por especialistas.

Al empalmarlo con el ciclo de vida del producto llega hasta el sistema de control, ya que su sistema de energía únicamente cumple con un aspecto de funcionalidad como se muestra en la Figura 7. En lo que respecta al sistema de energía, el nivel de madurez tecnológica con el que cuenta se encuentra en el TRL 4

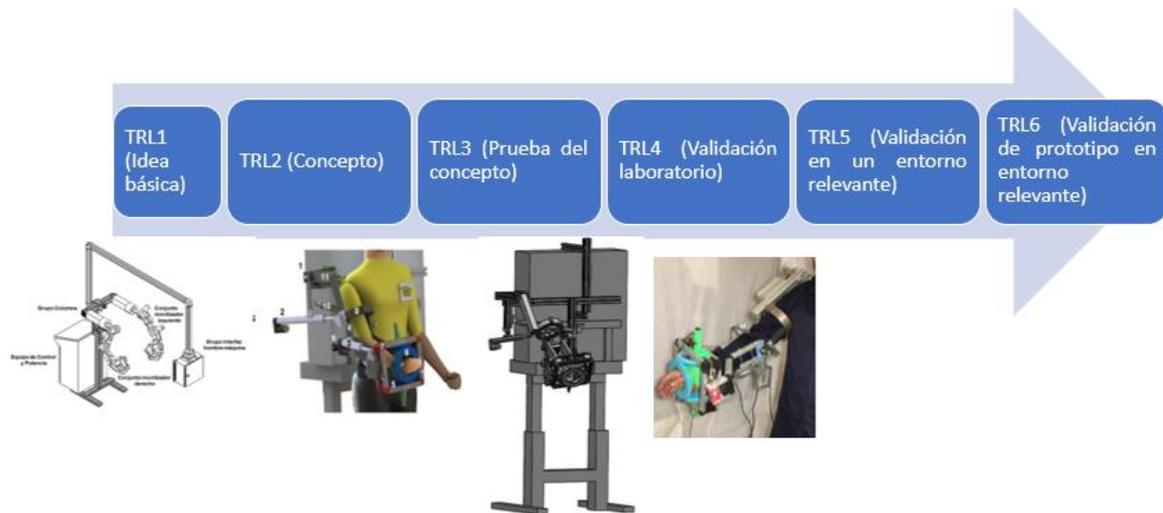


Figura 7. Maduración tecnológica de ERMIS adaptada de (26,27).

## 2.3 ESTADO DEL ARTE

### 2.3.1 Arnés de cable en la actualidad

El desarrollo de los sistemas de energía, va a la par de la necesidad de controlar un mayor número de dispositivos remotos o sensores, dependiendo de la aplicación, por lo que en el área donde se ha visto un crecimiento exponencial es en el área automotriz, esto se debe a que los automóviles tienen además de sus funciones básicas, que se pueden resumir con las palabras "ir, girar y detener", actualmente incorporan una gama de funciones para garantizar la seguridad y la comodidad del usuario. Estas funciones son compatibles con varios dispositivos electrónicos que se **encuentra en su interior**, los cuales operan con señales de control que funcionan con la energía eléctrica suministrada por la batería [3]. Estos dispositivos electrónicos requieren un "arnés de cable" para transmitir la energía eléctrica y las señales [3]; por lo tanto, se han vuelto más complejos conforme va aumentando la tecnología, debido a que se deben ir acoplando a las **nuevas necesidades y tendencias** que van marcando el avance tecnológico. Para solucionar este problema el grupo Yazaki dividió en cuatro secciones la transmisión del arnés como se observa en la Figura 8:

1. Red de sistema de información (datos: auditivo, visual y lo relacionado a la navegación).

2. Red del sistema del cuerpo (seguridad y confort).
3. Red de sistemas de conducción (componentes clave del vehículo: motor y frenos).
4. Sistema de gestión de la fuente de alimentación (alimentación de los dispositivos electrónicos).

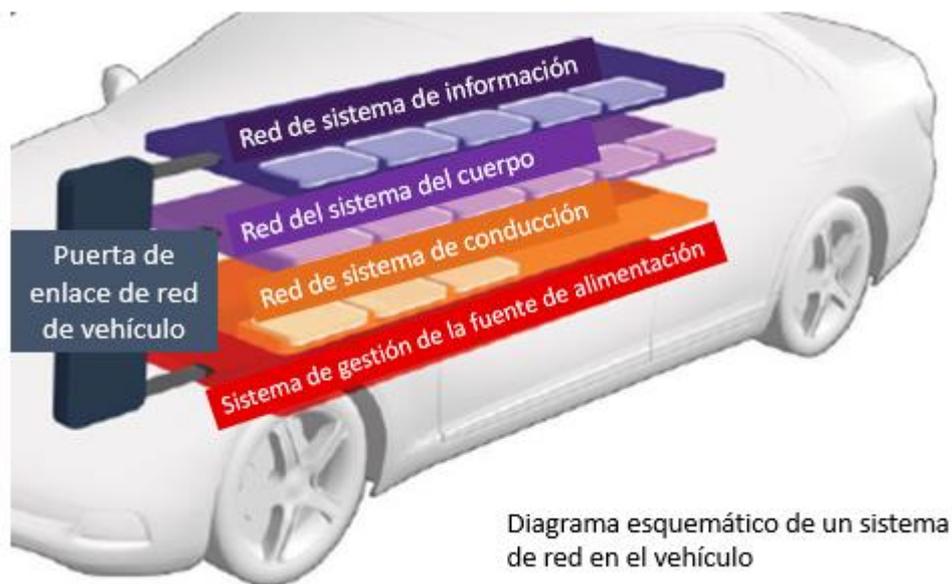


Figura 8. Secciones del arnés de cable [3].

El grupo Dräxlmaier al igual que el grupo Yazaki utilizan arneses para la transmisión de la señales de control y del envío de la información del sistema, el cual conecta diferentes buses en el arnés permitiendo el empleo de nodos de energía para la renovación de la señal y así enfocar su transmisión a través de todo el automóvil, además de su control inteligente; para así aumentar la capacidad de integración de sensores en el mismo; este arnés experimental redujo el 10% del peso de los arneses convencionales, consiguiendo no sólo la eficiencia en la transmisión sino también la disminución del peso del arnés [30].

#### 2.3.1.1 Información de arnés de cable en medicina

En el espectro médico la información sobre los arneses es escasa ya que se concentran en el funcionamiento y diseño de los equipos médicos, más no en la forma en la que se alimentan los componentes que lo constituyen; la información disponible se centra en protocolos de internet y transmisión de datos para el

monitoreo del pacientes a distancia, lo cual se conoce como Telemedicina (Figura 9) [31].

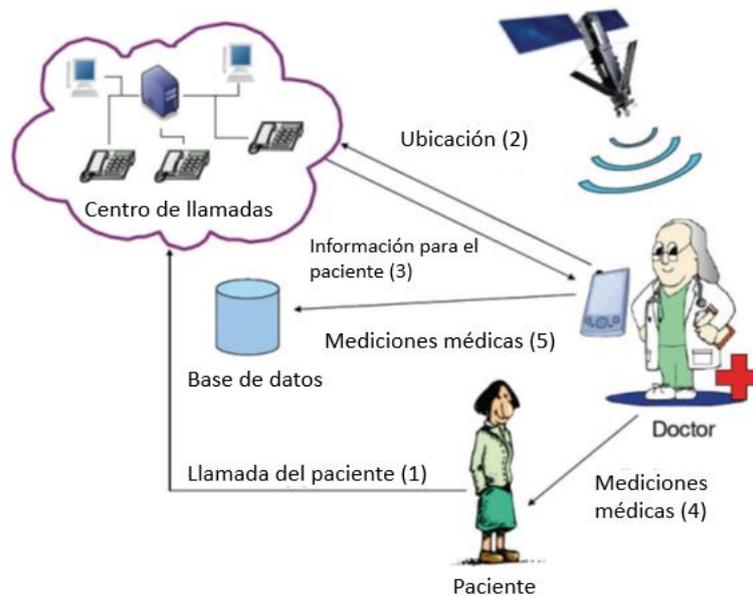


Figura 9. Partes que conforman la atención medica mediante telemedicina. Tomado de [32].

Ejemplo de esto es el enfoque M-EE (*Medical Energy Efficient*) que está basado en protocolos de enrutamiento, pero a diferencia de ellos propone un nuevo algoritmo para la equidad energética, el cuál toma en cuenta el entorno de comunicación médica para administrar la eficiencia energética de los nodos, en donde cada tipo de dato es asociado dependiendo de un factor utilizando como un umbral y así **garantizar la evolución de los sensores**; con lo que este enfoque evita los nodos de sensores con baja energía en el proceso de enrutamiento para mantener los valores de energía similares [33]. El protocolo M-EE tiene como objetivo dispersar redes de sensores inalámbricos heterogéneos, mediante la construcción de una ruta óptima para la transmisión de datos entre la estación base y los cabezales de los grupos; por lo que se consideran tres tipos de nodo: el primero es de transmisión, el segundo es de origen o de retransmisión y el tercero de receptor, además este protocolo clasifica los datos manipulados en diferentes clases con respecto a tres parámetros críticos: el primer es el tipo de datos (texto, imagen, audio o video), el segundo es la prioridad (importancia) y el tercero es la distancia entre cada sensor; con estos parámetros **esté protocolo debe enviar la energía en cada sensor** [33].

Por otro lado, al momento de seleccionar un proveedor adecuado para las especificaciones del producto implica un conocimiento a profundidad y amplitud de las operaciones de montaje, verificar sus capacidades de abastecimiento debido a las variantes de componentes y alternativas de adaptación del arnés, sin olvidar la inspección de su sistema de gestión de calidad [34]. Un ejemplo de un distribuidor de arneses en el ámbito médico es AIM, que tiene experiencia en arneses para equipo médico como son: las máquinas de rayos X, ultrasonidos, analizadores de sangre y escáneres de tomografía [35]; pero desafortunadamente la información acerca de su metodología de diseño no está reportada en patentes o artículos, y los dispositivos para los cuales diseña estos arneses son estáticos, por lo que no se pudo utilizar como referente clave a pesar de su gran experiencia.

#### 2.3.1.2 Montaje de arnés en el sector industrial, automovilístico y aeronáutico

Lo primero que se debe considerar es la transmisión de la energía a través de los dispositivos por medio del arnés de cable, considerando que **el cableado sea abierto**; el cual consiste en un cableado sin medios de cerramiento que ofrece ventajas de facilidad de mantenimiento y reducción de peso [7]; siendo su principal función la de maximizar el rendimiento de cualquier dispositivo conectado a él mediante la transmisión y el manejo de la energía eléctrica, y una variedad de información [3]. Por lo que, para su diseño e instalación se toman en cuenta ciertos aspectos como son [8]: el calor generado por los equipos locales y conductos de aire, temperatura ambiental de la zona, calor generado por el propio arnés, estimar la capacidad de carga de corriente nominal del arnés, realizar un análisis de requerimientos de tareas y requerimiento en su espacio de trabajo. Con la finalidad de considerar las reglas de enrutamiento y su aplicabilidad dependiendo de la función del arnés; lo cual es de gran utilidad para realizar una correcta separación de componentes (aislamiento) y así evitar cualquier factor que degrade o dañe al sistema de energía. Además, todos los cables deben instalarse para protegerse de rozaduras o abrasiones, alta temperatura, que se le dé un mal uso, daños por carga o desplazamiento, daños por vapores de ácido de carga de la batería, daños por disolventes y fluidos [5], ya que siempre se debe procurar su cuidado.

Existen diferentes formas de construcción para los arneses los cuales incluyen diversos montajes; de cable de fibra óptica, de cable de cobre, de cables híbridos y cables de poder; la complejidad del arnés va depende del tipo de conectores, el tipo de cable, la personalización de cubiertas/carcasas, los pasadores, los alivios de tensión, el tubo retráctil, los bloques terminales, los tipos de cerramientos, los casquillos etc. [34]. Por lo que, los arneses son construidos a medida de los dispositivos, esto conlleva procesamientos adicionales por lo que aumenta a un más su complejidad, ejemplo de esto es el modelado de conectores, la tensión de descarga o zonas de transición, la adición de manguitos, trenzas o coberturas de protección; dado que estas estructuras permiten al arnés de cable adosarse a los dispositivos; pero sin dejar de lado que el arnés debe ser instalado con suficiente holgura para que los cables no estén bajo tensión. En el caso de los cables que conforman el arnés, no deben exceder la deflexión de media pulgada entre los puntos de superficie, adicionalmente debe permitir el remplazo y facilidad de mantenimiento, por otro lado, el empalme del cable debe mantenerse al mínimo y evitar los lugares sujetos a vibraciones [6]; esto con la finalidad de servir como una guía para superar los retos que implica el diseño de arneses en cualquier dispositivo.

En el caso del diseño de distribución de cables se tomó como base los robots industriales, debido a que ambos están predispuestos a realizar movimientos repetitivos provocando a largo plazo deformación en las coberturas del arnés y en última instancia la rotura de los cables de señal lo que sugiere a un reemplazo total [36]; por lo cual al momento de diseñar esta distribución se busca la optimización de tiempo mediante programas que digitalizan el sistema para evaluarlo como es OLP (programación fuera de línea), cuyo enfoque global consta de cuatro elementos principales [37]:

- I. Planificación de tareas para encontrar configuraciones en donde puedan alcanzar cada colisión de la soldadura libremente.
- II. Balanceo de soldaduras entre robots.
- III. Optimización de secuencia y planificación de movimiento, para seleccionar una solución para cada soldadura y conectarlas entre sí mediante movimientos eficientes y en secuencia que minimicen el tiempo de viaje.

IV. La coordinación de los robots para evitar la colisión entre los robots con un aumento mínimo del tiempo de ciclo.

Aunado a lo anterior, se debe considerar en su diseño la planificación de caminos, para mover el robot de una configuración a otra sin chocar con ninguna geometría estática o con el propio robot; por lo cual se presenta un espacio de configuración que expresa la posición del robot en términos de sus ángulos de unión, en donde se establecen dos configuraciones: la configuración de inicio y la configuración de meta para así determinar si existe o no esa ruta. Un método para encontrar una ruta libre de colisiones entre estas dos configuraciones es el Método Probabilístico de Mapa de Ruta (PRM), que tiene como idea principal hacer en primera instancia un paso de preprocesamiento para adquirir una red de configuraciones sin colisiones distribuidas al azar, y posteriormente conectar ambas configuraciones a través de nodos de red; si se presenta el caso de que no existen rutas sin colisiones es necesario hacer un muestreo de rutas más denso [38]. Después de encontrar la ruta óptima, se deben evitar los siguientes problemas al momento de ejecutar el sistema de OLP: (I) colisión durante la operación de soldadura, al robot circundante u otro, (II) torcedura del sistema de guiado alrededor del brazo del robot, (III) colisión durante la trayectoria intermedia [37]; para resolver dichos problemas se proponen dos métodos de simulaciones [37]:

- Restricción de juntas: al prohibir que el robot esté en ciertas configuraciones en el espacio de las juntas.
- Planificación de tareas con el sistema de guiado: para tener en cuenta las colisiones al realizar la planificación de la ruta debe conocerse en la configuración de inicio y objetivo de la ruta; para después identificar y eliminar las alternativas de tareas que producen valores de medición incorrectos.

Cuando se eliminan las configuraciones que producen incertidumbre, será más fácil determinar los diferentes pasos de los algoritmos de optimización.

### 2.3.2 Distribución del arnés de cable *DressPack*

Para la distribución del arnés de cable, se tomaron como referencia los paquetes energéticos mejor conocidos como *DressPack*, que han utilizado ampliamente en el sector industrial, ya que “para cualquier proceso industrial es vital disponer de una fuente de alimentación fiable. Esto se debe a que toda la producción, en general, queda detenida cuando no se puede transmitir ciertas señales o no se puede suministrar un material necesario” [39]. Por lo que se seleccionaron 5 empresas que tiene una larga trayectoria en el sector, las cuales son:

- MURRPLASTIK es una empresa que proporciona soluciones y productos innovadores para problemas concretos de protección de cables, rotulación de cables, cadenas porta cables, identificación, equipamiento de automatización y robots desde 1963 [40].

MURRPLASTIK



Figura 10. Formas de distribución del arnés de cable que ofrece MURRPLASTIK. Modificado de [41].

- IGUS es una empresa que produce componentes para maquinaria fabricados en plásticos técnicos diseñados para aplicaciones de movimiento desde 1964 [42]. Entre su amplia gama de productos se encuentran los *DressPack*, los cuales disponen de los siguientes beneficios que se pueden observar en la Tabla 1 (Figura 11).

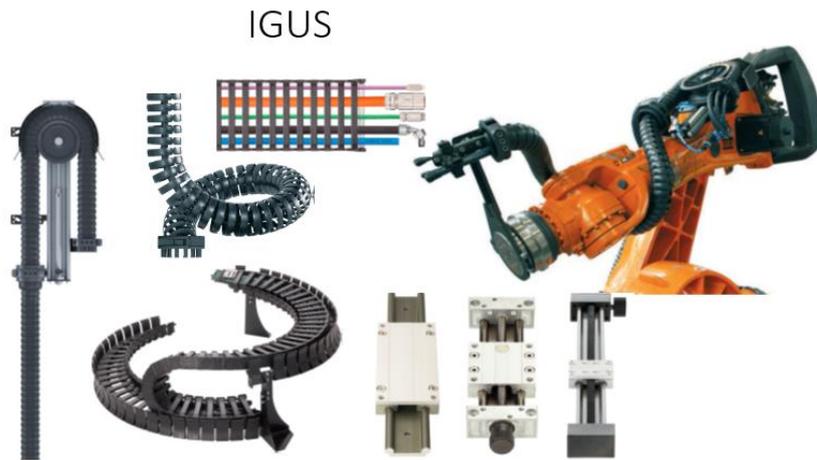


Figura 11. Formas de distribución del arnés de cable que ofrece IGUS Modificado de [43].

- LEONI es un proveedor global de productos soluciones y servicios para la gestión de datos y energía en el sector de automoción y otras industrias desde 1980 [44]. Entre los productos que dispone se encuentran los DressPack los cuales disponen de los siguientes beneficios que se pueden observar en la Tabla 1 (Figura 12).



Figura 12. Formas de distribución del arnés de cable que ofrece LEONI Modificado de [45].

- KUKA es una empresa presente a nivel internacional, siendo uno de los líderes globales en soluciones de automatización inteligentes desde 1898 [46]. Entre la gama de productos disponibles se encuentran los *DressPack* los cuales disponen de los siguientes beneficios que se pueden observar en la Tabla 1 (Figura 13).

# KUKA

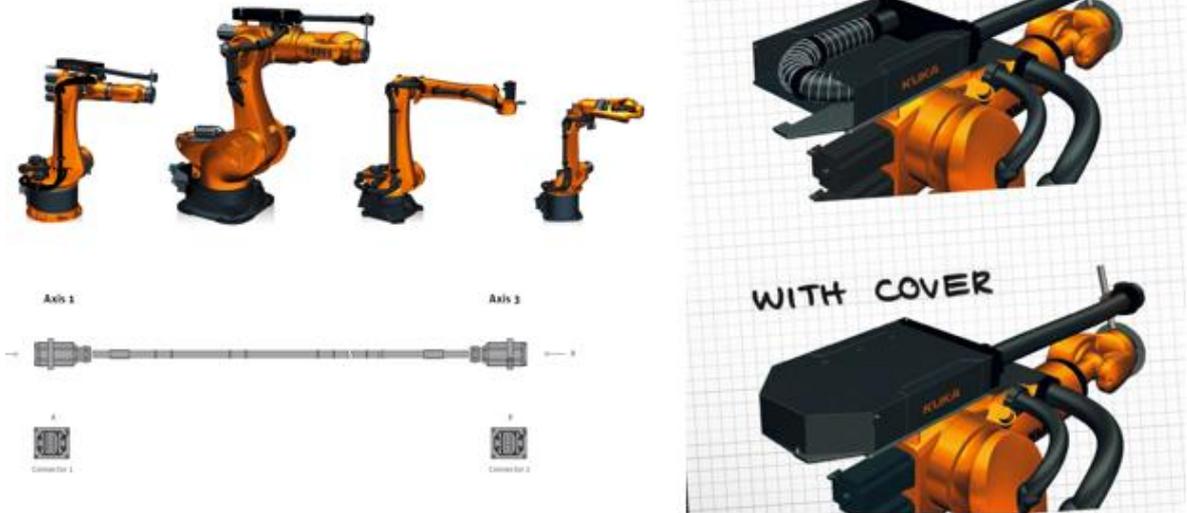


Figura 13. Formas de distribución del arnés de cable que ofrece KUKA Modificado de [47].

- La empresa ABB es un líder tecnológico pionero con una oferta integral para industrias digitales desde 1889 [48]. De su amplia gama de productos entre ellos se encuentra los DressPack los cuales tienen los siguientes beneficios que se pueden observar en la Tabla 1 (Figura 14).

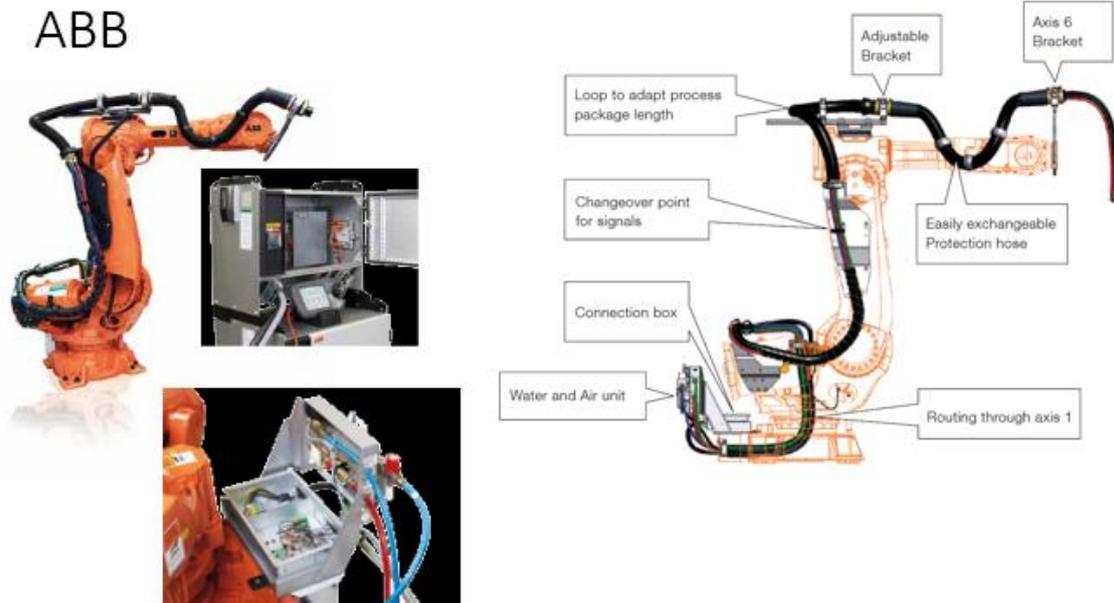


Figura 14. Formas de distribución del arnés de cable que ofrece KUKA Modificado de [49].

Tabla 1 Beneficios de las empresas seleccionadas para el desarrollo de EXOSEP.

IGUS [43]	LEONI [45]	KUKA [47]	ABB [49]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluciones de montaje universal.</li> <li>• Movimiento Multi-eje.</li> <li>• Alta resistencia a la torsión y a la tracción.</li> <li>• Sistema inteligente de retracción.</li> <li>• Fácil acceso.</li> <li>• Soluciones de montaje.</li> <li>• Cadena para movimiento circulares (540°).</li> <li>• Revestimiento protector.</li> <li>• Sistema de deslizamiento y accionamiento lineal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño compacto.</li> <li>• Reducción de peso, volumen, longitud.</li> <li>• Máxima flexibilidad.</li> <li>• Reemplazo eficiente.</li> <li>• No requiere mantenimiento en el elemento de retracción.</li> <li>• Componentes sujetos a pruebas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larga vida útil.</li> <li>• Servicio amigable.</li> <li>• Adaptable.</li> <li>• Ahorra espacio.</li> <li>• Reduce los contornos de interferencia.</li> <li>• Accesibles.</li> <li>• Monitoreo completo.</li> <li>• Alta flexibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de usar.</li> <li>• Fácil de ajustar.</li> <li>• Reduce piezas de repuesto.</li> <li>• Fácil mantenimiento.</li> <li>• Instalado de fábrica.</li> </ul>

### III. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

#### 3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la búsqueda de aumentar el nivel de maduración tecnológica del exoesqueleto ERMIS, se planteó el desarrollo e implementación de un sistema de energía, ya que a partir del TRL 5 las pruebas de los dispositivos deben ser en un entorno relevante y no en un entorno controlado de laboratorio. **El sistema de energía que actualmente tiene ERMIS** es únicamente funcional y no podría ser empleado en un entorno fuera de laboratorio, esto se debe a la falta de medios de protección de los cables hacia el paciente que lo empleará y a la protección misma del cableado, además de que la distribución con la que cuenta actualmente es demasiado holgada y no sigue el movimiento articular del exoesqueleto.

Lo que debe garantizar el sistema de energía del exoesqueleto para desenvolverse en un entorno relevante como el hospital, es **la transferencia de energía a los dispositivos eléctricos como los sensores y electromecánicos como los motores, para que ERMIS pueda efectuar los casos de estudio programados** y realizar la terapia que el personal de fisioterapia decida. Otra de las funciones que el sistema debe proporcionar es el soporte y protección al arnés de cable del mismo, para así poder transferir la señal y en consecuencia ejecutar las acciones destinadas de cada motor que conforma el exoesqueleto, además de recibir las señales de retroalimentación para el control de este.

Otro de los aspectos fundamentales de la implementación de este sistema es que debe ser seguro y compatible con el movimiento articular del exoesqueleto ERMIS, para que en un futuro pueda ser evaluado en un ambiente hospitalario; posteriormente se buscará la comercialización y replicación de ERMIS. Por lo que a partir de la necesidad de renovar el sistema de energía enfocado al exoesqueleto ERMIS se planteó la siguiente interrogante:

¿Cómo implementar la interacción adecuada de los elementos eléctricos y electromecánicos que constituyen al exoesqueleto ERMIS con el fin de garantizar la compatibilidad y funcionamiento del sistema de energía?

### 3.2 JUSTIFICACIÓN

El exoesqueleto ERMIS, se diseñó con la finalidad de subsanar la necesidad de la rehabilitación pasiva del miembro superior, para promover la recuperación funcional del paciente; debido a que del 6% de la población en México presenta alguna discapacidad según el censo de población del año 2015, realizado por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), de los cuales el 33% presenta una discapacidad en el miembro superior [50]. Actualmente ERMIS está diseñado para una persona promedió de género masculino, que se encuentre entre los 18 y 65 años, cuyas dimensiones son: 1) perímetro del brazo medio 345 mm, 2) longitud del brazo superior 300 mm, 3) longitud del antebrazo 300 mm, 4) longitud de la mano 160 mm, 5) anchura de la mano 100 mm, 6) espesor de la mano 20 mm, 7) alcance del brazo lateral 818 mm y 8) alcance del brazo frontal 810 mm; además de que se tomó un peso total del brazo de 50 N, por lo que para fines prácticos se consideró 5 kilogramos fuerza[29]. En lo que respecta a los niveles de maduración tecnológica el exoesqueleto ERMIS se encuentra en un nivel TRL 4 y lo que se busca es darle continuidad a este proyecto, para aumentar su nivel de madurez tecnológica; este objetivo se cumplirá ya que al corregir la principal necesidad de ERMIS se podrá emplear en entornos relevantes.

La principal necesidad de ERMIS es la de realizar todos sus movimientos de forma segura y eficiente, de tal manera que ayude al paciente a realizar todos los movimientos indicados, para cada uno de los cuatro casos de estudio programados, y así lograr la rehabilitación de cada una de las articulaciones que se encuentran en los miembros superiores; sin la necesidad de que el terapeuta tenga que apoyarlo en todo momento, ya que su función será la de supervisar el avance del paciente, así como de vigilar el desarrollo de cada rutina programada. Sin embargo, para llegar a esta meta, primero es necesario lograr que todas las conexiones lleguen a su destino y que la retroalimentación del sistema sea constante; realizando pruebas de repaso de funcionamiento, en donde se verifique que el arnés permita a ERMIS realizar los movimientos programados.

Además, el paciente debe sentirse familiarizado con el dispositivo, por lo que siempre se debe buscar que el contacto del dispositivo con el paciente sea

amigable, eficiente, y que produzca un sentimiento de seguridad. Por lo tanto, no sólo se está buscando eficiencia, precisión y apoyo a los terapeutas, sino que además se busca que el paciente se sienta cómodo, e influenciado a seguir un tratamiento con la ayuda del exoesqueleto ERMIS; sin perder el contacto con el terapeuta.

Por lo que se pretende desarrollar a EXOSEP, el cual cumplirá con lo esperado para el exoesqueleto ERMIS, el cual tendrá que ser de forma modular y portátil, por la doble funcionalidad de este exoesqueleto. Además, se pretende que no sea únicamente para un exoesqueleto si no que pueda ser escalable en un futuro.

Debido a la modularidad planteada para EXOSEP, es necesario que su conexión sea fácil e intuitiva, porque al momento de la conexión los sistemas deben tener una morfología propia de cada módulo, para que se vuelvan difíciles de confundir; ya que si se realiza un sistema demasiado complejo, en vez de ayudar a que el trabajo del terapeuta sea más eficiente se lo entorpecería, por lo que vería al sistema como una carga más que como una ayuda. Por el contrario, al lograr una conexión intuitiva, la capacitación sería más sencilla y así el terapeuta se concentraría en comprender la interfaz de ERMIS y no se detendría en el sistema de energía del exoesqueleto.

Uno de los grandes beneficios de que EXOSEP sea modular, es que ayudaría a que no se pierda la conexión entre articulaciones, ya sea por el desgaste o la holgura excesiva de los cables, además de brindarle una protección a los mismos, y evitar la exposición de los cables que tiene en este momento ERMIS; lo cual se logrará con la implementación de los *"DressPack"*, cuya principal característica es la libertad de movimiento, y por cómo se da la rehabilitación de miembro superior no puede ser estática; si no todo lo contrario tiene que ser dinámica. Por último, de la forma en que estará diseñado EXOSEP permitirá un mantenimiento accesible, y de tener alguna falla no tendría la necesidad de sustituir todo el sistema de energía, como ocurriría en un sistema de energía interno; lo cual disminuiría el costo del sistema de energía, y a su vez lo haría más accesible.

## IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 4.1 GENERAL:

Diseñar e implementar un sistema de energía como una plataforma modular para exoesqueletos, mediante la sustitución parcial del sistema de energía que tiene actualmente el exoesqueleto ERMIS, con base en los requerimientos técnicos a los que se sujetará este sistema.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar un análisis patentométrico de sistemas de energía, con respecto a los criterios de diseño establecidos (seguridad, portabilidad, modularidad y conectividad), para determinar la tecnología actual y tomarla como punto de partida en el diseño de EXOSEP.
- Describir el funcionamiento del exoesqueleto ERMIS, mediante el empleo de dos diagramas de flujo y una máquina de estados finitos, para obtener la información del estado actual del exoesqueleto ERMIS.
- Plantear una metodología general, para la implementación de EXOSEP dirigida a exoesqueletos, mediante la información obtenida del exoesqueleto ERMIS, a través de la máquina de estados finitos, las restricciones internas y externas del mismo; pasando de este caso particular a algo general.
- Acoplar la metodología general previamente diseñada al caso particular de ERMIS, mediante un mapa maestro que sirva de guía en el proceso de implementación de EXOSEP en ERMIS.
- Plantear y generar propuestas del arnés de cable, mediante una máquina de estados finitos, la morfología de ERMIS, restricciones internas y externas del sistema; para establecer el camino más conveniente en ERMIS, a través de un *Pugh Chart*.
- Implementar el camino más adecuado para el arnés de cable en ERMIS, mediante el cambio total del arnés actual y la propuesta con el mayor puntaje en el *Pugh Chart*; con el fin de comprobar su funcionamiento al momento de ejecutar los movimientos para los que fue diseñado ERMIS.

- Realizar las propuestas de carcasas de protección del arnés de cable, mediante la morfología del exoesqueleto ERMIS, la determinación de módulos y las restricciones que establece el camino del arnés de cable; para proteger las secciones libres y evitar el contacto con el paciente al momento de utilizarlo.

## V. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

### 5.1 Análisis patentométrico

Se realizó un análisis patentométrico sobre los sistemas de energía en robots industriales, para lo cual se buscó en diferentes bases de datos de patentes, siendo PATENTSCOPE, INVENNES y GOOGLE PATENTS. En **donde se usaron** términos asociados a los sistemas de energía, paquetes energéticos, marcas asociadas y enrutamiento de arnés de cable; además se emplearon operadores booleanos y sinónimos que se pudieron haber utilizado de forma alternativa para el registro de patentes, debido a que las traducciones pueden variar dependiendo del país.

Después de la primera obtención de resultados de cada base de datos, se utilizaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión para restringir la búsqueda literaria.

Criterios de inclusión:

- La patente pertenece a alguna parte del sistema de energía (**arnés de cable, cable, DressPack, fuente de alimentación y complementos**).
- Los arneses de cable deben montarse en dispositivos con forma antropomórfica.
- Las patentes deben pertenecer a alguna forma de guía de energía (*DressPack*) como cadena, guía, enlace o dispositivo.
- La patente puede estar registrada en cualquier oficina de patentes de cualquier país (p. ej. Oficina internacional, España, US, Alemania, China etc).

Criterios de **exclusión**:

- Los arneses sean montados en dispositivos fijos.
- Los cables sean rígidos o con poca flexibilidad.

- Las patentes deben contar con al menos los siguientes datos de identificación: título, año, tipo de patente (A, B, C, U, R, T) y la oficina de patente donde fue registrada.
- Las patentes que sean encontradas en más de una base de datos, y solo se tomara en cuenta la primera base de datos, para evitar la duplicación.

Posteriormente **se realizó** una validación manual de los resultados, con respecto al título, resumen y reivindicaciones. En donde el título y el resumen describen las características principales de las patentes, mientras que las reclamaciones se centran **en el** cómo se desarrolló la invención.

Además, se desarrolló un marco de comparación para el análisis de las patentes, que se dividió en dos partes:

1. La primera parte (enfoque estructural) trata sobre el análisis de las patentes desde el punto de vista estructural, que se enfocó en cómo está construida la pieza y las interacciones que tienen sus componentes, para cumplir con la cualidad requerida.
2. La segunda parte (enfoque global) trata sobre un análisis cuantitativo de las patentes, para determinar el impacto global de cada marca sobre el desarrollo de sistemas de energía, además se constató cómo han ido evolucionando las patentes de sistemas de energía a través del tiempo.

#### 5.1.1 Enfoque estructural

En esta sección se **analizaron** las patentes con respecto al contenido de las reivindicaciones, pero más que enfocarlo a cómo está construido físicamente, se direccionó a las cualidades que se buscan cumplir con EXOSEP, que son seguridad, portabilidad, modularidad y conectividad. Para cada uno de estos parámetros de clasificación en este contexto adquieren la siguiente connotación:

- Seguridad: es un medio de protección que le aporta seguridad a la pieza a la que se refiere, este medio varía dependiendo de la estructura:
  - Formas de guiamiento: se subclasifica en medios de retención (para las partes que aportan fijación a la pieza), envoltura/construcción (se refiere a una protección externa a la pieza o al material del que está

hecha la pieza) y limitaciones (se refiere a que la pieza ayuda a evitar que la pieza realice movimientos indeseados).

- Arnés de cable: la seguridad se divide en dos partes, la primera es mediante algún material de protección, que se refiere tanto a los materiales de los que está hecha la pieza como si está recubierta de algún material; la segunda se refiere a los medios de retención que mantiene a la pieza fija en una posición establecida.
- Cable: se divide en tres partes, la primera es mediante alguna funda/tubo que se dirige hacia el recubrimiento de la pieza, la segunda se refiere al material con el que ha sido construido y la última es mediante el control, que se refiere a cómo se manejan los inconvenientes estructurales.
- Portabilidad: en este contexto se refiere a que alguna parte de la pieza le permite desprenderse, tener movimiento o ser desmontable en secciones; para cualquier parte del sistema de energía.
- Modularidad: se refiere al seccionamiento de cada pieza y que a su vez sean identificables; esta cualidad fue evaluada para cualquier parte del sistema de energía excepto para la parte de formas de guiado donde no se consideró, debido a que en esta sección eran piezas ensambladas que conformaban una única sección.
- Conectividad: en este caso se refiere, a si tenían algún tipo o forma de conectarse con alguna otra parte del sistema de energía o en sí mismos, por lo que fue dividido en dos subsecciones que son: medio de conexión y medio de sujeción; la cuales pueden existir a la vez debido a que no son mutuamente excluyentes.

### 5.1.2 Enfoque global

Es un análisis en donde se tomó en consideración la oficina de registro de patentes, la fecha en la que fue solicitada u otorgada la patente para la creación de una línea temporal y se determinó el crecimiento del registro de patentes que se han llevado hasta la actualidad.

Por otro lado, se consideró la clasificación para determinar cómo los fabricantes categorizan las diferentes partes del sistema de energía, además se consideró al dueño de los derechos de las patentes para conocer cuál es la distribuidora que tiene un mayor número de patentes. En todos los aspectos en los que se evaluaron las patentes se consideró el estado de las patentes, que está definido por las siguientes letras [50]:

- A: solicitud de patente (A1 con informe sobre el estado de la técnica, A2 sin informe sobre el estado de la técnica).
- B: patente de invención, ya está concedida (B1 sin examen previo y B2 con examen previo).
- C: documentados emitidos en la serie, comunicado a la oficina internacional.
- U: solicitud de modelo de utilidad.

## 5.2 Diseño de diagramas de flujo y máquina de estado finito.

Se realizaron dos diagramas de flujo que describen paso a paso el sistema de funcionamiento del exoesqueleto ERMIS:

1. El primer diagrama de flujo está dividido por el número de casos de estudio de ERMIS (rutinas programadas), en donde se observaron las entradas del sistema y la forma en la que debe reaccionar el exoesqueleto dependiendo de la articulación que esté en funcionamiento, la cual depende de la rutina en cuestión; algunas rutinas implican una sola articulación y en otras todas las articulaciones trabajan a la par.
2. El segundo diagrama de flujo se enfocó en la forma en que ERMIS obtiene los datos de cada una de las rutinas programadas, además de describir la metodología que sigue ERMIS en cada caso.

Posteriormente se realizó una máquina de estados finitos a partir de los dos diagramas de flujo previamente realizados, esta máquina describe el funcionamiento del exoesqueleto ERMIS, lo que quiere decir que se enfoca en la toma de decisiones, lo que implica el acceso a cada una de las rutinas programadas, y como afecta a cada uno de los dispositivos electromecánicos que conforman al exoesqueleto ERMIS.

Para el desarrollo de los diagramas de flujo y la máquina de estados finitos, se realizó previamente una valoración funcional, la cual consta del análisis de los movimientos que realiza cada una de las articulaciones, la posición de los sensores y actuadores con respecto a los movimientos de los articulares para cada caso. También se verificó cómo interactúan las señales de control y los actuadores para cada movimiento del exoesqueleto con respecto a los cuatro casos de estudio (1.- Rutina asignada por el Terapeuta, 2.- Rutina de seguimiento, 3.- Movimiento de carga aparente, 4.- Timón). Para cada diagrama y máquina se realizó una validación que permitió saber si representan realmente a ERMIS, y posteriormente se evaluó cómo se debe realizar el diseño del sistema de energía.

### 5.3 Diseño del sistema de energía EXOSEP

Para el diseño del sistema de energía modular, primero se realizó la valoración morfológica de ERMIS, con el propósito de conocer la forma en la que se mueven los actuadores que permiten los movimientos de este exoesqueleto, además de conocer las dimensiones de la estructura que conforma a ERMIS, así como el cableado con el que actualmente cuenta y la manera en que está distribuido.

Posteriormente se procedió a la valoración y rediseño de las partes que conforman el sistema de energía.

#### 5.3.1 Fuente de alimentación.

Se analizó la fuente de alimentación, para determinar si se cambiaría o si se realizaría alguna modificación sobre la misma. La cual solo está sujeta a cambios, en caso de que no cumpla o no tenga la suficiente energía para que los actuadores realicen los movimientos requeridos.

#### 5.3.2 Arnés (Acoplamiento cinemático)

Se utilizaron como antecedentes los sistemas de energía del área automotriz, y del área industrial en robots manipuladores, por su gran experiencia en el desarrollo e implementación de sistemas de energía, en equipos que contienen diversos dispositivos electrónicos. También **se tomó** en cuenta las reglas de

enrutamiento que tienen los sistemas aeronáuticos, pero solamente las que apliquen al exoesqueleto ERMIS.

Los caminos que tomó el arnés de cable fueron establecidos a partir de la máquina de estados finitos, la cual marcó el camino que sigue la energía para todas las funciones de ERMIS y los casos de estudio programados en él mismo; además, de servir de guía para establecer el mejor camino que debió seguir el arnés. Una vez que se realizaron las propuestas viables de los posibles caminos que podría tomar el arnés, estos deben evitar entorpecer los movimientos del exoesqueleto, además se realizó una evaluación que debe determinar cuál es el mejor camino a través de un *Pugh Chart*. Este método de evaluación fue desarrollado por Stuart Pugh, el cual clasifica las opciones multidimensionales de un conjunto de opciones y se utilizó para elegir entre una lista de alternativas; para este proceso se seleccionaron los criterios más importantes de estas alternativas y se ponderaron para su evaluación [52].

Al obtener el mejor camino que seguirá el arnés, se sustituirá en el exoesqueleto, para lo cual primero se estableció el tipo de cable, que podrá realizar las curvas necesarias, para adosarse al exoesqueleto sin producir ruptura por el movimiento de los actuadores. Posteriormente se realizará el remplazo temporal del arnés de cable, que se validará realizando los movimientos de extensión máxima de cada uno de los actuadores, para verificar que no interfiera con el movimiento de las partes del exoesqueleto ERMIS.

### 5.3.3 Carcasas y Anclajes

Primero se establecieron cuáles son las partes fijas y móviles que conforman al exoesqueleto ERMIS, en base a lo obtenido se establecieron los módulos que **conformarán a** EXOSEP adosado a ERMIS. Cuando se establecieron estos módulos se realizó una función de diseño para cada uno de ellos, donde se **delimitó** los posibles efectos sobre el funcionamiento de ERMIS cuando se coloquen las carcasas.

La función de diseño para cada módulo está sujeta en 5 etapas, como se aprecia en la Figura 15, donde **se inicia** con el diseño conceptual, el cual se basa en la metodología de *Design Thinking*, que es una metodología centrada en el usuario,

“el cual es un método para generar ideas innovadoras que centra su eficacia en entender y dar solución a las necesidades reales de los usuarios” [51]. Esta metodología consta de cinco etapas, la cual te permite ir de una etapa a otra debido a que su seguimiento no es lineal, estas etapas son empatía, definición, ideación, prototipado y testeo; para este proyecto se llegó solo hasta el prototipado de cada módulo.

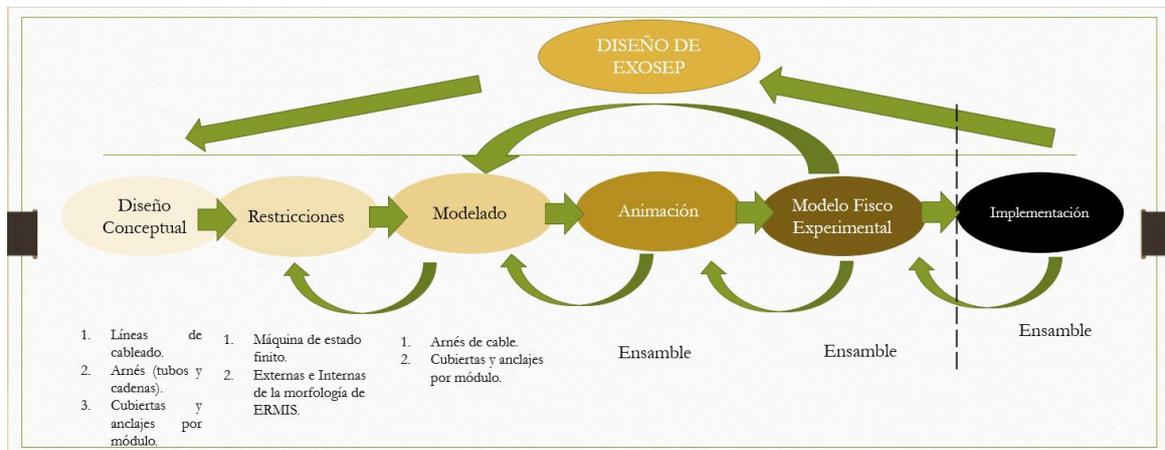


Figura 15. Metodología para el diseño de EXOSEP.

La primera etapa es el diseño conceptual, para lo cual primero se realizó propuestas para cada uno de los módulos, las cuales no debieron limitar los movimientos de ERMIS, por lo que en todo momento se evaluaron con respecto a la segunda etapa, que son las restricciones del diseño, que en este caso serán la máquina de estados finitos y las restricciones externas e internas de la morfología de ERMIS.

La tercera etapa que es el modelado se realizó mediante *SolidWorks* para cada parte del sistema de energía, algo importante a recalcar es que se tiene una retroalimentación hacia las restricciones, para evitar errores técnicos con respecto a ERMIS. Una vez que se **terminó** esta etapa se **pasó** a la de simulación, en donde se evaluó todo el ensamble y no parte a parte; posteriormente se validó que ERMIS pueda realizar los movimientos y funciones deseadas, una vez que ya se implementó virtualmente EXOSEP.

#### 5.3.4 Panel de control

En esta parte se evaluó la viabilidad del mismo, su distribución y se realizó una propuesta de cómo debió ir distribuido EXOSEP a los conjuntos movilizadores

izquierdo y derecho que integran a ERMIS, y las implicaciones que eso supuso para ambos conjuntos, así como su sistema de conexión.

## VI. INFORME DE ACTIVIDADES

Este informe se realizó, con el propósito de ejemplificar todas las actividades realizadas durante el año que duró la estancia de investigación, las cuales repercutieron de forma directa en el desarrollo del proyecto. Además, de que dan continuidad al mapa maestro que ejemplifica las tareas a realizar para lograrlo.

### 6.1 Análisis Patentométrico

La selección de las palabras clave para las diferentes bases de datos, se pueden observar en la Tabla 2, y en lo que respecta a las marcas se utilizaron aquellas que tuvieran trayectoria en la fabricación de arneses y paquetes energéticos o en su defecto las partes de los mismos.

Tabla 2 Bases de datos de patentes y su respectiva entrada de búsqueda

BASE DE DATOS	PALABRAS CLAVE
PATENTSCOPE	ALL «DressPack » AND «supply or system energy» ALL «MURRPLASTK» ALL «IGUS» ALL «ABB» ALL «LEONI» ALL « KUKA»
GOOGLE PATENTS	TX «DressPack» AND «MURRPLASTIK» OR «IGUS» OR «ABB» OR «LEONI» OR «KUKA» TX «Routing» TX «Routing exoskeleton»
INVENNES	TX «DressPack» OR «supply» OR «system energy» OR «routing» AND «MURRPLASTIK» OR «IGUS» OR «ABB» OR «LEONI» OR «KUKA»

Después, de obtener las primeras patentes de cada base de datos, se realizó una evaluación manual utilizando los criterios de inclusión y exclusión para restringir la búsqueda; y de esta forma encontrar las patentes que realmente están enfocadas en los sistemas de energía, así como sus componentes; debido a que las bases de datos obtienen todas las patentes que tengan en su título o en su resumen la palabra clave.

Después de realizar la validación manual de los resultados, la cual se enfocó en tres aspectos de la patente que son título, resumen y reclamaciones se encontraron los siguientes resultados (Tabla 3):

Tabla 3 Búsqueda literaria y resultados

BASE DE DATOS	PATENTES
PATENTSCOPE	14,379
INVENES	579
GOOGLE PATENTS	2,720
TOTAL	17,747
<b>SELECCIONADOS FINALES</b>	<b>256</b>

En lo que respecta a la comparación de las patentes se desarrolló un marco dividido en dos secciones: el enfoque estructural y el enfoque global que se puede observar en Figura 16. En el enfoque estructural se evaluaron las 256 patentes con respecto a las cualidades que se buscan en el desarrollo de EXOSEP, dando como resultado el desarrollo de tablas en donde se describen cómo las patentes cumplen con estas cualidades en cada uno de los componentes que conforman al sistema de energía. Por otro lado, en el enfoque global se focalizó en los datos de identificación de las patentes, para lo cual se realizaron gráficas representativas de los datos de oficina de registro, año de registro y clasificación de patentes, además se elaboró una tabla que cuantificó el número de patentes de cada dueño de los derechos de las mismas.

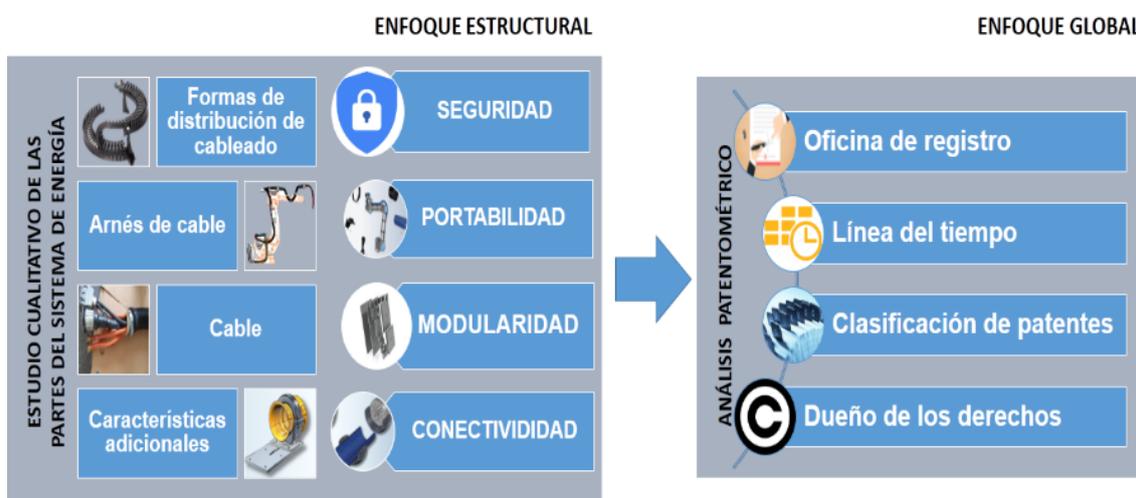


Figura 16. Enfoqué de comparación de patentes

Una vez que se analizó toda la información encontrada acerca de los sistemas de energía y la forma en la que actualmente se están desarrollando, se decidió realizar un *Brief* que almacenará toda la información recolectada y que al final planteará la propuesta de la plataforma modular conocida como EXOSEP.

## 6.2 Recopilación de la información disponible acerca del caso de estudio ERMIS

Para el caso de ERMIS la recolección de la información de su funcionamiento fue dividida en dos secciones, la primera sección se relacionó a la estructura que lo conforma (articulaciones) y la segunda sección se relacionó a su funcionamiento en cada caso de estudio para el cual fue diseñado.

La primera sección de acuerdo con la Tesis doctoral del Dr. Giorgio Mackenzie Cruz Martínez [29] existen requerimientos y restricciones que debe cumplir ERMIS para su correcto funcionamiento, como son:

- Dimensiones del brazo humano, debido a que las dimensiones del exoesqueleto deben satisfacer las características del sujeto de prueba.
  - Las condiciones que debe cumplir con respecto a las dimensiones son: análisis de fuerza y movimiento, los ejes de rotación alineados con los pivotes de las articulaciones, el diseño debe evitar que exista la suplantación de movimiento, y el diseño debe tener elementos fijos que no intervengan en la biomecánica del brazo.
- Momentos en cada articulación del brazo humano: se consideraron los movimientos que realiza el miembro superior desde una perspectiva mecánica, incluyendo las fuerzas, velocidades y aceleraciones. Los parámetros importantes para considerar son las variables articulares, longitudes, pesos y centros de gravedad de los segmentos.
  - Las condiciones con respecto a los rangos de movimiento de cada grado de libertad (DoF), deben estar dentro de los rangos anatómicos: por lo que el paciente debe tener una posición estable y derecha, el hardware (cables) no debe interferir con el espacio de trabajo, el hardware no deja que el brazo esté en una posición errónea, por otro lado, los motores seleccionados cumplen con las necesidades de fuerza y torque.

Cada articulación tiene un número determinado de grados de libertad que representan los movimientos que realiza el brazo [29]:

- Articulación del hombro tiene 3 DoF, que representan los movimientos de abducción/aducción, flexión/extensión y rotación interna/externa.
- Articulación del codo tiene 2 DoF, que representan los movimientos de flexión/ extensión y de pronación/supinación.
- Articulación de la muñeca tiene 2 DoF que representan los movimientos de flexión/extensión y movimientos de desviación radial/cubital.

Se consideró el tipo de manipulación de los elementos que conforman a ERMIS, debido a que repercute de forma directa en la ejecución de los movimientos del exoesqueleto y por ende en el recorrido de los dispositivos electrónicos que lo conforman; tiene tres formas de manipulación [29]:

- Manipulación paralela: análisis de las fuerzas que se da en el elemento terminal del brazo, ya que el dispositivo guía el movimiento por lo tanto se suman las fuerzas articulares alineadas al brazo.
- Manipulación en serie: el dispositivo no cuenta con ninguna articulación alineada al brazo solo guía el elemento terminal y realiza un análisis de velocidades.
- Comanipulación u órtesis: cada articulación se encuentra alineada con el pivote de la articulación anatómico y el movimiento se realiza por el análisis del torque.

En lo que respecta a la segunda sección se dividió en los casos de estudio que lo conforman, los cuales son [29]:

- Caso de estudio 1 (serie de ejercicios por articulación excluyentes): realiza uno o dos movimientos anatómicos, con repeticiones de 3 a 5 veces, el procedimiento consiste en seleccionar una articulación, inmovilizar al resto, para después comenzar con la flexión y extensión. Para este caso la medición no fue necesaria ya que tiene como referencia el rango funcional.
- Caso de estudio 2 (Ejercicio con carga aparente): pretende emular cuando una persona carga un objeto y lo deposita en algún lugar, en donde los movimientos que predominan son: flexo-extensión de hombro, codo y muñeca; en donde intervienen diversos conjuntos de articulaciones.

- Caracterización: se consideran dos situaciones: 1) levantamiento de enfrente hacia atrás siguiendo una trayectoria rectilínea y 2) traslado de un objeto de arriba hacia abajo siguiendo una trayectoria rectilínea. El movimiento no requiere todas las articulaciones se limita a las articulaciones del hombro y codo.
- Caso de estudio 3: activación de la memoria de un músculo a través del seguimiento de trayectoria, plantea movimientos de alguna tarea cotidiana que tiene una retroalimentación de tipo auditiva, somato sensorial o visual; que genera movimientos combinados de las articulaciones. Este caso es para pacientes que han superado la espasticidad.
  - Caracterización: seguimiento de trayectorias complicadas (retroalimentación visual), como es el trazo de una estrella de cinco puntos sobre una pizarra frente al paciente; en este caso de estudio se mueven todas las articulaciones de forma simultánea.
- Caso de estudio 4: emulación de rueda de hombro o timón, este ejercicio facilita la rehabilitación del hombro, brazo, codo y muñeca, debido a que mejora la fuerza muscular, flexibilidad articular y coordinación motriz.
  - Caracterización: los ejercicios se dividen en dos, a) sujeta la mano del paciente al mango y el terapeuta hace giro de timón, lo cual estimula los movimientos de todo el miembro superior, favoreciendo la flexión y extensión del hombro; b) el paciente está parado de lado con respecto al timón, sujeta la mano del paciente al mango del timón y el terapeuta lo hace girar, ejercita la abducción y aducción del hombro.
  - Protocolo de pruebas:
    1. Seleccionar el ejercicio de rehabilitación.
    2. Ubicar al paciente de posición específica (distancia y altura específica del aparato de rehabilitación).
    3. Definir los sextantes que se va a mover el timón.
    4. Poner al paciente en posición inicial.
    5. Ubicar los sensores en la posición inicial.
    6. Realizar una lectura.
    7. Mover 5º el timón a partir de su posición actual.

8. Orientar adecuadamente los sensores y el dispositivo del hombro.
  9. Tomar la nueva medición.
  10. Si no ha llegado a su posición final regresar al paso 6, si no continuar.
  11. Terminar.
- Se obtuvieron 60 valores por cada grado de libertad:
    - Fase 1: se comienza el giro desde la parte inferior del timón a 0° del eje vertical y se comienza con un movimiento ascendente hasta rotar 180°.
    - Fase 2: luego desciende hasta alcanzar de nuevo la posición de partida.

Posteriormente al análisis funcional del exoesqueleto ERMIS, se realizaron dos diagramas de flujo que describen el comportamiento y funcionamiento del mismo, para esta actividad se realizaron varias versiones de cómo se desglosarían estas actividades de acuerdo a dos grandes rubros: a) casos de estudio, articulaciones involucradas y sensores; b) la forma de obtención de datos a partir de la realización de los casos de estudio.

### 6.2.1 Primer diagrama de flujo

El primer diagrama de flujo, representó el análisis por cada caso de estudio, en donde cada módulo tiene una entrada y una salida que le permiten seguir con el flujo natural de las acciones para realizar las acciones programadas. Todos los casos de estudio tienen módulos ocultos que comparten, los cuales son descritos a continuación:

- El primer módulo que comparten es el de “PROCESO INICIAL” (Figura 17), este módulo integra la preparación inicial que realiza ERMIS previo a cualquier función, en este bloque se mandan todas las articulaciones, sensores y motores a HOME; para lograr que esto ocurra se analizan los interruptores de inicio y final de carrera que son los que le permiten a ERMIS posicionarse y saber dónde se encuentra, después se guarda la medición inicial y se mueve en la dirección seleccionada.

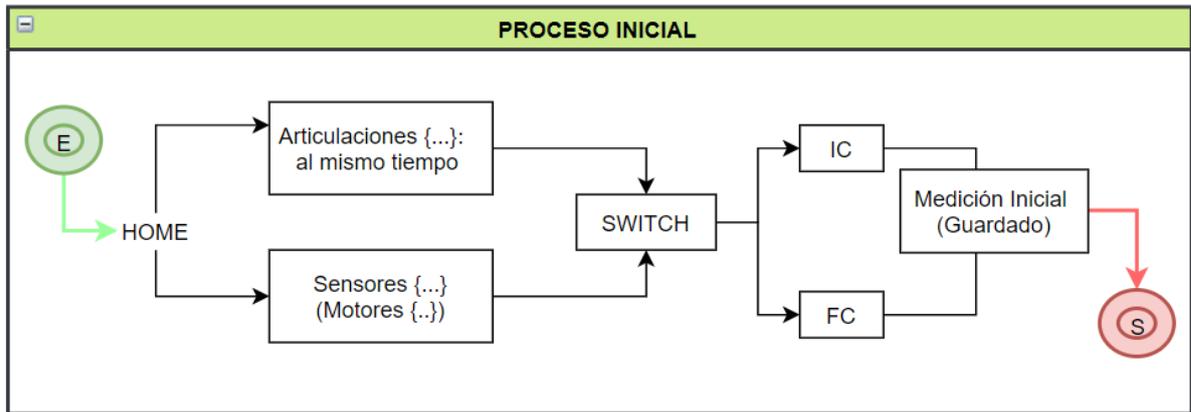


Figura 17. Módulo del proceso inicial (Home).

- El segundo módulo corresponde al “Proceso de Adquisición” (Figura 18), este módulo consiste en un bucle en donde todos los motores registran su medición continua; para los cuales la única forma de detener su funcionamiento es llegando a la posición solicitada y guardando dicha posición.

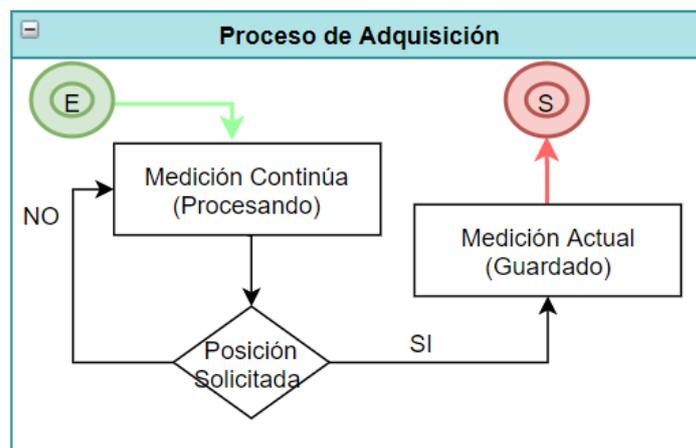


Figura 18. Módulo del proceso de adquisición.

- El tercer módulo corresponde a “Movimientos” (Figura 19), este módulo consiste en la selección de los movimientos que puede realizar la articulación, estos movimientos son flexión (F), extensión (E), rotación externa (RE), rotación interna (RI), pronación (P) y supinación (S), las posiciones están delimitadas por los interruptores de inicio (IC) y fin de carrera (FC). La entrada de este módulo es el movimiento que se desea realizar y la salida es el movimiento realizado, delimitado por los interruptores de inicio y fin de carrera.

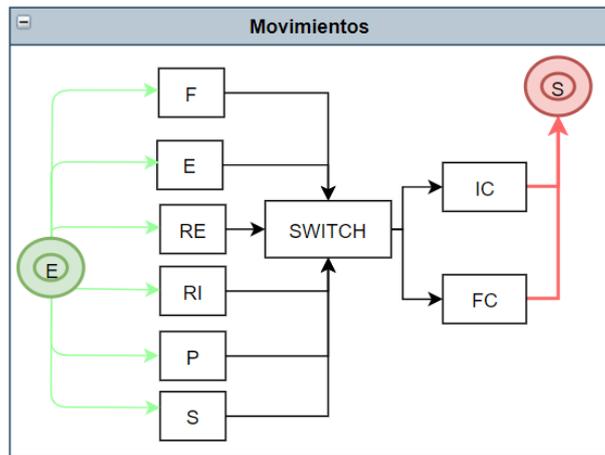


Figura 19. Módulo de la selección de movimientos.

- El último módulo corresponde a “Movimiento” (Figura 20), en donde dependiendo la articulación se realizaran ciertos movimientos; como es la articulación del hombro, además se indica el motor que ejecutara dicha acción, este módulo tiene oculto el módulo de “Movimientos” (Figura 19) que le permite determinar la acción que se va a establecer cuya salida es el movimiento del motor establecido.

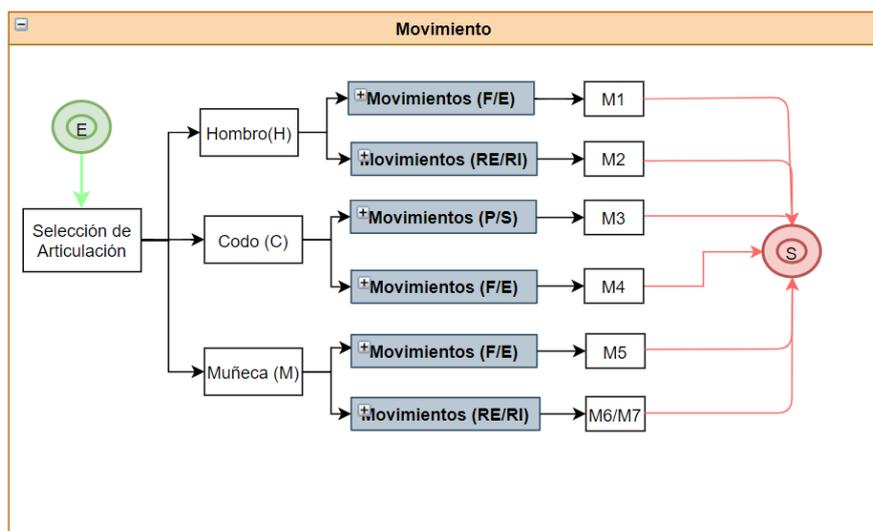


Figura 20. Módulo de movimiento articular.

El diagrama de flujo (Figura 25) tiene entradas y salidas que le permiten interactuar con todo el sistema, lo primero que hace es la selección de un caso de estudio lo cual está dividido en los siguientes cuatro:

1. Caso 1: primero se accede al proceso inicial en donde se regresa a ERMIS a su posición HOME, que es el punto de partida para cualquier

movimiento, después se realiza un movimiento libre que consiste en la selección de cada una de las articulaciones, por lo cual todas las articulaciones en algún punto se moverán. Una vez que se realice alguno de los movimientos disponibles, pregunta si se quiere volver a repetir el módulo para el empleo de otra articulación, de ser afirmativo se repite el módulo de “Movimiento libre” (Figura 21); pero de ser negativo hay dos opciones volver a seleccionar un caso o en su defecto finalizar el sistema.

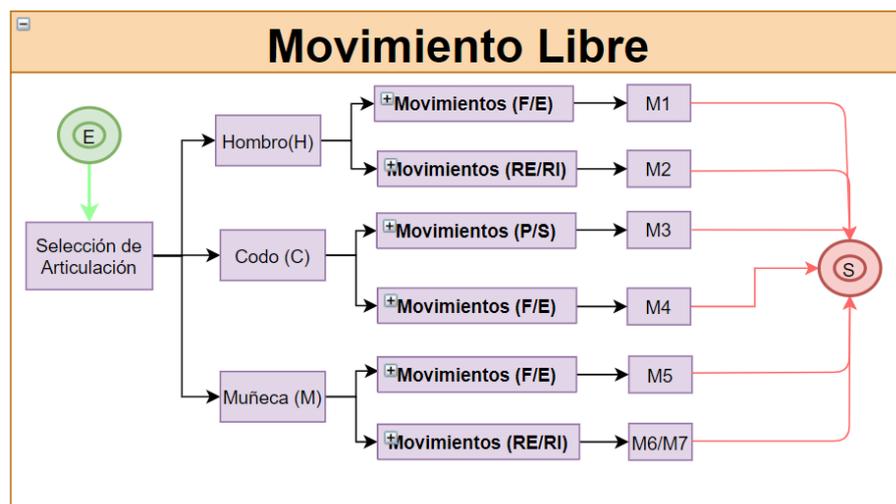


Figura 21. Módulo de movimiento libre.

2. Caso 2: el primer paso es acceder al proceso inicial en donde se regresa a ERMIS a su posición en HOME, después da la opción de dos movimientos: 1) Levantamiento de enfrente hacia atrás, donde la articulación a emplear es la del Hombro (H), lo cual activa al Motor 1 y se observa en la Figura 22; 2) Traslado de un objeto de arriba/abajo, en donde la articulación que se emplea es la del Codo (C), lo cual activa al Motor 4 y se observa en la Figura 23. Ambos caminos llevan al módulo de “Proceso de Adquisición”, lo cual lleva a preguntar si se quiere repetir el módulo y seleccionar otro movimiento en el Caso 2, sino se repite el módulo aún existen dos opciones: terminar el proceso o seleccionar un caso.

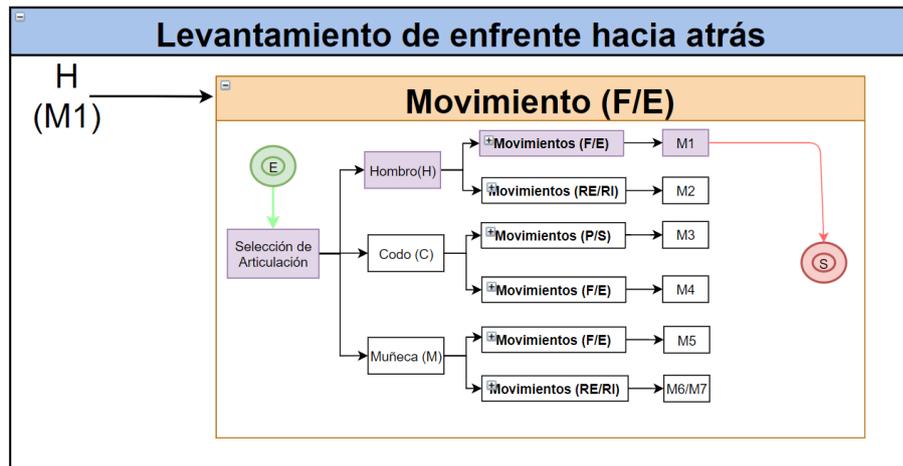


Figura 22. Módulo de Movimiento F/E del hombro aplicado al levantamiento del frente hacia atrás.

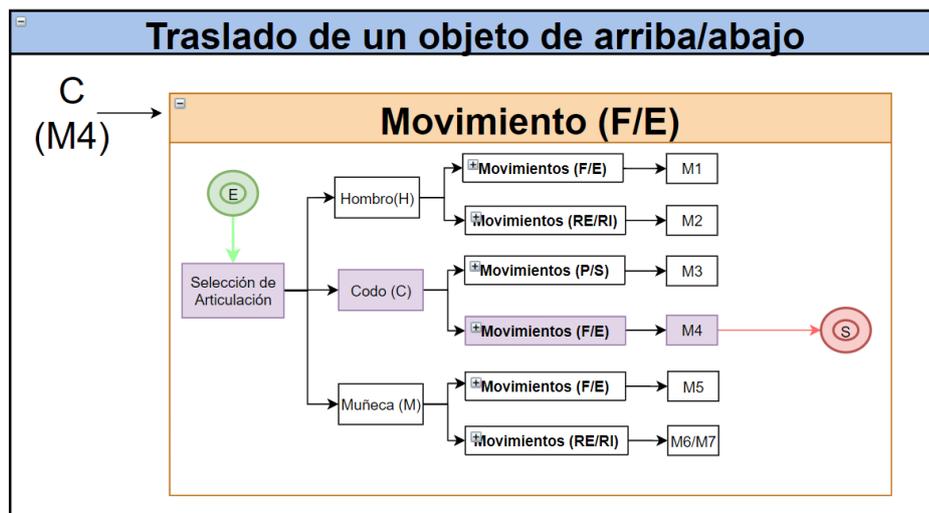


Figura 23. Módulo de Movimiento F/E del codo aplicado al traslado de un objeto de arriba/abajo.

3. Caso 3: primero se accede al proceso inicial, en este caso solo tienes una opción que es entrar al módulo de "Definición de Trayectoria", en este módulo la única trayectoria disponibles es GIO, por lo que se necesitara realizar todos los movimientos y utilizar todas las articulaciones, por lo que se accede al módulo de "Movimiento Combinado" como se puede observar en la Figura 24; después se accede al módulo de "Proceso de Adquisición", posteriormente se decide si se quiere repetir el movimiento y si es cierto se regresa al módulo de inicio, pero si en su defecto la opción es negativa da dos opciones: terminar el proceso (FIN) o seleccionar otro caso.



Figura 24. Módulo de Movimiento Combinado.

4. Caso 4: primero se accede al módulo de proceso inicial en donde te da dos opciones, 1) Se coloca de lado del timón, en donde para realizar el movimiento y cumplir con los sextantes se utilizan todos los movimientos y todas las articulaciones, por lo que se conforma un movimiento combinado como se observa en la Figura 24; 2) Se coloca de frente al timón, en donde la única diferencia con la opción 1 es la posición del usuario. Después, se accede al módulo de proceso de adquisición, y se evalúa si se realiza o no el movimiento.

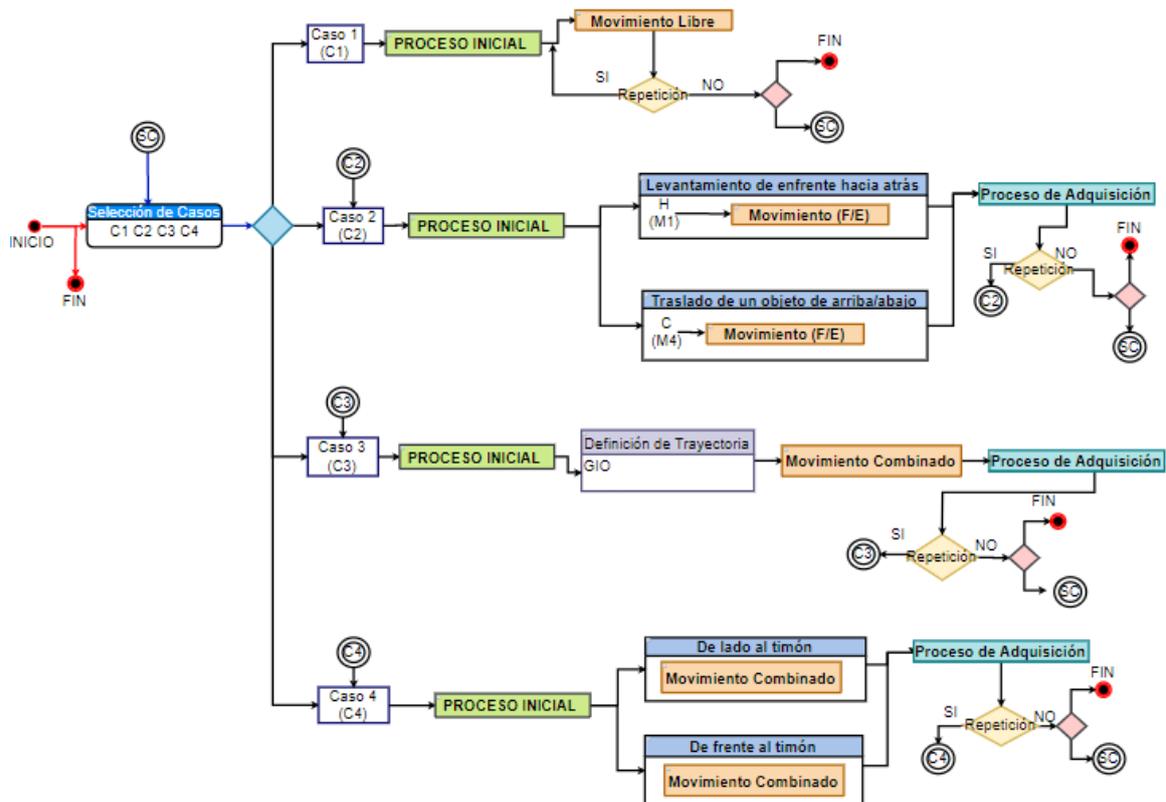


Figura 25. Diagrama de flujo por casos e ERMIS

### 6.2.2 Segundo diagrama de flujo

El segundo diagrama de flujo (Figura 26) correspondió a la forma en la que se obtienen los datos a raíz del desarrollo de cada uno de los casos; este diagrama tiene los siguientes conjuntos:

- Articulaciones: formado por Muñeca (M), Codo (C) y Hombro (H).
- Movimientos: formado por Flexión (F), Extensión (E), Rotación Interna (RI), Rotación Externa (RE), Abducción (Abd), Aducción (Ad) y Pronosupinación (P).
- Sensores: formado por 1.- Parte superior, 2.- F/E Hombro, 3.- RE/RI Hombro, 4.- F/E Codo, 5.- Pronosupinación Codo, 6.- F/E Muñeca y 7.- RE/RI Muñeca.
- Switch: formado por Inicio de carrera (IC) y Fin de carrera (FC).
- Motores: formado por Motor 1 (M1), Motor 2 (M2), Motor 3 (M3), Motor 4 (M4), Motor 5 (M5) y Motor 6 (M6);

La caracterización de las rutinas de los casos de estudio es:

- Rutina C1, es la Inmovilización y movimiento de una articulación.
- Caracterización Caso 2 (C.C2) formada por dos casos: levantamiento de un objeto que implica la flexión/extensión del hombro y el Traslado de un objeto de arriba a abajo, mediante la flexión y extensión del codo.
- Caracterización Caso 3 (C.C3) formada por dos casos: Estrella de cinco puntos y seguimiento de la trayectoria GIO.
- Caracterización Caso 4 (C.C4) formada por dos casos: de lado al timón y de frente al timón. La entrada es representada por un punto negro y alrededor un círculo rojo, la salida es representada por un punto negro y dos círculos rojos, y por último la redirección a selección de casos es representada con un el doble circulo donde el centro tiene un SC.

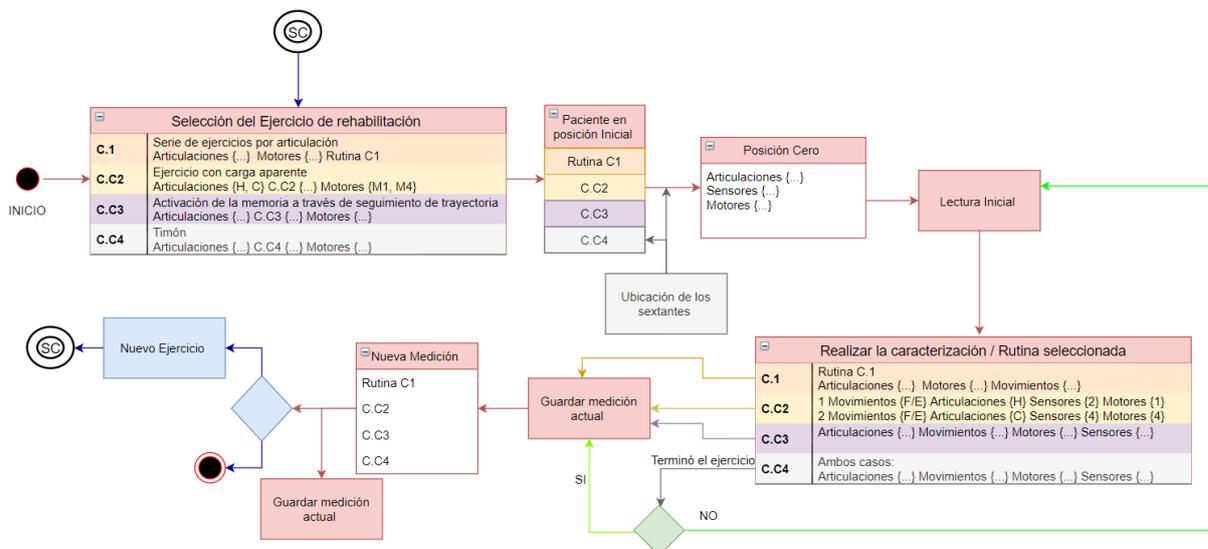


Figura 26. Diagrama de flujo para la obtención de datos.

Este diagrama permitió obtener una secuenciación de las rutinas determinada por el terapeuta, el diagrama inicia con la selección del ejercicio de rehabilitación deseado donde se pueden seleccionar cuatro casos: el C1 es la de ejercicio por articulación, el C2 es el ejercicio con carga aparente, el C3 activación de la memoria a través de seguimiento de trayectoria y por último el C4 timón; posteriormente se debe colocar al paciente en una posición inicial que sería la posición de HOME del exoesqueleto y en el C4 además de la posición HOME también se deben ubicar los sextantes para el ejercicio de Timón. En la posición cero o HOME se realiza la lectura inicial, como el comienzo tanto para los

sensores, los motores, así como de las estructuras del exoesqueleto; a continuación, se realiza la caracterización de la rutina seleccionada:

- C1 en este momento se ejecuta cada una de las articulaciones que conforman el exoesqueleto con respecto a la decisión del terapeuta, debido a que él decide que articulaciones son las que se moverán, por lo que en ese movimiento todas las articulaciones, motores y movimientos están implicados.
- C2 en este caso implican solo a dos articulaciones y dos movimientos los cuales son: la articulación del hombro, que implica los movimientos de flexión/extensión, el motor 1 y los sensores 2; la articulación de codo, que implica los movimientos de flexión/extensión, el motor 4 y los sensores 4.
- C3 para este caso se ejecuta un movimiento de seguimiento, por lo que implica la secuenciación de todas las articulaciones, movimientos, motores y sensores para cada una de las trayectorias implicadas.
- C4 para ambas formas de posicionamiento del timón implicara la ejecución de todas las articulaciones, todos los movimientos del exoesqueleto, todos los motores y todos los sensores, pero si no cumple con el ejercicio propuesto se debe volver a la lectura inicial, pero si cumple con la medición debe guardar la medición actual.

Posteriormente se registra como una nueva medición de los casos y se guarda como la medición actual que quedará registrada, poco después se darán dos opciones: a) nuevo ejercicio donde te devuelve a la selección de casos y b) salir.

A partir de estos diagramas de flujo, se diseñó una máquina de estado finito que describe de una forma más precisa el funcionamiento de ERMIS; que está conformado por bloques lógicos que coordinan procesos internos o externos que se llevan a cabo en un sistema electrónico, además de permitir controlar y especificar el flujo de información al mismo tiempo que describe el comportamiento del sistema.

### 6.3 Creación de la metodología

La metodología es la que tiene como objetivo describir el planteamiento, desarrollo y experimentación del sistema, por lo que para cualquier dispositivo

se debe constar de tres grupos [29] que son: a) la teoría del desarrollo del proyecto (consta de la parte teórica del diseño), b) construcción e implementación y c) la evaluación y medida.

Para el caso de EXOSEP se plantearon cuatro etapas, las cuales se describieron desde la documentación del proyecto que en este caso fue de los sistemas de energía, hasta la etapa de liberación del sistema de energía. En este caso se hicieron dos versiones que describen los pasos que llevan al desarrollo de EXOSEP; la primera versión que se plantea puede observarse en el ANEXO B, esta versión está dividida en cuatro etapas:

- Etapa 1: abarcó dos fases, la primera es la documentación en la que se buscó lo que conforma al sistema de energía, la normatividad vigente y los proyectos similares con lo que se obtienen los parámetros de construcción o principios de diseño que para este caso serían seguridad, modularidad, portabilidad y conectividad. La segunda consistió en la identificación del exoesqueleto en donde se deben analizar si son robots antropomórficos, si se pueden adaptar al cuerpo y la localización de los motores, dado que son los requerimientos necesarios para que EXOSEP pueda implementarse.
- Etapa 2: consiste en la identificación estructural y funcional del caso de estudio, para lo cual primero se realizó un análisis estructural (partes); objetivo de funcionamiento y los problemas actuales de ERMIS, lo que da como resultado el diseño de una máquina de estados finitos que describe el funcionamiento de ERMIS, además de obtener las restricciones externas e internas.
- Etapa 3: primero se planteó la reestructuración del sistema de energía, para este propósito se realizó la valoración morfológica, en donde a partir de la máquina de estados finitos se hizo el seccionamiento del exoesqueleto; posteriormente se dividió en partes el sistema de energía: a) fuente de alimentación, en donde se identificó la fuente para después determinar si se mantiene o se cambia; b) arnés, en donde primero se hizo un análisis cinemático para lo cual se identificó el tipo de cableado, se realizó un diagrama de puntos en donde pasa el arnés para después

realizar simulaciones y pruebas experimentales; que resultó en grupos de cables (niveles) además de dar opciones y propuestas de los posibles caminos que puede tomar el arnés. Para identificar el camino correcto se realizó una selección a partir de un *Pugh Chart*; c) diseño de carcasas y anclajes, para esta parte se determinan los módulos en los que se va a dividir el exoesqueleto, se definen los requerimientos para posteriormente diseñar las carcasas; por último, d) diseño de panel de control, en este caso se analiza la centralización de encaminamiento del arnés, y después se identifica el cableado por niveles.

- Etapa 4: es la integración de EXOSEP para lo cual se realizó un recambio del sistema con las secciones finales y se realizó una validación experimental con calibración por casos.

La segunda versión también se encuentra dividida en cuatro etapas (Figura 30):

- Etapa 1: se divide en dos fases, la primera fase se conoce como documentación (Figura 27) en la cual se establecieron los criterios de diseño y se evaluaron los proyectos que ya existen acerca de este tema, la segunda fase consiste en la identificación del exoesqueleto (Figura 28) en donde se analizaron las características del exoesqueleto, en donde se va a desarrollar EXOSEP, el factor que determinó la familia del producto es la posición de los motores, por lo que se dividió en dos clases: a) fuera de las articulaciones (lineales) y dentro de las articulaciones (rotacionales).

1. Documentación	
<b>TAREAS:</b> Partes del sistema de energía Normatividad Estado del arte	<b>META:</b> Parámetros de construcción (S, M, P, C)

Figura 27. Módulo de documentación.

2. Identificación del Exoesqueleto	
TAREAS: Robots Antropomórficos Adaptación del cuerpo Localización de los motores	META: Requerimientos de aplicabilidad

Figura 28. Módulo de Identificación del exoesqueleto.

- Etapa 2: en esta etapa se realizó la identificación estructural y funcional del caso de estudio (Figura 29), para conocer todas las partes que lo componen, además de analizar el objetivo de funcionamiento, así como se evaluaron las restricciones externas e internas del sistema. Posteriormente se realizaron dos diagramas de flujo uno en donde se describen como se obtienen los datos y otro el funcionamiento del mismo; después se realizó una Máquina de Estados Finitos (MEF) para describir el comportamiento funcional del exoesqueleto.

1. Identificación Estructural y Funcional	
TAREAS: Análisis Estructural (Partes) Objetivo de funcionamiento Restricciones Externas/Internas	META: Diagrama de Flujo (DF)

Figura 29. Módulo de Identificación Estructural y Funcional.

- Etapa 3 Reestructuración de Sistema de Energía (Niveles): primero se dividió en las partes del sistema de energía, 1) Fuente de alimentación, en donde se evaluó si se necesita reemplazar o no. 2) Arnés (Acoplamiento cinemático) la cual tiene una salida para la tercera fase, pero también tiene una salida al módulo de modelo industrial y una validación experimental. 3) Carcasas y anclajes (parte fija y móvil), en esta fase se dividió por articulación y sección del miembro superior que definen a los módulos (muñeca, antebrazo, codo, brazo y hombro), cada módulo contiene una función de diseño, en la cual se propone el diseño y una posterior valoración experimental; además cada módulo tiene una salida directa al módulo del modelo industrial y validación experimental. 4) Panel de control, en esta fase se analizó la

localización y la viabilidad de las conexiones que controlan al exoesqueleto.

- Etapa 4: es la última etapa en la cual se integró todas las partes de EXOSEP, esta fase se rigió por las restricciones externas/internas, además de que tiene una salida directa al módulo del modelo industrial y validación experimental.

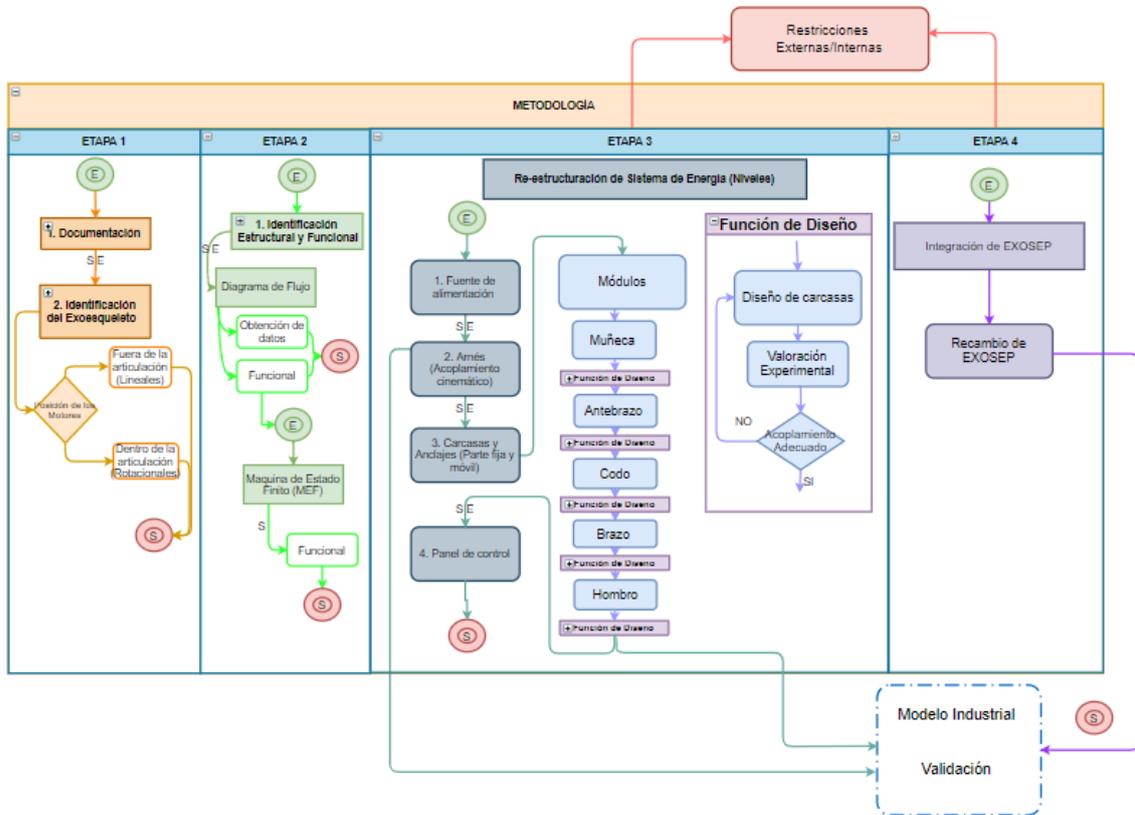


Figura 30. Segunda versión de la metodología general para la implementación de EXOSEP

Posteriormente se aplicó esta metodología en el caso de estudio ERMIS, con lo que se diseñó el Mapa Maestro que guiara el desarrollo de EXOSEP, el cual está definido como un “diagrama que sirve para mostrar un panorama general del desarrollo de un modelo, a partir del cual se identifican sus sistemas” [45], este diagrama se puede observar en el Anexo A.

## 6.4 Diseño del arnés

### 6.4.1 Análisis del primer sistema de energía que tiene ERMIS:

Lo primero es la batería la cual está ajustada a 18 V para los motores 1 y 2 y de 9 V para los motores 3 y 4; debido a las especificaciones de los motores lineales

y al funcionamiento correcto de ERMIS; se decidió que se conservaría la batería con las especificaciones señaladas. Después se analizó de forma estructural y funcional el arnés con el que contaba, para el cual se encontraron los siguientes problemas:

- Holgura excesiva del cableado.
- Obstrucción del movimiento.
- Enredamiento del cableado después de ciertos movimientos o combinación de los mismos.
- Contacto de los cables con el paciente.
- Acoplamiento débil de los cables (fácil desconexión).
- Movimiento combinado en la articulación del antebrazo/codo.

Las restricciones con las que debe cumplir el arnés, se dividen en restricciones externas e internas y son las siguientes:

Restricciones externas:

- No obstruir el movimiento de las articulaciones libres (Movimiento articular libre).
- No contacto directo con el paciente.
- Acoplamiento reforzado de los sistemas de retroalimentación (enchufes).
- Seguir el movimiento articular del exoesqueleto (permitir los movimientos sin restricciones).
- Evitar la colisión entre partes del sistema por el movimiento.
- Permitir la tensión y holgura del cableado sin afectar el movimiento articular.
- Desacoplamiento del sistema de energía.
- Identificación modular.
- Solo hay movimiento en cadenas.
- Sistema acoplado que permita el movimiento en la articulación antebrazo y codo.

Restricciones internas:

- No funciona el sistema sino están todos los módulos del sistema en forma secuencial.

- Evitar el desgaste del cableado por movimiento articular.
- Conexión entre módulos que soporte el movimiento articular evitando el desacoplamiento (no hay ruptura).
- El cable de potencia y de control debe contar con una distancia entre ellos o aislamiento extra.
- Funcionamiento continuo dependiendo del caso de estudio o sección.
- Mantenimiento accesible.

A continuación, se describen el número de cable de los sensores de posición y retroalimentación, el tamaño en centímetros y las conexiones a donde lleva cada cable y su descripción (Tabla 4):

Tabla 4 Características de los cables que conforman al cableado del exoesqueleto ERMIS.

No. CABLE	TAMAÑO (CM)	CONEXIONES
1	88	4 Salidas: Switch 1B (2) y Switch 2B (2)
2	46	4 Salidas: M2SA (2) y M2SB (2)
3	109	1 Salida; Motor 3
4	114.7	2 Salidas: Motor 3
5	149	2 Salidas: Switch SACA
6	131	2 Salidas: Switch SACB
7	130.5	2 Salidas: Switch SAA
8	130	2 Salidas: Switch SAB
9	87.5	1 Salida: Motor 1
10	81.4	2 Salidas: Motor 1
11	57.5	1 Salida: Motor 2
12	82.5	2 Salidas: Motor 2
13	131	1 Salida: Motor 4
14	142.8	2 Salidas: Motor 4
15	121.1	2 Salidas: SMIA
16	124.6	3 Salidas: GND, 5V, Motor 1
17	31	5 Salidas
18	142.8	2 Salidas SMDA
	135.2	2 Salidas SMDB
19	143.6	2 Salidas Motor muñeca

#### 6.4.2 Posibles opciones de caminos que puede tomar el arnés

En las siguientes imágenes se muestran el número de cables, los puntos de entronque de los mismos, y los puntos de conexión para los sensores de retroalimentación que serían los interruptores de inicio y fin de carrera; en la Figura 31 y la Figura 32 se puede observar uno de los posibles caminos vistos de forma lateral y frontal, de la posición extendida del exoesqueleto ERMIS.

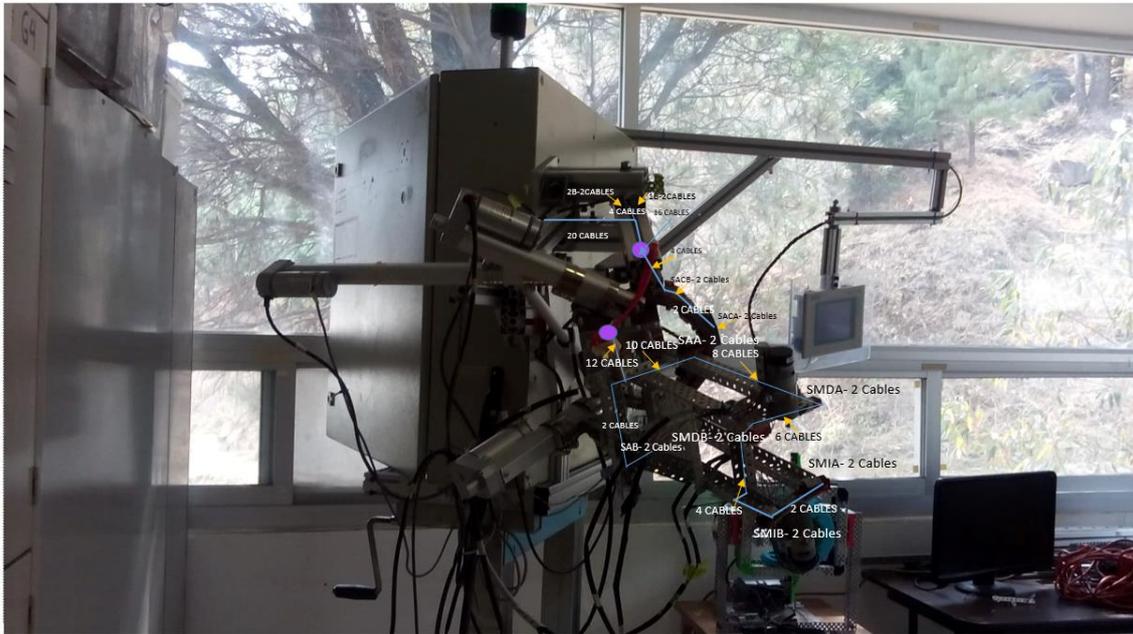


Figura 31. Vista lateral de ERMIS con el número de cables de los sensores de retroalimentación

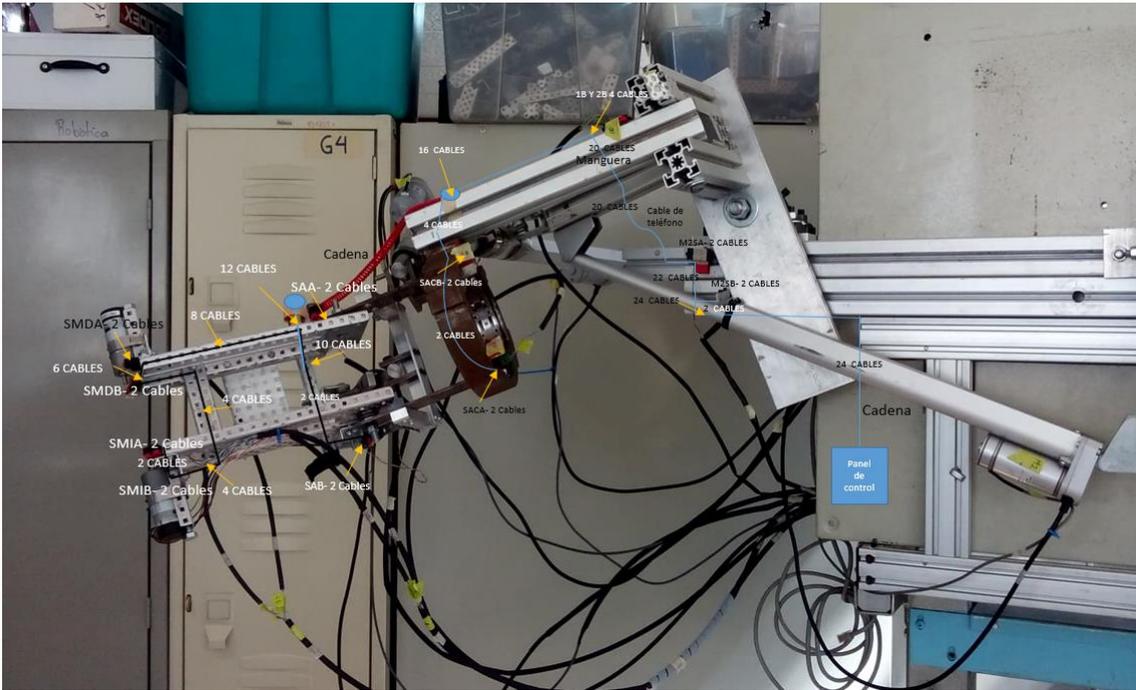


Figura 32. Vista frontal de ERMIS con el número de cables de los sensores de retroalimentación

Este mismo procedimiento de conteo y puntos de conexión se realizó para los motores, que se puede observar en la Figura 33 y en la Figura 34, que muestran una vista frontal y lateral del exoesqueleto ERMIS en la posición de Home.



Figura 33. Vista frontal de ERMIS con el número de cables de los motores

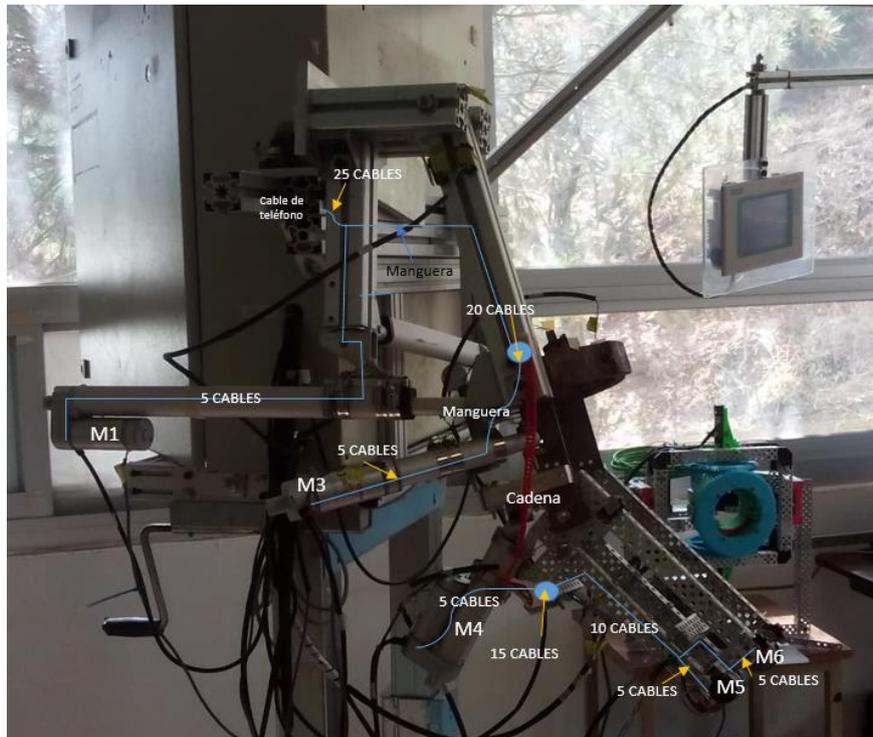


Figura 34. Vista lateral de ERMIS con el número de cables de los motores

Posteriormente al conteo y registro de los puntos de entronque, se propusieron diferentes caminos para la distribución adecuada del arnés, para los cuales se realizaron diversas propuestas que fueron analizadas de forma práctica. Las restricciones para que contaran como un camino viable fueron:

- El arnés pueda adosarse a la estructura del exoesqueleto ERMIS, imitando su estructura y de esta forma realizar el movimiento articular para cada uno de los motores.
- La no intervención del arnés en el movimiento articular.
- Evitar la holgura excesiva de los cables.
- Evitar el contacto entre los cables de potencia y los cables de los sensores.
- Evitar que los cables no tengan la suficiente holgura, y que por ello exista la desconexión de los elementos o la ruptura de los cables.
- El camino debe contar con puntos de unión en donde se adhieran más cables, pero sin afectar con la articulación o que restrinja el movimiento de esta.

El arnés cuenta con cinco secciones:

- 1) Antebrazo y codo: tiene un seccionamiento libre cuyo movimiento es vertical y genera una curva, cuya flexión y extensión provoca una tensión y holgura excesiva dependiendo de la posición inicial y final del exoesqueleto. Puede provocar un desgaste si el cable no es flexible.
- 2) Codo y brazo (2 curvas) existe una holgura excesiva en ambas posiciones, en donde existe un movimiento vertical sobre el brazo, además de tener un acoplamiento para el aumento y disminución del cable; un plus es que no genera fricción y cuenta con deslizamiento continuo.
- 3) Brazo (1 curva) cuenta con una holgura excesiva en ambas posiciones tanto inicial como final, no genera fricción y el movimiento del cableado es horizontal.
- 4) Brazo (2 curvas) consta con una holgura excesiva en posición inicial y tensión en posición final, provocando un deslizamiento horizontal para el cual existe una fricción pequeña y genera un desgaste considerable.
- 5) Hombro (4 curvas) tiene una holgura en posición inicial y tensión en la posición final, puede provocar fricción y desgaste al momento del cambio de posición; en la primera curva el movimiento es horizontal, vertical en la segunda curva, horizontal en la tercera y vertical en la cuarta curva.

Las siguientes opciones de los caminos para cada módulo, son las que cumplen con las anteriores restricciones:

El arnés fue dividido en dos módulos como se puede observar en la Tabla 5, el primer módulo abarca desde el extremo del antebrazo hasta el brazo, por lo que para esta opción de arnés se incluyen los mazos 1 y 2; el segundo módulo abarca desde el hombro hasta la espalda, por lo que para esta opción de arnés se incluyen el mazo 3.

Las ventajas son:

- Visibilidad reducida del arnés.
- Holgura de cables considerable.
- En el codo solo hay un punto de sobrecarga de cables.

Problemas identificados:

- Saturación de cables en las zonas libres cuando se acopla a los motores.
- En las zonas libres del antebrazo y brazo entran en contacto con el usuario.

Tabla 5 Opción 1 para los módulos 1 y 2

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	No. MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
1	SMDA	24.5	Antebrazo	Interior	1	1
	SMDB	29.5				3
	SMIA	51				4
	SMIB	44.5				3
	SAB	31.5				4
	SAA	23.5				3
1		10	Entre Antebrazo y codo	Interior	1	2
2	1	44.5	Codo y Brazo	Interior Exterior	1	4
	SACA	61				7
	SACB	49				8
3	2	24	Hombro	Exterior	2	2
	1 B	26				4
	2 B	26				4
3		47	Hombro Espalda	Exterior		6

Como se puede observar en la Tabla 6 y Tabla 7, toman diferente camino para el módulo 1 y mantiene el camino del módulo 2; estas diferencias en los caminos son:

- El camino de los switchs SMIA y SMIB son modificados por lo que su intersección es más rápida y hay más nodos (se encuentran uno o más cables).
- El número de curvas aumenta en la zona del antebrazo.
- Aunque aumento el número de cables no hay una sobrecarga significativa al momento del paso de cables, pero al colocar el ensamble de motores puede que exista una afectación por la concurrencia de cables.
- Misma complejidad de codo hacia arriba con respecto al primer arnés, el cable no necesariamente necesita tener memoria para adaptarse a la estructura

Tabla 6 Opción 2 para los módulos 1 y 2 (Parte 1).

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	No. MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
1	SMIA	57.5	Antebrazo	Interior	1	7
	SMIB	44.5				7
	SMDA	24.5				4
	SMDB	24.5		1		
	SAA	23.5		Exterior		3
	SAB	31.5		Interior		4
1		10	Entre antebrazo y codo	Interior		2

Tabla 7 Opción 2 para el módulo 1 y Opción 1 para el módulo 2 (Parte 2)

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	No. MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
2	1	44.5	Codo / Brazo	Interior	1	4
	SACA	61		Exterior		6
	SACB	41				8
3	2	24	Brazo	Exterior	2	2
	1B	26	Hombro			4
	2B	26				4
3		47	Hombro Espalda	Exterior		6

Esta opción únicamente considera al módulo 2 como se puede observar en la Tabla 8, en esta sección se observa lo siguiente:

- La sección libre superior tiene 2 movimientos verticales en ambas partes de curva del arnés.
- Movimiento en el hombro de flexión libre, sin mucha tensión y con holgura continua, sin mucha fricción al movimiento del estiramiento del cable.
- Entre el nodo 6 y nodo 7 en la parte superior hay intersección de cables la cual tiene cierta holgura, con una tensión continua que ayuda al movimiento y tensión de la holgura de la curva sobre el hombro.
- El movimiento del nodo 6 y 7 tiene un movimiento vertical sobre el riel para el mazo 2, para 1B y 2B no hay movimiento ni corrimiento

Tabla 8 Opción 2 para el módulo 2

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	No. MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
3	2	23	Brazo	Exterior	2	1
	1B	16.3				3
	2B	17.8				4
3		54.5	Brazo Hombro	Exterior		4

Esta opción representa únicamente la opción tres del módulo 1 como se puede observar en la Tabla 9 y Tabla 10, para la cual se identificaron los siguientes puntos a considerar:

- En el primer segmento a pesar de que tiene 7 curvas los segmentos en su mayoría son rectos, pero las curvas son cerradas.
- En el segundo segmento las curvas son más pronunciadas, pero únicamente son dos.
- En el tercer segmento tiene una curva pronunciada y dos curvas cerradas y consecutivas.
- En el quinto segmento cuatro curvas pronunciadas y dos curvas cerradas las cuales están unidas por un segmento recto.

Tabla 9 Opción 3 para el módulo 1 del arnés (Parte 1)

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	No. MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
1'	SMIA	26	Antebrazo	Interior	1	1
	SMIB	30.5				2
	SAB	25				4

Tabla 10 Opción 3 del arnés para el módulo 1(Parte 2)

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
1'		12.5	Antebrazo y codo	Interior	1	2
1"	1'	24.5	Codo	Interior		3
	SACA	29				3
1°	SMDA	28	Antebrazo	Interior		1
	SMDB	30.5		Interior		1
	SAA	29.5		Exterior Interior		3
1°		12	Antebrazo y codo	Interior		2
1	1°	12	Codo	Interior		2
	SACB	19				5
2	1	15	Brazo	Exterior		2
	1"					
2		8	Brazo	Exterior		0

Esta opción representa únicamente la opción cuatro del módulo 1 como se puede observar en la Tabla 11, para la cual se identificaron los siguientes puntos a considerar:

- En la primera sección el módulo del switch SAB tiene alrededor cinco vueltas que tienen un ángulo recto, lo cual aumenta la complejidad del mismo debido a que tiene una mayor inclinación.
- En la tercera sección tiene dos curvas pronunciadas.

- En la sexta sección al igual que en la primera sección tiene cinco vueltas, pero a diferencia de esta sección estas curvas son más pronunciadas y consecutivas.

Tabla 11 Opción 4 del arnés para el módulo 1

MAZO	SWITCH	TAMAÑO DEL ARNÉS (CM)	MÓDULO	INTERIOR/ EXTERIOR	MÓDULO	COMPLEJIDAD (VUELTAS)
1''	SMIA	26	Antebrazo	Interior	1	0
	SMIB	34				1
	SAB	25				5
1''		12.5	Antebrazo-codo	Interior		2
1'	1''	24.5	Codo	Interior		3
	SACA	29	Codo	Interior		3
1	SMDA	28	Antebrazo	Interior		1
	SMDB	34				2
	SAA	29.5				4
1°		12	Antebrazo-codo	Interior		2
1	1°	12	Codo	Interior	2	
	SACB	19			5	
2	1	15	Brazo	Exterior	2	
	1'					
2		8	Brazo	Exterior	0	

### 6.4.3 Opciones de arnés combinando las diferentes opciones de módulos

La primera opción de arnés se puede observar en la Figura 35, en esta opción se utiliza la opción 1 para el módulo 1 y el módulo 2; en donde se puede observar que el primer módulo consta de cuatro nodos de unión:

- 1) En este punto se juntan los mazos de cable de los interruptores SMIA y SMIB, además del motor 5 de la muñeca y el interruptor SAA que controla al motor 4.
- 2) En este punto se juntan los mazos del interruptor SMDA y SAB, además del motor 6 de la muñeca y los mazos se cruzan en el nodo 3.
- 3) En este punto se juntan los mazos del interruptor SMDB, además de los mazos de cable que se unieron en el nodo 1.
- 4) Este nodo representa la unión de los mazos de cable anteriores con los interruptores del anillo que son SACA y SACB.

El módulo 2 está representado por el nodo 5, en donde se unen los mazos de cable anteriores, que suben a partir de la estructura que representa al brazo y el de los interruptores 1B y 2B; este mazo de cables emula el movimiento de flexión y extensión de la articulación del hombro gracias a la curvatura presentada.

## ARNÉS 1



Figura 35. Primera opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La segunda opción del arnés de cable en ERMIS se puede observar Figura 36, en donde los primeros 6 nodos de unión representan la segunda opción del primer módulo:

- 1) Este nodo abarca la unión de los interruptores SMIA y SMIB, además del mazo de cables del motor 5.
- 2) Este nodo abarca la unión del mazo de cables del nodo 1 y los cables del motor 5 en conjunto de los interruptores SMDA y SMDB.
- 3) Este nodo abarca la unión del mazo del nodo 2 agregando los cables del interruptor SAA.
- 4) Este nodo abarca la unión del mazo del nodo 3 más los cables de los interruptores SMDA, SMDB y SAB.
- 5) Representa la curvatura que el mazo de cables tendrá que emplear para emular el movimiento de la articulación del codo.
- 6) Representa la unión del mazo del nodo 4 más los cables de los interruptores SACA y SACB

En lo que respecta al módulo 2 sigue el camino de la primera opción, pero en lugar de empezar en el nodo 5 comienza en el nodo 6.

## ARNÉS 2



Figura 36. Segunda opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La tercera opción del arnés de cable en ERMIS se puede observar en la Figura 37, en donde los primeros 5 nodos de unión representan la tercera opción del primer módulo:

- 1) El primer nodo del lado izquierdo, representa la unión de los cables del motor 5 de la muñeca y el interruptor SMIB. Por otro lado, el primer nodo del lado derecho representa la unión de los cables de los interruptores SMDA, SMDB y SAA, además de los cables del motor 6 de la muñeca.
- 2) El segundo nodo del lado izquierdo, representa la unión de los cables del primer nodo más los cables del interruptor SMIA.
- 3) El tercer nodo tanto del lado izquierdo como del lado derecho, representan la curvatura del cable para emular el movimiento de la articulación del codo.
- 4) El cuarto nodo, representa la unión de los cables del tercer nodo tanto del lado derecho como del lado izquierdo, además de los cables del interruptor SACA.
- 5) El quinto nodo, representa la unión de los cables del cuarto nodo más los cables del interruptor SACB.

En lo que respecta al módulo 2 sigue el camino de la primera opción, a partir del sexto nodo.

## ARNÉS 3



Figura 37. Tercera opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La cuarta opción del arnés de cable en ERMIS se puede observar en la Figura 38, en donde los primeros 5 nodos de unión representan la cuarta opción del primer módulo:

- 1) El primer nodo del lado izquierdo une los cables del motor 5 más los interruptores SMIA y SMIB; mientras que el primer nodo del lado derecho une los cables del motor 6 más los interruptores SMDA y SMDB.
- 2) El segundo nodo de lado izquierdo une los cables del primer nodo del lado izquierdo más los cables del interruptor SAA; mientras que el segundo nodo del lado derecho une los cables del segundo nodo del lado derecho más los cables del interruptor SAB.
- 3) Los nodos del número tres de ambos lados representan la curvatura que imita el movimiento de la articulación del codo.
- 4) El cuarto nodo representa la unión de los cables del nodo tres izquierdo y derecho, además de la unir los cables del interruptor SACA.
- 5) El quinto nodo representa la unión de los cables del cuarto nodo más los cables del interruptor SACB.

En lo que respecta al módulo 2 sigue el camino de la primera opción, a partir del sexto nodo.

## ARNÉS 4



Figura 38. Cuarta opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La quinta opción del arnés de cable en ERMIS, se puede observar en la Figura 39, en donde los primeros 4 nodos de intersección, representan la primera

opción del primer módulo como se observó en la primera opción del arnés de ERMIS. Por otro lado, el quinto nodo representa el segundo módulo, en donde se unen los cables del nodo cuatro más los cables de los interruptores 1B y 2B; este mazo de cables crea una curvatura sobre la articulación del hombro, para emular los movimientos de flexión y extensión de la articulación del hombro.

## ARNÉS 5



Figura 39. Quinta opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La sexta opción del arnés de cable en ERMIS, se puede observar en la Figura 40, en donde los primeros 6 nodos de unión representan la segunda opción del primer módulo, como se observó en la segunda opción del arnés de ERMIS. Por otro lado, a partir del séptimo nodo representa el segundo módulo, en donde se unen los cables del sexto nodo más los cables de los interruptores 1B y 2B; este mazo de cables crea una curvatura sobre la articulación del hombro, para emular los movimientos de flexión y extensión de la articulación del hombro.

## ARNÉS 6



Figura 40. Sexta opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La séptima opción del arnés de cable en ERMIS se puede observar en la Figura 41, en donde los primeros 5 nodos de unión, representan la tercera opción del primer módulo como se observó en la tercera opción del arnés de ERMIS. Por otro lado, a partir del sexto nodo representa el segundo módulo, en donde se unen los cables del sexto nodo más los cables de los interruptores 1B y 2B; este mazo de cables crea una curvatura sobre la articulación del hombro, para emular los movimientos de flexión y extensión de la articulación del hombro.

## ARNÉS 7



Figura 41. Séptima opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

La octava opción del arnés de cable en ERMIS se puede observar en la Figura 42, en donde los primeros 5 nodos de unión, representan la cuarta opción del primer módulo como se observó en la cuarta opción del arnés de ERMIS. Por

otro lado, a partir del sexto nodo representa el segundo módulo, en donde se unen los cables del sexto nodo más los cables de los interruptores 1B y 2B; este mazo de cables crea una curvatura sobre la articulación del hombro, para emular los movimientos de flexión y extensión de la articulación del hombro.

## ARNÉS 8



Figura 42. Octava opción del arnés de cable para el exoesqueleto ERMIS

Una vez que se establecieron las posibles opciones del arnés se aplicaron dichas opciones, mediante el uso del cable con el que está elaborado el sistema de energía que tenía ERMIS, recordando que solo se aplicaron para los sensores como se describieron en las tablas, debido a que los motores seguirán el camino establecido por los sensores. Esto con la finalidad de constatar que estos caminos son viables y que no interfieren con el movimiento del exoesqueleto ERMIS, además de seguir el movimiento articular de este. Como se observa en la Figura 43, se pueden ver las dos primeras opciones disponibles para el primer módulo del arnés de cable, en donde en la parte que está marcada con el número 1 representa el camino donde se utilizan ambas barras para llevar el arnés, pero al final todo se inclina hacia el lado derecho, donde se encuentra el brazo del exoesqueleto. Por otro lado, la parte que está marcada con el número 2 se diferencia de la parte 1, en que el cableado de los sensores del lado izquierdo se pasa desde el primer eslabón a la parte derecha.

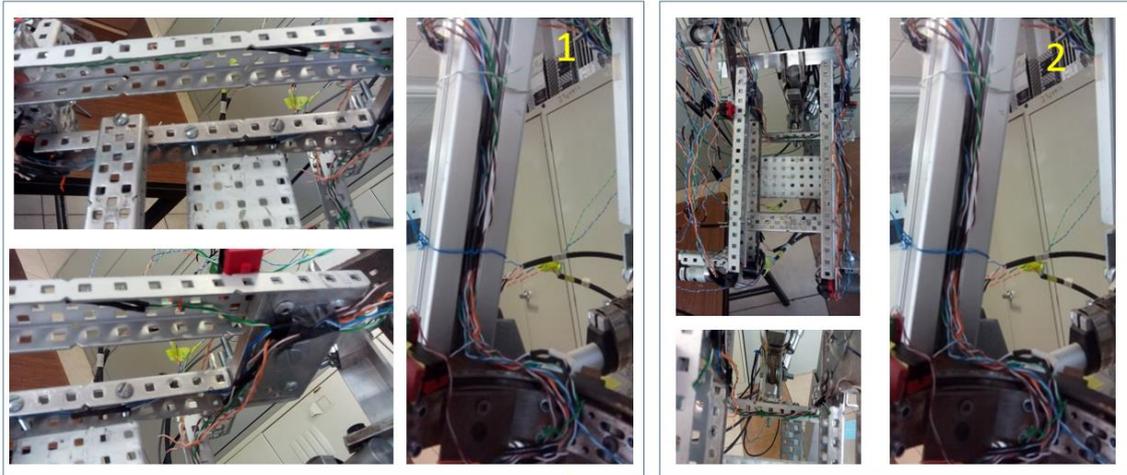


Figura 43. Muestra las dos primeras opciones del primer módulo del arnés de cable.

En la Figura 44, se pueden apreciar las otras dos opciones disponibles para el primer módulo, en donde la figura marcada con el número 1, se diferencia en que utilizan ambas barras para llevar el arnés de cable de los primeros sensores, y en el caso del anillo se lleva en las dos partes del mismo, rodeando la mitad del anillo. Por otra parte, en la figura marcada con el número 2 se diferencia en que los cables de los sensores solo utilizan la barra superior para llevar este arnés.

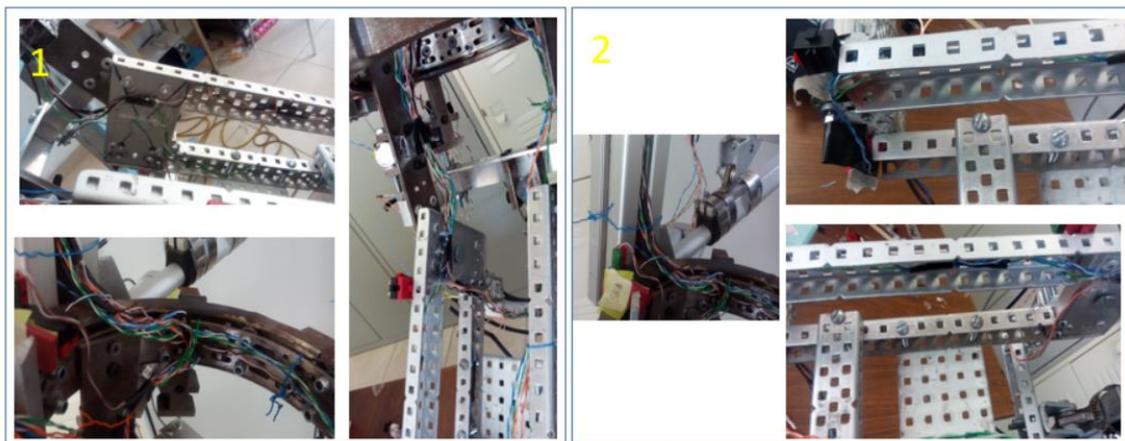


Figura 44. Muestra las segundas dos opciones del primer módulo del arnés de cable.

En la Figura 45, se observan las dos opciones para el segundo módulo del arnés, donde en la primera parte se puede ver que el cableado se encuentra de forma lateral y genera esta curvatura para emular el movimiento de la articulación del hombro. Por otro lado, en la segunda parte se puede observar la segunda opción, en donde la curva pasa por arriba del eslabón del exoesqueleto.

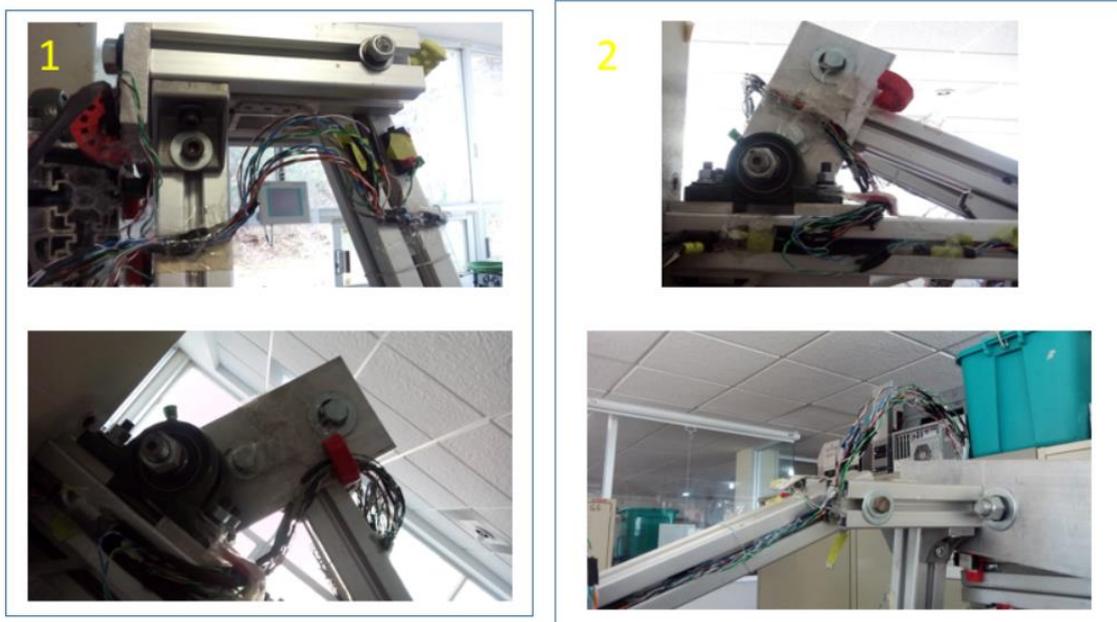


Figura 45. Representa las dos opciones del segundo módulo del arnés de cable.

#### 6.4.4 Evaluación de las opciones de arneses

Una vez que ya se propusieron las ocho posibles opciones, se evaluaron a partir de un *Pugh Chart*, que determina cuál de estas opciones es la que mejor se adapta a la estructura y al movimiento articular del exoesqueleto ERMIS. Los criterios que determinaron cual era la mejor opción fueron:

- Trayectoria directa (TD): este criterio se estableció por el número de vueltas y los tramos rectos que componen al arnés de cable.
- Esbeltez del cable (EC): este criterio se estableció con respecto a la cantidad de cables en cada nodo de unión y vuelta, que componen al arnés de cable.
- Simetría (S): se refiere a que si en ambos lados de la estructura donde se adosa el arnés, tiene alguna interacción con el mismo.
- Mantenibilidad (Mant): este criterio se refiere a que tan accesible se encuentra el arnés, con respecto a la estructura donde se adosa, y la facilidad con la que en un futuro se podría dar mantenimiento al mismo.
- Modularidad (Mod): se refiere a que tan bien imitan las estructuras de los módulos, que conforman al exoesqueleto y su accesibilidad a los mismos.

La ponderación a la que está sujeto el *Pugh Chart* que se puede observar en la Tabla 12, es una escala que abarca de -2 a 2, en donde se fluctúa a partir de la línea base que sería el 0, que representa el mínimo necesario para cumplir el criterio, en donde si una opciones es mejor que la línea base se coloca +1 o en su defecto +2; pero si por el contrario es peor que la línea base se coloca -1 o en su defecto -2.

Tabla 12 *Pugh Chart* en donde se evalúa las opciones de arneses disponibles y su ponderación con respecto a los criterios establecidos.

OPCIONES DE ARNÉS		1	2	3	4	5	6	7	8
CRITERIO	LÍNEA BASE								
TD	0	0	-1	2	1	2	2	3	2
EC	0	-1	-2	2	2	-1	-2	2	1
S	0	0	-1	1	2	0	-1	1	2
MANT	0	1	2	1	2	1	1	1	1
MOD	0	0	0	1	2	1	0	1	1
TOTAL		0	-2	7	9	3	0	8	7

Por lo tanto, la opción de arnés que tuvo el mejor puntaje fue el arnés número cuatro que obtuvo una puntuación casi perfecta.

#### 6.4.5 Simulación del camino seleccionado

Lo primero fue establecer el camino del arnés, mediante la guía establecida por el arnés número cuatro para los sensores, y en el caso de los motores, estos tienen su propio segmento que se unen al recorrido del arnés de cable de los sensores. Para realizar el modelado del arnés, se realizaron las siguientes acciones mediante el empleo del software *SolidWorks*:

1. Se determinó que el ancho representativo del arnés fuera de 10mm de diámetro y con una figura circular.
2. Para realizar la ejemplificación del cableado se utilizó primero la herramienta de croquis 3D, debido a que se pretendía que se adosara a

las piezas que conformaban la simulación del exoesqueleto ERMIS; con esta herramienta se colocaron los puntos de unión de las piezas del exoesqueleto, para calcar la forma de las piezas de ERMIS como se puede observar en la Figura 46 de color gris.

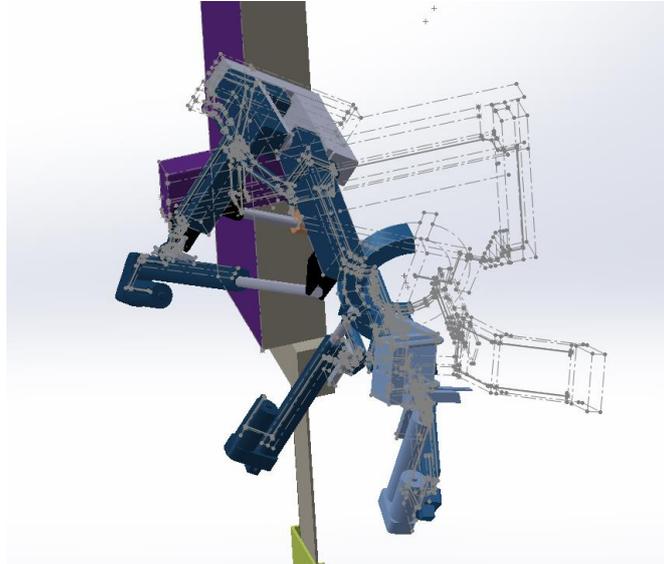


Figura 46. Croquis 3D de las piezas que conformaban al exoesqueleto ERMIS.

3. Las piezas calcadas sirvieron de referencia para colocar los puntos por donde pasaría el arnés, además de apoyar para que el arnés se adosara correctamente a la estructura de ERMIS; para lo que se colocaron líneas verticales en cada punto de cambio, y así simular las curvaturas que tomo el arnés, con el objetivo de imitar la forma de la estructura a la cual estaría pegado, esto se puede observar en la Figura 47.

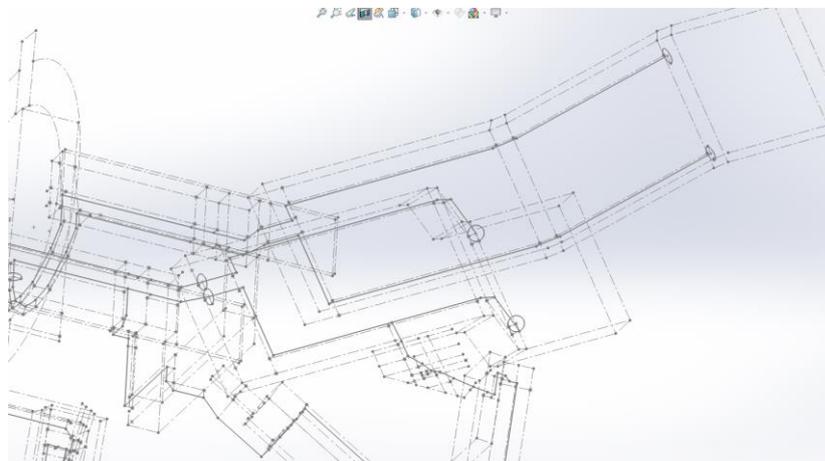


Figura 47. Muestra el croquis de referencia para el adosamiento correcto del arnés de cable a la estructura del antebrazo.

4. Una vez que se hizo este croquis de referencia en todas las estructuras por donde pasaría el arnés, se contó con el cableado de los sensores y de los motores. Además, se añadieron dos sub-croquis por módulo, en donde el primer croquis contenía un círculo de 10 mm en la punta y en segundo croquis contenía el camino que iba recorrer este círculo para simular el cableado.
5. Se utilizó la herramienta barrer, para formar estos mazos de cables, en donde se colocaba como perfil del croquis el sub-croquis que contuviera el círculo, y como perfil de guía el sub-croquis que contenía el camino.
6. Debido a que las curvas menos pronunciadas se hicieron cuadradas, facilitaron la realización del croquis; pero al momento de realizar el barrido se formaron esquinas, lo cual no representaba la forma del cableado; por lo que, se redondearon todas estas esquinas como se puede observar en la Figura 48.

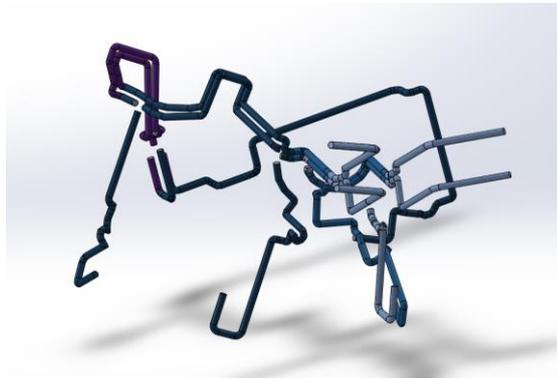


Figura 48. Representación del cableado de sensores y motores.

7. Como se puede observar en la Figura 48 existen espacios entre secciones del arnés, ya que estos puntos eran donde los cables se cruzaban, para representar esta unión se optó por agregar conectores, en estos entraron los caminos que se cruzan y saldrá un solo camino, que representó la unión de estos cables al juntarse en el mismo camino. Ejemplo de esto es el conector que une al cableado del Motor 5 y al cableado del Motor 4 como se observa en la Figura 49.

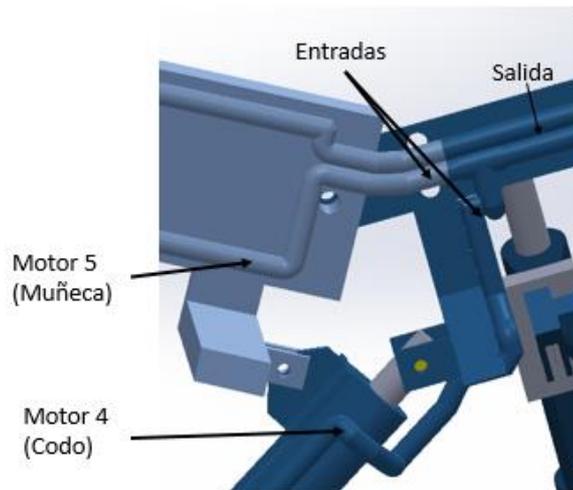


Figura 49. Conector del codo que une al motor 5 y al motor 4.

- Después de ensamblar todos los conectores en los puntos de intersección, se ensambló el arnés de cable y los conectores en las estructuras del exoesqueleto ERMIS, como se puede observar en la Figura 50; en la parte uno se puede observar un corte lateral del exoesqueleto ERMIS, para observar las secciones internas del exoesqueleto por donde pasa el arnés de cable. En la segunda parte se observa las secciones externas del arnés de vista posterior, en la tercera parte se aprecia el recorrido del cableado del motor 2 y de los sensores del mismo, en la cuarta parte se observa el cableado de la sección del antebrazo visto de forma lateral, en la quinta parte se observa el cableado que va del brazo hacia la parte posterior del exoesqueleto y por último en la sexta parte se observa el cableado que pasa por el interior del anillo y como pasa del antebrazo al codo.

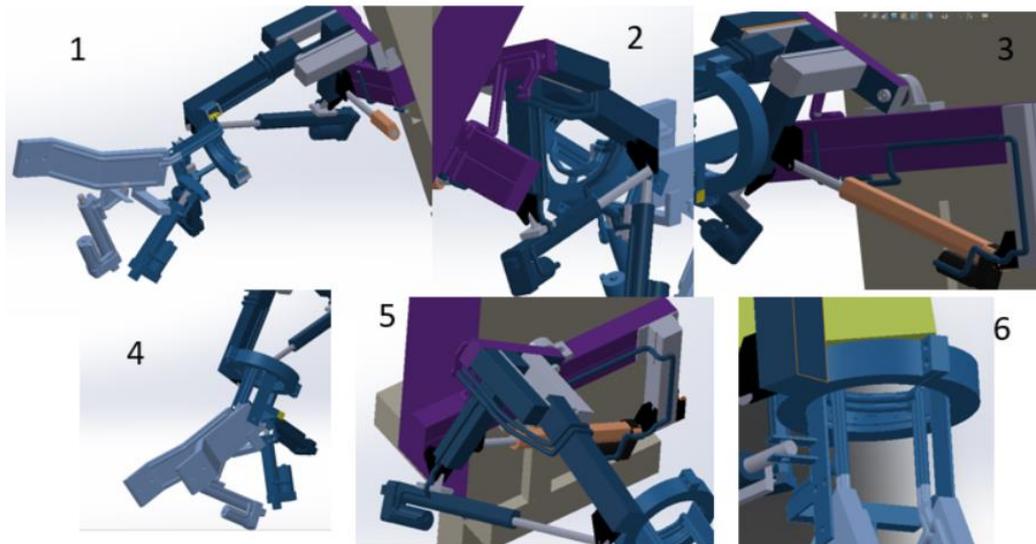


Figura 50. Vistas del arnés de cable adosado al exoesqueleto ERMIS.

#### 6.4.6 Cambio del arnés de cable anterior a la nueva propuesta

El arnés de cable para poder seguir el movimiento articular que realiza el exoesqueleto, y soportar el estrés al que está sometido por la forma que adoptó al adosarse al exoesqueleto, necesitó cumplir con las siguientes condiciones:

- Que sea un cable flexible, lo que quiere decir que cada uno de los cables lo compongan muchos filamentos.
- Que el cableado sea delgado.
- Que soporte el voltaje al que estarán sometidos los sensores que componen al exoesqueleto.
- Que tengan un medio de protección para evitar el contacto directo con el paciente.

Al momento de realizar la búsqueda del cable adecuado, existieron alternativas industriales o con un diámetro demasiado grande, que por el número de cables sería imposible de implantar; por otro lado, existieron varias alternativas que cumplían con las especificaciones, pero el mayor problema fue que los lugares donde se podían adquirir este tipo de cables eran muy lejano, o en su defecto el envío tardaba mucho tiempo. Con lo que se decidió optar por una opción más realista, debido al tiempo de adquisición; por lo tanto, el cable seleccionado fue el Alambre de Cobre UI 2547-26AWG (del inglés *American Wire Gauge*), lo que quiere decir que su diámetro es de 0.455 mm de ocho núcleos, lo que implica

que por cada mazo de cable hay ocho cables en su interior. El voltaje que aguanta este tipo de cable es de 300 V y tiene un rango de temperatura de 80°; por lo que cumple más de lo necesario con las necesidades de los sensores.

En el caso de los motores lo componen dos partes: la primera que constaba de la parte de control, que consistían en cuatro cables: tierra (GND), voltaje (5V), compuerta A y compuerta B, y la segunda consta de los cables de potencia del motor, que consta de dos cables el de tierra (GND) y el de voltaje (20V). Para la primera parte se utilizó el mismo cable que se seleccionó anteriormente, pero para la segunda parte se utilizó cable para bocina de uso rudo polarizado de calibre 22AWG que equivaldría a 0.644 mm, el cual es flexible y de alta conductividad; por lo cual es más grueso y está adaptado para soportar la demanda energética del motor.

#### 6.4.6.1 Forma en que se distribuyó el cable de los sensores en los mazos del cable seleccionado

El primer mazo de cables, está conformado por los cables del motor 5 (6 cables), más los cables del interruptor de inicio de carrera SAA (2 cables), que es el límite de la extensión del codo que está representado por el motor 4. El segundo mazo de cables está conformado por los cables del motor 6 (6 cables), más los cables del interruptor de fin de carrera SAB (2 cables), que es el límite de la flexión del codo que está representado por el motor 4. El tercer mazo, está conformado por los cuatro interruptores de inicio y fin de carrera para los motores de la muñeca (motor 5 y motor 6), que serían: SMIA, SMIB, SMDA y SMDB. El cuarto mazo, está conformado por los interruptores de inicio y fin de carrera del anillo que serían SACA y SACB, más los interruptores de inicio y fin de carrera del hombro para flexión y extensión, que serían 1B y 2B. Por último, el quinto mazo está conformado por los cables de control del motor 3 y del motor 4.

Para los motores 1 y 2 se consiguieron cables con las mismas especificaciones, pero de cuatro núcleos, por lo que cada uno de los motores cuenta con mazo de cable independiente para los cables de control. El total de cable que se necesitó para cablear a ERMIS fue de 9 metros de cable de ocho núcleos, más 1.20 metros de cable de cuatro núcleos y 3.80 metros de cable de bocina.

Una vez que ya se establecieron los mazos de cable, a los que pertenece cada uno de los cables que conforman la parte eléctrica del exoesqueleto ERMIS, se intercambió el cableado que tenía antes con el actual, para lo cual se siguieron los siguientes pasos para cada mazo:

1. En una libreta se colocó el color del cable que le pertenecía en el momento del cambio, el que tenía en el panel de control y por el que iba a ser sustituido; esto con la finalidad de llevar un control y no conectar de forma errónea los cables.
2. Se intercambiaron los cables que pertenecían al mazo correspondiente, desde el elemento terminal, este puede ser la muñeca en el caso de los más lejanos o del hombro en el caso de los más cercanos, hasta el panel de control.
3. Se probó mediante un multímetro la continuidad del cableado, para verificar que la señal fuera desde el elemento eléctrico hasta el panel de control.
4. Se encendió el exoesqueleto, con lo que se verificó que los valores iniciales de cada elemento eléctrico, fueran los mismos que marcaba el panel de control, para que de esta forma se verificará que no se atenúa el valor, empleando un multímetro.
5. Se realizaron los movimientos del exoesqueleto ERMIS, en donde interfirieran estos elementos eléctricos, para detectar dos situaciones: a) que hubiera una conexión incorrecta; y b) ajustar el cable si en algún momento interfiriera con los movimientos articulares del exoesqueleto ERMIS.

Después, de haber intercambiado y verificado todos los mazos de cable, se pasó a la sustitución de los cables de potencia de los motores, para los cuales se realizó un intercambio más cuidadoso, debido a que si se intercambiaban los cables en algún momento podría provocar que el motor sufriera un corto y por ende ya no funcionará. En estos casos, se cambió motor por motor comenzando desde el motor de codo (motor 4) hasta el motor del hombro (motor 2) encargado de la abducción y aducción del hombro; para estos cables también se revisó continuidad previa al encendido del mismo. Para verificarlos se realizaron los movimientos máximos y mínimos que puede realizar el exoesqueleto ERMIS.

En el momento en el que se terminó de sustituir todo el arnés de cable, se obtuvo una disminución significativa de la holgura que tenía al inicio, como se observa en la Figura 51 que se encuentra en posición de HOME con vistas frontal y posterior.

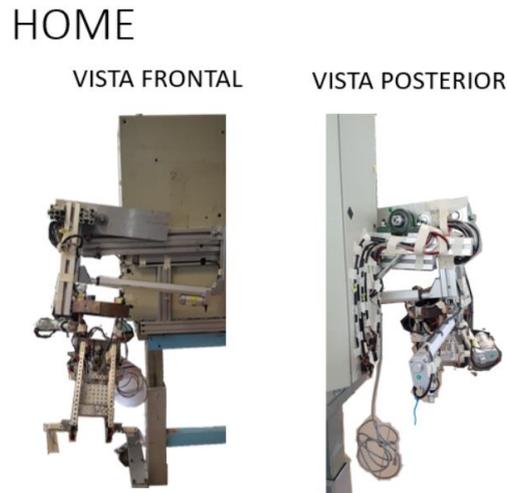


Figura 51. Se observa las vistas frontal y lateral de ERMIS en HOME con el nuevo arnés de cable.

También se puede apreciar, cómo sigue los movimientos del exoesqueleto ERMIS en la Figura 52 para el motor 1, en donde se observa que está en su punto máximo en vistas laterales, y en una vista superior. Para el motor 2 se puede observar en la Figura 53, en donde se ve su punto máximo, desde una perspectiva lateral, frontal y superior; para el motor 3 se puede observar en la Figura 54, en donde su punto máximo se visualiza desde una perspectiva lateral y superior; y por último el motor 4 se puede observar en la Figura 55, en donde su punto máximo se puede apreciar desde una vista lateral, frontal y superior.

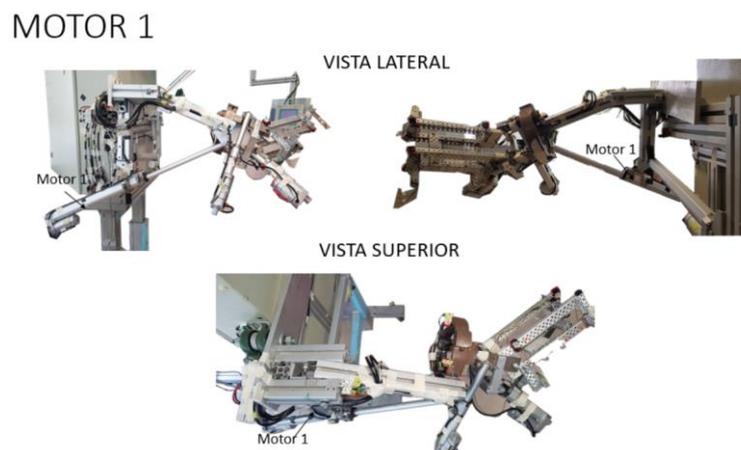


Figura 52. Se observa las vistas lateral y superior de ERMIS cuando el motor 1 está en su punto máximo con el nuevo arnés de cable.

## MOTOR 2

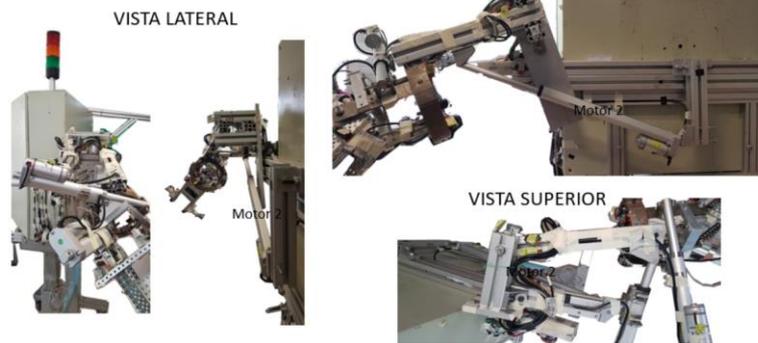


Figura 53. Se observa las vistas lateral, frontal y superior de ERMIS cuando el motor 2 está en su punto máximo con el nuevo arnés de cable.

## MOTOR 3



Figura 54. Se observa las vistas lateral y superior de ERMIS cuando el motor 3 está en su punto máximo con el nuevo arnés de cable.

## MOTOR 4

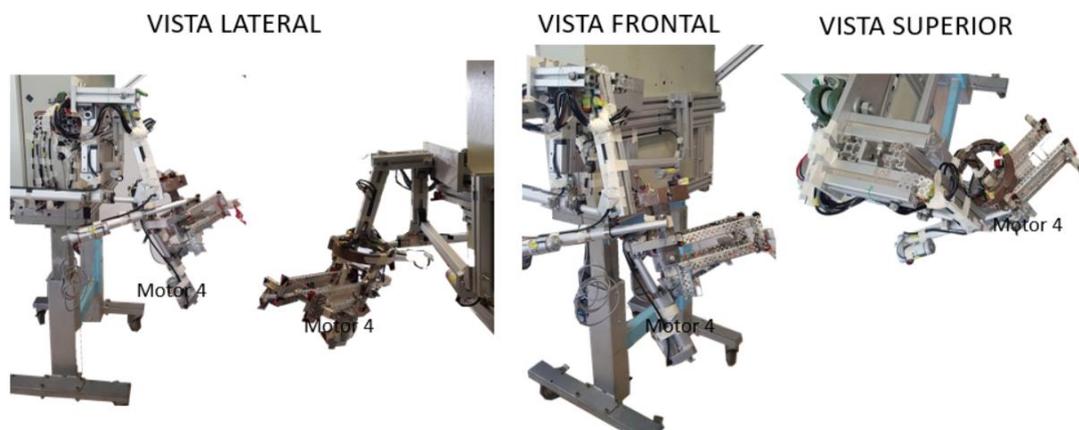


Figura 55. Se observa las vistas lateral, frontal y superior de ERMIS cuando el motor 4 está en su punto máximo con el nuevo arnés de cable.

#### 6.4.7 Cambios en el panel de control

El panel de control se encuentra dividido en tres secciones por la distribución del control como se puede observar en la Figura 56:

- En la primera sección se encuentran las conexiones de envío de información.
- En la segunda sección se encuentra el sistema de control mediante las tarjetas PLC (por sus siglas en inglés *Programmable Logic Controller*), y las canaletas de redireccionamiento de energía.
- En la tercera sección se encuentran las tarjetas de control de los motores y de los sensores, además de la fuente de poder.

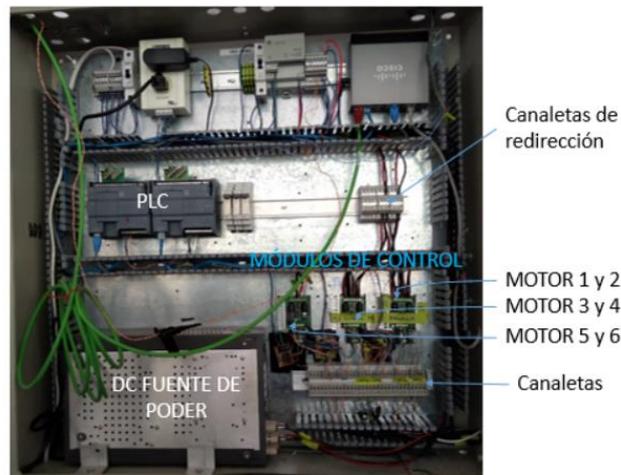


Figura 56. Partes del panel de control del exoesqueleto ERMIS.

De la tercera sección, primero se analizó como fluye la energía de la fuente de poder CD a las tarjetas que controlan los motores, como se puede observar en la Figura 57, en donde la fuente de poder, envía la energía a unas canaletas que la distribuyen a los pines de alimentación de la tarjeta: negativo (-) y positivo (+), además en este esquema marca el color de cableado.

## FUENTE DE PODER DC

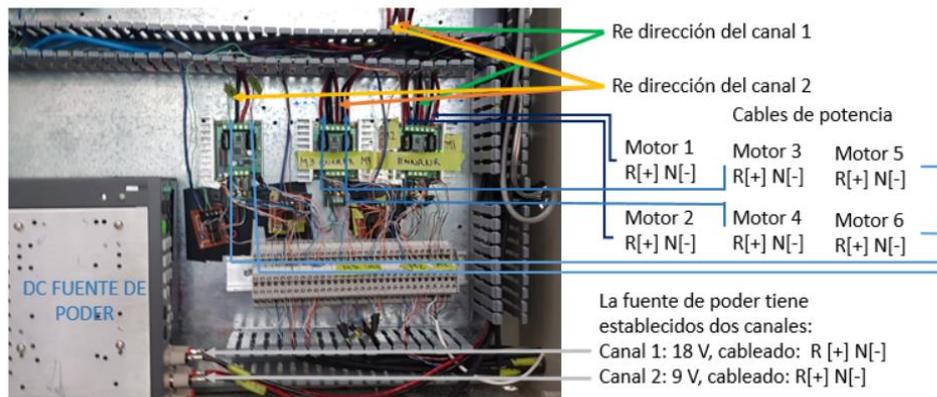


Figura 57. Diagrama de la forma en la que fuente de poder DC alimenta a las tarjetas de control.

En el diagrama que se puede ver en la Figura 58, se puede observar el cableado que conforma a la tarjeta que controla a los motores 1 y 2; además de incluir el color de cable que se encuentra en el elemento final y como va cambiando hasta llegar al panel de control. Por otra parte, la parte en el panel de control a la que corresponde, no solo incluye el control de los motores, sino que también incluye los interruptores que controlan el inicio y fin de carrera. Esto sirve de guía para que si existe un error en algún cable, sea más fácil de identificar y si existe una ruptura en la comunicación, se pueda reemplazar el mazo donde se encuentra el problema, y no tener que buscar en todos los mazos para identificar donde eta el problema.



## SEGUNDA TARJETA (MOTOR 3 Y MOTOR 4)

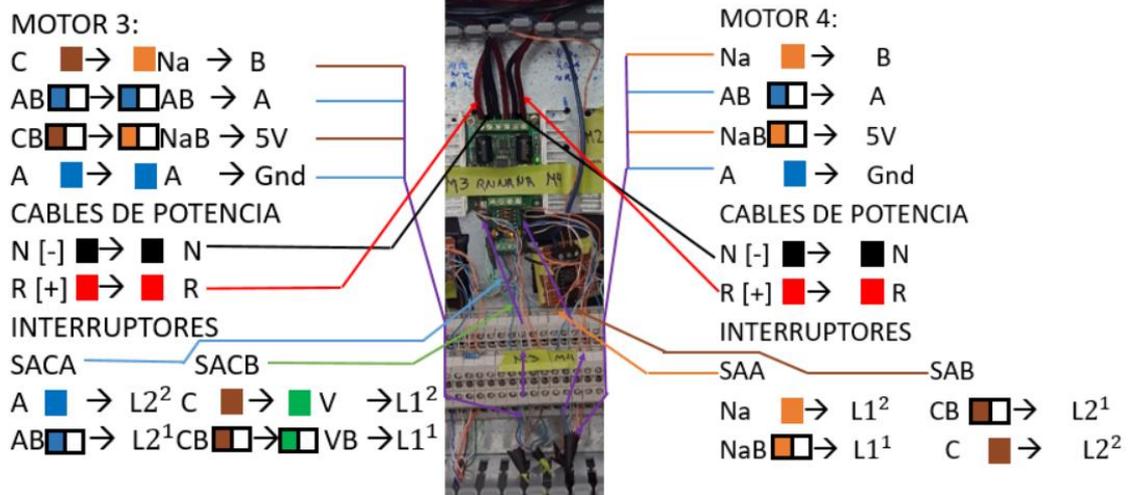


Figura 59. Muestra el cableado de la primera tarjeta que controla los motores 3 y 4.

## TERCERA TARJETA (MOTOR 5 Y MOTOR 6)

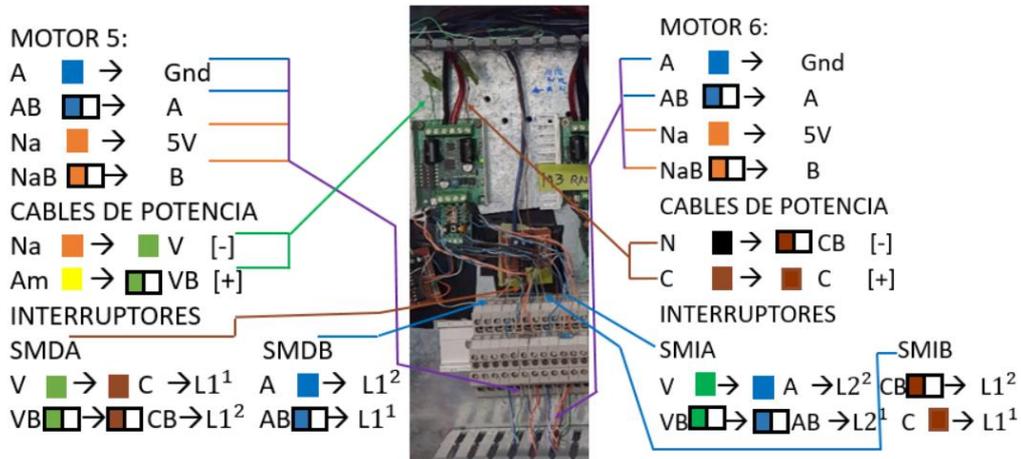
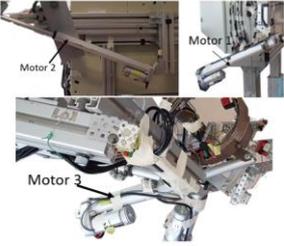


Figura 60. Muestra el cableado de la primera tarjeta que controla los motores 5 y 6.

### 6.5 Diseño de propuestas del modelado de carcasas

Para diseñar las carcasas que protegen al arnés de cable, primero se establecieron las partes fijas y las partes móviles del arnés de cable, que se adosan a las estructuras que conforman al exoesqueleto ERMIS; los cuales se observan en la Tabla 13. En este contexto móvil, hace referencia a que por el movimiento de los motores no pueda mantener su estructura, o que cambia la estructura por dicho movimiento; por otro lado, una parte fija se refiere a una estructura que siempre mantenga su forma sin importar si es movida por alguno de los motores.

Tabla 13 Partes fijas y móviles del arnés de cable sobre las estructuras del exoesqueleto ERMIS.

PARTES FIJAS	IMAGEN	PARTES MÓVILES	IMAGEN
Estructura del antebrazo (cableado)		Cableado que emula el movimiento del codo	
Cableado interno del anillo		Motor 4 del codo	
Cableado externo del anillo del motor del codo		Cableado en la parte superior del brazo	
Motores 1, 2 y 3		Cableado en la curvatura lateral del brazo (motor 1)	
Entrada al panel de control		Cableado posterior al hombro	

Una vez que se dividieron en partes fijas y partes móviles, se establecieron los módulos en los que se divide el arnés y el exoesqueleto para el diseño de las carcasas, en donde el color del contorno de las imágenes representa su color representativo del módulo al que pertenecen. El módulo 1 está conformado por la estructura del antebrazo, y en lo que respecta al arnés de cable está formado por el cableado de los motores 5 y 6, además de los interruptores SMIA, SMIB, SMDA, SMDB, SAA y SAB; este módulo se puede observar en la Figura 61, en

donde se especifica en que mazos se encuentran los cables correspondientes a las partes que conformaran este módulo.

## Módulo 1



(Cableado Interno) Sensores: SMIA, SMIB, SMDA, SMDB, SAA y SAB]  
Mazo 1 (Motor 5 [Negro (N), Azul (A), Amarillo (Am), Morado (M),  
Café (C), Naranja (Na)]+ SAA [Rojo (R), Verde (V)])  
Mazo 2 (Motor 6 [A M Na Am N C] + SAB [ R V])  
Mazo 3 (SMIA [ V Am] SMIB [N C] SMDA [R Na] SMDB [A M])



Figura 61. Representa el módulo 1 para el diseño de las carcasas, además de contener el color del cableado en esta sección de cada una de las partes que conforman este módulo.

En lo que respecta al módulo 2 que se puede observar en la Figura 62, está conformado por una parte interna, que contiene a los tres primeros mazos de cables y los interruptores SACA y SACB, y una parte externa que contiene al cableado del motor 4; por lo que las partes del exoesqueleto que representa son el codo y el anillo del brazo.

## Módulo 2



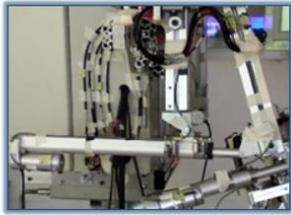
Interno: SACA (A M) + SACB (C N)  
Externo: Motor 4 (Am → Am, Blanco (B) → C, R → R, N → N)  
Cables de potencia: Motor 4 (R[+] N[-])  
Partes: Motor 4 que pertenece al codo y Anillo



Figura 62. Representa el módulo 2 para el diseño de las carcasas, además de contener el color del cableado en esta sección de cada una de las partes que conforman este módulo.

El módulo 3 se puede observar en la Figura 63, el cual está conformado por los mazos 1, 2, 3, 4 y 5, además de los motores 1, 2, y 3; en donde todas las partes del arnés son externas, este módulo abarca las estructuras del brazo y hombro del exoesqueleto.

## Módulo 3



Motores: Motor 1 (N V B R), Motor 2 (N V B R), Mazo 5 (Motor 3 [Am → A, B → V, R → Na, N → M] y Motor 4 [Am → Am, B → C, R → R, N → N])

Cables de potencia: Motor 1 (R[+] N[-]), Motor 2 (R[+] N[-]), Motor 3 (R[+] N[-]) y Motor 4 (R[+] N[-])

Sensores: Mazo 4 (SACA [A M], SACB [C N], 1B [V Am], 2B [R Na])



Figura 63. Representa el módulo 3 para el diseño de las carcasas, además de contener el color del cableado en esta sección de cada una de las partes que conforman este módulo.

Por último, el módulo 4 se puede observar en la Figura 64, contiene a los cinco mazos de cables y a todos los cables de potencia de los cuatro motores, en este módulo todos los mazos y cables de potencia están dispuestos de forma externa; además de que abarca únicamente la estructura del hombro.

## Módulo 4

Mazos: [Mazo 1 (Motor 5+SAA), Mazo 2 (Motor 6+SAB), Mazo 3 (SMIA, SMIB, SMDA, SMDB), Mazo 4 (SACA, SACB, 1B, 2B) Mazo 5 (Motor 4 y Motor 5)]

Cables de potencia: Motor 1 (R[+] N[-]), Motor 2 (R[+] N[-]), Motor 3 (R[+] N[-]) y Motor 4 (R[+] N[-])



Figura 64. Representa el módulo 4 para el diseño de las carcasas, además de contener el color del cableado en esta sección de cada una de las partes que conforman este módulo

Esta forma de división en módulos, se ejemplificó en la simulación coloreando el arnés de cable y las estructuras del exoesqueleto ERMIS, con el color

representativo de cada módulo como se observa en la Figura 65, en donde el color azul claro representa el primer módulo, el color azul medio representa el segundo módulo, el color azul fuerte representa el tercer módulo, y el color morado representa el cuarto módulo. También, se representó en las imágenes del arnés montando sobre el exoesqueleto ERMIS de forma experimental, como se puede observar en la Figura 66, en donde gracias a los colores contrastantes se pueden apreciar mejor esta división modular.

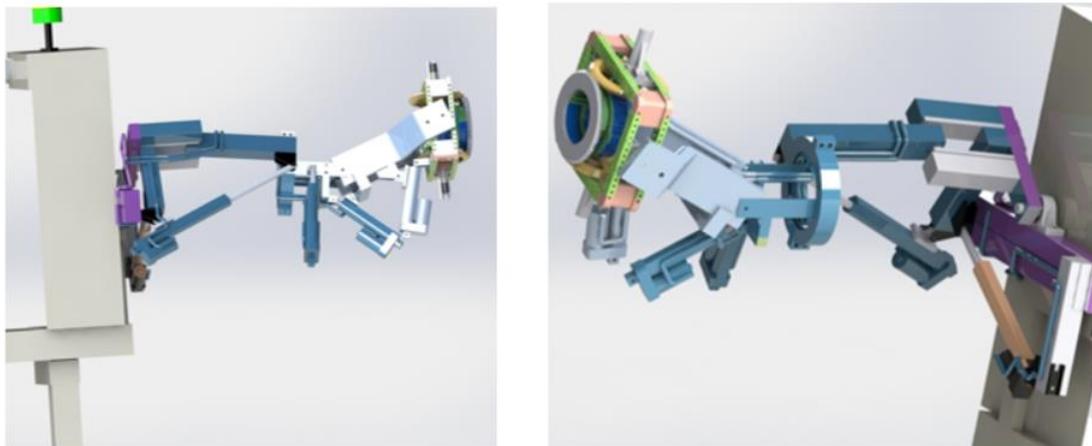


Figura 65. Representa la división modular en el modelo de *SolidWorks* con el arnés montado.

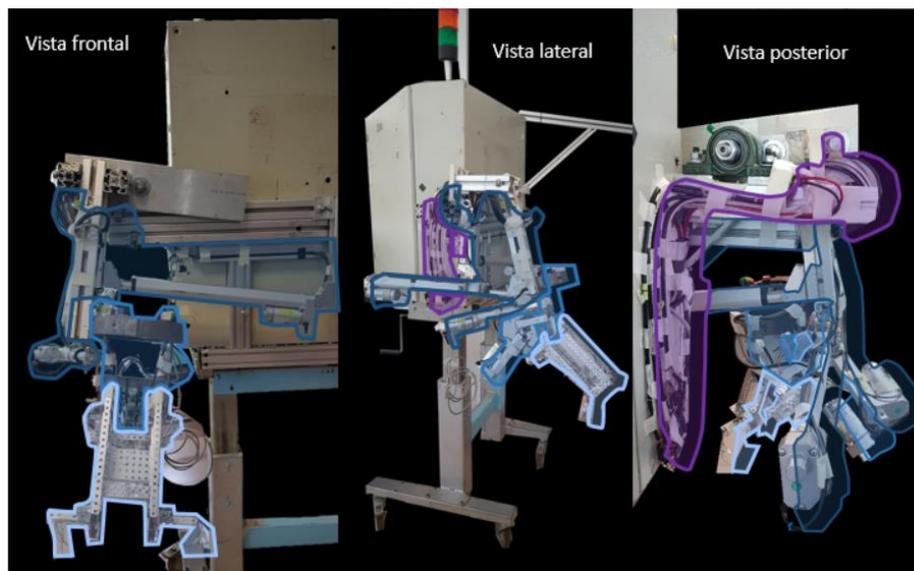


Figura 66. Representa la división modular en cada una de las vistas del modelo experimental del exoesqueleto ERMIS.

Lo primero que se hizo, fue adaptar el modelo que ya se tenía en *SolidWorks* a la versión actual del exoesqueleto ERMIS, porque en la versión del exoesqueleto experimental, no se tenía montada la muñeca y la forma del antebrazo era

distinta; por lo que, si se realizaba el diseño en el modelo de *SolidWorks* tenía que ser lo más parecido a la versión actual; esta versión se puede observar en la Figura 67.

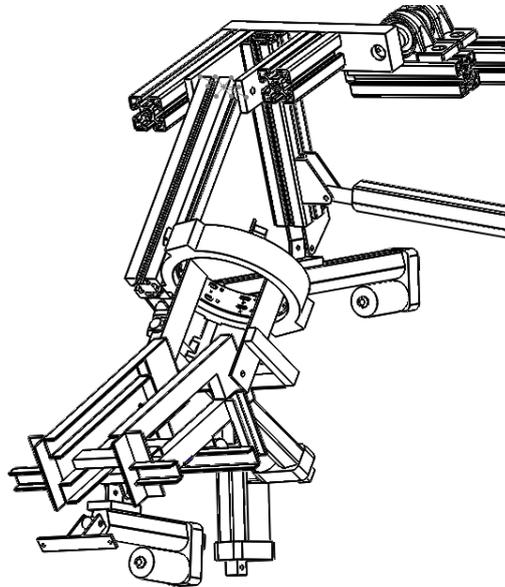


Figura 67. Versión actualizada del exoesqueleto ERMIS.

Una vez que ya se tiene la versión actualizada, se propusieron posibles carcasas, para resguardar al arnés de cable en los tres primeros módulos, que son los que tienen el arnés de forma interna y que podría entrar en contacto con el paciente. La primera opción para el módulo del antebrazo se puede observar en la Figura 68, esta opción está conformada por 5 piezas:

- Carcasa del antebrazo del lado derecho: como se observa en la Figura 68, esta pieza tiene en la parte superior unas protuberancias que le permiten conectarse con la pieza de enlace, y así ensamblarse en las barras de la estructura del antebrazo; en su parte interior se pueden apreciar una canaleta superior dividida en dos, esto se debe a que los cables de potencia y los cables de la señal no pueden utilizar el mismo carril. En la parte inferior se puede apreciar una hendidura, la cual se diseñó para que se pudiera ensamblar el piso de la estructura del antebrazo y así el antebrazo pueda recargarse.
- Enlace: esta figura se adaptó, para que pudiera pegarse a la barra que conforma el antebrazo, su propósito es que ayude a ensamblar las

carcasas del antebrazo del lado derecho e izquierdo, a las barras de la estructura del antebrazo.

- Carcasa del antebrazo del lado izquierdo: tiene similares características a la carcasa del lado derecho, pero con simetría opuesta.
- Piso del antebrazo: es el piso de la estructura del antebrazo, para que el usuario pueda recargar el brazo, cuenta con una canaleta de ambos lados que le permiten ensamblarse con las carcasas.

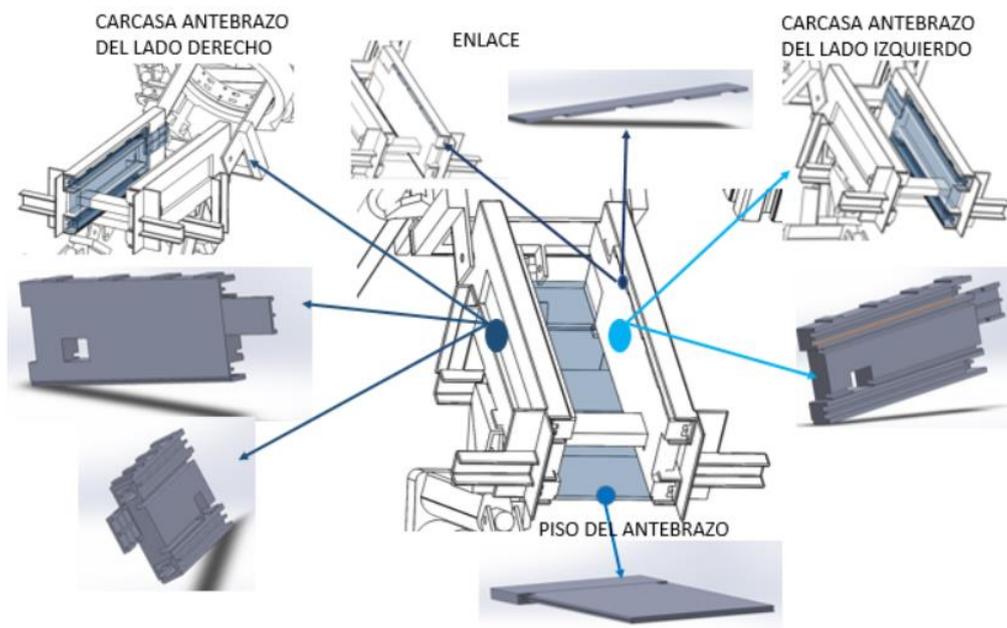


Figura 68. Primera opción para el módulo del antebrazo.

La segunda opción para el módulo del antebrazo, se puede observar en la Figura 69, la diferencia entre la primera opción y esta radica en las carcasas; pero solo en la parte central, dado que en la primera opción se encuentra sellado y por el contrario en la segunda opción lo deja hueco como en el formato original.

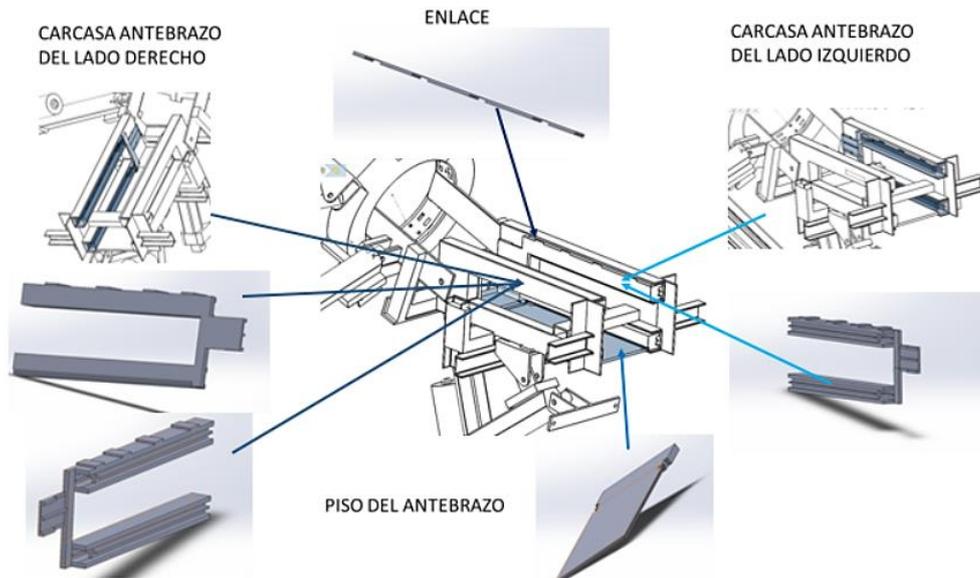


Figura 69. Segunda opción para el módulo del antebrazo.

La tercera opción para el módulo del antebrazo, se puede observar en la Figura 70, en donde las piezas similares son el enlace y el piso del antebrazo; por el contrario, las siguientes piezas tienen una estructura distinta a las anteriores opciones:

- Carcasa del antebrazo del lado derecho: esta estructura al igual que en las carcasas del antebrazo de la segunda opción, solo tienen dos canales y en la parte del medio no tiene una estructura sólida, pero a diferencia de la opción anterior en el extremo distal, tiene una estructura de ensamble para el enlace\_1 y el enlace\_2, para poder tapar la estructura de en medio. Además, consta con una estructura inferior para el ensamblaje del piso del antebrazo.
- Carcas del antebrazo del lado izquierdo: esta estructura es similar a la carcasa del lado derecho, pero con la simetría inversa, para su ensamblaje.
- Enlace\_1: este enlace se ensambla en las estructuras de la carcasa del antebrazo del lado derecho e izquierdo en la sección media.
- Enlace\_2: este enlace se ensambla en el enlace\_1 que se encuentra en la sección media de las carcasas del antebrazo.

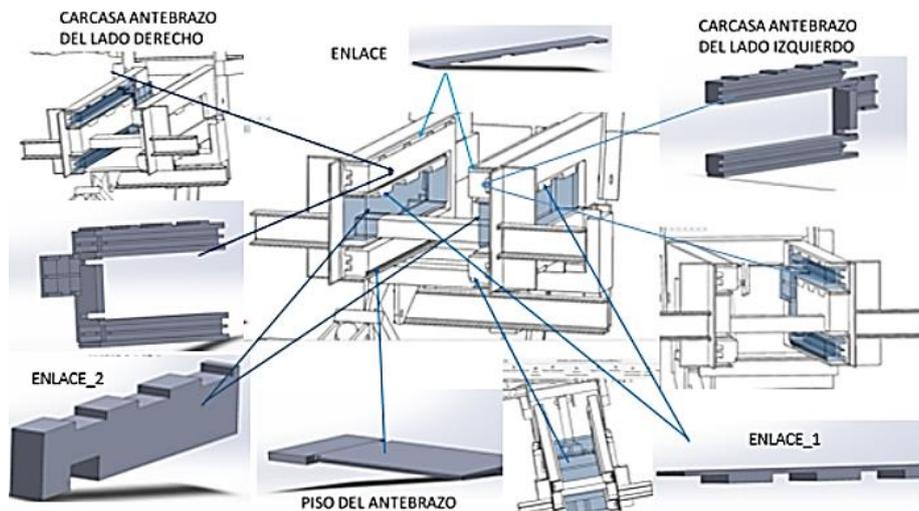


Figura 70. Tercera opción para el módulo del antebrazo.

La cuarta opción se puede observar en la Figura 71, en donde las siguientes piezas son similares a las piezas de la tercera opción, como son el enlace, el enlace\_1 y el enlace\_2. Por otro lado, las carcasas del antebrazo de ambos lados se diferencian de las que tiene la tercera opción, en que en la tercera opción se ensambla el piso en la parte inferior, y en este caso la mitad del piso forma parte de cada una de las carcasas del antebrazo, y al colocar ambas piezas forman el piso.

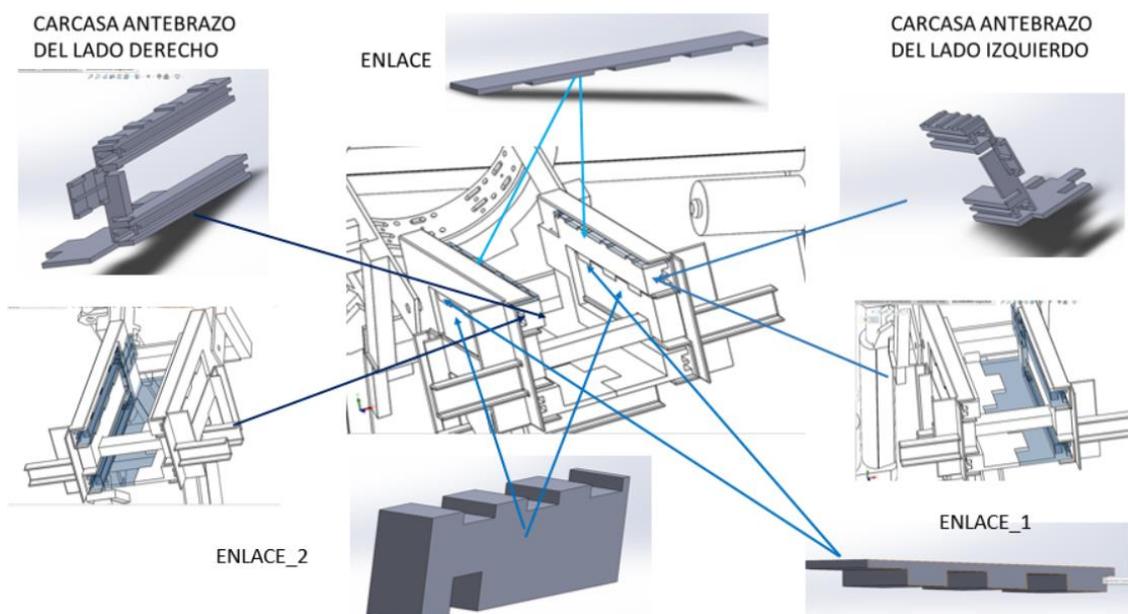


Figura 71. Cuarta opción para el módulo del antebrazo.

La primera opción para el enlace que se encuentra entre el antebrazo y el codo, se puede observar en la Figura 72, está pieza se encuentra conformada por dos

piezas: la primera parte (enlace del antebrazo-codo), se pega a las barras que unen al anillo con la sección del antebrazo, esta pieza tiene dos canales en donde tiene una abertura en forma de una T invertida, en donde se enlaza la segunda parte. La segunda parte (estructura del cableado), se ensambla en la primera pieza y tiene en la cara frontal tres protuberancias, que le permiten guiar los cables que atraviesan dicha zona.

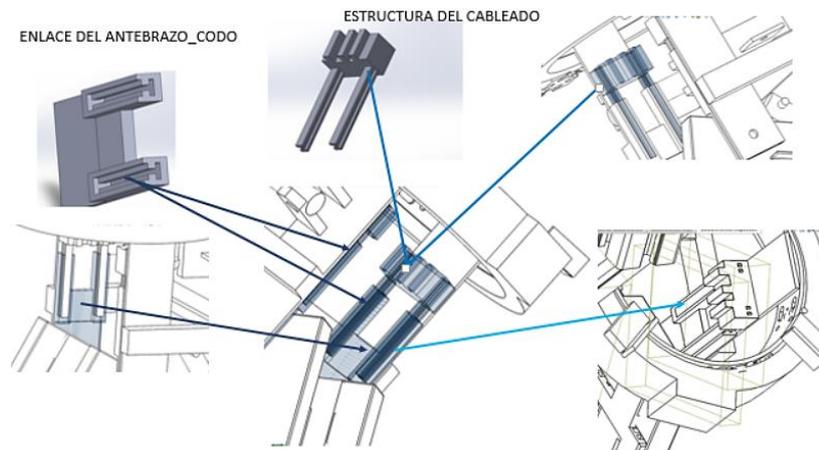


Figura 72. Primera opción para el enlace que se encuentra entre el antebrazo y el codo.

La segunda opción para el enlace entre el antebrazo y el codo, se puede observar en la Figura 73, está opción se conforma por dos piezas, la primera se adosa a las barras que conforman el anillo, de tal forma que hace un broche que se sostiene de la estructura de anillo y encierra a la segunda pieza (estructura del cableado), pero deja libre la parte lateral de esta estructura, para que sirva de guía para el cableado con sus tres protuberancias; estas dos piezas se adosan tanto en la parte izquierda como en la derecha.

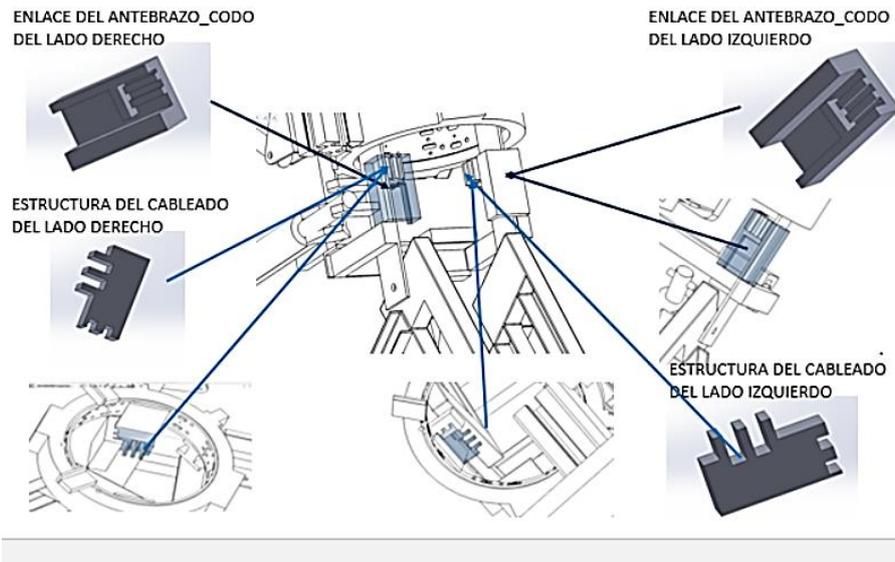


Figura 73. Segunda opción para el enlace que se encuentra entre el antebrazo y el codo.

La primera opción para la carcasa del codo, se puede observar en la Figura 74, esta carcasa está conformada por tres piezas, la pieza principal es la carcasa del codo, por la cual atraviesan los cables del motor 4 y que permite su deslizamiento, pero a la vez debe guiarlos en un solo sentido. Para ensamblar esta carcasa al eslabón que realiza el movimiento del codo, se utilizaron dos enlaces: un enlace superior que ayuda como guía de los cables y el enlace lateral que funciona para sostener esta pieza.

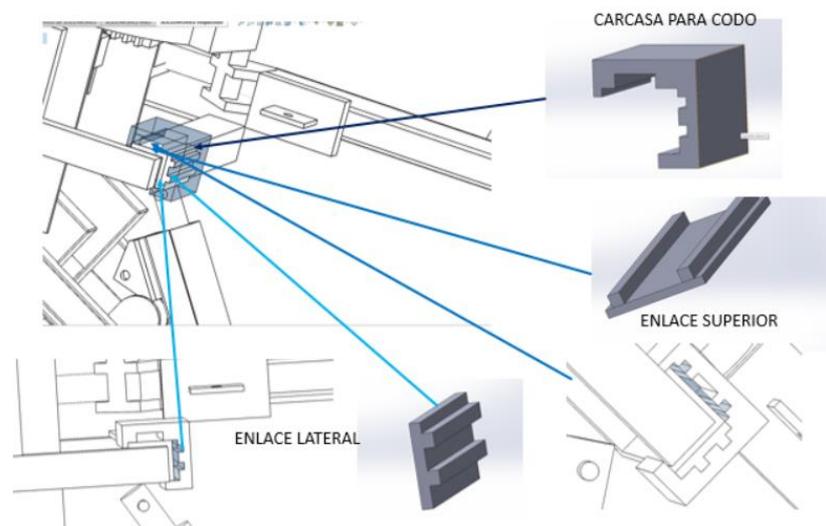


Figura 74. Primera opción de la carcasa para el cableado del codo.

Debido a que en el codo el cableado que le rodea es móvil, y debe estar libre para cumplir con los movimientos que le corresponden, no hubo necesidad de proponer otra opción ya que solo era necesaria una función de agarre.

En lo que respecta al módulo del anillo, se propusieron tres versiones, las cuales van aumentando su complejidad, para cumplir con mayor precisión con la tarea de guiar los cables a través de esta estructura. La primera versión se puede ver en la Figura 75, que está compuesta por dos partes: a) pieza que se adosa al anillo, esta pieza tiene el propósito de unir al anillo con la segunda pieza, mediante cuatro botones en su parte posterior y dos canales en su parte lateral; b) carcasa de guía de cable, esta pieza se ensambla en la pieza anterior, y tiene en un costado una sección que consta de un tubo cuadrangular, por donde pasan los cables que vienen del motor 4. Esta versión es simple, dado que solo contempla los cables que vienen del motor 4, y no los que pasan en el interior o sobre la estructura de anillo.

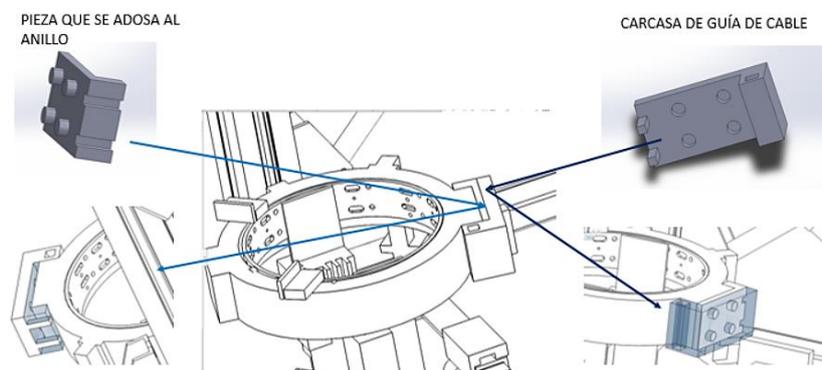


Figura 75. Primera versión de los medios de guía y protección del arnés de cable.

La segunda versión se puede observar en la Figura 76, en esta versión se modificó, que en lugar de adosar una estructura para colocar la guía de los cables, se adosó un nuevo anillo externo que ya incluye la hendidura por donde pasarían los cables; además de que gracias a esta nueva estructura, se puede adosar la cobertura superior, para proteger los cables que pasan por la parte externa del anillo.

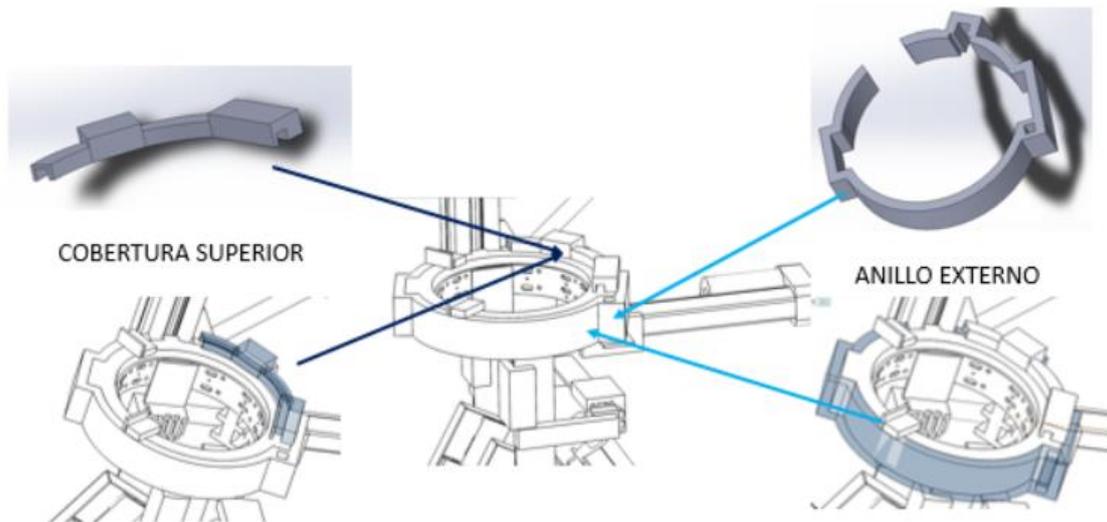


Figura 76. Segunda versión de los medios de guía y protección del arnés de cable.

La tercera versión se puede observar en las Figura 77 y Figura 78; en estas figuras se observaron las partes que conforman al anillo de forma externa, la cual a diferencia de la versión anterior, este anillo se divide en un anillo superior y en un anillo inferior; los cuales se unen por presión. Además, se une el recubrimiento del enlace lateral, que lleva el cableado del motor 2 y que lo recubre completamente, gracias a la cobertura del cable superior que se puede ver en la Figura 78, además en esta misma figura se encuentra la llave de ensamble en forma de T.

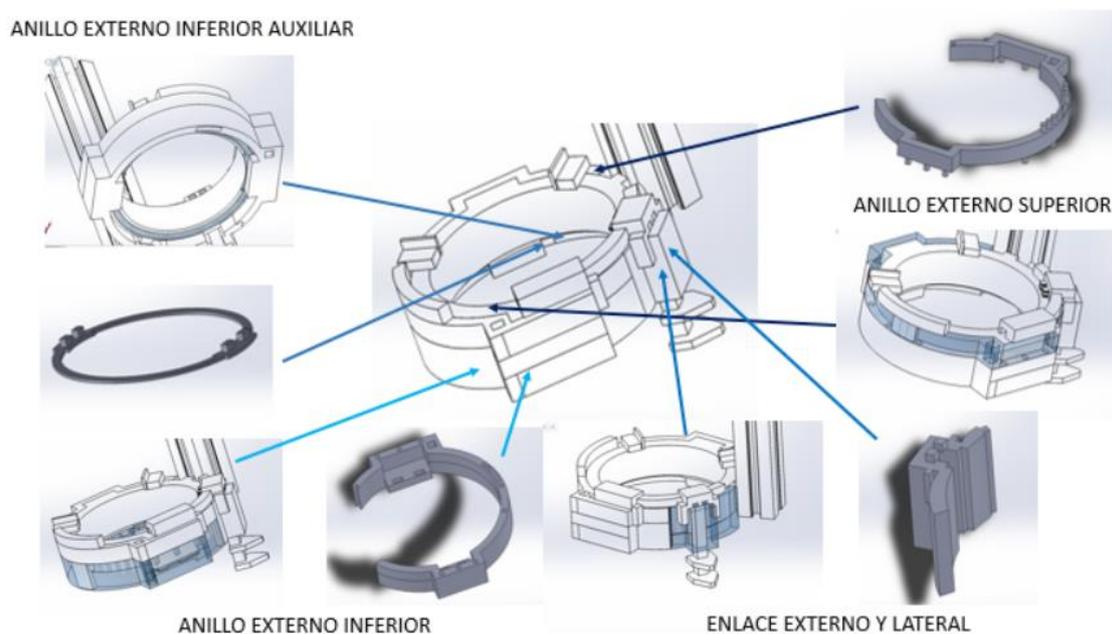


Figura 77. Tercera versión de los medios de guía y protección del arnés de cable parte 1.

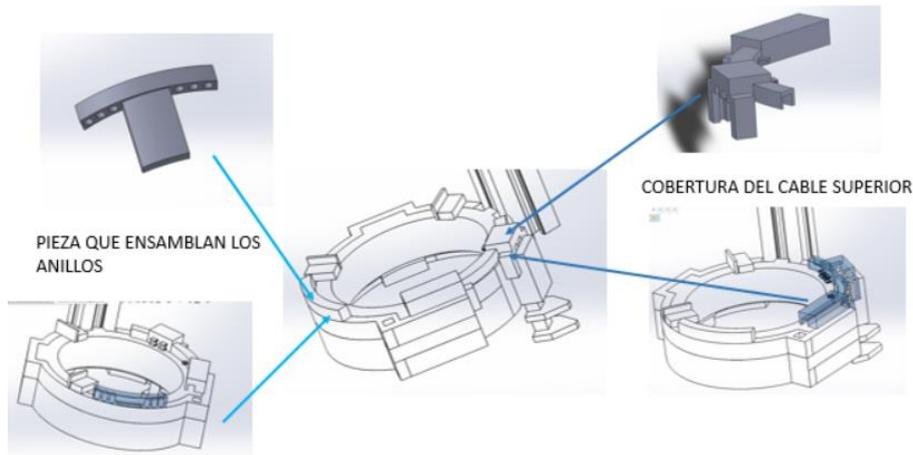


Figura 78. Tercera versión de los medios de guía y protección del arnés de cable parte 2.

En la tercera versión se agregó el anillo interno como se observa en la Figura 79, este anillo protege al cable que pasa en el interior del anillo de la estructura de ERMIS, está compuesto por una capa interna que es la que está en contacto con la superficie del anillo metálico; tiene una capa externa que se une a la capa interna mediante conectores de tipo *Snap Fit* y entre estas dos capas pasa el arnés dividido en cables de potencia y cables de señal. A su vez, la capa interna está conectada con la cobertura del cable superior mediante el conector, lo que ayuda a sostener la estructura

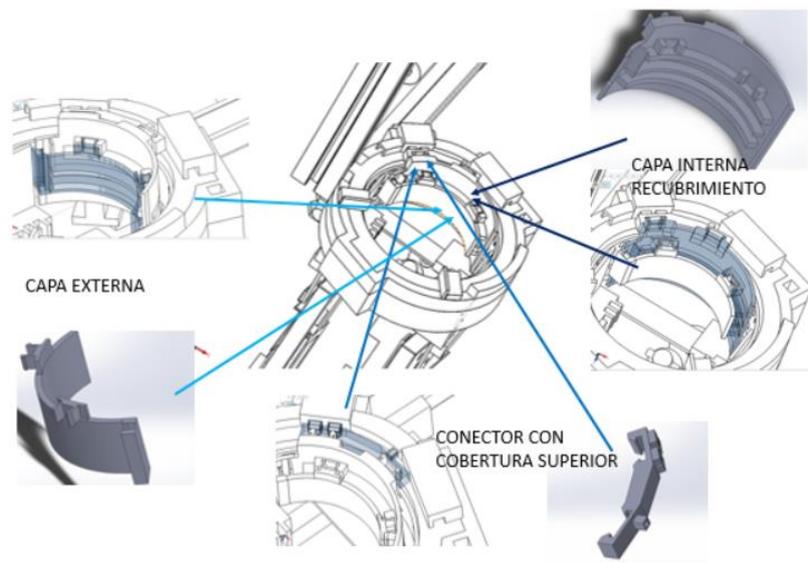


Figura 79. Tercera versión de los medios de guía y protección del arnés, adicionando el anillo interno que protege el mazo de cables que pasa por el interior de esta estructura.

Después, de obtener los diseños de las posibles opciones de carcasas para los tres primeros módulos, se evaluaron con respecto de un *Pugh Chart* para

determinar la opción más viable; en este caso se evaluaron las cuatro opciones del módulo del antebrazo y las dos opciones del módulo de codo, como se puede observar en la Tabla 14. Los requerimientos técnicos cobran el siguiente significado:

- **Conectividad:** se refiere a los medios que se emplean, para adosar las piezas que conforman cada módulo a la parte del exoesqueleto que correspondan; además de la forma de conectarse entre ellas.
- **Modularidad:** se refiere a las secciones en las que cada módulo se divide.
- **Seguridad:** la forma en la que las carcasas protegen al cableado y al usuario con el que está en contacto; además incluye la forma en la que se adosan las carcasas a la estructura del exoesqueleto.
- **Portabilidad:** se refiere a la forma en la que permite al cableado desprenderse del exoesqueleto mediante las carcasas, para así ser independiente al exoesqueleto.
- **Simetría:** se refiere a la forma en la que cada módulo distribuye las carcasas, para que cada módulo sea imitado y esto le permite seguir los movimientos articulares sin interrumpir dicho movimiento.
- **Libertad de movimiento:** se refiere a si las carcasas interfieren de alguna forma el movimiento articular que realiza el exoesqueleto.
- **Mantenibilidad:** se refiere a que tan accesible es la carcasa, con respecto al arnés que contiene.
- **No. Piezas:** es el número de piezas que dispone cada módulo.

Cada uno de los requerimientos técnicos, se encuentran interconectados, además de establecer lo que se busca al momento de unir el arnés con las carcasas. Un ejemplo de esto es la relación directa entre modularidad, conectividad y el número de piezas, debido a que el total de piezas representa a la modularidad de cada parte del arnés y conectividad ejemplifica la forma en la que estas secciones se unen.

Tabla 14 *Pugh Chart* para evaluar las opciones de los módulos de Antebrazo y Codo.

MÓDULO		ANTEBRAZO					CODO	
OPCIONES	LÍNEA	1	2	3	4	LÍNEA	1	2
REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	BASE					BASE		
Conectividad	0	1	1	2	2	0	1	1
Modularidad	0	1	0	2	2	0	0	1
Seguridad	0	1	0	1	1	0	1	2
Portabilidad	0	-1	1	1	1	0	1	1
Simetría	0	1	1	2	2	0	1	1
Libertad de movimiento	0	0	0	1	1	0	0	1
Mantenibilidad	0	1	2	2	1	0	1	1
No. Piezas	3	3	3	5	4	2	4	4
TOTAL		7	8	16	13		9	12

Con esta evaluación, las opciones que se seleccionaron son: en el antebrazo la opción 3, ya que es la que obtuvo el mayor puntaje; por otra parte, en el caso del codo la opción 2 es la que obtuvo el mayor puntaje.

## VII Competencias y aprendizajes adquiridos

La estancia de investigación, me brindó las herramientas para desarrollar el proyecto desde la identificación del problema hasta llevarlo a cabo; esto con la finalidad de que conozca los pasos necesarios, para realizar cualquier **proyecto y después aplicarlo en el que trabajé**.

La primera competencia que se debe desarrollar en ámbito de investigación, es la identificación del problema, para identificar lo que se va a trabajar y porque es necesario desarrollar el proyecto; lo cual en un inicio puede parecer sencillo, pero implica un proceso de reflexión y de conocer adecuadamente el contexto del problema; porque una vez que se ha identificado el problema, es necesario adquirir la mayor parte del conocimiento que lo rodea, analizándolo desde la mayor cantidad de puntos de vista.

Esta competencia es la base de la investigación, ya que pone en contexto al problema que se pretende desarrollar, en el caso de este proyecto la idea ya estaba planteada, porque forma parte de un proyecto global, pero al momento de tomar la responsabilidad de desarrollarlo, se me encomendó que le diera mi propia visión del problema, y como desde el punto de vista de mi formación académica en la licenciatura en bioingeniería médica, puedo contribuir al desarrollo del proyecto.

Uno de los aspectos más importantes al momento de realizar una investigación, es la realización correcta de la revisión del estado del arte, porque el estado del arte brinda una visión de lo que otros investigadores están desarrollando en el mismo campo de acción, en el que se encuentra el proyecto que se pretende desarrollar. Por lo que, mi asesor me explicó la importancia de utilizar bases de datos confiables, para la obtención de artículos y patentes que se ajustaran a lo que yo estaba buscando, y como tenía que utilizar los criterios de inclusión y exclusión para refinar esta búsqueda. En este año fue la primera vez que realicé un análisis patentométrico, con lo que me di cuenta, de la importancia de conocer cómo funcionan las bases de datos, las cuales permiten descargar la información que se necesita y la que más se adapta al problema que se está desarrollando.

Además, durante mi estancia de investigación me enseñaron a utilizar *OpenRefine*, que es una herramienta de apoyo para el manejo de bases de datos, el cual permite limpiarlas, compararlas y exportar los datos después de procesarlas. Otro de los aspectos que se fomenta en este programa de investigación, fue el desarrollo de coloquios internos, en donde los alumnos de maestría y doctorado exponían sus proyectos, fomentando la libre circulación del conocimiento, y contribuyendo para desarrollar una mejor competencia de divulgación, ya que cualquiera en la sala era libre de cuestionar el trabajo expuesto, con la finalidad de hacer una retroalimentación del mismo, y como parte del programa de investigación, se me invitó a participar en este tipo de actividades que me ayudaron a enriquecer mi proyecto,

Uno de los grandes retos a los que me enfrenté durante mi estancia, fue el desarrollo de un artículo de investigación y un *Brief*, debido a que la estructura, el lenguaje y la forma en la que se presenta la información, repercute directamente en si el artículo será aceptado o no; además se deben cumplir con ciertos parámetros que cada revista impone, para estandarizar el tipo de artículos que publican. Otro aspecto a considerar, es la elección de la revista en la que se publicará, porque en su mayoría son especializadas o no aceptan cierto tipo de artículos; además, antes de enviar el artículo es necesario adaptarlo al formato de cada revista, ya que si no se encuentra en regla puede ser rechazado.

Por último, mi asesor me enseñó su método para el desarrollo de un proyecto, primero se realiza el planteamiento del problema, después se realiza un análisis patentométrico y cienciométrico para el desarrollo de un *review*, después se realiza un artículo sobre la metodología, posteriormente se obtienen patentes de lo que se estructuró y se realiza un artículo del dispositivo a desarrollar, por lo que al tener ya en solicitud las patentes, el artículo del desarrollo y resultados del dispositivo tiene un valor más elevado; y finalmente se realiza un artículo donde se muestra la evaluación del mismo; de esta forma se aprovecha de forma total el proyecto realizado.

## VIII Resultados

En esta sección se exponen de forma paulatina los resultados obtenidos para cada fase del proyecto, empezando por ambos enfoques del análisis patentométrico, que apoyan a la visualización actual de los sistemas de energía; posteriormente, se describió la máquina de estados finitos que muestra el análisis funcional del exoesqueleto ERMIS.

Como resultado de la tercera etapa, se mostró la implementación del arnés final que conforma a EXOSEP en el exoesqueleto ERMIS; y el diseño de las carcasas que cubren a dicho arnés, las cuales le permiten adosarse a ERMIS.

Se realizó una comparación del arnés inicial con el arnés final, colocando los puntos que marcan la diferencia entre ellos, además se muestra las fases de transformación que sufrió desde su inicio hasta llegar al arnés final; por otra parte, para las carcasas se realizaron fichas técnicas de las piezas que conformaban cada módulo, y una proyección final de la unión de todas las carcasas que forman parte de EXOSEP sobre ERMIS.

Por último, se agregaron a manera de conclusión la perspectiva y los logros obtenidos en el trabajo realizado.

### 8.1 Análisis Patentométrico

#### 8.1.1 Enfoque estructural

En este enfoque, se desarrollaron un conjunto de tablas, donde las patentes se sometieron a una evaluación, con respecto a los criterios de diseño establecidos para EXOSEP. Estas tablas están divididas en las partes que conforman los sistemas de energía:

Formas de guiamiento de cables (Tabla 15 y Tabla 16):

En lo que respecta a este aspecto, se abarcan cuatro diferentes maneras en las que se puede hacer el recorrido del cableado adosado a la estructura del robot, estas formas son:

1. Cadena: se refiere a un conjunto de eslabones conectados entre sí.

2. Guía: es una estructura por donde pasan cables, la cual puede tener rieles, carcasas etc.
3. Enlace: se refiere a dos estructuras conectadas entre sí por bandas.
4. Dispositivos de guiamento: son estructuras concretas que pueden ser tuberías, carcasas etc. En este caso solo se evaluaron tres parámetros, que son seguridad, portabilidad y conectividad.

En el ámbito de seguridad el 46.25% de las estructuras son seguras por medio de elementos de retención, el 33.13% mediante una envoltura o por el material del que están elaboradas, cuya función es el aislamiento de la pieza; y por último, el 35% proporciona seguridad, mediante limitaciones ya sea de movimientos indeseados o para bloqueo de seguridad. Con lo que se puede inferir que la mayoría de los dispositivos cuentan con medios de retención para proporcionar seguridad en cualquier forma de guiamento, pero no tienen gran diferencia en comparación de las otras formas de brindar seguridad, por lo que en ocasiones se escoge una u otra o en su defecto ambas, esto depende de la peculiaridad del sistema al que pertenezca.

En el ámbito de portabilidad el 66.88%, ofrece medios para el desprendimiento/movilidad, los cuales están clasificados en dos aspectos: por estructura, que se refiere a la manera en la están ensambladas las piezas de cada forma de guiamento, y la movilidad de las formas de guiamento con respecto a una estructura fija o si la misma pieza es móvil. Por otro lado, el 42.5% tiene elementos o estructuras de las formas de guiamento, que son desmontables de donde están sujetas. Por lo tanto, la mayoría de las formas de guiamento prefieren la movilidad y el desprendimiento de las piezas entre sí, a que se desprendan del sistema donde están sujetas.

En el ámbito de conectividad, el 88.13% utiliza algún medio de conexión, el cual puede ser una estructura o elementos como imanes, bandas etc.; mientras que el 55.63% se conecta mediante elementos de sujeción, los cuales a diferencia de los elementos de conexión solo hacen función de retención. También, se dividen en estructuras como ranuras, varillas, ganchos o por elementos de sujeción; por lo tanto, la mayoría tiene elementos de conexión para permitir la continuidad de las estructuras, pero complementariamente a los elementos de

conexión, también se utilizan medios de sujeción y en menor medida solo utilizan estos últimos.

Tabla 15 Descripción de los parámetros en las formas de guiamento de cables (Parte 1).

FORMAS DE GUIAMIENTO DE CABLES				
PARÁMETROS	SUB PARÁMETROS	CADENA	GUIA	ENLACE
SEGURIDAD	MEDIOS DE RETENCIÓN	-Piezas de seguridad y acoplamiento [53 57 63 64 66 67 71 78 81 82 83 84 85] -Medios Bloqueo [90 93 94] -Medios de refuerzo [69 77 80 84 86 87 95 96 97]	-Soporte (p. ej. conexión transversal flexible, guía de ranura) [110 111 112 115 116] -Bloqueo (p. ej. medio de retención) [109 83 118 119] -Control (medición de un sensor) [117]	Bloqueo (p. ej. elemento de sujeción) [127 132 133] Soporte (p. ej. cuerpo de enganche, elemento de rotación) [127 132 133]
	ENVOLTURA/CONSTRUCCIÓN	-Plástico, poliamida, elastómero, material elástico/deformable [52 54 56 62 63 67 69 70 77 85 88]	Imanes alojados, carcasa con cubierta de protección [109 117]	Color (elemento de sujeción y lateral color distinto) [122 1118 129 130 131]
	LIMITACIONES	-Vibración [52], limita el ángulo de giro [53 55] -Bloqueo [56 58 59 60 61 70 72 77 80 84 91] -Alivio de tensión [57 65]	-Bloqueo (elemento de sujeción) [113 114] -Delimitación (p. ej. la trayectoria de desplazamiento) [115 116 118 119 120]	Bloqueo (p. ej. dispositivo operativo tiene puntas de bloqueo separables) [124 127 128] Refuerzo (p. ej. banda de separación) [125 134]
PORTABILIDAD	MEDIOS DE DESPRENDIMIENTO/MOVIDAD	Estructura (p. ej. Imanes, eslabón, miembros laterales) [52 54 56 62 74 75 76 84 85 92 107 108 109 94] Estructura Móvil (p. ej. varilla, conexión móvil, cable de activación) [63 64 65 68...73 98 81 101...104 82 83 91 95...97]	-Estructura (Rieles de deslizamiento, anillo deslizante) [111 112 117...120] -Elementos (Método de bandeja removible, enlace multiaxialmente ajustable) [109 115 116]	Soporte (p. ej. soporte de extensión desmontable) [132 133] Estructura (p. ej. Banda de separación enganchable, redes de bastidor) [126 128 134] Elemento (sujeción ajustable, miembros laterales) [122 129 130 131]
	DESMONTABLE	Estructura (p. ej. Barra guía, miembros laterales, placa de soporte) [52 54 55 56 58 60...62 75 81 101 102 82 83 90 91] Elementos (p. ej. Elemento de sujeción, enlace de redes, eslabones) [57 67 71 73 77 79 99 100 81 88 89 104 105 106 96]	-Estructura (Cadena retraíble y móvil) [117] -Elementos (envoltura de dos piezas, carcasa desmontable) [109 115 116]	Estructura (p. ej. medio de retención, bandas transversales) [123 128 129 132 133] Elemento (p. ej. elementos laterales conectados) [121 124 135]
CONECTIVIDAD	MEDIOS DE CONEXIÓN	Estructura (p. ej. Secciones cilíndricas, miembros laterales, redes de bastidor) [52 53 55 57...63 65 66 68 69 71 74 76 81 82 85 86 87 89 101...109 90 97 93 94 95] Elementos (p. ej. Banda, imanes, elemento de conexión) [53 56 57 58 64 67 70 72 98 73 75 77...80 99 100 83 88 91 97]	-Estructura (los eslabones, brazo de manguera, arcos de dirección, conexión flexible, interconectan punto de conexión) [109 108 113 114 117] -Elemento (carcasa conectada por una banda, conecta dos partes de la carcasa) [115 116 118 119 120]	Estructura (p. ej. miembros transversales, bandas de bastidor) [126 127 128 132 133] Elemento (p. ej. laterales, conectar de manera articular, red de bastidor, placa de conexión) [121 123 124 125 135]
	MEDIOS DE SUJECIÓN	Estructura (p. ej. Ranura, banda de conexión, varilla de fijación, cruceta, pasador de bisagra) [52 58 59 63 64 69 70 72 98 76 79 99 100 103 86 87 91 94 96] Elemento (p. ej. Elemento de sujeción/ Amortiguación, elemento de tope) [54 55 56 59 61 62 65 67 80]	Estructura (unidos mediante ganchos, soporte mediante ejes mecánicos) [109 113 114] Elementos (Elementos de sujeción a presión, ranura cerrada desde el exterior) [111 112 118 119 120]	Estructura (medios de tope, aletas con ranura, medios de enganche, elemento de sujeción) [124 125 127 132 133] Elemento (sujeción y tope concéntricamente, elemento para enganchar) [122 123 129 130 131 134]

Tabla 16 Descripción de los parámetros en las formas de guiamiento de cables (Parte 2).

FORMAS DE GUIAMIENTO DE CABLES °		
PARÁMETROS	SUB PARÁMETROS	DISPOSITIVO
SEGURIDAD	MEDIOS DE RETENCIÓN	Protección (p. ej. topes unidos herméticamente, miembros/ elementos de retención/ detección) [136 143 144 152 174 192 193 194 205 206 207] Bloqueo (p. ej. anillo de bloqueo, dispositivo de ajuste) [163 170 175 176 177 183 187 210] Soporte (p. ej. orejetas por tope, fuerza de sujeción) [137 138 154 136 142 168 169 171 178 180 189 190 191 201 202 203]
	ENVOLTURA/ CONSTRUCCIÓN	Material (p. ej. órgano deformable, material flexible/aislante, modelo de inyección) [136 138 140 144 152 156 159 160 175 176 177 182 187 192 197 201 211] Funda (p. ej. envolvente protección, línea de protección) [148 155 158 161 164 165 166 167 171 172 173 174 184 188 204 208 209]
	LIMITACIONES	Bloqueo (p. ej. miembro/ dispositivo/ enlace de bloqueo) [139 140 141 143 144 147 149 150 159 160 161 179 186 195 197 198 199 210] Elemento (p. ej. amortiguador, elemento de retención) [151 153 155 156 157] Ángulo de giro (p. ej. elemento de agarre controlable) [243 190 191 200 201]
PORTABILIDAD	MEDIOS DE DESPRENDIMIENTO/ MOVILIDAD	Estructura (p. ej. piezas separables, muelle de tracción, marco de sujeción atornillado) [136 137 144 145 147 153 154 155 156 157 159 160 161 171 172 178 179 184 190 192 195 196 197 201 202 210] Elemento (p. ej. imanes retirables, puntos interconectados, carcasa giratoria) [138 139 140 141 143 145 149 150 151 152 158 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 175 176 178 179 193 194 198 199 200 203]
	DESMONTABLE	Estructura (p. ej. marco de retención, unidad de sujeción, carcasa atornillado, tubería acoplada) [139 140 141 146 147 159 160 170 171 186 187 188 202 205 206 207] Elemento (p. ej. miembro de soporte, carcasa desmontable) [137 148 149 150 152 153 190 192]
CONECTIVIDAD	MEDIOS DE CONEXIÓN	Elemento (p. ej. dispositivo de guía, medios de bisagra, piezas unidas por enganche, orejetas de fijación, tope articulada, pasador de soporte, elemento de conexión elástica, bandas transversales) [136 137 142 143...146 147 148 149 158 159 161 162 169 174 178 182 183 187 188 189 192 193 194 195 197 199 200 201 202 204 208 211] Estructura (p. ej. cuerpo interconectado, manguito interconectado mediante ganchos, red de conexión) [138 139 140 141 143 148 154 155 157 161 163 164 165 169 170 171 177 184 185 190 191 198 203 204 205 206 207 208 209]
	MEDIOS DE SUJECIÓN	Elemento (p. ej. dispuesto de tracción, elemento de retención conectados, elemento/ dispositivo/ cojinete de sujeción) [136 145 148 149 150 156 158 159 162 165 166 167 183 187 189 190 191 195 196 199 200 209] Estructura (p. ej. marco/ elemento/ clip de sujeción, conexión rígida) [137 143 151 152 158 164 165 166 167 169 170 178 179 181 184 186 193 194 198 210]

Arnés de cable (Tabla 17):

En el caso de los arneses de cables, si se evaluaron los cuatro parámetros, en el ámbito de seguridad el 94.44% de los arneses dan seguridad mediante algún material de protección, y el 55.63% lo realiza mediante medios de retención, como era de esperar el arnés tiene una mayor incidencia en material de protección, debido a que el arnés está compuesto por un conjunto de cables que usualmente son protegidos por una envoltura de protección, pero de forma

complementaria, se utilizan medios de retención para evitar movimientos indeseados.

Para el caso de la portabilidad, el 44.44% utiliza elementos de fijación y únicamente el 5.55% utiliza partes móviles; por lo tanto, los arneses utilizan en su mayoría elementos de fijación para evitar su movimiento o simplemente son adosados a las estructuras; aunque un limitado porcentaje emplea partes móviles para sus arneses. En el ámbito de modularidad solo hay un punto de comparación, el cual se refiere a las partes de las que está conformado y el 77.77% lo dividen en secciones.

Para la conectividad se divide de forma similar a las formas de guiado, en donde el 61.11% da conectividad mediante medios de conexión y un 44.44% da conectividad mediante medios de sujeción; por lo que, a diferencia de las formas de guiado, los arneses escogen una u otra opción y en un pequeño porcentaje los utilizan de forma complementaria.

Tabla 17 Descripción de los parámetros en los arneses de cable

ARNÉS DE CABLE		
PARÁMETROS	SUB PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
SEGURIDAD	MATERIAL DE PROTECCIÓN	Material (material de sellado, material opaco a la radiación electromagnética, banda de plástico, cable aislado, elemento de protección, entrelazado flexible) [212 213 218 222 224 225] Envoltura (cuerpo envolvente, flexible y activable, funda protectora y cerrada, revestimiento de polipropileno, placa de protección, tubo protector) [214 215 216 217 218 221 222 223 226 227 228]
	MEDIOS DE RETENCIÓN	Banda, estructura de red, manguito de contacto, medio de sujeción, abertura de seguridad, inserción sellada, elemento de soporte [212 213 219 220 221 223 225 227]
PORTABILIDAD	ELEMENTO DE FIJACIÓN	Elemento de fijación, material de sellado, ranura exterior, sujetador, elemento de soporte, comunicación de conector, miembro estructural de manera ajustable [212 213 219 220 221 222 227]
	PARTES MÓVILES	Elemento de presión para desplazarse [224]
MODULARIDAD	PARTES	Pluralidad de líneas, canales de distribución, formación de un haz de líneas, cubierta común, cubierta protectora, blindaje común, intercalación de fibras, elemento de presión y tope, entretejido, retenedor de conducto [212 213 214 215 216 217 218 219 220 222 224 225 227 228]
CONECTIVIDAD	MEDIOS DE CONEXIÓN	Canal de distribución, material de cubierta entre líneas, bandas de arnés, pieza de conexión fundida, cable aislado, conexión rígida [212 213 214 215 216 218 220 222 227 228]
	MEDIOS DE SUJECIÓN	Cuerpo envolvente flexible fijado, estructura de soporte, placa conectora adicional, collar de sujeción [214 215 216 217 221 226 227]

## Cable (Tabla 18):

Al igual que las formas de guiado, sólo se analizaron tres parámetros, siendo en este caso: seguridad, modularidad y conectividad. Para el caso de seguridad fue dividida en tres aspectos, donde el 88.24% utiliza funda /tubo, el 29.41% se protege mediante el material con el que es manufacturado y el 17.65% utiliza un sistema de control para el monitoreo del cable; cómo se puede observar la mayoría utiliza funda/tubo para proteger los cables, en otros casos protegen el cableado mediante el material con el que los conforman o en su defecto mediante algún sistema de control; y en algunos casos se utiliza la funda/tubo y lo complementan con el material de construcción o algún sistema de control.

Por otra parte, en el caso de la modularidad se dividió en tres partes principales, donde el 76.47% utilizan aislamiento, el 82.36% tiene un conducto para el paso del núcleo del cable y por último el 29.41% tiene una capa de separación en cada sección del cable; por lo que en su mayoría los cables sí poseen tanto el aislamiento como el conducto, y no mediante la capa de separación que divide una sección de otra, lo cual brinda una mayor protección y aislamiento de corriente. En el caso de la conectividad, únicamente se toma en cuenta el sistema de conexión, como pueden ser ranuras, clips, capa adhesiva entre otros, para lo cual el 82.36% tiene al menos una forma de conectarse con otras partes del arnés y posteriormente con el sistema que lo conforma.

Tabla 18 Descripción de los parámetros en el cable

CABLE		
PARÁMETROS	SUB PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
SEGURIDAD	FUNDA/TUBO	Funda (silicona, función de blindaje, exterior, capa de poliamida) [229 230 236 237 238 239] Aislamiento, blindaje, tubo protector [231 232 233 234 235 242 243 244 245]
	MATERIAL	Capa elastomérica, Adhesivo [230 231 232 233 234]
	CONTROL	Alivio de tensión, dispositivo de bloqueo [235 236 245]
MODULARIDAD	AISLAMIENTO	Adhesivo sobre núcleos individuales, tubo protector, pluralidad de púas metálicas [232 233 234 235 236 243 244 245 246] Funda (silicona, función de blindaje, exterior) [237 238 239 240]
	CONDUCTO	Conducto de al menos una ranura, trenzados, conductos eléctricos, núcleo de planos, cable y bucle circular, conducto metálico [229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 242 243]
	CAPA DE SEPARACIÓN	Entre el conducto y la funda, vaina intermedia, placa frontal, capa semiconductor [236 240 241 244 245]
CONECTIVIDAD	SISTEMA DE CONEXIÓN	Ranura longitudinal, pluralidad de clips, capa adhesiva, cables al exterior, conducto trenzado, variables eléctricas, formación parcial, resorte helicoidal, fibras continuas [229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 241 243 245]

### 8.1.2 Enfoque global

En esta sección, se muestra como ha sido el progreso a nivel global sobre las patentes de las partes del sistema de energía, como se observa en la Figura 80, en donde se ejemplifica, como ha sido la solicitud y otorgamiento de patentes a través del periodo de tiempo entre 1987 y abril del 2019,: en este periodo se puede observar que al principio no existía una gran demanda, ya que de 1987 hasta 1996 solo existieron 5 (1.95%) patentes, y por el contrario en el periodo de tiempo del 2015 a abril del 2019, se registraron 132 (51.56%), lo que quiere decir es que este periodo fue 26.4 veces más prolifero. Sin embargo, el año 2018, fue el que obtuvo el mayor porcentaje de registros con un total del 21.48% del total de patentes y representa el 41.67% de todas las patentes registradas en los últimos cinco años. Además, el año 2018 también tuvo el mayor número de solicitudes y de otorgamientos de patentes.

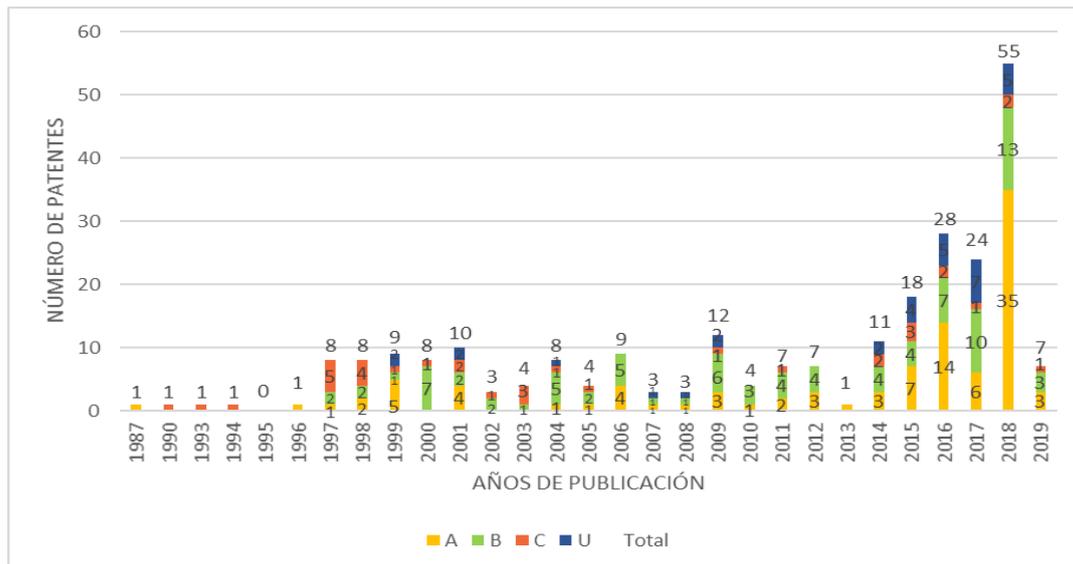


Figura 80. Muestra el número de patentes que se refieren a partes del sistema de energía por año, en el periodo de tiempo que abarca del año de 1987 al 2019. En el gráfico el amarillo indica las concesiones que se solicitaron, el verde indica las que se otorgaron, el naranja indica los documentos emitidos en la serie comunicado a la Oficina Internacional (WO) y el azul representa solicitud de modelo de utilidad

En la Figura 81, se muestran cuáles son las oficinas de registró que tienen un mayor impacto con base al número de registros de patentes; por lo que la oficina con mayor número de registros fue la Alemana con 84 patentes, este número de registros equivale al 32.81% del total de patentes; además coincide que es la sede de la empresa IGUS, que es la que tiene la mayor cantidad de registros de patentes. Sin embargo, la oficina de España es la que tiene el mayor número de patentes otorgadas con alrededor de 30 patentes; aunque le siguen de cerca la oficina Europea de Patentes con 26 patentes y la oficina de Estados Unidos con 24 patentes; estos países tienen los mercados más peleados por el capital que poseen; además de qué las empresas con mayor trayectoria en el sector industrial de los sistemas energéticos, en dispositivos antropomórficos tienen su sede principal en la Unión Europea.

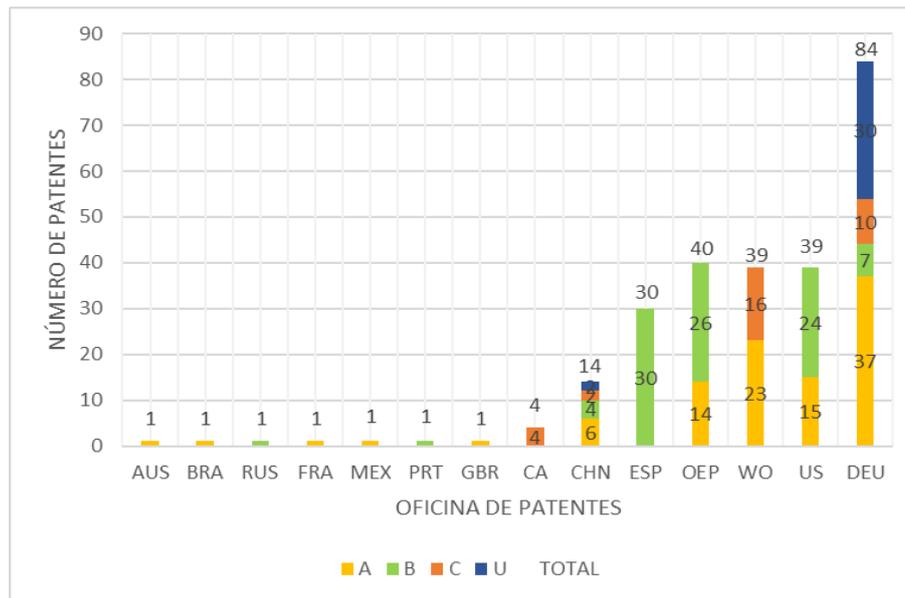


Figura 81. Muestra el número de patentes referentes a partes del sistema de energía solicitadas en oficinas de patentes alrededor del mundo, colocadas de menor a mayor número de patentes solicitadas. En el gráfico el amarillo indica las concesiones que se solicitaron, el verde indica las que se otorgaron, el naranja indica los documentos emitidos en la serie comunicado a la Oficina Internacional (WO) y el azul representa solicitud de modelo de utilidad

Por último, en la Figura 82 se observan las 11 principales clases que describen a las patentes; las cuales son un etiquetado de cómo son considerados y las implicaciones que ameritan, ya que va modificando su significado dependiendo la letra con que empiece; éstas letras se divide en ocho clases [247]:

- A. Necesidades corrientes de la vida.
- B. Técnicas industriales diversas; transportes.
- C. Química; metalurgia.
- D. Textiles, papel.
- E. Construcciones fijas.
- F. Mecánica; Iluminación; Calefacción; Armamento; Voladura.
- G. Física.
- H. Electricidad.

La forma de la clasificación consta del siguiente orden: primero es la clase, después la subclase y por último el grupo; para los sistemas de energía las tres clasificaciones con mayor número de patentes son: B25J 19/00 (B Técnicas industriales diversas, 25 herramientas manuales, J manipuladores, 19/00 Accesorios Adaptados) con 59 patentes que equivale al 23.05%; F16G 13/16 (F

Mecánica, 16 elementos de tecnología, G correas, cables y cuerdas, 13 Cadenas, 16 sostener cables eléctricos), con 96 patentes que equivale al 37.5 % de las patentes; y por último H02G 11/00 (H Electricidad, 02 Producción o distribución, G instalación de cables o de líneas eléctricas, 11/00 Instalación de cables y líneas entre dos piezas de movimiento) con 92 patentes que equivale al 35.94% de las patentes. Con lo que se verifica que las patentes utilizadas están enfocadas a herramientas manuales, pero en dirección a las formas de guiamiento de las líneas eléctricas y su instalación en piezas en movimiento.

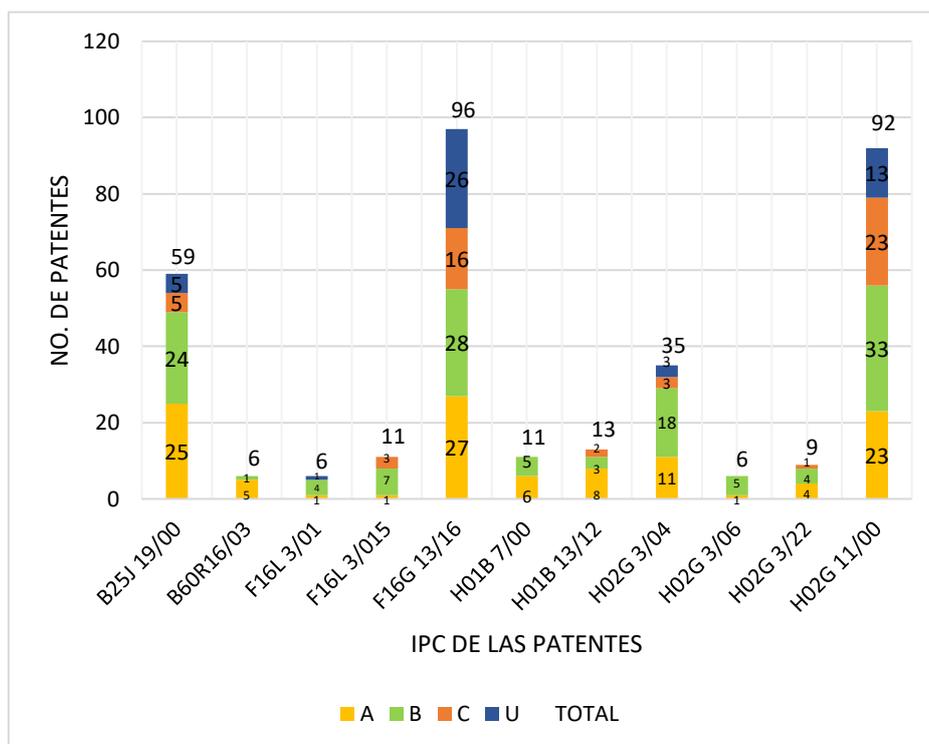


Figura 82. Muestra las 11 principales clases de Clasificación Internacional de Patentes (IPC) en las que se identifican estas patentes. En el gráfico el amarillo indica las concesiones que se solicitaron, el verde indica las que se otorgaron, el naranja indica los documentos emitidos en la serie comunicado a la Oficina Internacional (WO) y el azul representa solicitud de modelo de utilidad

Por otra parte, también se dividieron por el dueño de los derechos de la patente como se observa en la Tabla 19, en donde IGUS fue la empresa con el mayor número de patentes registradas a su nombre, la cual cuenta con 83 patentes que equivale al 32.42% del total de patentes; esta empresa tuvo su crecimiento más grande en el último periodo de tiempo con 49 patentes; aunque su crecimiento ha sido desde el primer periodo de tiempo. Por otro lado, quien tuvo un crecimiento exponencial en los últimos años fue LEONI ya que de sus 54

patentes 44 fueron en los últimos 5 años, sin embargo, la mayoría son solicitudes.

IGUS es la empresa con el mayor número de patentes concedidas con 27 patentes, además de ser el que tiene mayor número de solicitudes de modelos de utilidad con 16, y también es el que tiene el mayor número de patentes de tercer nivel las cuales son 23; sin embargo, el que tiene el mayor número de solicitudes es LEONI con 30 patentes y por el contrario el que tiene menor número de patentes es ABB con 14 totales, de estas patentes 9 son solicitudes, 4 les fueron concedidas y 1 es un modelo de utilidad.

En los últimos años, los dueños de los derechos de las patentes tuvieron dos crecimientos significativos, el primero fue en el periodo de 1997 al 2002 ya que pasaron de 5 patentes a 46, lo que sugiere que aumentaron nueve veces en comparación del periodo predecesor, y el segundo crecimiento importante fue en el último periodo, donde paso de 43 patentes a 131 patentes, lo que equivale a un poco más del triple que el periodo anterior, y representa un 51.17% de las patentes totales. Del total de patentes el 38.28% son solicitudes, el 35.55% son concedidas, el 13.28% son documentos en serie y por último el 12.89% son solicitudes de modelos de utilidad.

Tabla 19 La cantidad de patentes clasificados según los dueños de los derechos de las patentes asignadas por periodos de tiempo desde 1987 hasta el 4 de abril del 2019. En la tabla el amarillo indica las concesiones que se solicitaron, el verde indica las que se las que se otorgaron, el naranja indica los documentos emitidos en la serie comunicado a la oficina Internacional y el azul representa solicitud de modelo de utilidad

DUEÑOS DE LOS DERECHOS	A	B	C	U	A	B	C	U	A	B	C	U	A	B	C	U	A	B	C	U	A+B+C+U				
	1987-1996				1997-2002				2003-2008				2009-2014				2015-2019				TOTAL				
MURR PLASTIK			1		1	3	1	1	6	8	1	1	8	9			4	2	1		19	2	4	2	47
IGUS	2		2		5	7	1	3				3		1	1		10	1	4	1	17	2	2	1	83
LEONI													3	4	1	2	30	8	2	4	33	1	3	6	54
KUKA					4	7			3	2	7	1	2	2	7	2	12	5	1	1	20	2	4	8	58
ABB					1									1			8	3		1	9	4		1	14
TOTAL	2		3		1	1	1	4	8	1	5	3	1	2	4	4	64	4	8	2	98	9	3	3	256
	5				46				31				43				131				256				

## 8.2 Máquina de estados finitos (MEF)

A partir de los diagramas de flujo que describen el funcionamiento del exoesqueleto ERMIS, se desarrolló una máquina de estados finitos, que a partir de entradas y salidas describe el flujo de información para el funcionamiento del exoesqueleto ERMIS.

En la Figura 86, se puede observar la máquina de estados finitos, que está dividida con respecto a los cuatro casos de estudio. Para iniciar un ciclo de la máquina, primero se debe dar inicio y luego seleccionar alguno de los casos de estudio:

1. Si se selecciona el primer caso de estudio (C1), se envía directamente al bloque de “proceso inicial” que se puede observar en la Figura 83, en donde las entradas son los conjuntos Art (articulaciones), Sen (sensores) y Mot (motores), estos conjuntos entran a posición actual, después si  $x=1$  es que llegó al interruptor de inicio de carrera y lleva a ERMIS a la posición de HOME, pero si  $x'=0$  es que llegó al interruptor del fin de carrera y lleva a ERMIS a la posición de HOME, y así ERMIS verifica en donde se encuentra al tocar ambos interruptores, una vez que se encuentra en HOME se guarda este valor y sale de este bloque.

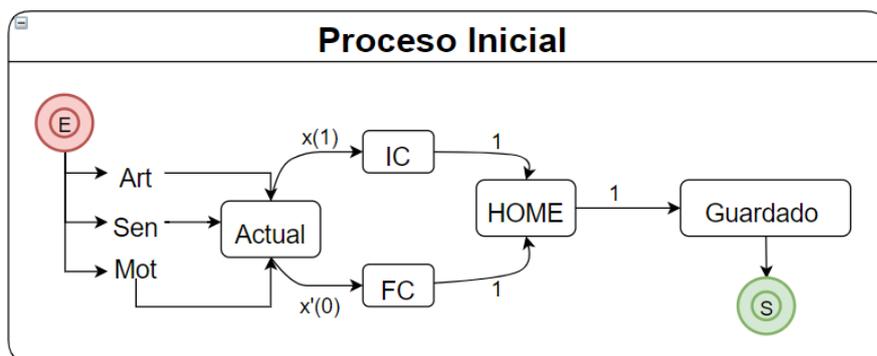


Figura 83. Bloque de proceso inicial.

Se va al siguiente bloque que es el de “Movimiento libre”, en este las entradas son las articulaciones como se observa en la Figura 84, después se selecciona un movimiento dependiendo la articulación, y siguiendo el diagrama lleva al bloque de “movimientos”, en donde se puede observar el motor que va ejecutar el movimiento. En este bloque las entradas son

los movimientos, después se va la posición solicitada en donde si  $Rz=1$  significa que se puede realizar el movimiento y sale del bloque de movimiento libre, pero si  $Rz=0$  significa que no se puede realizar el movimiento, por lo que se verifica a cuál de los dos topes llegara, si  $L=1$  entonces es al interruptor de inicio de carrera, pero si  $L=0$  entonces es al interruptor de fin de carrera, y sale del bloque de movimiento libre.

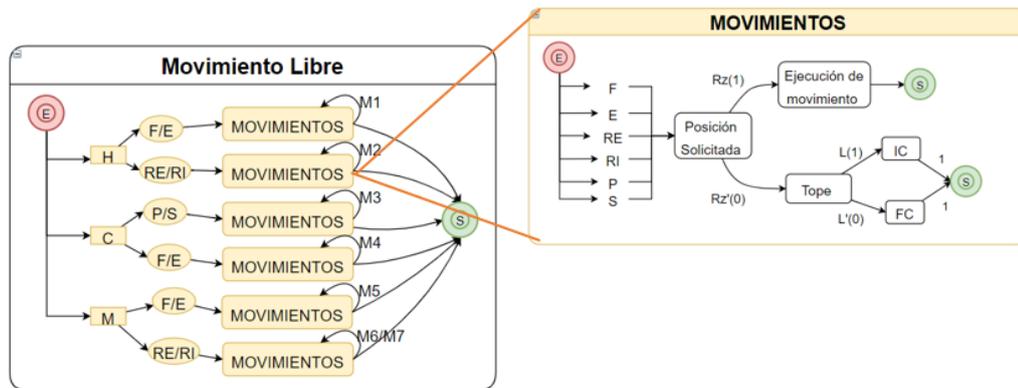


Figura 84. Ejecución del bloque de movimiento libre.

Si se quiere repetir el caso, R tomará el valor de 1 y volverá al bloque de proceso inicial, de ser el caso opuesto  $R'$  toma el valor de 0 y lleva a dos opciones si seleccionan 0 se apaga, y si por el contrario se selecciona 1 regresa al sistema para la selección de casos.

- Si se selecciona el caso de estudio 2 (C2) envía al bloque de proceso inicial, después se selecciona el movimiento que se desea realizar, para lo cual si SM adquiere el valor de 1 se ejecuta el bloque de Levantamiento de enfrente hacia atrás, para el cual se envía la entrada H (hombro) al bloque de movimiento, después se envía F (flexión) y E (extensión) al bloque de movimientos para que ejecuten la acción. Si por el contrario, SM adquiere el valor de 0 se ejecuta el bloque de Traslado de un objeto de arriba/abajo; para el cual se envía la entrada C (codo) al bloque de movimiento, después se envía F (flexión) y E (extensión) al bloque de movimientos para que ejecuten la acción. Una vez que se está ejecutando el movimiento seleccionado se va al bloque de "Proceso de adquisición", que se puede observar en la Figura 85, en donde mientras no cambie el valor de PS a 1 se ejecuta el bloque de "Medición continúa", cuando se llega a la posición solicitada PS cambia a 1, se guarda la medición actual

y se sale de este bloque. Ahora se evalúa a R, si R es igual a 1 se regresa al caso 2, pero si R es igual a 0 origina dos opciones, 0 para finalizar toda acción o 1 para seleccionar otro caso.

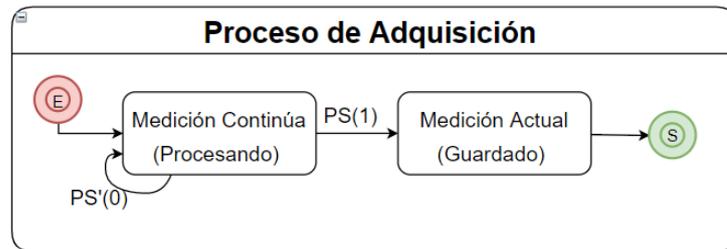


Figura 85. Bloque de proceso de Adquisición.

3. Si se selecciona el caso 3 (C3), primero se pasa por el bloque de “Proceso inicial”, para después ejecutar el bloque de “Definición de trayectoria”, en este caso sólo se tiene programada una trayectoria, por lo que se pasa directo al bloque de “Movimiento Combinado”, en el cual se utilizan todas las articulaciones y por ende todos los motores en un orden determinado para seguir la trayectoria. Mientras se ejecutan los movimientos para la trayectoria se ejecuta el bloque de “Proceso de Adquisición”, una vez que ya se guardaron todos los datos de posición, se evalúa si se quiere repetir el caso mediante la variable R, si R es igual a 1 se regresa al caso 3, pero si R es igual a 0 te da dos opciones, 0 para finalizar toda acción o 1 para seleccionar otro caso.
4. Si se selecciona el caso 4 (C4), primero pasa por el bloque de “Proceso Inicial”, después se evalúa la variable SM, en donde si adquiere el valor de 1, se ejecuta el bloque “De lado al timón”, para el cual se utiliza el bloque de movimiento combinado, y se envían de entrada todas las variables de las articulaciones, dado que para realizar este movimiento se necesitan todas las articulaciones. Si, por el contrario, SM adquiere el valor de 0 entonces se ejecuta el bloque “De frente al timón”, para el cual también se utiliza el bloque de movimiento combinado. Mientras se realizan los movimientos, se ejecuta el bloque de “Proceso de Adquisición”, una vez que ya se guardaron todos los datos de posición se evalúa, si se quiere repetir el caso mediante la variable R, si R es igual a 1 se regresa al caso 4, pero si R es igual a 0 da dos opciones, 0 para finalizar toda acción o 1 para seleccionar otro caso.

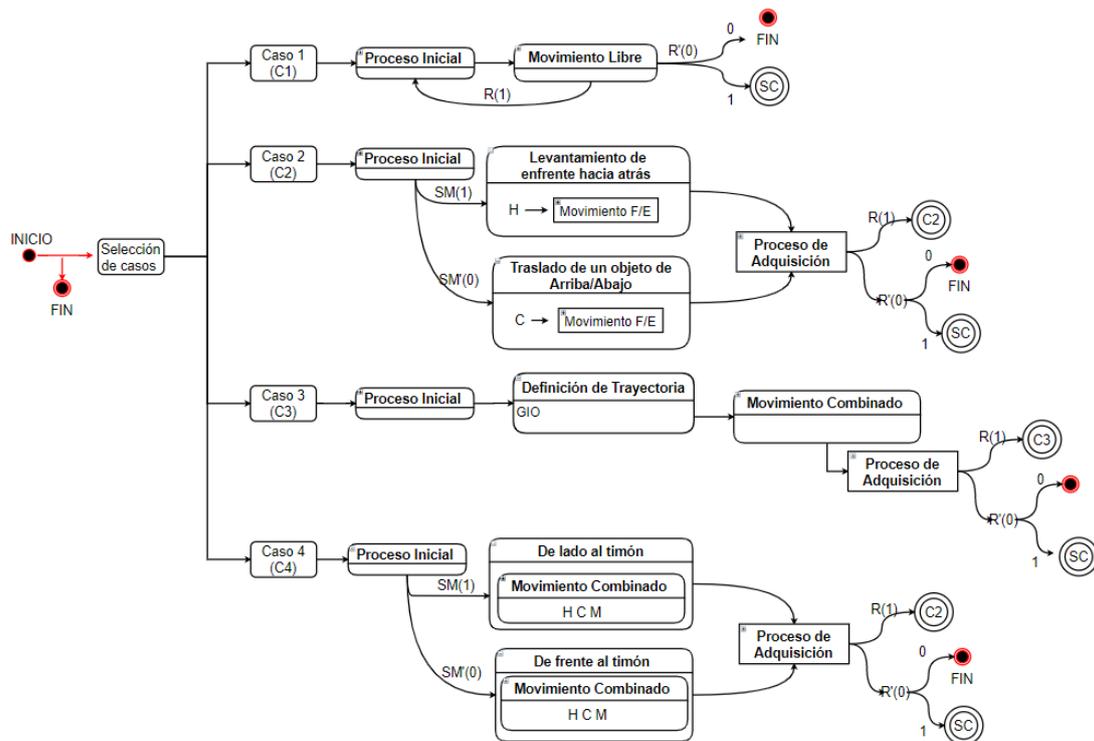


Figura 86. Diagrama de la máquina de estados finitos que describe el funcionamiento del exoesqueleto ERMIS.

### 8.3 EXOSEP (Sistema de energía para exoesqueletos portátil)

Los componentes que lo integran son la estación de energía, el arnés de cable y las carcasas que protegen al arnés de cable.

En el caso de la estación de energía, es una fuente de poder que tiene dos salidas a los motores, la primera salida a los motores envía 18 V (volts) para los motores 1 y 2, y la segunda salida envía 9 V a los motores 3 y 4; también se envía a los motores 5 y 6, pero a diferencia únicamente se les envían 5 V.

#### 8.3.1 Arnés de cable

A partir del modelo realizado en *SolidWorks* del arnés seleccionado para el exoesqueleto ERMIS, se realizó una solicitud de modelo industrial, utilizando las vistas frontal, posterior, lateral izquierdo, lateral derecho, superior, inferior, e isométrica; la cual lleva por título “Modelo Industrial de dispositivo para suministro de energía en Exoesqueletos”, y el número de solicitud ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial es [MX/f/2019/002548](https://repositorio.impi.gob.mx/handle/123456789/12345).

En este caso, el arnés fue intercambiado por completo en el exoesqueleto ERMIS, y se comprobó su correcto funcionamiento como se puede observar en la Tabla 20, en donde se puede ver que al comparar el voltaje del arnés anterior y el actual, estos valores de voltaje se acercan más a los valores esperados para cada tipo de línea de cableado; estos resultados se obtuvieron de un promedio de 15 medidas obtenidas para cada cable, en dos posiciones del exoesqueleto: HOME y punto máximo.

Tabla 20. Muestra los voltajes para cada tipo de línea que se encuentran en el arnés.

TIPO	CABLE	VOLTAJE ANTERIOR DEL ARNÉS (Volts)		VOLTAJE DEL ARNÉS ACTUAL (Volts)	
SEÑAL DE MOTORES	GND	0.1	0	0	0
	A	3.5	0.19	4.8	0.18
	B	0.21	4	0.2	4.8
	IN	5V	5	5V	5
INTERRUPTORES DE INICIO Y FIN DE CARRERA	GND	0	3	0	5
	IN	3	0	5	0
POTENCIA MOTOR 1 Y MOTOR 2	GND	0.3		0	
	IN	17.8		17.96	
POTENCIA MOTOR 3 Y MOTOR 4	GND	0		0	
	IN	8.5		9	
POTENCIA MOTOR 5 Y MOTOR 6	GND	0.1		0	
	IN	4.5		5	

Como se puede apreciar, el cableado actual cumple además con las siguientes reglas de enrutamiento:

- Se separaron mediante un recubrimiento extra, los cables de potencia y los cables de señal.
- Gracias al recubrimiento del cable, se evita la interferencia electromagnética y al ser flexible no hay peligro de pérdida de la señal.
- Por las medidas obtenidas en los cables de señal y potencia, se verificó que no existiera corriente de fuga.

Además, el tamaño del cable de los sensores se redujo de 44.58 mts a 41.7 mts, el cual es un estimado de la suma de todos los cables, ya que no se pudo evaluar con respecto a un mazo de cables, debido a que en él arnés anterior cada cable tenía su propio camino, por lo que se puede ver que se redujo un 6.46% del tamaño original.

Otro de los aspectos a resaltar, es que por el tipo de cableado que tuvo el anterior arnés había un peligro constante de ruptura, ya que al realizar las primeras pruebas para identificar los caminos que pudo recorrer el arnés de cable, ocurrió alguna pérdida de la señal en ciertas posiciones, que usualmente era cuando se combinaban movimientos. Esta pérdida provocaba que el motor no llegará a los puntos de máximo recorrido, además de que el cableado estaba únicamente protegido por *Thermofit*, el cual no se presta para adosarse al exoesqueleto ERMIS, siendo que era muy grueso para el cable que contenía.

Por lo que, este cambio se puede observar en la Figura 87, en la cual se aprecia en primera instancia el arnés original, que tiene una holgura lo suficientemente extensa, para permitir los movimientos articulares al exoesqueleto, pero el cableado no sigue estos movimientos, porque no se encuentra adosado al exoesqueleto; y se puede apreciar que el arnés por sí mismo genera una mayor área de trabajo para el exoesqueleto. En la segunda parte, se observa cómo empieza a modificarse la estructura del arnés; aunque todavía tiene cables que no siguen los movimientos del exoesqueleto, pero ya se pueden ver las primeras dos secciones más organizadas, aunque en este punto aún no tiene el cable seleccionado para su sustitución.

Por último, se observa la versión final del arnés en donde ya no hay cables holgados, el arnés ya acompaña en todos los movimientos al exoesqueleto, y el área del trabajo del exoesqueleto ya solo está determinada por los segmentos que lo componen.

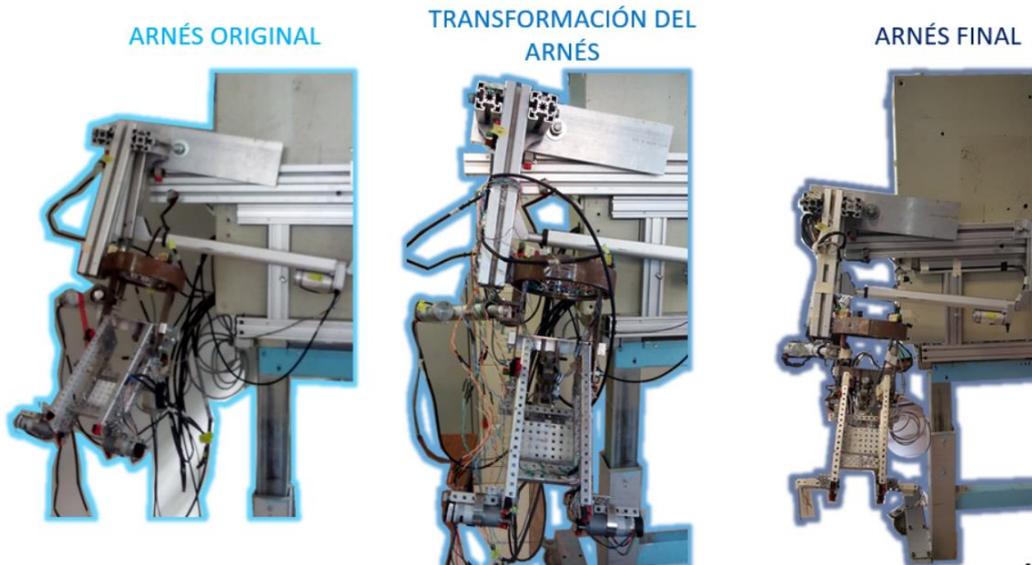


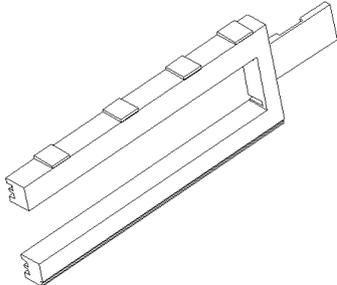
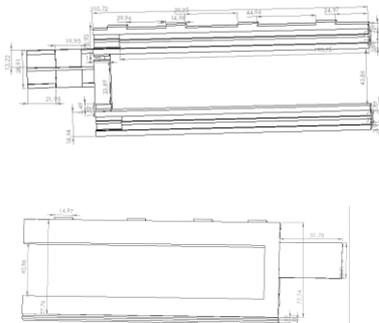
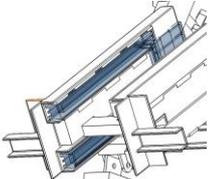
Figura 87. Muestra la transición del arnés original a la versión final.

### 8.3.2 Modelado de las propuestas de las carcasas

A partir de los resultados obtenidos del *Pugh Chart*, se realizaron las fichas técnicas de las piezas que conforman cada uno de los módulos de EXOSEP; en el caso del antebrazo, las tablas de la 21 a la 26 representan las carcasas que cubrirán al cable que pasa por este módulo.

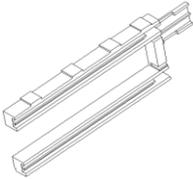
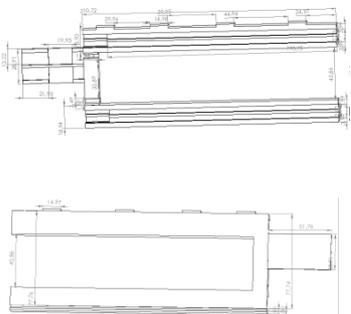
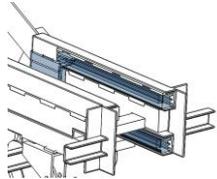
En la Tabla 21, se representa la pieza que se ensambla en la parte derecha del antebrazo; para todas las piezas el primer número del nombre representa el módulo, y los siguientes dos números representan la versión.

Tabla 21 Ficha técnica de la pieza MODELO\_EXOSEP\_107\_DER.

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_107_DER			
NO. PIEZA	39			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Esta carcasa es la que protege a los cables que atraviesan el antebrazo, la cual tiene puntos de unión en donde los mazos se intersecan, y cuenta con una división para separar los cables de potencia y de señal.</p>			
DIMENSIONES (MM)	Largo	210.72+ 51.78	Segmento 1	29.96
	Ancho	20	Segmento 2	39.95
	Alto	77.76+ 3.99	Segmento 3	44.94
	Segmento	14.98	Segmento 4	24.97
	Zona de ensamble		Antebrazo	

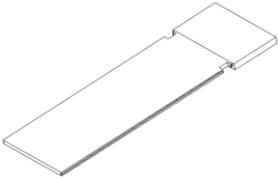
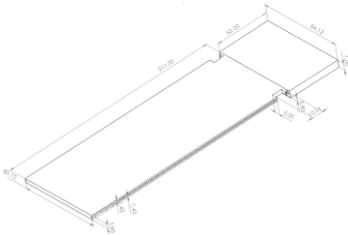
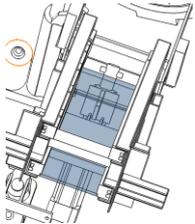
La segunda ficha técnica se puede ver en la Tabla 22, representa a la pieza que se ensambla en el módulo del antebrazo, pero se ensambla en el lado izquierdo.

Tabla 22 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_107\_IZQ."

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_107_IZQ			
NO. PIEZA	40			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	Esta carcasa es la que protege a los cables que atraviesan el antebrazo, la cual tiene puntos de unión en donde los mazos se intersecan, y cuenta con una división para separar los cables de potencia y de señal.			
DIMENSIONES (MM)	Largo	210.72+ 51.78	Segmento 1	29.96
	Ancho	20	Segmento 2	39.95
	Alto	77.76+ 3.99	Segmento 3	44.94
	Segmento	14.98	Segmento 4	24.97
	Zona de ensamble		Antebrazo	

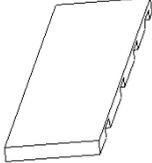
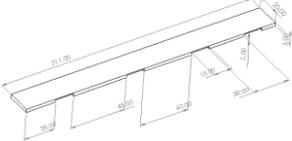
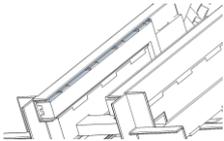
La tercera ficha técnica se puede ver en la Tabla 23, representa a la pieza que se ensambla entre los módulos del antebrazo, pero se ensambla en su parte inferior.

Tabla 23 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_107\_PISO\_ANTEBRAZO".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_107_PISO_ANTEBRAZO					
NO. PIEZA	41					
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA					
	Esta pieza es la que se desliza sobre las carcasas del lado derecho e izquierdo; la cual funciona como el suelo del módulo del antebrazo.					
DIMENSIONES (MM)	Largo_1	211	Largo_2	52		
	Ancho_1	80.12	Ancho_2	84.12		
	Alto_1	3.9	Alto_2	7		
	Largo Hueco	10.01	Ancho Hueco	5	Alto Hueco	3.9
	Zona de ensamble			Antebrazo		

En la Tabla 24, se puede observar la ficha técnica del enlace, que apoya a las carcasas tanto derecha como izquierda, a adosarse a la parte del antebrazo del exoesqueleto.

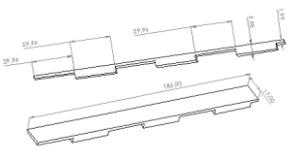
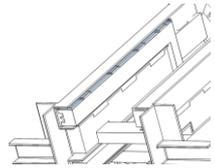
Tabla 24 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_107\_ENLACE".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_107_ENLACE			
NO. PIEZA	42			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Esta pieza permite a la carcasa que protege al arnés adosarse al módulo del antebrazo. Esta pieza va pegada en el interior de las barras que conforman el módulo del antebrazo</p>			
Dimensiones (mm)	Largo	211	Segmento 1	25
	Ancho	20	Segmento 2	45
	Alto	3	Segmento 3	40
	Espacio	15	Segmento 4	30
	Zona de ensamble		Antebrazo	

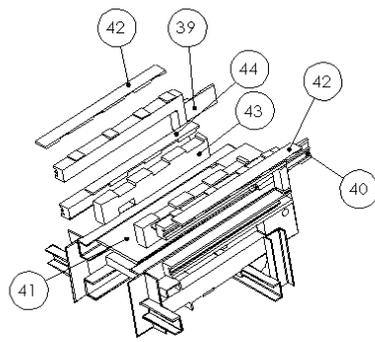
En la Tabla 25, se puede observar la ficha técnica del segundo enlace, que sirve como tapa entre las dos barras que representan la estructura del antebrazo del exoesqueleto.



Tabla 26 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_107\_ENLACE\_1".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_107_ENLACE_1			
NO. PIEZA	44			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Esta pieza permite a la tapa del hueco del antebrazo adosarse a la pieza que conforma el antebrazo. Esta pieza va pegada entre las barras que conforman el módulo del antebrazo en la parte superior.</p>			
DIMENSIONES (MM)	Largo	186	Segmento 1	29.96
	Ancho	17	Espacios	29.96
	Alto	5.98	Alto del hueco	4
	Zona de ensamble		Antebrazo	

En la Figura 88, se pueden observar todas las piezas que conforman a las carcasas del antebrazo, en dos imágenes explosionadas; además en la esquina izquierda, se puede observar una tabla en donde se enlistan estas piezas y una descripción de su función.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
38	MODULO_1_ermis_v2	Módulo desarrollado con base en la forma actual del antebrazo.	2
39	MODULO_EXOSEP_107_DER	Módulo que protege a los cables del lado derecho, dividido en dos secciones para el cable de potencia y los sensores.	1
40	MODULO_EXOSEP_107_IZQ	Módulo que protege a los cables del lado izquierdo, dividido en dos secciones para el cable de potencia y los sensores.	1
41	MODULO_EXOSEP_107_PISO_ANTEBRAZO	Piso del módulo del antebrazo que se adosa a los módulos del lado derecho e izquierdo.	1
42	MODULO_EXOSEP_107_ENLACE	Enlace que adosa al módulo del antebrazo con los módulos derecho e izquierdo.	2
43	MODULO_EXOSEP_107_ENLACE_2	Enlace que cubre los huecos de la estructura del antebrazo.	2
44	MODULO_EXOSEP_107_ENLACE_1	Enlace que adosa a los enlaces de los huecos a la estructura del antebrazo.	2

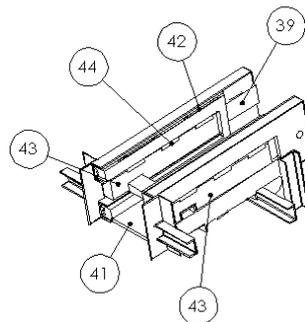
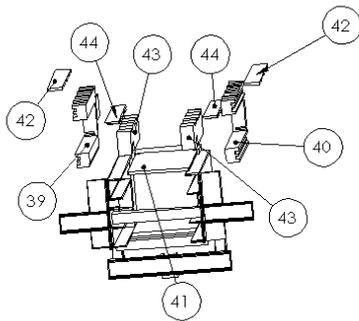
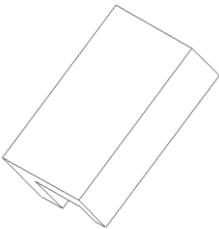
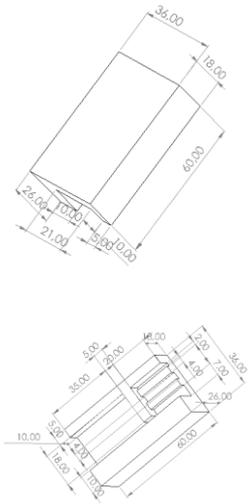
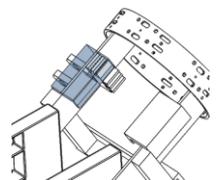


Figura 88. Muestra las piezas que conforman al módulo del antebrazo.

Las siguientes piezas conforman el módulo del antebrazo-codo, las cuales abarcan de la tabla 27 a la 33. En la Tabla 27 se puede apreciar, el primer enlace para el lado derecho y en la Tabla 29 para el lado izquierdo; en estas tablas describen el enlace que adosan a la guía del mazo de los cables a la estructura del anillo.

Tabla 27 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_206\_ENLACE\_ANTEBRAZO" para el lado derecho.

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_206_ENLACE_ANTEBRAZO			
NO. PIEZA	49			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Este medio de sujeción es el que protege a los cables, que atraviesan la sección del codo, está parte permite el deslizamiento del cable para emular el movimiento del codo; además cuenta con una división para separar los cables de potencia y de señal.</p>			
DIMENSIONES (MM)	Largo	60	Segmento corto L	25
	Ancho	36	Segmento corto An	21
	Alto	26	Segmento corto Al	18
	Espacio 1	2	Espacio 2	4
	Espacio 3	7	Hendidura	4
	Zona de ensamble		Codo	

En la Tabla 28 y Tabla 30, se puede observar la estructura guía que se ensambla en la estructura de enlace para el lado derecho y para el lado izquierdo respectivamente.

Tabla 28 Ficha técnica de la parte que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_206\_ESTRUCTURA\_CABLEDO".

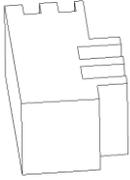
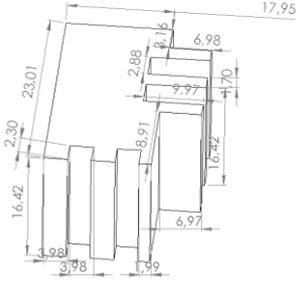
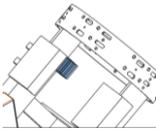
NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_206_ESTRUCTURA_CABLEADO					
NO. PIEZA	50					
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA					
	Es el medio que se encuentra pegado a la estructura del lado derecho, el cual tiene como función guiar y sujetar los cables que emulan el movimiento de la articulación del codo.					
DIMENSIONES (MM)	Largo		23.01	Hendidura 1 Largo		2.30
	Ancho		17.95	Hendidura 1 Ancho		3.98
	Alto		16.42	Hendidura Alto		16.42
	Hendidura Largo	9.97	Hendidura Ancho	1.70	Hendidura Alto	16.42
	Zona de ensamble			Codo		

Tabla 29 Ficha técnica de la parte que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_206\_ENLACE\_ANTEBRAZO\_izq".

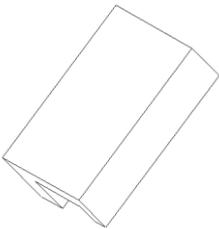
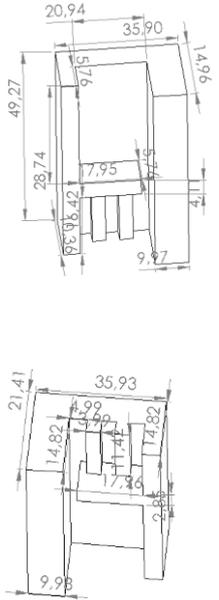
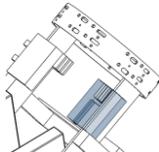
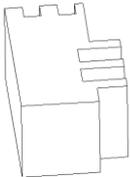
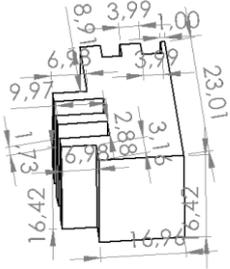
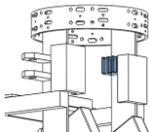
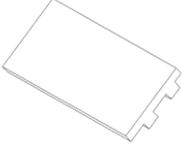
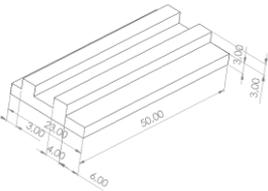
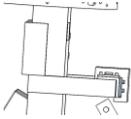
<p><b>NOMBRE DE LA PIEZA</b></p>	<p>MODELO_EXOSEP_206_ENLACE_ANTEBRAZO_izq</p>			
<p><b>NO. PIEZA</b></p>	<p>51</p>			
<p><b>IMAGEN</b></p>	<p><b>DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA</b></p>			
	<p>Este medio de sujeción es la que protege a los cables que atraviesan la sección del codo, está parte permite el deslizamiento del cable para emular el movimiento del codo; además, cuenta con una división para separar los cables de potencia y de señal.</p>			
<p><b>DIMENSIONES (MM)</b></p>	<p>Largo</p>	<p>49.27</p>	<p>Segmento corto L</p>	<p>11.42</p>
	<p>Ancho</p>	<p>35.90</p>	<p>Segmento corto An</p>	<p>20.90</p>
	<p>Alto</p>	<p>21.41</p>	<p>Segmento corto Al</p>	<p>3.27</p>
	<p>Espacio 1</p>	<p>4.99</p>	<p>Espacio 2</p>	<p>3.99</p>
	<p>Espacio 3</p>	<p>3.99</p>	<p>Hendidura</p>	<p>3.99</p>
	<p>Zona de ensamble</p>		<p>Codo</p>	

Tabla 30 Ficha técnica de la parte que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_206\_ESTRUCTURA\_CABLEADO\_IZQ".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_206_ESTRUCTURA_CABLEADO_IZQ					
NO. PIEZA	52					
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA					
	Es el medio que se encuentra pegado a la estructura del lado izquierdo, el cual tiene como función guiar y sujetar los cables que emulan el movimiento de la articulación del codo.					
DIMENSIONES (MM)	Largo		23.01	Hendidura 1 Largo		6.98
	Ancho		16.96	Hendidura 1 Ancho		1.73
	Alto		16.42	Hendidura 1 Alto		16.42
	Hendidura 2 Largo	2.27	Hendidura 2 Ancho	3.99	Hendidura 2 Alto	16.42
	Hendidura 3 Largo	2.27	Hendidura 3 Ancho	1	Hendidura 3 Alto	16.42
	Zona de ensamble			Codo		

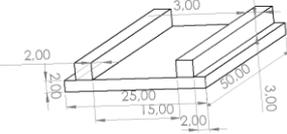
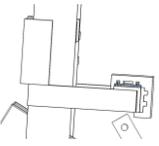
Para la sección que va sobre la estructura que forma parte del codo, se acoplo una pieza de sujeción, que permite el paso de los cables aportándoles una guía y sin ser tan restrictivo, dejando que se deslicen los cables en su interior. El enlace que ayuda a adosar la pieza de sujeción a la estructura de forma lateral, se puede describe en la Tabla 31.

Tabla 31 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_206\_ENLACE\_CODO\_1".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_206_ENLACE_CODO_1					
NO. PIEZA	53					
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA					
	Es el medio que se encuentra pegado a la estructura de forma lateral a la estructura del codo, el cual tiene como función sostener a la estructura de sujeción					
DIMENSIONES (MM)	Largo		50	Espacio1		6
	Ancho		23	Espacio 2		6
	Alto		3	Espacio 3		3
	Saliente Largo	50	Saliente Ancho	23	Saliente Alto	3
	Zona de ensamble			Codo		

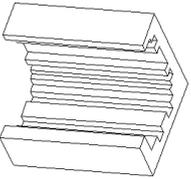
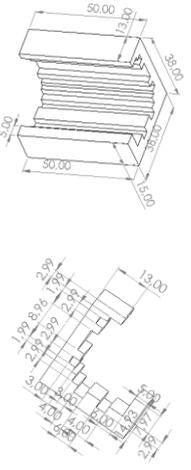
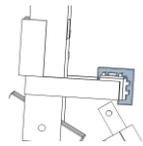
El segundo enlace que adosa la pieza de sujeción se describe en la Tabla 32, la cual está pegada en la parte superior de la estructura del codo.

Tabla 32 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_207\_ENLACE\_SUPERIOR".

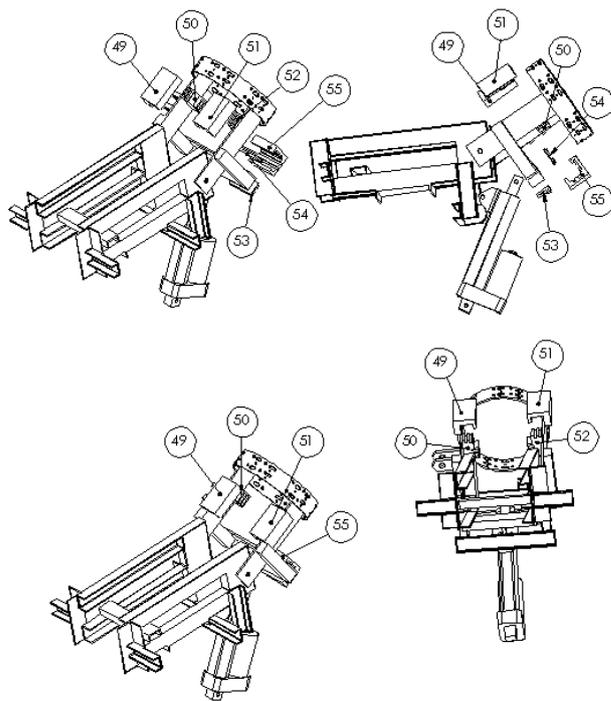
<p>NOMBRE DE LA PIEZA</p>	<p>MODELO_EXOSEP_207_ENLACE_SUPERIOR</p>					
<p>NO. PIEZA</p>	<p>54</p>					
<p>IMAGEN</p>	<p>DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA</p>					
	<p>Es el medio que se encuentra pegado a la estructura de forma superior a la estructura del codo, el cual tiene como función sostener a la estructura de sujeción.</p>					
<p>DIMENSIONES (MM)</p>	<p>Largo</p>		<p>50</p>	<p>Espacio1</p>		<p>2</p>
	<p>Ancho</p>		<p>25</p>	<p>Espacio 2</p>		<p>15</p>
	<p>Alto</p>		<p>2</p>	<p>Espacio 3</p>		<p>2</p>
	<p>Saliente Largo</p>	<p>50</p>	<p>Saliente Ancho</p>	<p>3</p>	<p>Saliente Alto</p>	<p>3</p>
	<p>Zona de ensamble</p>			<p>Codo</p>		

Por último, la pieza de sujeción se describe en la Tabla 33, esta pieza tiene sus dos espacios en donde se ensambla con los enlaces; además de los espacios por donde pasan los cables divididos en cables de potencia y de señal.

Tabla 33 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_206\_ENLACE\_CODO\_v1".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_206_ENLACE_CODO_v1				
NO. PIEZA	55				
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA				
	Es el medio de sujeción que sujeta y guía a los cables del motor 4 que emulan el movimiento del codo.				
DIMENSIONES (MM)	Largo	50	Extracción lateral (Largo)	50	
	Ancho		38	Extracción lateral (Ancho)	3
	Alto		38	Extracción lateral (Alto)	13
	Extracción inferior (Largo)	50	Extracción inferior (Ancho)	15	Extracción inferior (Alto)
	Zona de ensamble			Codo	

En la Figura 89, se observa únicamente el ensamble de las piezas que conforman los medios de guiamiento del cable entre la sección del codo-brazo que fueron descritas anteriormente. Además, en la parte superior izquierda se observa una tabla que coloca el número de piezas y una breve descripción de cada una de las piezas que conforma este módulo.

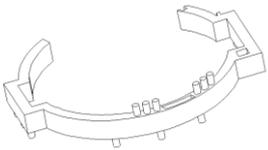
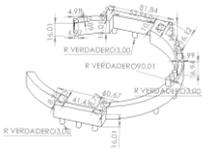
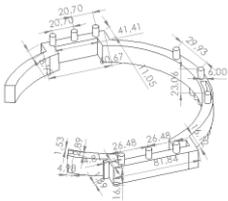
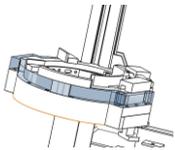


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
49	MODULO_EXOSEP_206_ENLACE_ANTEBRAZO	La carcasa se ensambla en la pieza guía de los mazos de cables del lado derecho.	1
50	MODULO_EXOSEP_206_ESTRUCTURA_CABLEADO	Pieza que guía al mazo de cables que emula el movimiento del codo, la cual va pegada a la estructura del anillo del lado derecho.	1
51	MODULO_EXOSEP_206_ENLACE_ANTEBRAZO_I	La carcasa se ensambla en la pieza guía del lado izquierdo.	1
52	MODULO_EXOSEP_206_ESTRUCTURA_CABLEADO_I	Pieza que guía al mazo de cables que emula el movimiento del codo, la cual va pegada a la estructura del anillo del lado izquierdo.	1
53	MODULO_EXOSEP_206_ENLACE_CODO_I	Pieza que apoya al ensamble de la pieza de sujeción de forma lateral.	1
54	MODULO_EXOSEP_207_ENLACE_SUPERIOR	Pieza que apoya al ensamble de la pieza de sujeción de forma superior.	1
55	MODULO_EXOSEP_206_ENLACE_CODO_v1	Pieza de sujeción que sujeta el cableado del amés del motor 4.	1

Figura 89. Muestra el ensamble explosivo de las piezas que corresponden a los medios de guiamiento del cable en la sección entre el codo y el brazo.

El tercer módulo es el del anillo, que representa el módulo del brazo, el cual está conformado por dos anillo: un anillo exterior (Tabla 34, Tabla 35 y Tabla 36) y un anillo interior (Tabla 40, Tabla 41 y Tabla 42), porque el arnés de cable pasa por este anillo tanto en su superficie exterior como en el interior. En la Tabla 34, se puede observar la primera pieza del anillo exterior, que rodea a la parte superior del anillo.

Tabla 34 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_ANILLO\_pz1".

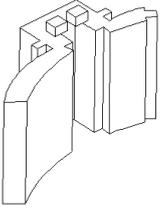
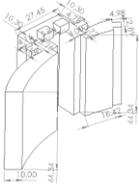
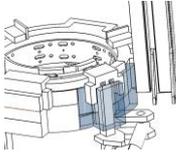
NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_ANILLO_pz1			
NO. PIEZA	44			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Es la primera pieza que conforma al anillo exterior, esta pieza comprende una entrada para el mazo de cables que pasa por un costado del anillo, además de una sección donde se ensambla la T. En su parte posterior, tiene los medios para ensamblarse con la segunda pieza que conforma el anillo exterior.</p>			
DIMENSIONES (MM)	Radio del anillo exterior	90.01	Distancia entre los segundos medios	20.7
	Radio de cada medio de ensamble	3	Dimensiones de la entrada de T	5.99 X 16.94
	Distancia entre los primeros medios	26.48	Dimensiones de la entrada del cableado	6.31 X 9.6
	Zona de ensamble	Anillo en el brazo		

En la Tabla 35 se describe la segunda pieza que conforma el anillo externo, esta pieza es la que se adosa a la parte inferior del anillo y a la primera parte del anillo exterior.



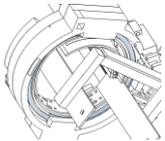
En la Tabla 36, se describe a la última parte del anillo exterior, la cual conecta tanto la primera parte como la segunda pero del lado derecho; esta pieza es independiente porque rodea a un soporte del motor 3.

Tabla 36 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_ANILLO\_pz1.5".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_ANILLO_pz1.5			
NO. PIEZA	46			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Es la pieza que se ensambla de forma lateral a las piezas que conforman al anillo exterior; esta pieza comprende dos extracciones que se encuentran laterales al centro que rodea y dos extracciones superiores, estas cuatro extracciones ayudan al ensamble de la carcasa superior que protege al mazo de cables.</p>			
DIMENSIONES (MM)	Ancho	10	Ancho de la pieza central	16.74
	Alto	44.34	Largo de la pieza central	27.45
	Dimensiones de las extracciones superiores	4.78 X 5.8	Dimensiones de las extracciones laterales	3.18 X 4.16 X 16.01
	Dimensiones de la estructura lateral	16.42 X 44.34 X 7.2	Dimensiones de la entrada que une a las piezas del anillo	4.98 X 2.89 X 44.34
	Zona de ensamble		Anillo en el brazo	

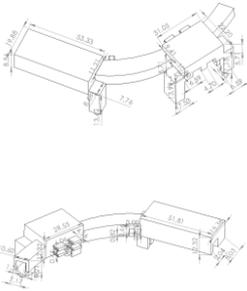
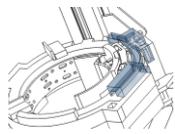
En la Tabla 37, se describe a la tapa que se coloca en la parte posterior de la segunda pieza del anillo exterior.

Tabla 37 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_ANILLO\_3".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_ANILLO_3			
NO. PIEZA	47			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	Es la pieza que se ensambla en la parte posterior de la segunda pieza del anillo; funciona como una tapa del anillo exterior.			
DIMENSIONES (MM)	Radio interno	79.11	Ancho de la extracción	6
	Radio exterior	85.12	Largo de la extracción	12
	Alto de extracción	7		
	Zona de ensamble		Anillo en el brazo	

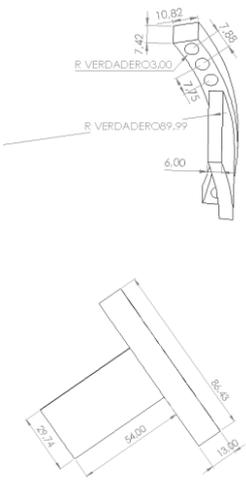
En la Tabla 38, se describe a la carcasa que cubre a los mazos que atraviesan la superficie del anillo; esta estructura se encuentra entre el anillo externo y el interno:

Tabla 38 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_ANILLO\_2".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_ANILLO_2			
NO. PIEZA	48			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	Es la carcasa que cubre los mazos de cable, que pasan por encima del anillo, además de enlazar las carcasas que conforman al anillo tanto interno como externo.			
DIMENSIONES (MM)	Ancho de la primera sección	19.88	Ancho de la segunda sección	22.20
	Alto de la primera sección	8.56	Alto de la segunda sección	12.32
	Largo de la primera sección	53.33	Largo de la segunda sección	31.05
	Dimensiones de la primera estructura del ensamble	6.06 X 4.56 X 1.04	Dimensiones de la segunda estructura del ensamble	3 X 3.46 X 2.46
	Zona de ensamble		Anillo en el brazo	

En la Tabla 39, se describe la pieza en forma de T, esta tiene como función la unión entre las dos partes que conforman al anillo exterior.

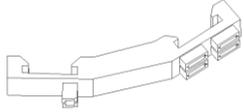
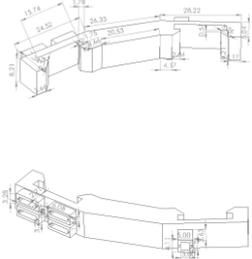
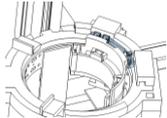
Tabla 39 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_ANILLO\_pz4.

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_ANILLO_pz4			
NO. PIEZA	49			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	Esta pieza es la que apoya al ensamblaje de las tres partes del anillo.			
DIMENSIONES (MM)	Ancho de la primera sección	6	Ancho de la segunda sección	10.82
	Alto de la primera sección	54	Alto de la segunda sección	13
	Largo de la primera sección	29.74	Largo de la segunda sección	86.43
	Radio de los agujeros	3	Profundidad de los agujeros	10
	Zona de ensamble		Anillo en el brazo	

En la Tabla 40, se describe la primera pieza del anillo interno, esta pieza es la que va a entrar en contacto directo con el anillo con su parte posterior, pero servirá como guía de cables mediante la parte anterior.

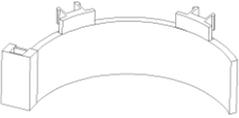
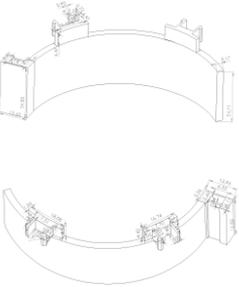
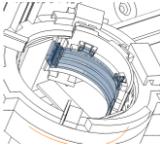


Tabla 41 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_SNAPFIT".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_SNAPFIT			
NO. PIEZA	51			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	Esta pieza sirve como conector entre las carcasas que cubren al arnés que pasa por la parte superior del anillo, y la primera pieza del anillo interior.			
DIMENSIONES (MM)	Base del primer snap fit	15.74	Base del segundo snap fit	18.23
	Altura del primer snap fit	1.78	Altura del segundo snap fit	1.76
	Altura del pico del primer snap fit	0.57	Altura del pico del segundo snap fit	0.57
	Longitud de la rampa del snap fit	2.54	Longitud de la rampa del snap fit	3.26
	Dimensiones de la primera entrada	3.28x6.08 x2.71	Dimensiones de la segunda entrada	4.11x6x 3.63
	Zona de ensamble		Anillo en el brazo	

En la Tabla 42, se puede observar la segunda pieza del anillo interno, la cual funciona como tapa de la primera pieza del anillo interno.

Tabla 42 Ficha técnica de la pieza que lleva por nombre "MODELO\_EXOSEP\_306\_ANILLO\_PZ6".

NOMBRE DE LA PIEZA	MODELO_EXOSEP_306_ANILLO_PZ6			
NO. PIEZA	52			
IMAGEN	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA			
	<p>Esta pieza es la carcasa que cubre al cableado del arnés que pasa por el interior del anillo, su función es evitar que el paciente entre en contacto con el cableado. Se adosa a la pieza que guíara los cables del interior del anillo.</p>			
DIMENSIONES (MM)	Ancho de la carcasa	3.17	Ancho del segmento derecho	4.93
	Altura de la carcasa	24.71	Altura del segmento derecho	24.85
	Longitud de la carcasa	145	Altura del segmento derecho	13.63
	Longitud de la rampa del primer snap fit	1.40	Dimensiones de la primera parte del primer snap fit	1.68x4.4 2x16.74
	Dimensiones de la segunda parte del primer snap fit	0.96x4.48 x5.23	Dimensiones de la primera parte del segundo snap fit	1.85x4.5 1x18.08
	Dimensiones de la segunda parte del segundo snap fit	0.94x5.33 x7.51		
	Zona de ensamble		Anillo en el brazo	

En la Figura 90, se observa el explosivo del diseño de anillo interno y externo, en este se puede observar una vista frontal y lateral, además de que en el lado izquierdo superior se encuentra una tabla en donde se describen cada una de las piezas de forma breve.

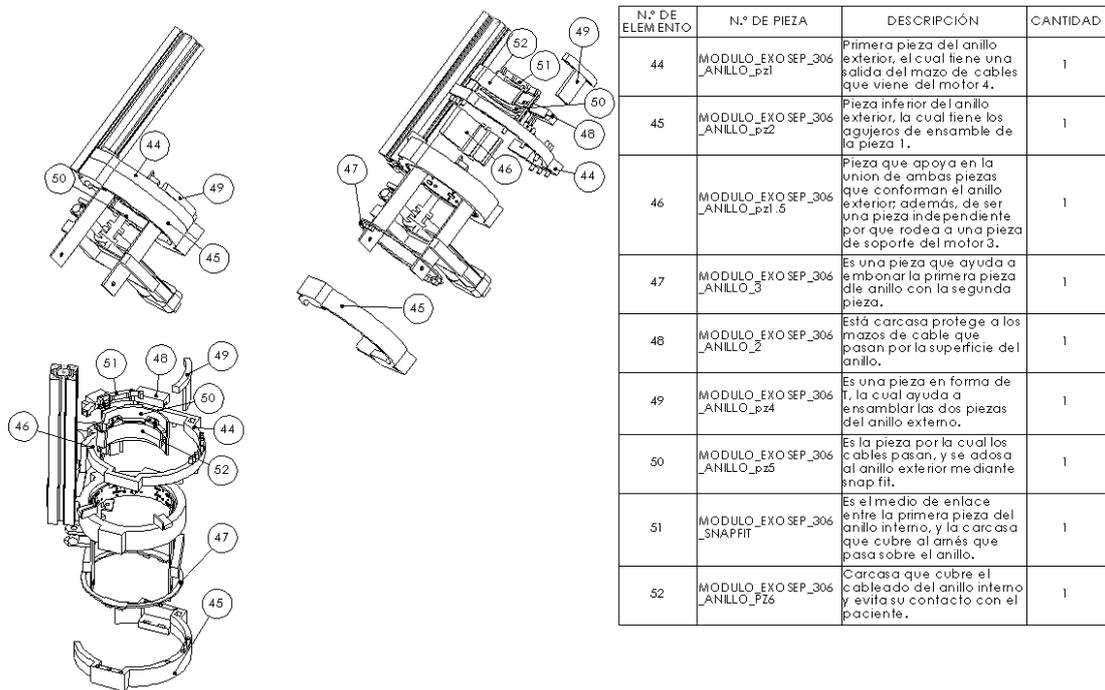


Figura 90. Muestra el ensamble del anillo interior con el anillo exterior, que rodean a la estructura de anillo del exoesqueleto.

En la Figura 91, se puede observar todos los módulos ensamblados en una sola figura, en donde se puede apreciar de azul turquesa las piezas que conforman al módulo del antebrazo, de color azul cielo se encuentran las piezas que corresponden al módulo entre codo y brazo; y por último, de color azul rey, se encuentran las piezas que conforman al anillo externo e interno formando el tercer módulo. En esta figura, se observa de forma concisa las carcasas finales que junto al arnés de cable conforman a EXOSEP.

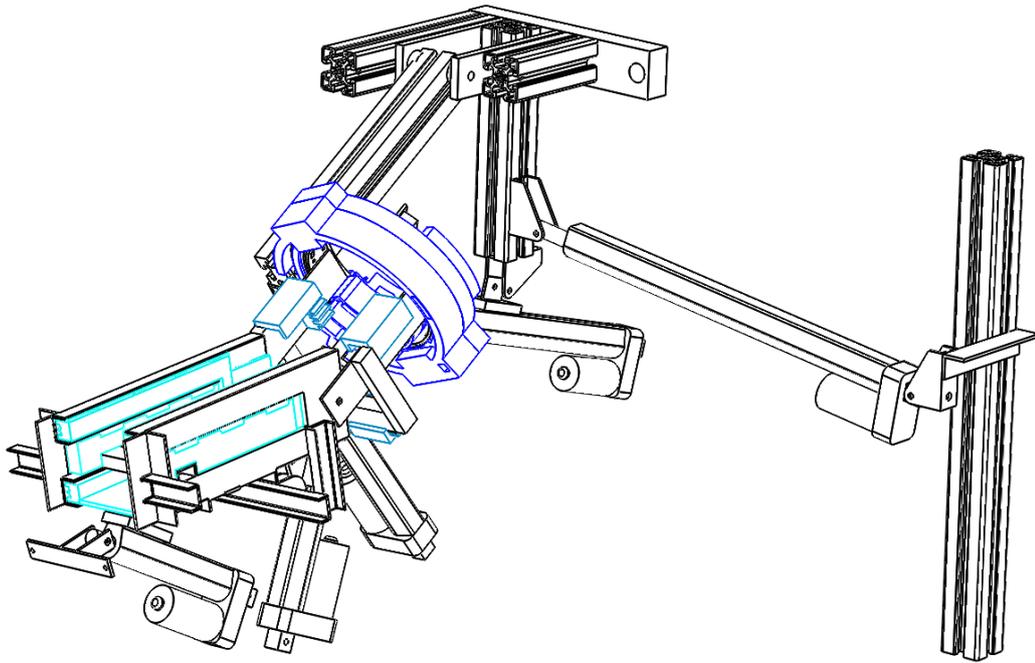


Figura 91. Muestra las carcasas para la protección de arnés que formarán parte de EXOSEP.

#### 8.4 Conclusiones

Los objetivos planteados al inicio del proyecto se concluyeron de forma satisfactoria, ya que se logró diseñar a EXOSEP y aplicarlo en el exoesqueleto ERMIS; mejorando su nivel de madurez tecnológica pasando de un TRL 4 a un TRL 5, ya que al acoplar el arnés al exoesqueleto ERMIS y con los medios de protección que cuenta actualmente, puede ser utilizado en entornos fuera del laboratorio. Debido a que cuenta con el cableado correcto y al no generar fricción, aun cuando en una sección presentara contacto con el paciente no hay riesgo de descarga eléctrica. Al momento de implementar las carcasas, se llevó el nivel de madurez tecnológica del exoesqueleto ERMIS del TRL 5 a un TRL 6, porque está listo de aplicarse a un entorno hospitalario, debido a que el paciente no entra en contacto en ningún momento con el arnés de cable, y por lo tanto, no genera ninguna condición peligrosa.

Gracias al desarrollo completo del arnés de cable, se garantizó que no hubiera pérdida de conexión entre los dispositivos eléctricos y electromecánicos que conforman al exoesqueleto ERMIS, además de la reducción del tamaño del arnés en un 6.46%; dando como resultado un arnés de 9.60 metros para los

cables de señal y 6.26 metros para los cables de potencia de los motores. Los cuales llevan un voltaje de 5 Volts para los cables de señal, 18 Volts para los cables de potencia de los motores 1 y 2, 9 Volts para los cables de potencia de los motores 3 y 4, y 5 Volts para los cables de potencia de los motores 5 y 6; además se aseguró la protección del paciente; al no tener corriente de fuga y la protección que lo recubre evita el calentamiento del mismo, pero de existir no afectaría al usuario, ya que su protección soporta hasta 80° C, y al no utilizar una gran demanda energética de los motores, no es posible rebasar esta temperatura.

Respecto a las carcasas, se logró que tuvieran unas dimensiones similares a las partes que conforman el exoesqueleto, lo que permitió no solo cubrir en su totalidad al arnés de cable, sino que también ayudo a no aumentar de forma significativa la robustez del exoesqueleto; ya que solo se agregó 2.4 cm del grosor del anillo, que es la única parte externa de las carcasas.

Además, con la investigación que realicé sobre los sistemas de energía, me pude dar cuenta que puedo empezar el desarrollo de un Brief, que contendrá el análisis cuantitativo y patentométrico de estos sistemas, además de incluir la propuesta de forma general de EXOSEP para distintos tipos de exoesqueletos.

Como proyección a un futuro se pretende que EXOSEP, pueda ser usado en otros exoesqueletos que tengan o no una estructura similar a ERMIS, ya que EXOSEP es un complemento de los exoesqueletos y no una parte de ellos.

Finalmente, puedo decir que lo realizado y plasmado en este reporte, ejemplifica el trabajo que lleve a cabo durante mi estancia de investigación, dejándome en lo personal una gran satisfacción por los conocimientos adquiridos y el avance logrado.

## IX REFERENCIAS

- [1] sde.mx [Internet]. México: Jalisco; "Power supply system" 2008 [actualizado 16 Jul 2018, 04 enero 2019]. Disponible en: <http://www.sde.mx/que-es-el-sistema-de-suministro-electrico/>.
- [2] Tabiszt W A, Jovanovic M M, Lee F C. Present and future of distributed power system. IEEE [Internet]. 1992 [Recuperado 11 agosto, 2018]; 0-7803-0485-3/92: 11-18. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/228437/metrics#metrics>.
- [3] Tsuji Y. "Responsibility to Supply Components that Support Car Electronics". Yazaki's Environment Technology. 2009 [Recuperado 11 septiembre, 2018]; 01, 7-10. Disponible en: [https://www.yazaki-group.com/global/pdf/ser2009\\_07-10.pdf](https://www.yazaki-group.com/global/pdf/ser2009_07-10.pdf).
- [4] Kumar R, Baghe O, Kumar S, Prakash S. Energy Supply System in Robotics Machines. IJRST. 2014; 1, 219-221.
- [5] Kakkeri R B, Laukik I, Shubham B, Akshay G. Distributed Cable Harness Tester. IRJET. 2017; 04, Page 2278-2281.
- [6] flight-mechanic.com [Internet]. US; "Wiring routing and Installation-Powerplant Electrical Systems in Engine ignition and electrical systems". 2017 [Recuperado 11 febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.flight-mechanic.com/wiring-routing-and-installation-powerplant-electrical-systems/>.
- [7] aircraftsystemstech.com [Internet]. [Entidad editora]; "Wire installation and routing and lacing and tying wire bundles- Aircraft Electrical System". 2017 [Febrero, 2020. Recuperado 11 enero, 2019]. Disponible en: <https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/wiring-installation.html>.
- [8] Traskos M. Rules for routing Aircraft Wiring. ASSEMBLY. 2016 [Febrero, 2020. Recuperado 11 abril, 2019]. Disponible en: <https://www.assemblymag.com/articles/93379-rules-for-routing-aircraft-wiring>.
- [9] Portwood B, Sadeghi M. "Aircraft Electrical Wiring Interconnect System (EWIS) best practices" [Diapositivas de Power Point]. Federal Aviation Administration. 2010 [Recuperado 11 febrero, 2019]. Disponible en: [https://www.faa.gov/training\\_testing/training/air\\_training\\_program/job\\_aids/media/EWIS\\_job-aid\\_2.0\\_Printable.pdf](https://www.faa.gov/training_testing/training/air_training_program/job_aids/media/EWIS_job-aid_2.0_Printable.pdf).
- [10] abb.com [Internet]. "Installation and Service manual SpotPack and DressPack". ABB Automation Technologies AB Robotics. 2004 [2015. Recuperado 15 agosto, 2018]. Disponible en: [https://library.e.abb.com/public/099ec6b4f7774c02b7053250941cc827/3HAC17667-1\\_RevA\\_en\\_library.pdf](https://library.e.abb.com/public/099ec6b4f7774c02b7053250941cc827/3HAC17667-1_RevA_en_library.pdf).
- [11] leoni.com [Internet]. "Engineering Products Services for Robotics". LEONI Industrial Solutions. C1980 [2020. Recuperado 15 agosto, 2018]. Disponible en: [http://www.enerflex.com.ar/download/leoni/Catalogo\\_robotica.pdf](http://www.enerflex.com.ar/download/leoni/Catalogo_robotica.pdf).
- [12] Huang H C, CHUNG K C, y Lai D C S. "The impact of timing and close of rehabilitation delivery on functional recovery of stroke patients". J. Chin. Med. Assoc. 72 (5), vol. 75, nº 5, 2009, paginas 257-264.
- [13] Mensah J. M. a G, "Atlas of Heart Disease and Stroke", Nonserial Publication, World Health Organization, Brighton, UK, 2004.
- [14] World Health Organization, International Labour Office y UNESCO, CBR: estrategia para la rehabilitación, la igualdad de oportunidades, la reducción de la pobreza y la integración social de las personas con discapacidad: documento

conjunto de posición/ Organización Internacional del Trabajo, Organización de las Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2005.

[15] Rodríguez-Prunotto, L., Cano-de la Cuerda, R., Cuesta-Gómez, A., Alguacil-Diego, I. M. y Molina-Rueda, F. Terapia robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica. Rehabilitación Elsevier, 2014 Page: 1-25

[16] Cruz G M, Vilchis A H, Zúñiga L A, Ávila J C, Hernández A I. "Diseño de Exoesqueleto con base en Cuatro Casos de Estudio de Rehabilitación de Miembro Superior". SOMIB. 2018, 34, Page 81-94.

[17] Gopura R A R C, Kiguchi K, "Mechanical Designs of Active Upper-Limb Exoskeleton Robots State-of-the-Art and Design Difficults". IEEE 11<sup>th</sup> Interantional Conference on Rehabilitation Robotics Kyoto International Conference Center. 2009, paginas 178-187.

[18] Chávez-Cardona M A, Rodríguez-Spitia F, Baradica-López A, "Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación". Revista Ingeniería Biomédica, 2010, Volumen 4, paginas 63-73.

[19] Sabater, J. M., Azorín, J. M., Pérez, C., García, N., y Menchón, M. "Ayuda robótica para la rehabilitación de miembros superiores. 2do Congreso Internacional sobre Domótica, Robótica y Teleasistencia para Todos". DRT4all 2007. Page: 19-28

[20] COFERPIS [Internet]. "Regulación Sanitaria de Dispositivos Médicos" [diapositivas de PowerPoint].2013 [Recuperado 18 agosto, 2018]. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2013/PANDRH-MD-COFEPRIS-Spa.pdf>.

[21] bsigroup.com [Internet]. "EN 60601 Equipos y Sistemas Eléctricos Médicos obtenga acceso al Mercado en Europea con EN 60601 y Mercado CE". BSI. c1920 [2019. Recuperado 3 abril, 2019]. Disponible <https://www.bsigroup.com/es-ES/Productos-Sanitarios/Servicios-para-Productos-Sanitarios/EN-60601-Equipos-y-sistemas-electricos-medicos/>.

[22] globalstd.com. [Internet]. "NOM-241-SSA1-2012 Buenas prácticas de fabricación de dispositivos médicos.". GlobalSTD CERTIFICATION. c2000 [2018. Recuperado 4 abril, 2019]. Disponible: <https://www.globalstd.com/networks/blog/nom-241-ssa1-2012-buenas-practicas-de-fabricacion-para-establecimientos-dedicados-a-la-fabricacion-de-dispositivos-medicos>.

[23] Adams D. "Changes to EN 60601-1 and how to maintain MDD compliance". Regulatory Rapporteur. 2012, 9, Páginas 21-23.

[24] Resca P. "Evolving Standards Reshape Medical Power Supplies". Power Electronics Technology. 2017, 1, Páginas 14-18.

[25] kuka.com [Internet]. "KUKA energy supply systems. The best connections for successful robotics". Kuka robotics. 2010 [Recuperado 10 febrero, 2019]. Disponible: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka\\_ernergiezufuehrung\\_en\\_screen.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_ernergiezufuehrung_en_screen.pdf).

[26] Sauser B, Verma D, Ramirez J, Gove R. "From TRL to SRL: The Concept of Systems Readiness Levels". Conference on Systems Engineering Research. 2006, 126, Páginas 1-10.

[27] Straub J. "In search of technology readiness level (TRL) 10". Elsevier Masson SAS. 2015, 46, Páginas 312-320.

- [28] Zúñiga L, Vilchis A, Ávila J. "Robot movilizador de miembros superiores". México, Toluca. MX/E/2017/090618. 2017.
- [29] Cruz G M. "Generación de trayectorias de un exoesqueleto para rehabilitación de miembros superiores" [dissertation]. Edo. México: Universidad Autónoma del Estado de México; 2018. 116 p.
- [30] Scheidhammer G, Druhm O. "Solutions for Distributed Supply of Electrical Wiring Harness System". ATZ. 2016, 118, Páginas 48-51.
- [31] cenetec.salud.gob.mx [Internet]. "Serie de tecnologías en salud: Telemedicina". Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. 2011, Volumen 3, 2ª edición [Recuperado el 10 febrero, 2019]. Disponible: <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/telemedicina/publicaciones/Volumen32daEdicion.pdf>.
- [32] Créput J C, Hajjam A, Koukam A, Kuhn O. "Dynamic Vehicle Routing Problem for Medical Emergency Management". Self-Organizing Maps-Applications and Novel Algorithm Design. 1ª Edición. Francia: Josphat Igadwa Mwasiagi, IntechOpen; 2011. 233-250.
- [33] Hamrioui S, Lorenz P, Lloret J, Lalam M. "Energy efficient in medical ad hoc sensors network by exploiting routing protocols". IEEE. 2014, 1, 2417-2422.
- [34] Porter J. "Selecting a Source for Very Complex Cable Harnesses and Assemblies". NAI Reliable Connectivity Solutions. 2018 [Recuperado el 15 marzo, 2019]. Disponible: <https://www.nai-group.com/selecting-source-complex-cable-assemblies-harnesses/>.
- [35] Jim C. "Quality is top priority when assembling wire harnesses for medical devices". ASSEMBLY. 2018 [Recuperado el 15 marzo, 2019]. Disponible: <https://www.assemblymag.com/articles/94113-quality-is-top-priority-when-assembling-wire-harnesses-for-medical-devices>.
- [36] Backman S. "A model for predicting robot dresspack damage". [Master's thesis]. Suecia. Universidad UMEÅ; 2018. 29 p.
- [37] Carlson J S, Kressin J, Hermansson T, Bohlin R, Sundback M, Hansson H. "Robot Station Optimization for Minimizing Dress Pack Problems", ELSERVIER, 2016, 44, 389-394.
- [38] Kressin J. "Path Optimization for Multi-Robot Station Minimizing Dresspack Wear". [Master's thesis]. Suecia. Chalmers University of Technology, Göteborg. 2013. 40 p.
- [39] leoni-industrial-solutions.com [Internet]. "Engineering Products Services for Robotics". LEONI. 2015 [Recuperado 15 marzo, 2019]. Disponible: [www.leoni-industrial-solutions.com](http://www.leoni-industrial-solutions.com).
- [40] murrplastik.de [Internet]. "Soluciones y productos innovadores para cables y rotulación". MURRPLASTIK. 2019 [Recuperado 15 marzo, 2019]. Disponible: <https://www.murrplastik.de/es/inicio/>.
- [41] www.disai.net [Internet]. "Sistemas de cadenas portacables". MURRPLASTIK System Technik DISAI Automatic Systems. 2001 [Recuperado 26 febrero, 2020]. Disponible: [https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos\\_pdf/EFK\\_2001\\_01\\_8905804.pdf](https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos_pdf/EFK_2001_01_8905804.pdf).
- [42] igus.com.mx [Internet]. "Los «motion plastics®» de igus® en plena expansión por el mundo". IGUS. 2019 [Recuperado 15 marzo, 2019]. Disponible: <https://www.igus.com.mx/info/company-about-igus>
- [43] igus.com.mx [Internet]. "Robótica, cables, cadenas portacables y rodamientos". IGUS. 2015 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible:

[https://www.igus.com.mx/contentData/Product\\_Files/Download/pdf/Robo%CC%81tica%20igus%20Me%CC%81xico%202015%20%20.pdf](https://www.igus.com.mx/contentData/Product_Files/Download/pdf/Robo%CC%81tica%20igus%20Me%CC%81xico%202015%20%20.pdf)

[44] leoni.com [Internet]. "Soluciones inteligentes para la gestión de energía y datos". LEONI. 2019 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible: <https://www.leoni.com/en/company/company-profile/>

[45] leoni-factory-automation.com [Internet]. "Dresspacks & Integration-Ready Robots". LEONI. 2018 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible: [https://d3gx8i893xzz0e.cloudfront.net/fileadmin/factory\\_automation/publications/catalogues/dresspack.pdf?1527497186](https://d3gx8i893xzz0e.cloudfront.net/fileadmin/factory_automation/publications/catalogues/dresspack.pdf?1527497186).

[46] kuka.com [Internet]. "Sobre KUKA". KUKA. 2019 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible: <https://www.kuka.com/es-mx/acerca-de-kuka>.

[47] kuka.com [Internet]. "KUKA energy supply systems. The best connections for successful robotics". KUKA. 2010 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka\\_energiezufuehrung\\_en\\_screen.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_energiezufuehrung_en_screen.pdf).

[48] new.abb.com [Internet]. "A cerca de ABB, Let's write the future. Together". ABB. 2019 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible: <https://new.abb.com/mx/acerca-de>.

[49] abb.com [Internet]. "SpotPack Basic Application Equipment". ABB. 2009 [Recuperado 16 marzo, 2019]. Disponible: Recuperado de: [https://library.e.abb.com/public/14fe54880d483246c1257b130057a34d/ROB0068EN\\_B.pdf](https://library.e.abb.com/public/14fe54880d483246c1257b130057a34d/ROB0068EN_B.pdf).

[50] Moreno, F J. "Los tipos de documentos de patente en España, la EPO y el PCT". Información en materia de patentes. 2011 [Recuperado 28 febrero, 2019]. Disponible: [https://patentes.wordpress.com/2011/07/05/los-tipos-de-documentos-de-patente-en-espana-la-epo-y-el-pct/?fbclid=IwAR1NF0IbcrJI9w\\_5Ev\\_-4SPddSSutdwRWui8kFklcm1Kjs7dv1d-0leLvk](https://patentes.wordpress.com/2011/07/05/los-tipos-de-documentos-de-patente-en-espana-la-epo-y-el-pct/?fbclid=IwAR1NF0IbcrJI9w_5Ev_-4SPddSSutdwRWui8kFklcm1Kjs7dv1d-0leLvk).

[51] info.premo.mx [Internet]. "Los 5 pasos el Design Thinking". Blog de finanzas empresariales. 2018. [Recuperado 20 de octubre, 2018]. Disponible: <http://info.premo.mx/design-thinking-pasos/>.

[52] Dahan E, y Hauser J. "Managing a Dispersed Product Development Process". Center for Innovation in Product Development at M.I.T. 2000. Disponible: <http://web.mit.edu/hauser/www/Pages/ha53601.pdf>.

[53] Funk, Hölzl, F, H, 1990 "Cadena de gestión energética", DE000003837764, Alemania

[54] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2017, "Cadena de guía de energía", DE102016000864, Alemania

[55] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2006, "Cadena de guía de energía", DE102005011934, Alemania

[56] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2018, "Cadena de guía de energía", DE102017110940, Alemania

[57] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2007, "Cadena de guía de energía", DE202007006667, Alemania

[58] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2007, "Cadena de soporte para portadores de energía", EP1816373, OEP

[59] Scharf, Funk, S, F, 2005, "Cadena de soporte para portadores de energía", EP1591692, OEP

- [60] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2006, "Cadena de soporte para portadores de energía", EP1703168, OEP
- [61] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2018, "Cadena de guía de energía", DE102017110940, Alemania
- [62] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2006, "Cadena de transporte de energía", EP3199833, OEP
- [63] Blase, Hermey, Kunert, B, H, K, 2000, "Cadena de alimentación de energía", ES2198349, España
- [64] Kunert, Hermey, Blase, K, H, B, 2002, "Cadena de suministro de energía", US6374589, US
- [65] Jaeker, Berger, Erdmann, Barten, J, B, E, B, 2016, "Cadena guía energética y sistema de monitoreo para proteger contra rotores de línea", US20160348757, US
- [66] Hermey, Jaeker, Strack, H, J, S, 2017, "Cadena de conducción de energía", ES-2624214, España
- [67] Blase, Jaeker, B, J, 2016, "Cadena de conducción de energía con elementos de articulación deformables", ES-2578179, España
- [68] Hermey, H, 2017, "Cadena de conducción de energía con rodillos", ES-2627945, España
- [69] Hermey, H, 2017, "Cadena de guía de energía", ES-2635626, España
- [70] Blase, B, 1998, "Cadena de energía", MX-9707545, México
- [71] Anónimo, IGUS, I, 2018, "Alimentador rotativo modular con cadenas de guía de energía", DE202018101827, Alemania
- [72] Schlögel, Schneebeck, S, S, 2019, "Arreglo con dos cadenas de guía energética y punto fijo ajustable", WO2019002481, Oficina Internacional
- [73] Saleh, Florian, Blase, S, F, B, 1998, "Cadena de alimentación de energía con tope de guiado", ES2122678, España
- [74] Hermey, Strack, H, S, 2016, "Cadena de drenaje", WO2016156508, Oficina Internacional
- [75] Anónimo, IGUS, I, 2015, "Cadena de guía de energía y divisor separable para este propósito", DE202015101707, Alemania
- [76] Blase, B, 2002, "Cadena de gestión energética", CN1207163, China
- [77] Anónimo, IGUS, I, 2016, "Cadena de guía de energía", DE202015002097, Alemania
- [78] Anónimo, IGUS, I, 2015, "Cadena de guía de energía", DE202015101773, Alemania
- [79] Jaeker, Barten, Dommnik, J, B, D, 2018, "Cadena de guía de energía", US20170138440, US
- [80] Anónimo, IGUS, I, 2015, "Cadena de guía de energía con soporte para una línea externa y el elemento receptor correspondiente", DE202015101341, Alemania
- [81] Blase, B, 2003, "Cadena de guía de energía con parada de la guía", CA2246451, Canadá
- [82] Anónimo, IGUS, I, 2017, "Cadena de guía de energía con topes de ángulo de pivote integrados en las articulaciones y placas de enlace correspondientes", DE202017105244, Alemania
- [83] Anónimo, IGUS, I, 2015, "Cadena de guía de energía y cruceta para este propósito", DE202015005140, Alemania

- [84] Jaeker, Berger, Erdmann, Barten, J, B, E, B, 2018, "Cadena de guía de energía y sistema de monitoreo para proteger contra saltos de línea", US20160348757, US
- [85] Blase, B, 1997, "Cadena de guía de potencia", WO1997040288, Oficina Internacional
- [86] Hermey, H, 2014, "Cadena guía energética", WO2014161761, Oficina Internacional
- [87] Hermey, Jaeker, Strack, H, J, S, 2015, "Cadena de guía energética", WO2014161763, Oficina Internacional
- [88] Blase, Jaeker, B, J, 2016, "Cadena de guía energética con elementos conjuntos deformables", EP3054192, OEP
- [89] Blase, B, 2003, "Cadena de alimentación", CA2287074, Canadá
- [90] Blase, B, 1987, "Cadena de suministro de energía", DE000003613431, Alemania
- [91] Blase, Fischer, B, F, 1998, "Cadena de suministro de energía", WO1998028556, Oficina Internacional
- [92] Blase, B, 1997, "Cadena de transmisión de energía", RU02095660, Federación Rusa
- [93] Blase, B, 1994, "Cadena portadora de energía", DE000004313083, Alemania
- [94] Anónimo, IGUS, I, 2017, "Eslabón para la cadena de guía de energía y la cadena de guía de energía", DE202016102154, Alemania
- [95] Blase, Theiss, B, T, 2018, "Enlace de cadena y cadena de manipulación que tiene un enlace de cadena", US20180031076, US
- [96] Theiss, T, 2018, "Eslabón de la cadena y cadena circular que tiene un eslabón de la cadena", US20180045276, US
- [97] Anónimo, IGUS, I, 2017, "Parte lateral, eslabón de la cadena y cadena de guía de energía", DE202016002624, Alemania
- [98] Anónimo, IGUS, I, 2017, "Disposición con dos cadenas de guía de energía y un punto fijo ajustable", DE202017103858, Alemania
- [99] Blase, B, 1997, "Cadena de transmisión de energía", DE000019541928, Alemania
- [100] Blase, B, 2001, "Cadena de transmisión de energía", CA2210155, Canadá
- [101] Saleh, Florian, Blase, S, F, B, 1997, "Cadena guía de energía con paradas guías", EP0793784, OEP
- [102] Anónimo, IGUS, I, 1997, "Cadena de guía de energía con tope de guía", AU1997021511, Australia
- [103] Blase, B, 1997, "Cadena de guía de energía con tope de guía", DE000019605775, Alemania
- [104] Anónimo, IGUS, I, 1998, "Cadena de suministro de energía", CA2287074, Alemania
- [105] Blase, B, 1998, "Cadena de alimentación energética", WO1998031950, Oficina Internacional
- [106] Blase, B, 1998, "Cadena de alimentación energética", DE000019701706, Alemania
- [107] Blase, B, 1997, "Cadena de transmisión de energía", ES2101554, España
- [108] Blasé, B, 1996, "Corriente de conducción de energía", BRPI9407209, Brasil
- [109] Blase, B, 1993, "Cadena de transmisión de potencia", WO1993020366, Oficina Internacional

- [110] Anónimo, KUKA, K, 2001, "Guía de la manguera en la base de un robot", DE000020008054, Alemania
- [111] Blase, B, 1999, "Guía a través de las cadenas de gestión de energía", EP0901583, OEP
- [112] Blase, B, 1997, "Guía para las cadenas de gestión energética", W7O1997047899, Oficina Internacional
- [113] Strack, S, 2018, "Guía de línea", CN105900305, China
- [114] Strack, S, 2017, "Guía de línea", US20160348756, US
- [115] Steeger, S, 2016, "Guía de línea hecha de enlaces multiaxialmente ajustables en ángulo", US20160040803, US
- [116] Steeger, S, 2016, "Guía de línea hecha de enlaces ajustables de ángulos múltiples axiales", EP2982015, OEP
- [117] Hermey, Steeger, H, S, 2018, "Sistema de guía para las líneas de suministro y el robot que tiene un sistema de guía", EP3415287, OEP
- [118] Jaeker, Steeger, J, S, 2019, "Sistema de guía para líneas de suministro y robot con sistema de guía", US20170023154, US
- [119] Jaeker, Steeger, J, S, 2018, "Sistema de guía para líneas de suministro y robot con sistema de guía", CN106163747, China
- [120] Jaeker, Steeger, J, S, 2015, "Sistema de guías para las líneas de suministro y el robot que tiene un sistema de guías", WO2015150197, Oficina Internacional
- [121] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2015, "Eslabón para una cadena conductora de energía", ES-2550966, España
- [122] Jostmeier, Kaufmann, Rühle, J, K, R, 2012, "Eslabón de cadena para una cadena conductora de energía", ES-2383147, España
- [123] Jostmeier, Kaufmann, Rühle, J, K, R, 2011, "Enlace de cadena para una cadena de guía energética", EP2321553, OEP
- [124] Ehmann, Funk, Li, E, F, L, 2001 "Enlace de cadena para cadenas de transmisión de energía", CN1297517, China
- [125] Ehman, Funk, E, F, 2001 "Enlace de cadena para las cadenas de transmisión de energía", EP1131571, OEP
- [126] Ehman, Funk, E, F, 2000, "Enlace de cadena para las cadenas de transmisión de energía", WO2000029763, Oficina Internacional
- [127] Konradi, K, 2018, "Enlace de cadena para una cadena de guía de energía", WO2018068915, Oficina Internacional
- [128] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 1999, "Eslabón de la cadena para cadenas de guía de energía", DE000029724062, Alemania
- [129] Jostmeier, Kaufmann, Rühle, J, K, R, 2011, "Enlace de cadena para una cadena de guía energética", EP2321553, OEP
- [130] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2010, "Eslabón de la cadena para una cadena de guía de energía", DE102008046700, Alemania
- [131] Jostmeier, Kaufmann, Rühle, J, K, R, 2012, "Eslabón de cadena para una cadena de conducción de energía", ES2383147, España
- [132] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2012, "Miembro de cadena para una cadena de suministro de energía", DE102011103147, OEP
- [133] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2012, "Eslabón de la cadena para una cadena de guía de energía", EP2527685, Alemania
- [134] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2006, "Eslabón de la cadena para una cadena de soporte para portadores de energía", EP1705401, OEP
- [135] Ehmann, Funk, E, F, 2004, "Eslabón para cadenas de conducción de energía", ES2207238, España

- [136] Ehmann, E, 2006, "Disposición para el guiado de cables o líneas", ES-2246059, España
- [137] Enhmann, E, 2006, "Disposición para el guiado de cables o líneas", ES-2556237, España
- [138] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2019, "Adaptador y dispositivo para conectar una línea" DE102017117087, Alemania
- [139] Jostmeier, Ruehle, Moess, J, R, M, 2009, "Disposición de enrutamiento de línea", US20090277151, US
- [140] Jostmeier, Ruehle, Moess, J, R, M, 2009, "Arreglo de enrutamiento de línea", EP2082465, OEP
- [141] Jostmeier, Ruehle, Moess, J, R, M, 2009, "Arreglo de enrutamiento de línea"; CN101542862, China
- [142] Ehmann, E, 2006, "Disposición para el guiado de cables o líneas", ES2246059, España
- [143] Habel, Sohn, Scharf, Funk, H, S, S, F, 2005, "Dispositivo para cable de corriente de cable", EP1606867, OEP
- [144] Habel, Sohn, Scharf, Funk, H, S, S, F, 2004, "Cable de dispositivo para el plomo", WO2004086583, Oficina Internacional
- [145] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2012, "Dispositivo para desenrollar la cadena de guía de energía, que comprende el alojamiento y un rodillo, que está montado de manera giratoria en el alojamiento alrededor del eje de rotación, donde el alojamiento tiene espacio de recepción" DE102010035352, Alemania
- [146] Ehmann, E, 1999, "Dispositivo de guía de cable o línea" EP0948834, OEP
- [147] Habel, Sohn, Scharf, Funk, H, S, S, F, 2007, "Dispositivo de paso de cable", US20060185875, US
- [148] Habel, Sohn, Scharf, Funk, H, S, S, F, 2000, "Dispositivo para guiar conductos en cables oro", EP1000285, OEP
- [149] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2009, "Dispositivo para guiar un paquete de línea", EP2060369, OEP
- [150] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2009, "Dispositivo para guiar un paquete de cables", DE102007054501, Alemania
- [151] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2013, "Dispositivo para guiar las líneas de suministro", DE102011107680, Alemania
- [152] Burlot, B, 2017, "Dispositivo para guiar al menos una línea o conducto de un robot de brazo articulado, así como robot de brazo articulado", ES2651104, España
- [153] Burlot, B, 2009, "Dispositivo de guiado de un cable y robot industrial dotado de dicho dispositivo", ES2316046, España
- [154] Burlot, B, 2014, "Dispositivo para guiar un tubo flexible", ES2503290, España
- [155] Kühn, K, 2015, "Dispositivo para la alimentación automatizada de elementos de unión a una unidad de procesamiento, así como manga de alimentación para los elementos de unión", ES2528895, España
- [156] Rau, R, 2014, "Dispositivo para proteger las rutas de corriente eléctrica", DE102013005440, Alemania
- [157] Stadler, S, 2016, "Dispositivo y método de enrutamiento de cables para la producción buscar un dispositivo de enrutamiento de cables", EP3035461, OEP
- [158] Burlot, B, 2014, "Dispositivo para guiar por lo menos una línea de robot de brazo conjunto y robot de brazo con junta", WO2014111500, Oficina Internacional

- [159] Joesten, J, 2018, "Aplicación de un dispositivo para un tubo de suministro y / o una línea de suministro para sujetar a un brazo de robot industrial", WO2018177482, Oficina Internacional
- [160] Joesten, J, 2018, "Dispositivo de fijación para una manguera de suministro y / o una línea de suministro para su acoplamiento a un brazo de robot industrial", DE102017107043, Alemania
- [161] Jukic, Sturm, J, S, 2014, "Dispositivo de alimentación", ES-2528287, España
- [162] Brockhoff, Kara, B, K, 2016, "Dispositivo de alimentación y procedimiento", ES-2617570, España
- [163] Fichtl, F, 2012, "Dispositivo de suministro de energía para robots industriales, y robot industrial que tenga dicho dispositivo de suministro de energía", CN101959655, China
- [164] Bonnie, Zuhars, Tabandhe, Parker, Hansen, Hopei, Natravalli, Goldstein, B, Z, T, P, H, H, N, G, 2018, "Cubierta protectora para sistemas de robot", CN107848124, China
- [165] Fichtl, F, 2010, "Dispositivo de suministro de energía para robots industriales y robots industriales que tienen tal dispositivo de suministro de energía", EP2244867, OEP
- [166] Fichtl, F, 2009, "Dispositivo de suministro de energía para robots industriales y robots industriales que tienen tal dispositivo de suministro de energía", WO2009106332, Oficina Internacional
- [167] Karlinger, K, 2004, "Dispositivo para guiar una manguera", DE000010224858, Alemania
- [168] Karlinger, K, 2004, "Dispositivo para guiar una manguera", US20030226940, US
- [169] Karlinger, K, 2004, "Dispositivo para sujetar una manguera", DE000010244027, Alemania
- [170] Anónimo, KUKA, K, 2001, "Dispositivo para la fijación de cables de una manguera guía de cables", DE000020010696, Alemania
- [171] Anónimo, KUKA, K, 2001, "Dispositivo para fijar una manguera de guía de cable", DE000020014649, Alemania
- [172] Anónimo, KUKA, K, 2008, "Dispositivo para guiar una manguera", DE000020221807, Alemania
- [173] Karlinger, K, 2008, "El dispositivo de protección de cable para el suministro de energía de los robots, tiene una manguera protectora de cable con manguitos exteriores flexibles, donde se proporciona un dispositivo de detección para permitir la detección automática de daños en el manguito exterior", DE102006056235, Alemania
- [174] Karlinger, K, 2005, "Dispositivo para extensión guiada y retracción de conductores de energía", DE102004019838, Alemania
- [175] Karlinger, K, 2009, "Dispositivo para guiar elementos flexibles a lo largo de piezas móviles de la máquina", US20050236528, US
- [176] Karlinger, K, 2005, "Guía de elementos flexibles a lo largo de las piezas móviles de la máquina y accesorios de fijación", EP1588807, OEP
- [177] Fichtl, F, 2009, "Dispositivo de suministro de energía para robots industriales y robots industriales con un dispositivo de suministro de energía de este tipo", DE102008011383, Alemania
- [178] Karlinger, K, 2011, "El dispositivo de suministro de energía para robot industrial tiene un soporte para sujetar la sección de línea fija al componente de

soporte, guía que soporta radialmente la sección de línea extensible con respecto al componente de soporte, donde la barra transversal conecta el soporte con la guía”, DE102009056454, Alemania

[179] Churchin, C, 2019, “Dispositivo de sujeción”, DE102017122099, Alemania

[180] Wittig, W, 2018, “Dispositivo de línea de suministro y robot con dicho dispositivo de línea de suministro”, DE102017210666, Alemania

[181] Anónimo, KUKA, K, 2004, “Dispositivo de sujeción para la fijación de líneas guiadas a lo largo de un brazo de un robot industrial en el brazo del robot”, DE202004011855, Alemania

[182] Anónimo, KUKA, K, 2009, “Dispositivo de agarre flexible”, DE202007013673, Alemania

[183] Karlinger, K, 2008, “Dispositivo para asegurar una manguera de guía de cable”, EP1163986, OEP

[184] Fichtl, F, 2011, “Dispositivo de suministro de energía para robots industriales y robots industriales que tienen tal dispositivo de suministro de energía”, EP2244867, OEP

[185] Brockhoff, Kara, B, K, 2017 “Dispositivo de suministro”, EP3170772, OEP

[186] Karlinger, K, 2003, “Aparato para fijar una manguera de guía de cable”, US20010052564, US

[187] Karlinger, Krumbacher, K, K, 2014, “Dispositivo de protección de cable para un robot industrial y robot industrial con un dispositivo de protección de cable de este tipo”, US20110127083, US

[188] Nasradini, Kurmyshkin, Karlinger, Heitz, Rohé, N, K, K, H, R, 2018, “Dispositivo de guía de cable de un robot industrial”, US20180169871, US

[189] Roth, R, 2015, “Dispositivo de guía de línea y robot industrial con dicho dispositivo de guía de línea”, WO2015067622, Oficina Internacional

[190] Roth, R, 2015, “Dispositivo de cableado y robot industrial con dicho dispositivo de enrutamiento”, DE102013222453, Alemania

[191] Nasradini, Kurmyshkin, Karlinger, Heitz, Rohé, N, K, K, H, R, 2016, “Dispositivo de guía de línea de un robot industrial”, WO2016198509, Oficina Internacional

[192] Groll, Zasche, G, Z, 2017, “Dispositivo de línea de suministro y robot que tiene que buscar un dispositivo de línea de suministro”, WO2017080642, Oficina Internacional

[193] Groll, Zasche, G, Z, 2017, “Dispositivo de línea de suministro y robot que tiene que buscar un dispositivo de línea de suministro”, DE102015222145, Alemania

[194] Brockhoff, Sonntag, Lauter, B, S, L, 2018, “Dispositivo de transferencia y método de transferencia”, WO2018197384, Oficina Internacional

[195] Klein, K, 2011, “Dispositivo de fijación para un cable”, ES-2369512, España

[196] Moritz, Nehring, M, N, 2018, “Aparato guía de línea”, WO2018041852, Oficina Internacional

[197] Jaeker, J, 2017, “Dispositivo de guía”, CN107005036, China

[198] Jaeker, J, 2017, “Dispositivo de guía”, EP3175523, OEP

[199] Anónimo, IGUS, I, 2018, “Dispositivo de guía de cable”, DE202016104838, Alemania

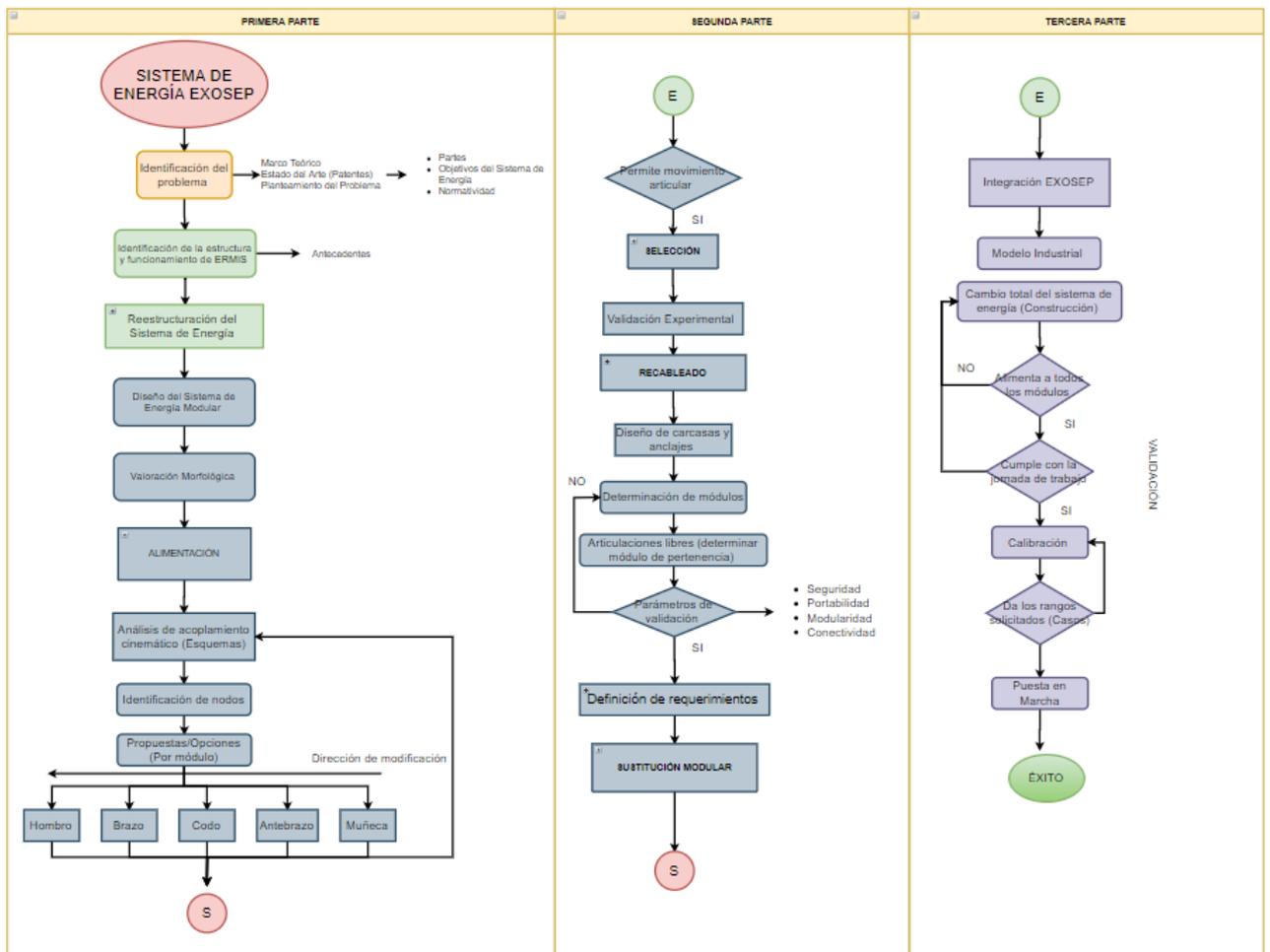
[200] Anónimo, IGUS, I, 2018, “Dispositivo de guía de cable”, DE202018101747, Alemania

[201] Hermey, Howold, H, H, 2018, “Dispositivo de guía de cable y aparato de documento”, Oficina Internacional

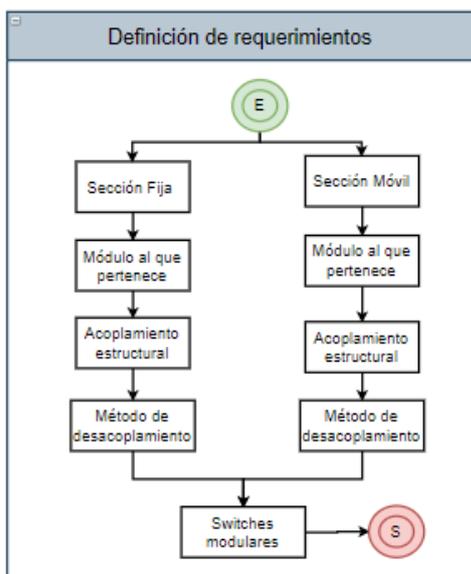
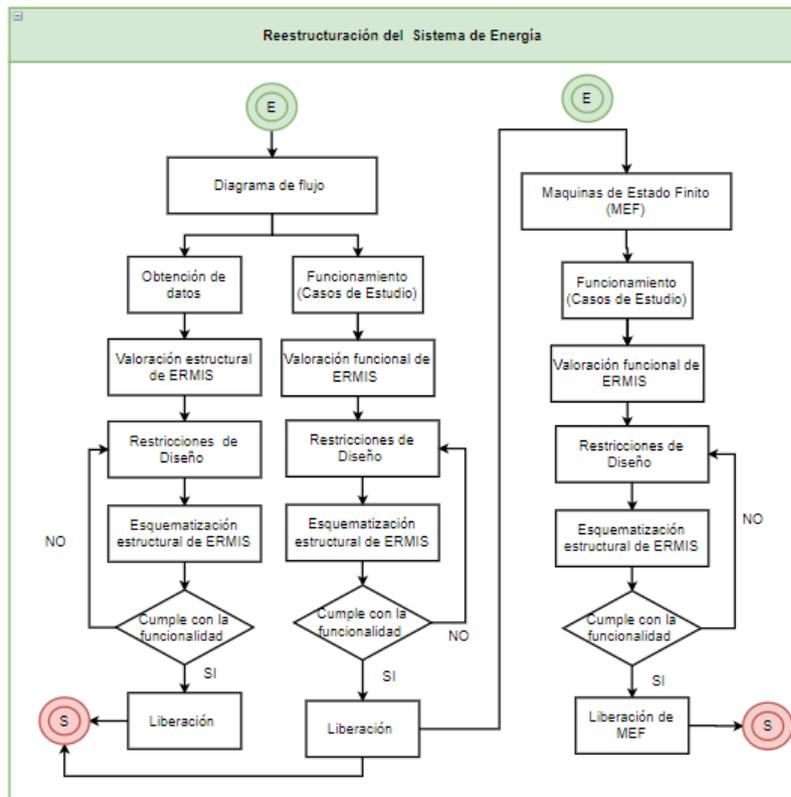
- [202] Anónimo, IGUS, I, 2016. "Dispositivo de guía de cable y estación de acoplamiento", Alemania
- [203] Hermey, Barten, H, B, 2016, "Dispositivo de guía de energía", US
- [204] Hermey, H, 2015, "Dispositivo de guía de línea", US
- [205] Hermey, H, 2016, "Dispositivo de enrutamiento de cables", Oficina Internacional
- [206] Anónimo, IGUS, I, 2014, "Dispositivo de guía de cable", Alemania
- [207] Ehringfeld, Gross, Meyer, E, G, M, 2015, "Un dispositivo de protección de cables que elimina la tensión para instrumentos médicos y equipos que tienen el dispositivo", China
- [208] Burlot, B, 2010, "Dispositivo para guiar una manguera que contenga al menos una línea de suministro", US
- [209] Sha, Cao X, Cao K, Ha, Zhu, S, C, C, H, Z, 2018, "Dispositivo de tapón, articulación giratoria y robot", China
- [210] Saxegaard, Talmo, Lohne, S, T, L, 2018, "Dispositivo de conmutación y un dispositivo de distribución de distribución de energía eléctrica", US
- [211] Käfer, Hein, Lackinger, K, H, L, 2014, "Juego de cables, separador y método para producir un juego de cables", DE102013006944, Alemania
- [212] Löhner, Dehn, L, D, 2017, "Juego de cables y método para su producción", DE102015214929, Alemania
- [213] Dehn, D, 2018, "Conjunto de cables y método para producir un conjunto de cables", DE102016220166, Alemania
- [214] Goß, Hitz, G, H, 2018, "Conjunto de cables y método para producir un conjunto de cables", DE102016220168, Alemania
- [215] Goß, Hitz, G, H, 2018, "Conjunto de cables y método para producir un conjunto de cables", DE102016220169, Alemania
- [216] Goß, Hitz, G, H, 2018, "Conjunto de cables y método para producir un conjunto de cables", DE102016220170, Alemania
- [217] Anónimo, LEONI, L, 2014, "Juego de cables y cinta de enrollar, en particular para dicho juego de cables" DE202013003788, Alemania
- [218] Anónimo, Leoni, L, 2016, "Juego de cables HV", DE202015100962, Alemania
- [219] Anónimo, Leoni, L, 2016, "Juego de cables HV", DE202015100961, Alemania
- [220] Anónimo, Leoni, L, 2017, "Juego de cables", DE202015106768, Alemania
- [221] Dean, D, 2014, "Juntas eléctricas de baja fuga y arneses de alambre", US20140284101, US
- [222] Mueller, M, 2018, "Arnés de cables y método para producir el arnés de cables", US20170162294, US
- [223] Grötsch, Hordnung, G, H, 2014, "Método para producir el arnés del cable y el arnés del cable", WO2014044362, Oficina internacional
- [224] Müller, M, 2016, "Arnés y método de cable para producir tal arnés de cable", WO2016026711, Oficina Internacional
- [225] Unglert, U, 2001, "Disposición de cables en la base y el carrusel de un robot", P1145808, OEP
- [226] Reekers, Torres, Karlinger, R, T, K, 2016, "Robot con una línea eléctrica", DE102015209547, Alemania
- [227] Szydel, S, 1998, "Conjunto del arnés para proporcionar señales al efecto final", US005777267, US

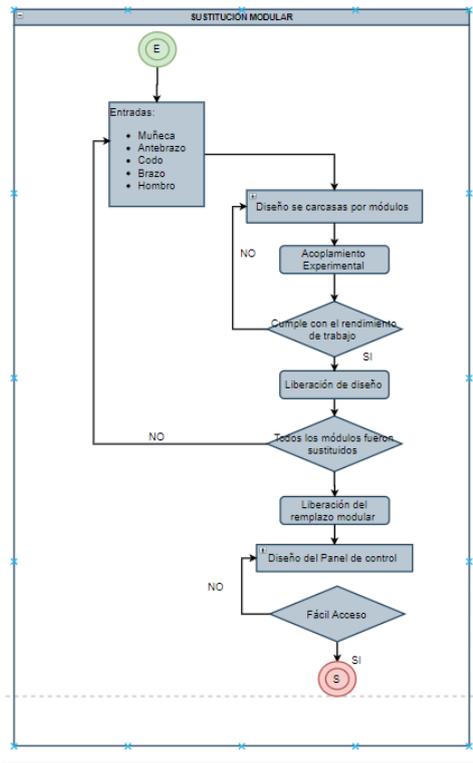
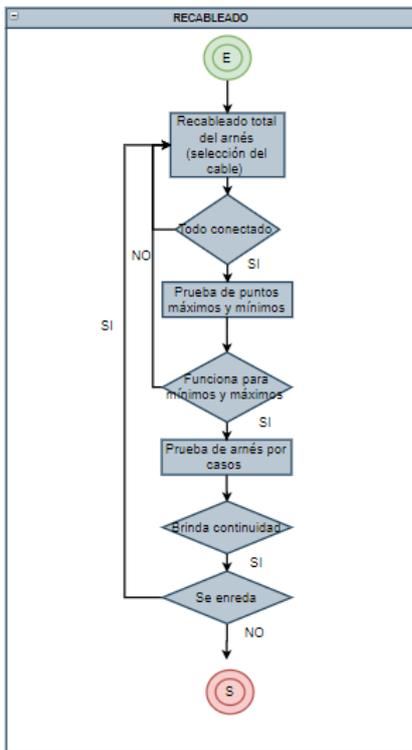
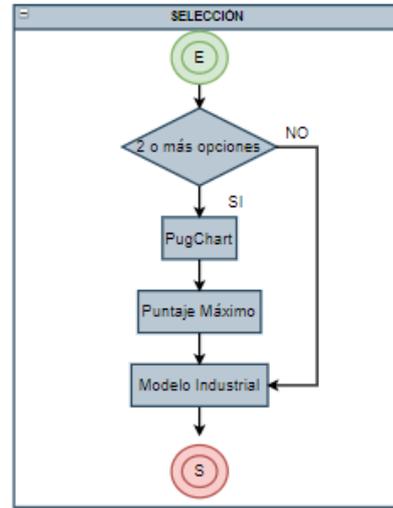
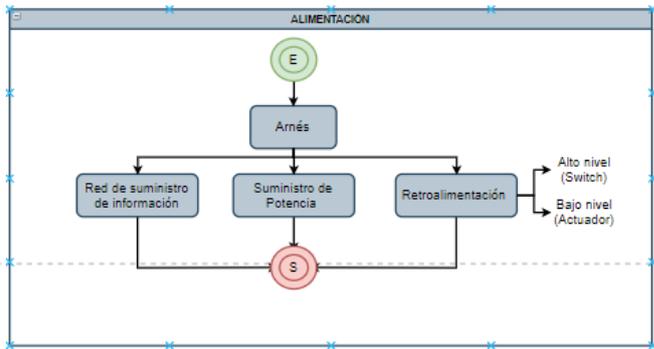
- [228] Reuss, Kittel, Carl, Jostmeier, Rotzler, Colombo, R, K, C, J, R, C; 2011, WO2011016066, Oficina Internacional
- [229] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2009, "El dispositivo de guía de línea para uso como conductor plano para guiar, por ejemplo, el cable, desde el dispositivo de alimentación a la máquina móvil, tiene múltiples soportes rígidos que se pueden sujetar de forma separable entre sí cerca del paquete de línea en dirección longitudinal", DE102008007071, Alemania
- [230] Preuss, Langhoff, Hiemer, Hauschild, Ernst, Krug, P, L, H, H, E, K, 2016, "Cable eléctrico y método para producir un paquete de cable eléctrico", EP3103121, OEP
- [231] Ernest, Hauschild, Hiemer, Krug, Langhoff, Preuss, E, H, H, K, L, P, 2016, "Cable eléctrico y método para producir un paquete de cable eléctrico", US20160343471, US
- [232] Michael, Christian, Winfriend, M, C, W, 2018, "Cable eléctrico y método para producir un paquete de cable eléctrico", US20160314874, US
- [233] Dorner, Köppendörfer, Nachtrab, Pöhmerer, Sahiner, Schill, Stadler, K, N, P, S, S, S, 2017, "Cable de datos y conductor atado", EP3211642, OEP
- [234] Schill, Standler, Sahiner, S, S, S, 2017, "Conductores atado y método para la producción de conductores atado", PT3025356, Portugal
- [235] Michael, Christian, Winfriend, M, C, W, 2018, "Cable y método para la producción del mismo", US20160314874, US
- [236] Köppendörfer, Janssen, K, J, 2019, "Cable con arreglo de recubrimiento para detectar la doblación", US20190027274, US
- [237] Köppendörfer, Janssen, K, J, 2019, "Cable con ensamble de capa para la detección de cortes", DE102017212476, Alemania
- [238] Dantz, Jedamski, D, J, 2018, "Aparato para la fabricación de cables de caja", WO2018077498, Oficina Internacional
- [239] Dreiner, Mosebach, Winkelmann, D, M, W, 2018, "Cable, en particular para aplicaciones médicas", WO2018141529, Oficina Internacional
- [240] Mosebach, Winkelmann, Dreiner, M, W, D, 2018, "Cables, en particular para aplicaciones médicas", DE102017207656, Alemania
- [241] Berninger, B, 1999, "Robot que tiene cables al menos parcialmente en el exterior del robot", EP0950478, OEP
- [242] Berninger, Hartmann, B, H, 2001, "Robot con cables que se extienden al menos parcialmente en el exterior", US6288512, US
- [243] Zant, Martini, Murphy, Drane, Bednarowski, Schneider, Gao, Rocks, Z, M, M, D, B, S, G, R, 2018 "Cable de alta resistencia", US20180282037, US
- [244] Ho, Ghoul, H, G, 2018, "Cable de transmisión de potencia", US20180158573, US
- [245] Anónimo, MURRPLASTIK, M, 2006, "Perno de conexión para una cadena de guía de energía", DE102005011515, Alemania
- [246] MURRPLASTIK, M, 2006, "Pin de conexión para una cadena de suministro de energía", EP1701060, OEP
- [247] Anónimo (2018). "CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE PATENTES". 2019, 28 febrero, OMPI, Sitio web: [www.wipo.int/classifications/ipc](http://www.wipo.int/classifications/ipc).

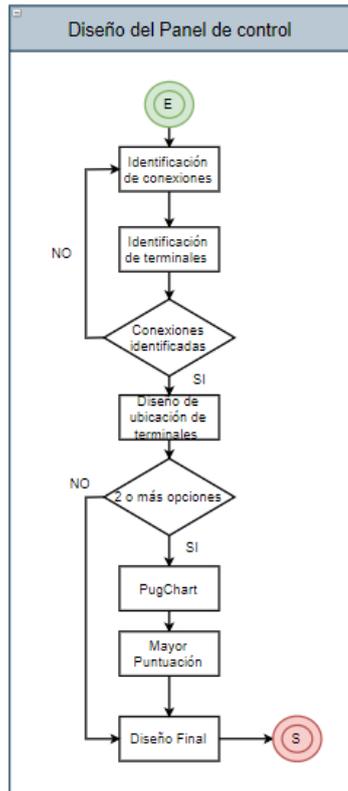
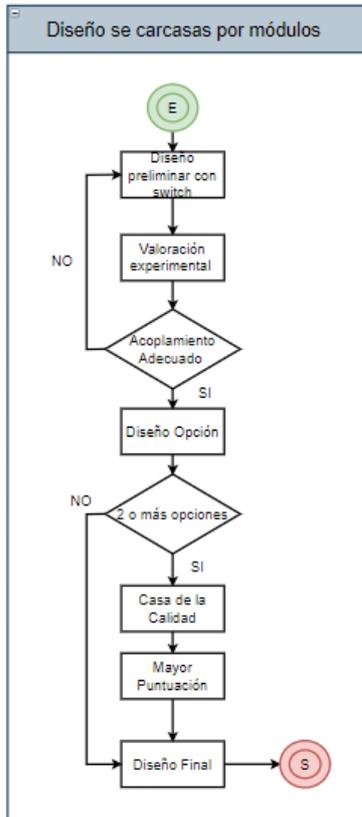
# ANEXO A



## Bloques ocultos







# ANEXO B

