

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN DISPOSITIVO PARA  
REHABILITACIÓN DEL CUELLO**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA  
APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN LA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**UVILLÚS TUAPANTA ODALYS ABIGAIL**

**[odalys.uvillus@epn.edu.ec](mailto:odalys.uvillus@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO**

**[william.venegas@epn.edu.ec](mailto:william.venegas@epn.edu.ec)**

**DMQ, Julio 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, ODALYS ABIGAIL UVILLÚS TUAPANTA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**ODALYS ABIGAIL UVILLÚS TUAPANTA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ODALYS ABIGAIL UVILLÚS TUAPANTA, bajo mi supervisión.

---

**WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ODALYS ABIGAIL UVILLÚS TUAPANTA

WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO

## DEDICATORIA

A lo largo de esta trayectoria universitaria, he tenido la fortuna de contar con una infinidad de personas que, de diversas maneras, han contribuido a que este camino esté lleno de momentos inolvidables, que desafían la capacidad de ser descritos con una sola palabra.

Quiero dedicar este trabajo a mi familia quienes son la base esencial en cada aspecto de mi vida. Aquellas personas que, sin importar la situación, están de cualquier forma. Su apoyo incondicional, amor y guía han sido el cimiento sobre el cual he construido mis logros y sueños.

A mi padre Fernando Uvillús quien me ha inculcado siempre la responsabilidad, la dedicación y el valor de las cosas, enseñándome a enfrentar cada desafío con determinación y firmeza. Su constante ejemplo ha moldeado mi carácter y mi enfoque hacia la vida.

A mi madre Gladys Tuapanta quien ha sido el pilar de apoyo y el refugio cálido al que siempre acudo en busca de un consejo y abrazo reconfortante. Ella me ha enseñado el verdadero valor de la humildad, la honestidad y el respeto.

Y no menos importante a mis hermanos Jess, Sami y Nandito que son los seres humanos más increíbles que tengo en mi vida, cada uno con su carácter y cualidades que lo distinguen pero que día a día me inspiran y me motivan a superar desafíos y a esforzarme por ser cada vez mejor.

Sin duda alguna la unión de estos cinco seres humanos ha dado forma a la persona que ahora soy. Su influencia constante será el ancla que me sostendrá y orientará a lo largo de mi vida al enfrentar nuevos retos.

Abigail Uvillús

## **AGRADECIMIENTO.**

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con que mis padres se preocuparon diariamente por mi progreso en esta etapa de mi vida son realmente inigualables y es por eso que estoy profundamente agradecida con Dios por darme a una familia excepcionalmente valiosa que me ha brindado su apoyo incondicional y las palabras de aliento para crecer continuamente.

Este largo trayecto lo he vivido de una manera bastante inexplicable por los innumerables momentos que disfruté junto a mi círculo de amigos y es por esta razón que quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a tod@s aquellos que formaron parte de este capítulo tan significativo. El impacto de nuestra amistad y la alegría compartida han sido invaluable y cada momento vivido ha añadido un valor único a esta experiencia y su presencia ha hecho que este viaje sea aún más memorable.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
2 METODOLOGÍA.....	21
2.1 Planificación del proyecto .....	21
2.2 Especificaciones de diseño .....	22
2.3 Desarrollo de soluciones.....	25
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
3.1 Ensamble del prototipo del robot paralelo .....	56
3.2 Rangos de movimiento del prototipo robot paralelo .....	56
3.3 Planos de diseño de componentes .....	58
3.4 Conclusiones .....	58
3.5 Recomendaciones .....	59
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
5 ANEXOS .....	61
ANEXO I .....	61
ANEXO II .....	61

## RESUMEN

El diseño conceptual de un robot paralelo enfocado en la rehabilitación de cuello-cabeza se enfoca en establecer una solución que cumpla con las expectativas del usuario y de la misma manera ayude en el proceso de recuperación, tomando en cuenta cada una de las especificaciones técnicas de estudio y necesidades específicas. Además, el diseño de robot paralelo garantiza realizar movimientos controlados, esenciales y precisos en la zona afectada. Realizando una estructura modular se determina cada una de las funciones que debe cumplir a cabalidad el robot paralelo, lo que significa que se establece adaptabilidad, flexibilidad, seguridad y retroalimentación del proceso de rehabilitación.

El sistema del robot paralelo incluye varios actuadores que gestionan los movimientos en ejes establecidos del cuerpo humano, ofreciendo un amplio rango de movimientos terapéuticos. Los componentes principales del robot incluyen brazos articulados, sensores de posición y fuerza, y una interfaz de usuario intuitiva que permite a los terapeutas configurar y monitorear las sesiones de rehabilitación. Los algoritmos avanzados de control garantizan que los movimientos sean suaves y seguros, evitando cualquier riesgo de lesión adicional.

Se plantea la implementación de materiales ligeros pero resistentes, como son las aleaciones de aluminio o compuestos de fibra de carbono, no obstante, asegurando la facilidad y durabilidad del uso del mecanismo. El diseño en la parte ergonómica optimiza y garantiza la comodidad y seguridad del usuario durante su aplicación.

Además, se sugiere implementar un sistema de mantenimiento preventivo que prolongue la vida útil del robot y asegure su funcionamiento continuo y confiable. En definitiva, el diseño conceptual de este robot paralelo para la rehabilitación de cuello y cabeza ofrece una herramienta poderosa y adaptable para mejorar la calidad de vida de los pacientes, facilitando sesiones de rehabilitación al terapeuta y al paciente una recuperación más rápida y efectiva.

**Palabras claves:** Robot paralelo, cuello, especificaciones técnicas, brazos articulados, sensores, posición, fuerza, interfaz, terapeuta, movimiento, ergonómica, optimiza, seguridad, rehabilitación, mantenimiento, flexibilidad, cuerpo humano.

## ABSTRACT

The conceptual design of a parallel robot focused on head-neck rehabilitation is focused on establishing a solution that meets the user's expectations and in the same way helps in the recovery process, taking into account each of the technical specifications of study and specific needs. In addition, the parallel robot design guarantees controlled, essential and precise movements in the affected area. By creating a modular structure, each of the functions that the parallel robot must fully comply with is determined, which means that adaptability, flexibility, safety and feedback of the rehabilitation process are established.

The parallel robot system includes several actuators that manage movements in established axes of the human body, offering a wide range of therapeutic movements. The robot's main components include articulated arms, position and force sensors, and an intuitive user interface that allows therapists to set up and monitor rehabilitation sessions. Advanced control algorithms ensure that movements are smooth and safe, avoiding any risk of further injury.

The implementation of light but resistant materials, such as aluminum alloys or carbon fiber composites, is proposed, however, ensuring the ease and durability of use of the mechanism. The ergonomic design optimizes and guarantees the user's comfort and safety during its application.

In addition, it is suggested to implement a preventive maintenance system that prolongs the robot's useful life and ensures its continuous and reliable operation. In short, the conceptual design of this parallel robot for head and neck rehabilitation offers a powerful and adaptable tool to improve the quality of life of patients, facilitating rehabilitation sessions for the therapist and a faster and more effective recovery for the patient.

**KEYWORDS:** Parallel robot, neck, technical specifications, articulated arms, sensors, position, force, interface, therapist, movement, ergonomic, optimizes, safety, rehabilitation, maintenance, flexibility, human body.



# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el siguiente escrito se describe a detalle el diseño conceptual de un robot paralelo enfocado en la rehabilitación de cuello-cabeza, con el objetivo de proporcionar asistencia controlada con ciertos rangos de movimiento para el proceso de recuperación de lesiones a fin. Se ha desarrollado una herramienta innovadora de manera conceptual, que incluye varias de las especificaciones y características que ayudan a tener mayor eficacia, adaptabilidad, comodidad y seguridad en el tratamiento.

El diseño del robot se basa en una estructura paralela modular, que permite una alta adaptabilidad y flexibilidad para ajustarse a diversas necesidades terapéuticas. Esta estructura modular se compone de varios brazos articulados que están diseñados para la implementación de actuadores precisos y sensores avanzados para controlar el movimiento en múltiples ejes. Los actuadores son responsables de realizar movimientos exactos y suaves, necesarios para la rehabilitación de la región cervical, mientras que los sensores miden y ajustan la posición y la fuerza aplicada, asegurando que el tratamiento sea seguro y efectivo.

Además, este mecanismo ha sido diseñado con el fin de implementar una interfaz de usuario que facilita la configuración y el monitoreo de las sesiones de rehabilitación. Ayudando así a los terapeutas a modificar los parámetros de movimiento para el tratamiento, garantizando que las sesiones se adapten a diferentes tipos de necesidad que tenga el paciente.

En términos de materiales, el robot paralelo emplea acero A36 que es una aleación de hierro y carbono que favorece a la durabilidad y maquinabilidad de componentes. Sin embargo, se puede emplear compuestos de fibra de carbono u aleaciones de aluminio, siempre y cuando se proporcione durabilidad, seguridad, fácil manejo y que se encuentre dentro de la estructura ergonómica.

No menos importante para la prolongación de vida útil del mecanismo debe implementar un sistema de mantenimiento preventivo que permita realizar ajustes y revisiones de las partes que lo componen, de esta manera se asegura un robot en condiciones óptimas de operación.

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar conceptualmente un robot paralelo para rehabilitación del cuello.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar información bibliográfica de robot paralelo de rehabilitación del cuello para aplicaciones médicas, ergonómicas.
2. Realizar un análisis funcional y modular basado en ingeniería inversa de patentes y fabricantes técnicos. Establecer especificaciones técnicas del robot paralelo de rehabilitación y otros componentes.
3. Realizar un diseño conceptual en 3D sin dimensiones establecidas. Diseñar y calcular la capacidad de fuerzas y posiciones del robot paralelo de rehabilitación. Diseñar o Seleccionar el control electrónico inteligente: controladores adaptativos, controlador de fuerza y controlador de posición.
4. Desarrollar la ingeniería de detalle, en planos de ensamble, conjunto, despiece y taller del robot paralelo de rehabilitación. Elaborar modelos 3D y construir un prototipo funcional en una maqueta virtual con los parámetros calculados.

## **1.3 Alcance**

El alcance de este proyecto es diseñar de manera conceptual un robot paralelo, tomando en cuenta los aspectos ergonómicos, médicos y tecnológicos para proporcionar y facilitar una rehabilitación de manera efectiva y segura.

Para el diseño e implementación de un robot paralelo es necesario tener la información suficiente de cómo es el funcionamiento, partes que lo componen, tipos, el ámbito en donde se va a aplicar entre otras cosas. Además, el ámbito de la medicina es crucial entender la anatomía para saber los movimientos que realiza el cuello, y las partes que intervienen. Es por ello que se tiene planteado varios objetivos que se desarrollan de manera secuencial.

El análisis cinemático dentro de este estudio es sumamente importante, puesto que se obtiene la geometría del movimiento del robot sin considerar las fuerzas y pares que causan el mismo, por lo que esto se deriva del movimiento final y de los parámetros geométricos que se tenga del mecanismo.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Definición de Robot**

Un robot se define como una estructura mecánica capaz de funcionar con cierto nivel de independencia, dirigido por un ordenador, con el propósito de llevar a cabo una tarea específica, equipado con un sistema sensorial que le permite obtener información de su entorno. Por lo general, el campo de la robótica se clasifica en dos principales categorías: la robótica de manipulación y la robótica móvil.

Una de las definiciones que más se destaca en el tópico es la que establece la norma ISO 8373, la cual define un robot como un programa manipulador multipropósito, reprogramable y controlado automáticamente.

En la mayoría de los casos existe una controversia en que ciertas máquinas son consideradas como robots, puesto que para clasificar como robot debe presentar las siguientes características:

- Es programable
- Creado de manera artificial
- Puede manipular cosas del entorno
- Grado de inteligencia
- Movimiento con grados de libertad

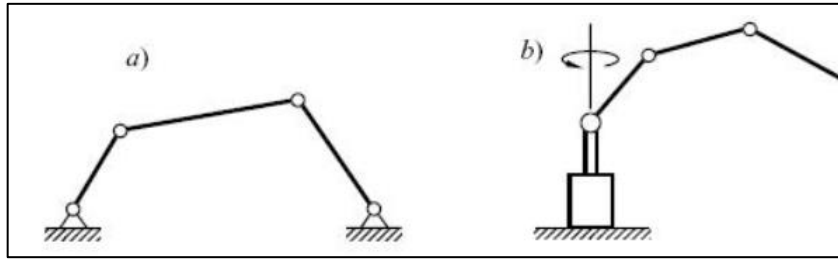
Lo que de manera general se especifica es que cuanto más apariencia de agencia tiene una máquina, más se la considera como un robot.

### **1.4.2 Estructura general de un robot**

La estructura de un robot esta compuesta por un sistema de actuación que permiten tener movimiento al emplear actuadores y motores, además de un sistema de control que ayuda a obtener los datos y toma de decisiones. Sin dejar de lado el sistema mecánico y el sistema que alimenta o suministra la energía al robot.

#### **1.4.2.1 Sistema mecánico**

La construcción de un robot o manipulador robótico se realiza mediante una base anclada al suelo junto con una serie de eslabones unidos entre sí. De manera más específica es una cadena cinemática abierta que se forma por un conjunto de eslabones y juntas, lo que ayuda a definir el concepto de grados de libertad del manipulador industrial.

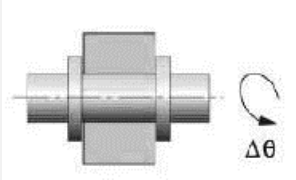

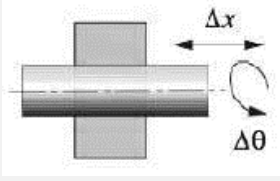
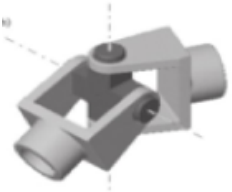


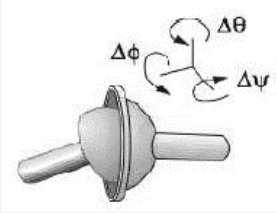
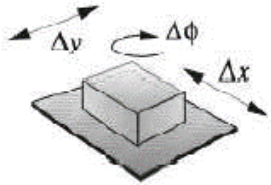
**Figura. 1.** Cadena cinemática cerrada y abierta

Fuente: [1]

Existen tipos de articulaciones, los cuales son los siguientes:

**Tabla 1.** Tipos de articulaciones

TIPO DE JUNTA	CARACTERÍSTICAS
<p><b>JUNTA DE ROTACIÓN</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se basa en la rotación en torno al eje denominado articulación.</li> <li>• Tiene 1 grado de libertad</li> </ul>
<p><b>JUNTA PRISMÁTICA</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se basa en la traslación en torno al eje denominado articulación.</li> <li>• Tiene 1 grado de libertad.</li> </ul>
<p><b>JUNTA CILÍNDRICA</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emplea el movimiento de traslación y rotación en la articulación de eslabones.</li> <li>• Tiene 2 grados de libertad.</li> </ul>
<p><b>JUNTA UNIVERSAL</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite rotar alrededor de dos ejes que son independientes.</li> <li>• Tiene 2 grados de libertad</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>JUNTA ESFÉRICA</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza una rotación libre alrededor del centro de una esfera en las tres direcciones.</li> <li>• Tiene 3 grados de libertad.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>JUNTA PLANAR</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basada en el deslizamiento en torno a un plano.</li> <li>• Tiene 3 grados de libertad</li> </ul>

En la Tabla 1 se puede identificar las articulaciones principales, donde las variables vienen dadas por la cantidad de grados de libertad que se presenta y por ende ayuda a determinar los movimientos que puede realizar el mecanismo.

#### 1.4.2.2 Sistema de control

Lo que compete al sistema de control de un robot involucra tanto, bucles de realimentación de la información suministrada por los sensores internos y también del entorno.

Al mencionar el sistema de control de un robot se identifica que está comprendido por sensores internos, los cuales otorgan la información a los bucles de retroalimentación.

Es por ello que, los sensores internos se enfocan en la evaluación del estado de la parte externa mecánica del robot, específicamente en los desplazamientos o giros relativos tomando en cuenta las velocidades, fuerzas y juntas. Mientras que los sensores externos intervienen junto con sistemas de percepción sensorial, lo que hace que los robots se puedan adaptar al entorno y esto modifica su comportamiento de manera automática. De esta manera el sistema de control actúa incorporando bucles de realimentación sensorial del entorno. [2]

#### 1.4.3 Sistema de percepción

El sistema de percepción actúa a partir del desarrollo de los sensores como los de imagen, contacto e incluso sonido. Este sistema va de la mano con la interpretación y tratamiento de la información sensorial que se obtiene mediante los sensores anteriormente

mencionados. Por lo que es necesario realizar una abstracción con cierta información o conocimiento del entorno.

#### **1.4.4 Tipología de robots**

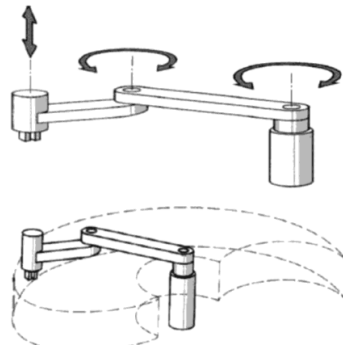
Se ha desarrollado en varias industrias los manipuladores robóticos por las necesidades que se han presentado al pasar los años. Dando como resultado el movimiento de hasta 6 grados de libertad. Sin embargo, los manipuladores robóticos que presentan 4,5 y 6 grados de libertad no pueden tener la misma estructura y eso hace que exista dificultad para el control del robot.

Se pueden clasificar en:

- Robot tipo serie
- Robot paralelo

El robot tipo serie se caracteriza por el gran espacio de trabajo que posee con respecto al volumen ocupado, además tienen una relación masa-carga útil relativamente alta, puesto que en su mayoría tiene que mover y transportar cargas e gran peso en sus eslabones. Sin embargo, este tipo de robots presentan gran dificultad en el sistema de control de este, puesto que para colocar un objeto en cierta posición y orientación arbitraria se necesita al menos que tenga seis grados de libertad, además los errores que presenta en el posicionamiento se acumulan de un enlace a otro y por ello tienen una menor rigidez causada también por la formación de cadenas cinemáticas abiertas. No obstante, la aplicación más común en este tipo de robots es en la industria del ensamblaje pick-and-place. [2]

Los propios robots en serie se clasifican en diferentes categorías, una de ellas se basa en la forma del espacio de trabajo del robot. Una de las características importantes es que se emplea cinemática inversa de manipuladores en serie con seis juntas de revolución y con tres juntas consecutivas que se cruzan y se pueden resolver de manera analítica. Actualmente se enfocan en aplicaciones que solo requieran cuatro grados de libertad como el montaje especial denominados SCARA, como se puede ver en la figura.



**Figura. 2.** Robot tipo serie

Fuente: [2]

Mientras tanto, al referirse de robots paralelos se caracterizan porque están formados por dos plataformas, una móvil y una fija, las cuales son unidas mediante juntas lo que forman cadenas cinemáticas de forma paralela, es decir formando cadenas cinemáticas cerradas. A menudo las extremidades consisten en una junta prismática accionada a través de juntas universales.

Al comparar estos tipos de robots existentes, se denota que los robots paralelos tienen la ventaja de tener mayor rigidez, precisión, mayores velocidades lo que hace que pueda distribuir de manera equitativa las cargas por medio de los brazos paralelos que éste presenta. Otra de las características enriquecedoras es que en el eslabón fijo son instalados los motores de los actuadores. En tanto que en los robots tipo serie los motores de los actuadores se instalan en las articulaciones de los eslabones, lo cual hace que puedan aumentar las masas móviles y pueda existir mayor avería por las fuerzas de inercia.

Dentro de los robots paralelos existe una división según:

- Grados de libertad
- Movimiento del robot
- Fuente de energía
- Área de aplicación

#### **1.4.4.1 Distribución en función de grados de libertad**

En el sistema de un robot paralelo se debe distinguir de manera importante las cualidades que éste presenta, como en este caso son los grados de libertad.

Al mencionar grados de libertad se hace referencia al número de entradas independientes que son necesarias para la construcción de un mecanismo, de esta manera la definición de los mismos es determinado por el número de eslabones y tipo de juntas que se presentan conjunto el mecanismo. De esta manera se tiene en cuenta la independencia y asimismo los eslabones que contribuyen al GDL de un robot y por ende definir el movimiento en cualquier robot con un número mínimo requerido de GDL.

#### **1.4.4.2 Distribución por movimientos del robot paralelo**

Las articulaciones y los grados de libertad cumplen una gran función dentro del movimiento del robot, así como también el control que le otorguen al robot en funcionamiento. El tipo de juntas que le proporcionen al mecanismo afecta de manera directa también en el movimiento del mecanismo. Es por ello que a continuación se presenta la siguiente clasificación:

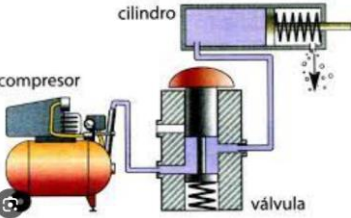


- Tipo de Juntas: Para la movilización de cualquier robot se requiere juntas o uniones que ayuden a integrar a los eslabones y mecanismo. Generalmente se emplean juntas universales y cilíndricas. Sin embargo, en la Tabla 1.4.1. se muestran los tipos de juntas de los mecanismos. [3]
- Sistema de control de robots: Se emplean cuatro tipos de control, que pueden ser en línea recta, interpolado, secuencial o de manera giratoria.
- Sistemas de coordenadas de robots: Esta clasificación hace referencia a la función de las articulaciones, que es alcanzar un punto en el espacio que ha sido designado. Por esta razón, el movimiento de los robots es diseñado en un cierto sistema de coordenadas que puede ser: cartesianas, revolutas o coordenadas cilíndricas. [3]

#### **1.4.4.3 Clasificación por fuente de energía**

Una de las partes importantes en la construcción de cualquier robot, es la parte de cómo se suministrará energía para que tengan los movimientos suficientes que se han diseñado. De esta manera a continuación, se presentan las fuentes para transferir energía al mecanismo.



**Tabla 2.** Clasificación por fuente de energía

Tipo de Fuente	Característica	Ejemplo
Fuente Neumática	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se basan en la utilización de presión que se pueda comprimir con el aire disponible.</li> <li>➤ El aire es compresible, por lo que el control de las uniones no es posible con un control directo de la presión del aire.</li> <li>➤ La utilización de robots neumáticos se necesita de una gran precisión, lo que conlleva a tener equipos adicionales.</li> </ul>	 <p>Diagrama de un sistema neumático que muestra un compresor conectado a un cilindro y una válvula.</p>
Fuente Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Este tipo de fuente es el más utilizado en varias industrias por la comodidad de poder controlar por medio de la computadora.</li> <li>➤ Suministran energía sin contaminación a comparación de las fuentes hidráulicas y se obtiene conectando en una pared.</li> </ul>	 <p>Imagen de un alimentador de energía eléctrica con cables conectados.</p>
Fuente Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Los robots hidráulicos pequeños se distinguen porque solamente emplean una bomba de bajo costo que ayudará a la suministración de energía a los eslabones, mientras que los grandes tienen un costo más elevado.</li> </ul>	 <p>Imagen de un brazo robótico amarillo con un cabezal hidráulico.</p>

## 1.4.5 Estado del Arte para Robot paralelo

### 1.4.5.1 Robot paralelo, definición

En principio los robots paralelos presentan una alta rigidez estructural y una gama de capacidades de movimiento, puesto que presenta una variedad de eslabones. Sin embargo, uno de los inconvenientes es el espacio limitado de trabajo, lo que puede ocasionar un choque de eslabones y la inestabilidad de la misma. [4]

Se considera un robot paralelo a un mecanismo compuesto de cadenas cinemáticas independientes, además consta de una base fija que se conecta a la parte móvil comprendida de eslabones. Generalmente las juntas empleadas son universales y esféricas pasivas, lo que hace que los eslabones solo sientan tracción o compresión y nada relacionado con flexión. De esta manera hace que tenga precisión en su posición y se puede construir más ligeramente. [4]

- La configuración de los mecanismos que constituyen al robot paralelo debe tener las siguientes características:
- Es necesario tener un cierto número de sensores, para que el robot pueda realizar su trabajo en la plataforma móvil y se pueda controlar parámetros como la velocidad, fuerza, ángulos de rotación y torque.
- La plataforma móvil puede ser controlada con mínimo dos cadenas cinemáticas las cuales puedan distribuir las cargas a cada una de las partes.
- El número de grados de libertad es definido por el número de eslabones que posee el mecanismo.
- En el ámbito de la medicina el robot paralelo puede mantenerse en una posición fija, cuando la movilidad tenga el valor de cero, debido a que se bloquean los eslabones del mecanismo.



**Figura 3.** Robot paralelo

Fuente: [4]

### **1.4.5.2 Tipos de robots paralelo**

Una de las características y lo que hace que este tipo de robots se clasifiquen, es el movimiento según los grados de libertad que cada uno tenga. A pesar de que en la sección de tipología de robots se menciona de manera ligera cuales son los tipos, en este punto se mencionará de manera más específica. [4]

- Robots paralelos con movimiento planar: En este caso se hace referencia a mecanismos con dos grados de libertad que permiten facilitar el movimiento del efector final a lo largo del eje X e Y, limitando la rotación o el desplazamiento. [4]
- Robots paralelos con movilidad en tres dimensiones: Este tipo de robots ofrece una mayor capacidad de movimiento en el espacio tridimensional, lo que da lugar a diversas variantes:
  - Robots con 3 grados de libertad
  - Robots con grados de libertad mixtos
  - Robots con 4 grados de libertad
  - Robots con 5 grados de libertad
  - Robots con 6 grados de libertad

### **1.4.5.3 Robots con grados de libertad mixtos**

Este tipo de robots son comúnmente utilizados en varias aplicaciones, puesto que emplea una junta de revolución y de la misma forma juntas esféricas en los eslabones de mecanismo. Como se puede observar en la siguiente figura, los actuadores de tipo prismático permiten el desplazamiento lineal, lo que hace que exista traslación a lo largo de la vertical y rotación.



**Figura 4.** Robot con grados de libertad mixtos

Fuente: [5]

### **1.4.6 Movimientos del cuerpo humano en ejes y planos**

Para el desarrollo de un robot paralelo específicamente empleado para el cuerpo humano, se debe tener en cuenta las referencias espaciales para determinar las disposiciones que se puede encontrar. De esta manera se tiene los siguientes:

- Plano de movimiento sagital

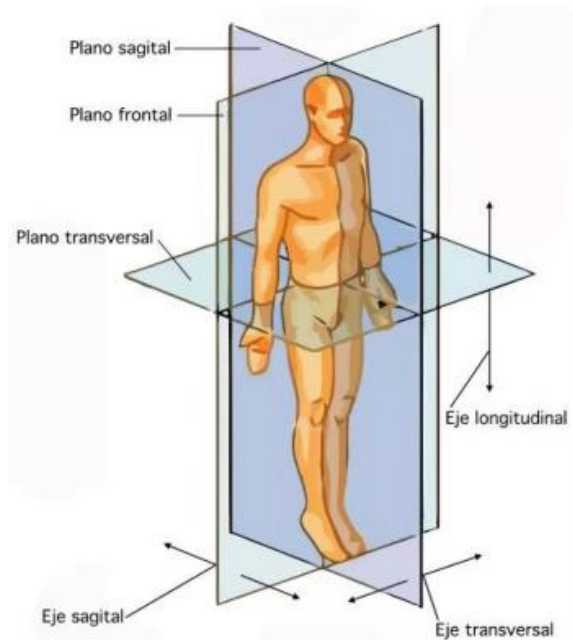
Es aquel que distribuye al cuerpo en derecha e izquierda con un plano vertical.

- Plano de movimiento frontal

Es aquel que se encuentra de manera perpendicular al plano de movimiento sagital, en este caso se crea dos porciones denominadas anterior y posterior.

- Plano de movimiento vertical o longitudinal

Es aquel que divide al cuerpo en segmentos de superior e inferior, es el plano que se extiende en ángulo recto con respecto a los otros dos planos, lo que hace que pueda moverse de manera rotacional.



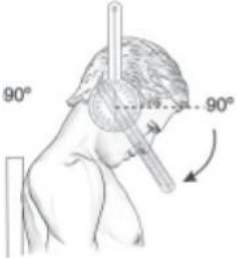
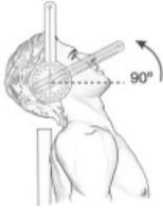

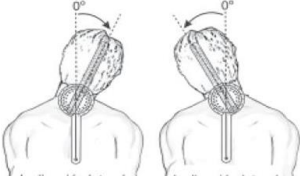
**Figura 5.** Planos del movimiento del cuerpo humano

Fuente: [6]

#### **1.4.7 Movimientos principales del cuello**

Es importante tener en consideración que el cuello puede realizar una serie de movimientos, debido a que se compone de elementos elásticos junto con las partes rígidas del mismo. De esta manera se denotan tres ejes que forman planos de movimiento. A continuación, se describe los rangos y ángulos que puede realizar el cuello:

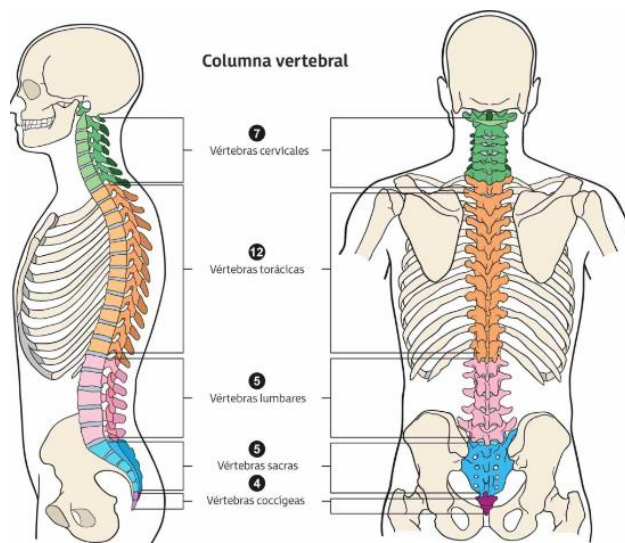
**Tabla 3.** Movimientos del cuello

<b>MOVIMIENTOS DEL CUELLO</b>		
<b>FLEXIÓN</b>	Este movimiento se da debido al deslizamiento ocasionado por el núcleo pulposo que hace que la vertebra superior deslice sobre la inferior.	 <p>Diagrama que muestra la flexión del cuello. Una línea vertical representa la posición neutral. Una línea inclinada hacia adelante muestra la flexión, con un ángulo de 90° indicado por un arco y una línea punteada horizontal.</p>
<b>EXTENSIÓN</b>	Este movimiento es similar al movimiento de flexión, sin embargo, se diferencia porque permite mover el cuello de atrás hacia adelante.	 <p>Diagrama que muestra la extensión del cuello. Una línea vertical representa la posición neutral. Una línea inclinada hacia atrás muestra la extensión, con un ángulo de 90° indicado por un arco y una línea punteada horizontal.</p>
<b>ROTACIÓN</b>	La rotación se da por el movimiento de las articulaciones de C1 y C2, lo que hace que el cuello gire 90 grados a la derecha e izquierda hasta alinearse el hombro con la barbilla, dando un total de 180 grados.	 <p>Diagrama que muestra la rotación del cuello. Se presentan dos vistas laterales de una mujer. En la primera, el cuello está en posición neutral. En la segunda, el cuello está girado 90 grados hacia la izquierda, alineando el hombro con la barbilla.</p>
<b>FLEXIÓN LATERAL</b>	Este movimiento es provocado por la contracción asimétrica de los mismos músculos flexores y extensores. Con la diferencia que puede moverse lateralmente 45 grados a cada lado.	 <p>Diagrama que muestra la flexión lateral del cuello. Se presentan dos vistas posteriores de una mujer. En la primera, el cuello está en posición neutral (0°). En la segunda, el cuello está inclinado lateralmente, con un ángulo de 45° indicado por un arco y una línea punteada vertical.</p>

### 1.4.8 Composición de la columna cervical

Debido a sus importantes diferencias anatómicas y funcionales, la región craneocervical se ha estudiado por separado del resto de la columna cervical. La columna cervical es responsable de los síntomas clínicos como dolor de cabeza, mareos, etc., que son muy diferentes a los de la columna cervical inferior.

El modelo cinemático de la columna cervical superior puede basarse en dos aspectos: anatomía y funcionalidad. Anatómicamente, la columna craneocervical incluye el área entre el hueso occipital y C2. Sin embargo, desde un punto de vista clínico y funcional, se debe incluir el segmento C3 porque la disfunción tiene algunas manifestaciones clínicas de segmentos superiores (li42). Oclusión del movimiento cráneo-mandibular.



**Figura 6.** Distribución de las vértebras cervicales

Fuente: [7]

La estructura de las vértebras cervicales es crucial para la función y movilidad del cuello. Estas vértebras permiten una amplia gama de movimientos, como la flexión, extensión y rotación de la cabeza. El Atlas (C1) y el Axis (C2) son particularmente importantes: el Atlas permite la flexión y extensión de la cabeza al articularse con el cráneo, mientras que el Axis, con su proceso odontoides, facilita la rotación de la cabeza. Además, las vértebras cervicales tienen cuerpos vertebrales pequeños y forámenes transversos que permiten el paso de vasos sanguíneos importantes, como las arterias vertebrales, que suministran sangre al cerebro. Los discos intervertebrales y ligamentos entre las vértebras proporcionan soporte y amortiguación, ayudando a mantener la estabilidad y movilidad del cuello mientras protegen la médula espinal y las raíces nerviosas. [7]

### **1.4.9 Lesiones y problemas de la columna cervical**

Mundialmente estas lesiones ocupan el sexto lugar en la prevalencia, puesto que conforma un cierto grupo de tejidos de origen epitelial, mucosa, piel y de origen mesodérmico. De la misma manera tiene relación con el complejo cráneo-vertebral, puesto que son estructuras óseas formadas por los cóndilos del hueso occipital C1 y C2, estructuras que dan estabilidad a la columna y cráneo. [8]

El cuello sostiene los órganos sensoriales especializados de la cabeza, incluyendo los ojos, oídos, nariz y lengua. Además, se mueve más de 600 veces por hora, acumulando un desplazamiento total en el plano sagital de cerca de 1,000,000 veces al día. Está en constante movimiento. [8]

A continuación, se describe lesiones y problemas más ocasionados dentro de los 3 últimos años.

#### **1.4.9.1 Esclerosis lateral amiotrófica (ELA)**

La Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) es una afección neurodegenerativa que daña las neuronas motoras, lo que resulta en una debilidad y atrofia muscular progresiva. En cuanto a la rehabilitación del cuello, la ELA presenta retos particulares debido a la reducción de la fuerza y el control muscular en esta región. La fisioterapia es esencial para tratar estos síntomas, enfocándose en ejercicios diseñados para preservar la movilidad y prevenir contracturas musculares. Las estrategias incluyen estiramientos, fortalecimiento y métodos para aliviar el dolor. Además, el uso de dispositivos de soporte, como collarines cervicales, puede proporcionar estabilidad y reducir la carga de la cabeza, mejorando así la calidad de vida del paciente. Es fundamental personalizar la rehabilitación, adaptando las técnicas a las necesidades y capacidades específicas de cada paciente para maximizar su funcionalidad y confort. [9]



## Esclerosis lateral amiotrófica (ELA)

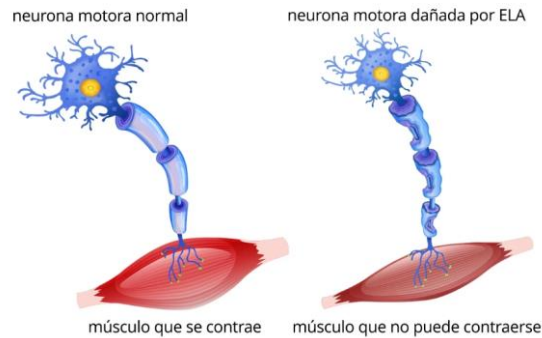


Figura 7. Esclerosis lateral amiotrófica (ELA)

Fuente: [9]

### 1.4.9.2 Latigazo Cervical

El latigazo cervical es una lesión causada por movimientos repentinos de la cabeza, frecuente en accidentes automovilísticos. Afecta músculos y ligamentos del cuello, causando dolor, rigidez, mareos y cefaleas. La rehabilitación busca aliviar el dolor y restaurar la movilidad mediante ejercicios y fisioterapia, incluyendo terapia manual. Es crucial que el tratamiento sea personalizado para una recuperación óptima y evitar complicaciones.

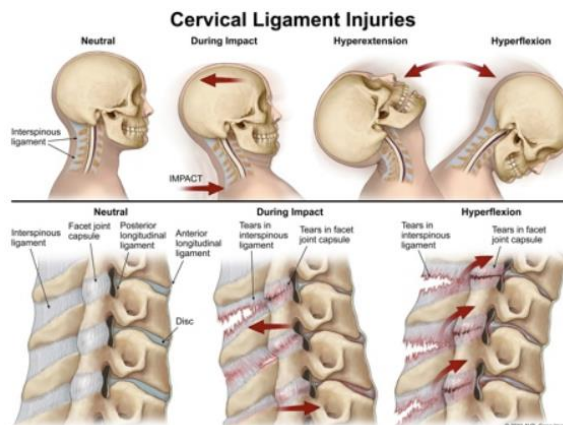


Figura 8. Latigazo cervical

Fuente: [10]

El collarín ortopédico reduce la estimulación de los órganos sensoriales no afectados por un trauma, lo que puede llevar a una pérdida de precisión y degradación si no se usa correctamente. Se debe evitar su uso a menos que haya actividad subyacente de la médula espinal o trauma posterior. En el 80% de los casos, los collares no han mostrado resultados

beneficiosos. Un estudio de Borchgrevink et al. reveló que, en pacientes con síndrome de latigazo cervical, el uso de collares ralentizó la recuperación en comparación con aquellos que continuaron con sus actividades diarias. Aunque es un tratamiento común en España, su uso, junto con terapia suave, puede limitar la movilidad, provocar atrofia muscular y empeorar los problemas propioceptivos, prolongando el tiempo de recuperación y aumentando el riesgo de enfermedades crónicas. [10]

### **1.4.9.3 Tortícolis**

El problema de tortícolis implica una inclinación anormal del cuello y su rehabilitación se enfoca en reducir el dolor, restaurar la movilidad y fortalecer los músculos cervicales. El tratamiento incluye estiramientos y ejercicios de fortalecimiento para mejorar flexibilidad y equilibrio muscular, así como fisioterapia que puede incluir técnicas manuales y métodos como ultrasonido para aliviar la inflamación y el dolor. La corrección postural y la educación sobre buenas prácticas posturales son esenciales para evitar la tensión adicional. A veces, se utilizan collares cervicales bajo orientación profesional, y los medicamentos pueden ayudar en el manejo del dolor. Un tratamiento adaptado a las necesidades individuales del paciente es fundamental para una recuperación exitosa. [11]



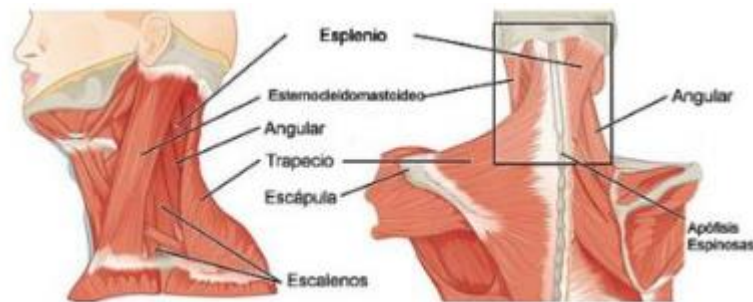
**Figura 9.** Zona de afectación de toricolis

Fuente: [11]

### **1.4.9.4 Distonía cervical**

La distonía cervical, o tortícolis espasmódica, es un trastorno neurológico que provoca contracciones involuntarias en los músculos del cuello, resultando en movimientos y posturas anormales de la cabeza. La rehabilitación incluye fisioterapia con ejercicios de

estiramiento y fortalecimiento, reeducación postural y técnicas de relajación; terapia ocupacional para adaptaciones ergonómicas y manejo del estrés; estimulación eléctrica y terapia de ondas de choque; inyecciones de toxina botulínica y medicamentos orales; intervenciones quirúrgicas como estimulación cerebral profunda o rizotomía selectiva; terapias complementarias como acupuntura, yoga y tai chi; y apoyo psicológico mediante terapia cognitivo-conductual y grupos de apoyo. Un enfoque personalizado y multidisciplinario es esencial para mejorar la calidad de vida de los pacientes. [12]



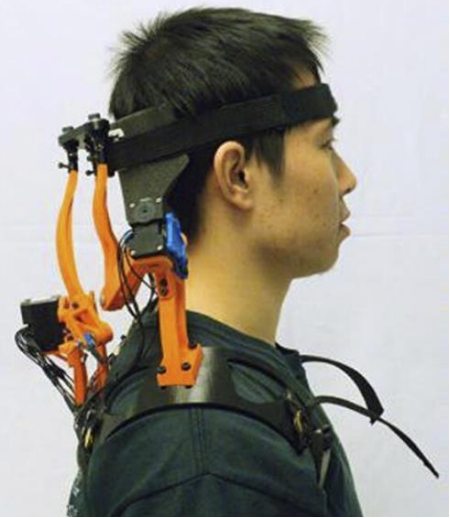
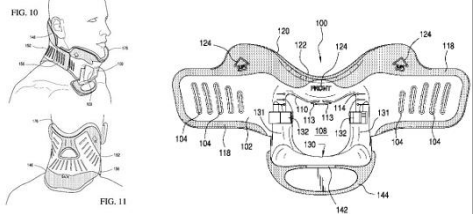
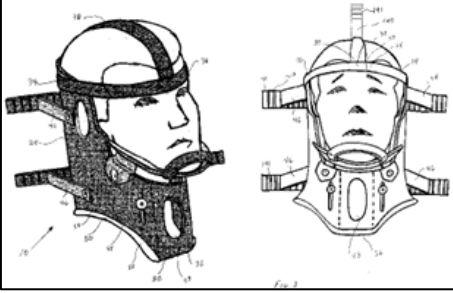
**Figura 10.** Zona afectada por la distonía cervical

Fuente: [12]

#### **1.4.10 Aplicaciones de rehabilitación de cuello en la actualidad**

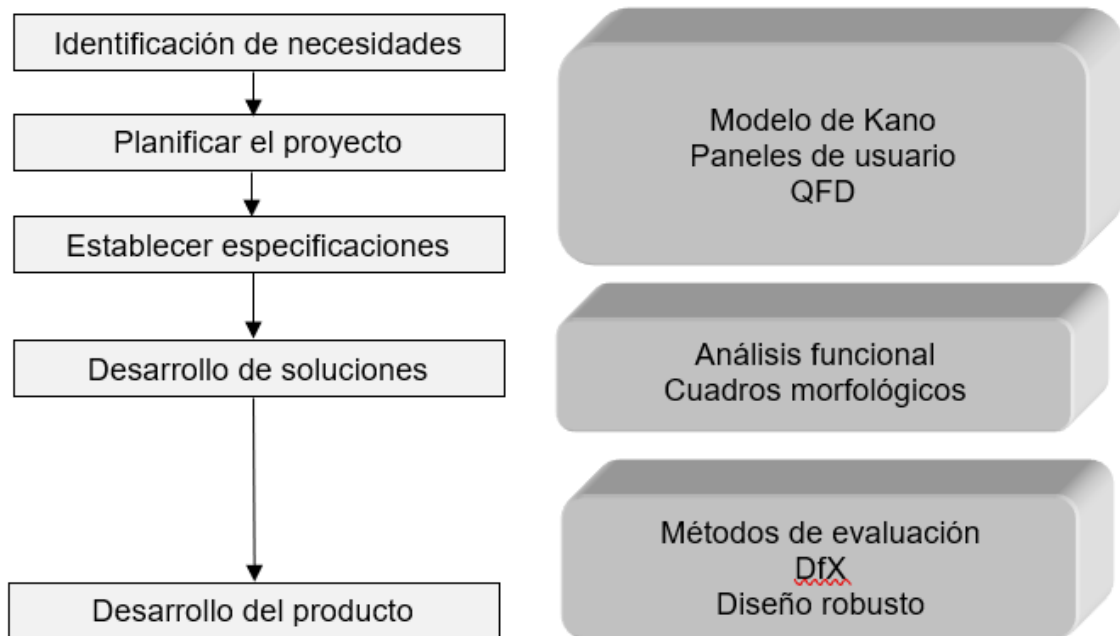
A continuación, se presentan diversas aplicaciones y métodos de rehabilitación del cuello enfocados en el tratamiento de la distonía cervical. Estos enfoques incluyen una combinación de ejercicios terapéuticos, técnicas de estiramiento y fortalecimiento, así como estrategias de reeducación motora y postural. La implementación de estos programas tiene como objetivo mejorar la flexibilidad, la fuerza y la coordinación de los músculos del cuello, contribuyendo a una mejor calidad de vida para los pacientes. Además, se destacan los beneficios de combinar estos ejercicios con tratamientos farmacológicos como las inyecciones de toxina botulínica, proporcionando un enfoque integral y multidisciplinario en la rehabilitación.

**Tabla 4.** Aplicaciones de rehabilitación de cuello actualmente

Denominación	Descripción	Aparato
<p><b>Collar ortopédico dinámico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizado para personas específicamente con esclerosis lateral amiotrófica.</li> <li>• Desarrollado en la Universidad de Columbia (NY. EUA).</li> <li>• Puede restablecer hasta el 70% de la movilidad de la cabeza.</li> <li>• Los movimientos se deben a que emplea actuadores, articulaciones, sensores y resortes que suministran fuerzas para soportar el peso de la cabeza.</li> <li>• Publicado el 7 de agosto de 2019</li> </ul>	
<p><b>Collarín cervical con obstrucción vascular reducida</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En este caso existe obstrucción vascular, lo que hace que no presione de tal manera que tenga menor contacto.</li> <li>• La presión es transferida por las venas cercanas al cuello.</li> </ul>	
<p><b>Inmovilizador integral de cabeza, cuello y parte superior del torso</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene como objetivo el bloquear y unir por partes cada una de las posiciones que debe ser inmovilizado.</li> <li>• Es un método empleado para problemas o lesiones de cuello.</li> </ul>	
<p><b>Dispositivo de tracción cervical</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Focalizado para el estiramiento del cuello, soporte correctivo</li> <li>• Cuenta con 8 columnas inflables, que ayudan a la columna cervical</li> <li>• Realizada con el fin del descanso de hombros y relajación de cuello.</li> <li>• Puede rehabilitarse dentro de 10 a 20 días</li> <li>• El costo es de 900 euros.</li> </ul>	

## 2 METODOLOGÍA

Después de comparar un cierto número de métodos de diseño de varios autores, se ha determinado que se empleará el proceso de diseño según Ullman, puesto que aborda la generación de soluciones desde un punto de vista principalmente funcional. De esta manera se presenta un diagrama sintetizando los métodos.



**Figura 11.** Diagrama de flujo de metodología Según Ullman

Fuente: [13]

La metodología de Ullman, en el contexto del diseño y desarrollo de productos, se basa en un enfoque estructurado que abarca desde la identificación de necesidades y requisitos hasta la evaluación y optimización del diseño final. Este proceso incluye varias etapas clave: la definición del problema, la generación de conceptos, la selección del concepto más adecuado, el diseño detallado y, finalmente, la prueba y mejora del producto. Ullman enfatiza la importancia de la iteración continua y la toma de decisiones basada en datos para asegurar que el producto final cumpla con las expectativas de los usuarios y las especificaciones técnicas. [13]

### 2.1 Planificación del proyecto

Esta parte es esencial dentro del proceso de diseño, puesto que implica la definición de tareas, objetivos y recursos que serán necesarios para el desarrollo del proyecto como tal. Es por esta razón que para los pasos siguientes se desarrollará, de la siguiente manera:

**Tabla 5.** Planificación del proyecto

<b>Planificación de proyecto</b>	
<b>Establecer especificaciones</b>	Dentro de esta sección el protagonista será el usuario, puesto que se realiza la casa de la calidad o también conocida como “QFD” (Despliegue de la Función de Calidad) lo que significa que se relaciona las expectativas del cliente y las características del producto a realizarse. Además de ello, en esta sección se coloca los requerimientos técnicos con la información obtenida de la casa de la calidad.
<b>Desarrollo de soluciones</b>	En esta parte se realizará la estructura funcional y modular, empleando alternativas de soluciones y evaluando cada una de ellas para obtener una solución general.
<b>Desarrollo del producto</b>	En esta parte se evaluará el funcionamiento, se estimará costos, se determina el diseño para la fabricación y ensamble.

Como se muestra en la tabla anterior, se desarrollará a continuación, lo que permitirá determinar la solución de diseño de un robot paralelo destinado a la rehabilitación del cuello, considerando las necesidades del usuario y los requisitos necesarios para soportar los movimientos empleados en la recuperación y rehabilitación.

## **2.2 Especificaciones de diseño**

El diseño de un robot paralelo para la rehabilitación del cuello – cabeza tiene como propósito principal restaurar la movilidad y flexibilidad de los músculos perjudicados. Como también mejorar el coordinación y percepción corporal del paciente mediante ejercicios personalizados y controlados por un profesional, teniendo en cuenta las necesidades del usuario. Además, se accederá a un informe detallado del proceso seguido de un tratamiento según las necesidades del paciente.

### **2.2.1 Casa de la calidad (QFD)**

En esta parte, se presentan las necesidades y consideraciones dichas por el usuario las cuales son definidas de manera técnica por el ingeniero en la casa de la calidad. Lo cual ayuda a que el robot paralelo se desarrolle con ciertas restricciones que permitan la

utilización del usuario. Además de ello, en el ANEXO I, se logra denotar de manera más clara.

### **Voz del usuario**

- Económico
- Adaptabilidad
- Seguro
- Variedad de movilidad
- Eficacia terapéutica
- Feedback en Tiempo real
- Portabilidad

### **Voz del Ingeniero**

- Eficacia terapéutica
- Seguridad del paciente
- Movilidad para rehabilitación y recuperación
- Adaptable a diferentes condiciones
- Monitorizar las sesiones
- Uso del robot paralelo en diferentes entornos
- Costo del robot paralelo

## **2.2.2 Requerimientos técnicos**

Los requerimientos técnicos son definidos empleando la siguiente Tabla 6 referenciado de Riba. [14]

**Tabla 6.** Requerimientos técnicos

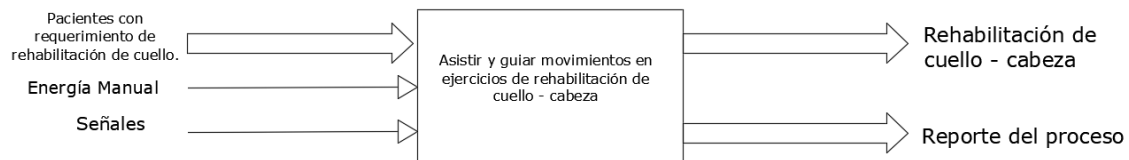
<b>Empresa cliente:</b>	<b>Producto:</b> Robot		<b>Fecha inicial:</b> 11/05/2024	
<b>Diseñador:</b> Abigail Uvillús	Paralelo para rehabilitación de cuello - cabeza		<b>Última revisión:</b> 30/05/2024	
			Páginas 1/1	
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Función	11/5/2024	C	R	Robot paralelo para rehabilitación de cuello - cabeza de tamaño standart
	11/5/2024	D	D	Permitir y facilitar movimientos precisos y controlados
Capacidad	11/5/2024	C	R	Sostener hasta 10 kg, considerando cabeza y accesorios terapéuticos.
Estructura	11/5/2024	D	R	Movimiento con 3 grados de libertad, 2 lineales.
	11/5/2024	C	D	Tamaño ajustable y adaptable para usuarios de edades desde 18 años en adelante.
Seguridad	11/5/2024	C	R	Sensor de parada de emergencia.
	11/5/2024	D	R	Desactivación automática en caso de anomalías.
	11/5/2024	D	D	Límites de movimientos

Al definir los requerimientos técnicos, se determina un perfil para el desarrollo del robot paralelo, en otras palabras, se obtiene una serie de restricciones que ayudan a limitar el campo de trabajo y por consiguiente se podrá llegar a una solución que satisfaga al usuario.



## 2.3 Desarrollo de soluciones

En esta parte se estudia las alternativas para generar soluciones tomando en cuenta la estructura funcional y modular. Además, se tiene a continuación un interfaz entre producto y entorno que en este caso el producto es el robot paralelo.



**Figura 12.** Interfaz de robot paralelo

Fuente: Propia

### 2.3.1 Estructura funcional y modular

#### ➤ Estructura Funcional

Su objetivo es identificar y conectar los flujos de entrada y salida para establecer las funciones dinámicas o estáticas del sistema. También permite centrarse en el propósito específico que debe cumplir el sistema en su totalidad, abarcando las etapas de definición y diseño conceptual. [13]

#### ➤ Estructura Modular

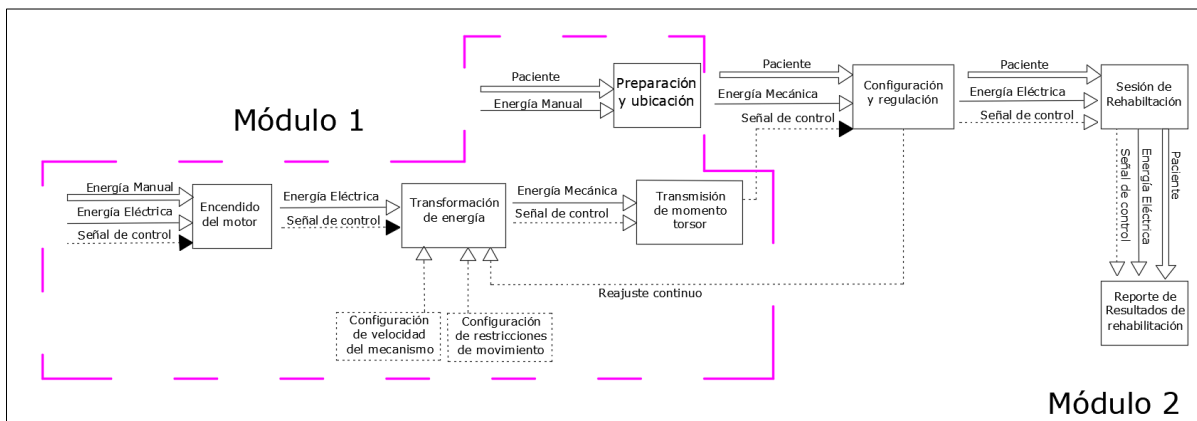
Se compone de módulos los cuales ayudan a estructurar y simplificar las operaciones que componen al mecanismo, de manera que se elabora una secuencia de menor complejidad para facilitar la planificación de producción del mecanismo, reducción de costos y ampliación de posibilidades de integrar nuevas funciones que a su vez faciliten el montaje y el mantenimiento. [13]

### 2.3.2 Determinación de Módulos

Una vez identificada la función global se tiene el siguiente esquema dónde se diferencian los módulos:

- **Módulo 1:** Se basa en la preparación del equipo, la correcta ubicación en el paciente y todo lo que conlleva el encendido del mecanismo, es decir la

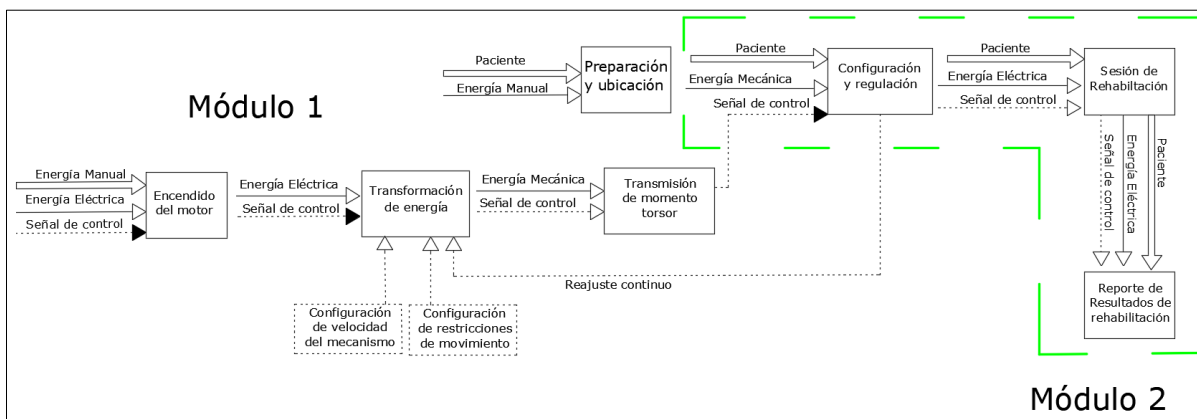
transformación de energía y por ende la transmisión del torque para que el mecanismo tenga su funcionamiento.



**Figura 13.** Estructura Modular – Módulo 1

Fuente: Propia

- **Módulo 2:** Se centra en la configuración y la regulación que se debe tener respecto a la velocidad y restricciones de movimiento del robot paralelo. Como también se denota la sesión final de rehabilitación y el reporte de resultados que se obtiene luego del conjunto de los pasos anteriormente mencionados.

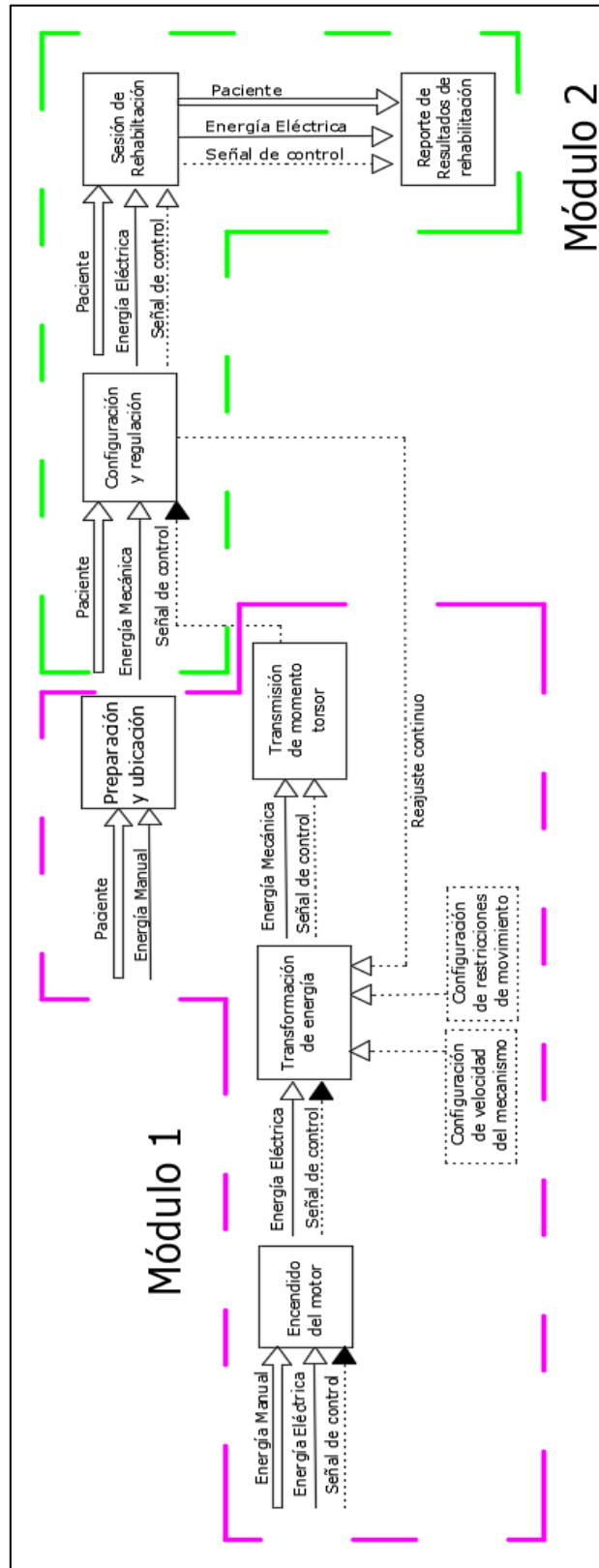


**Figura 14.** Estructura Modular – Módulo 2

Fuente: Propia

De esta manera a continuación, se muestra de manera conjunta cada uno de los módulos anteriormente expuestos.

Una vez definidos los módulos, se identifica las posibles soluciones que pueden existir dentro de cada uno, dando como resultado una solución que se ajuste a los objetivos del robot paralelo para una prestación efectiva de rehabilitación de cuello.



**Figura 15.** Estructura modular completa

Fuente: propia

## 2.3.3 Alternativas de solución – Cuadros morfológicos

### 2.3.3.1 Módulo 1

En este módulo se debe llevar a cabo las siguientes funciones que son base para que el mecanismo tenga su funcionamiento adecuado.

- ✓ Preparación y ubicación del mecanismo
- ✓ Encendido del motor
- ✓ Transformación de energía
- ✓ Transmisión del momento torsor

De esta manera, se desglosa las opciones de solución:

#### ***Preparación y ubicación del mecanismo***

Se tiene tres alternativas para que la preparación y ubicación del mecanismo tenga estabilidad al momento del uso, se presenta a continuación:

- Correas ajustables



**Figura 16.** Correas ajustables

Fuente: [14]

➤ Cierres de velcro



**Figura 17.** Cierres de velcro

Fuente: [15]

➤ Cierres de presión broches



**Figura 18.** Cierres de presión broches

Fuente: [16]

**Tabla 7.** Comparación entre alternativas de la preparación y ubicación

PREPARACIÓN Y UBICACIÓN DEL MECANISMO		
ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Correas reajustables	• Versatilidad: Permite ajustes precisos y personalizados.	• Desgaste: Puede deteriorarse con el tiempo y uso intensivo.
	• Estabilidad: Proporciona un ajuste firme y seguro.	• Tiempo: Ajustes pueden requerir más tiempo en comparación de otros.
	• Costo: Generalmente, es económica y fácil de reemplazar.	• Mantenimiento: Requiere inspección y ajuste regular.
Cierres de Velcro	• Facilidad: Ajuste rápido y sencillo sin herramientas.	• Desgaste: El velcro puede perder adherencia con el tiempo.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptabilidad: Ajuste rápido a diferentes tamaños y posiciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruidos: Puede hacer ruido al abrir o cerrar.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento: Requiere poco mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos: Puede acumular polvo y suciedad, afectando su eficacia.</li> </ul>
Cierres de presión broches	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad: Proporciona un ajuste firme y seguro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad: Puede requerir herramientas para ajustes.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilidad: Generalmente, es robusto y resistente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo: Puede ser más costoso en comparación con correas y velcro.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad: Menos propenso a cambios no deseados en el ajuste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad: Ajustes pueden ser menos precisos que otros métodos.</li> </ul>

### ***Encendido del motor***

Para el encendido del motor del robot paralelo se presentan tres alternativas. A continuación, se detallan estas opciones, cada una con sus ventajas y aplicaciones específicas. Estas alternativas son esenciales para garantizar un funcionamiento eficiente y adaptado a diferentes necesidades operativas.

- Llave de encendido



**Figura 19.** Llave de encendido

Fuente: [17]

➤ Botón manual



**Figura 20.** Botón manual

Fuente: [18]

**Tabla 8.** Comparación entre alternativas de encendido del motor

ENCENDIDO DEL MOTOR		
ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Llave de encendido	• Seguridad: Previene encendidos no autorizados.	• Costo: Puede ser más costosa debido al sistema de bloqueo.
	• Control: Requiere una acción física específica para encender.	• Complejidad: Puede ser más complicado en caso de pérdida de la llave.
	• Fiabilidad: Menos propenso a fallos eléctricos.	• Instalación: Puede requerir una instalación más compleja.
Botón manual	• Simplicidad: Fácil de usar y de instalar.	• Acceso físico: Requiere acceso directo al robot para encenderlo.
	• Bajo costo: Generalmente, es una opción económica.	• Seguridad: Puede ser encendido accidentalmente si no está debidamente protegido.
	• Mantenimiento: Requiere poco mantenimiento.	• Control: Menos control sobre el encendido en entornos difíciles.

***Transformación de energía***

Para la transformación de energía se presentan tres alternativas. A continuación, se detallan estas opciones, cada una con sus características únicas. Estas alternativas permiten adaptar la energía a diversas aplicaciones y necesidades.

➤ Motores paso a paso



**Figura 21.** Motores paso a paso

Fuente: [19]

➤ Servomotores



**Figura 22.** Servomotores

Fuente: [19]

**Tabla 9.** Comparación entre alternativas de transformación de energía

TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA		
ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Motores paso a paso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión: Ofrecen un control preciso del movimiento angular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad: Generalmente, tienen una velocidad más baja comparada con otros motores.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control: Permiten control de posición sin necesidad de sensores adicionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración: Pueden generar vibraciones durante el funcionamiento.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programabilidad: Fáciles de integrar en sistemas de control digital.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo: Pueden consumir más energía en comparación con servomotores.</li> </ul>
Servomotores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión: Alta precisión y control de posición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo: Generalmente más costosos que los motores paso a paso y electroimanes.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versatilidad: Adecuados para una amplia gama de aplicaciones y cargas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad: Requieren un sistema de control más complejo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feedback: Integran sistemas de retroalimentación para mejorar el control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento: Pueden requerir más mantenimiento y calibración.</li> </ul>

### ***Transformación del momento torsor***

Para la transformación del momento torsor se disponen de tres alternativas. A continuación, se presentan estas opciones, cada una con sus características particulares. Estas alternativas facilitan la adaptación y control del momento torsor en diferentes aplicaciones.

- Engranajes rectos



**Figura 23.** Engranajes rectos

Fuente: [18]

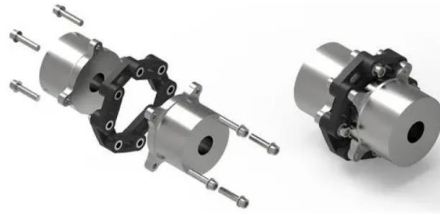
- Juntas universales (Belden)



**Figura 24.** Juntas universales (Belden)

Fuente: [18]

➤ Acoples flexibles



**Figura 25.** Acoples flexibles

Fuente: [17]

**Tabla 10.** Comparación entre alternativas de transformación de momento torsor

TRANSFORMACIÓN DE MOMENTO TORSOR		
ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Engranajes rectos	• Eficiencia: Alta eficiencia en la transmisión de torque.	• Ruido: Pueden generar más ruido durante el funcionamiento.
	• Precisión: Proporcionan un control preciso del movimiento.	• Espacio: Requieren más espacio debido a su diseño lineal.
	• Durabilidad: Generalmente, son robustos y duraderos.	• Desgaste: Su vida útil puede verse afectada por el desgaste y la necesidad de lubricación.
Juntas Universales (Cardán)	• Flexibilidad: Permiten la transmisión de torque en ángulos variados.	• Pérdida de Eficiencia: Pueden tener una pérdida de eficiencia en la transmisión de torque.
	• Adaptabilidad: Adecuadas para aplicaciones donde se requiere compensar desalineaciones.	• Mantenimiento: Requieren mantenimiento regular para evitar el desgaste.
	• Espacio: Ocupan menos espacio en comparación con los engranajes.	• Vibraciones: Pueden introducir vibraciones y oscilaciones.

Acoples Flexibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorción de Desalineación: Compensan desalineaciones y errores de montaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de Carga: Generalmente, tienen una capacidad de carga menor comparada con engranajes y juntas universales.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de Vibraciones: Ayudan a reducir las vibraciones en la transmisión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión: Menos precisos en comparación con engranajes en la transmisión de torque.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación: Fáciles de instalar y ajustar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilidad: Pueden desgastarse con el tiempo y el uso intensivo.</li> </ul>

A continuación, se presenta, la matriz morfológica referente al módulo 1.

**Tabla 11.** Matriz morfológica del Módulo 1

Funciones	Alternativas de Solución
Preparación y ubicación del mecanismo	
Encendido del motor	
Transformación de energía	
Transmisión del momento torsor	
Opciones	<p style="text-align: center;"> <span style="color: yellow;">Alternativa 1</span>      <span style="color: red;">Alternativa 2</span>      <span style="color: blue;">Alternativa 3</span> </p>

### 2.3.3.2 MÓDULO 2

Como se indica en la estructura modular correspondiente, las funciones que se deben cumplir son:

- ✓ Configuración y Regulación
- ✓ Sesión de rehabilitación

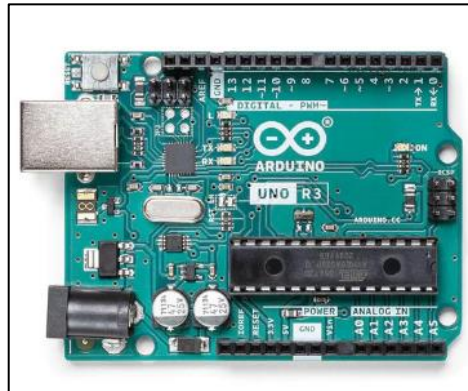
- ✓ Reporte de resultados de rehabilitación.

De esta manera, se tiene las siguientes opciones de solución:

### **Configuración y Regulación**

Para la configuración y regulación se ofrecen tres alternativas. A continuación, se describen estas opciones, cada una adaptada a distintos requisitos operativos. Estas alternativas permiten una configuración precisa y eficiente según las necesidades del sistema.

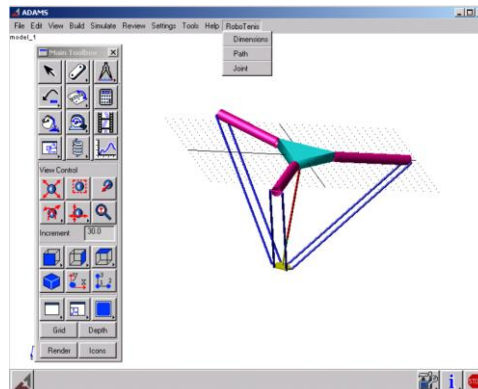
- Placas de microcontroladores



**Figura 26.** Placas de microcontroladores

Fuente: [17]

- Software de simulación y control



**Figura 27.** Software de simulación y control

Fuente: [17]

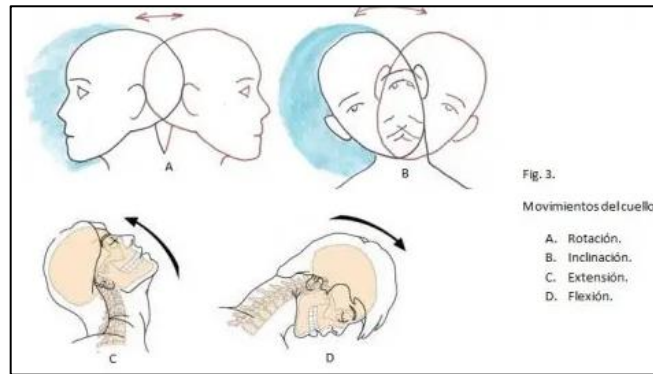
**Tabla 12.** Comparación entre alternativas de Configuración y regulación

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>Placas de microcontroladores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Adaptabilidad:</b> Ofrecen la posibilidad de programación personalizada y ajustes específicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Complejidad:</b> Requiere habilidades técnicas para la programación y configuración.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Costo:</b> Suele ser una opción más económica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Desarrollo:</b> Puede implicar tiempo adicional para desarrollar y depurar el código.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interoperabilidad:</b> Se integran fácilmente con diversos sensores y actuadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Limitaciones:</b> Las capacidades están condicionadas por las especificaciones del hardware.</li> </ul>
<b>Software de simulación y control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Previsión:</b> Facilita la simulación y visualización del comportamiento del robot antes de la implementación física.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Costo:</b> Puede ser caro y requerir licencias para software especializado.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Optimización:</b> Permite ajustar y optimizar parámetros sin necesidad de modificar el hardware.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dependencia:</b> Requiere una infraestructura informática adecuada y puede depender de la calidad del software.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Integración:</b> Puede integrarse con sistemas de control en tiempo real para ajustes dinámicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aprendizaje:</b> Puede presentar una curva de aprendizaje considerable para nuevos usuarios.</li> </ul>

### **Sesión de rehabilitación**

Para la sesión de rehabilitación del cuello, se dispone de una alternativa que abarca los tres tipos de movimiento necesarios. Esta opción se destaca por su capacidad para abordar flexión, extensión y rotación del cuello de manera integral. Esta solución ofrece un enfoque completo y eficaz para la rehabilitación.

➤ Ejercicios de rango de movimiento (ROM)



**Figura 28.** Ejercicios de rango de movimiento

Fuente: [20]

**Tabla 13.** Comparación entre alternativas de Configuración y regulación

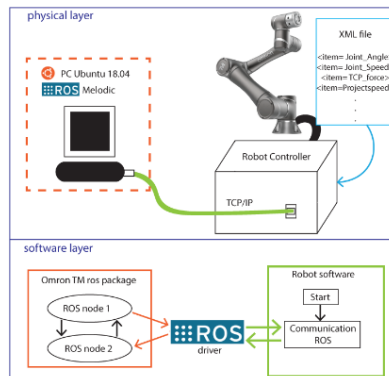
SESIÓN DE REHABILITACIÓN		
ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ejercicios de rango que no detecten plagio (ROM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora del Rango Articular: Los ejercicios de ROM ayudan a recuperar y mantener el rango de movimiento en las articulaciones afectadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere Consistencia: Para obtener resultados óptimos, es necesario realizar los ejercicios de manera constante y regular.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención de Rigidez: Facilita la prevención de rigidez articular y la pérdida de movilidad que puede ocurrir con la inmovilización prolongada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptación Necesaria: Puede ser necesario ajustar los ejercicios para cada paciente según sus necesidades específicas y nivel de progreso.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de Flexibilidad: Contribuye a aumentar la flexibilidad y a mejorar la funcionalidad general del área tratada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riesgo de Dolor: Los pacientes pueden experimentar dolor o molestias al realizar ejercicios si no se ajustan correctamente.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecimiento Muscular Suave: Ayuda en el fortalecimiento gradual de los músculos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo Requerido: Es esencial supervisar y ajustar los ejercicios para evitar posibles lesiones y</li> </ul>

	alrededor de la articulación sin sobrecargar el área.	asegurar que se realicen correctamente.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejora de la Coordinación: Promueve la coordinación y la sincronización de los movimientos en las articulaciones afectadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de Recuperación: Puede llevar tiempo ver mejoras significativas, y el proceso puede ser más lento en comparación con otros métodos de rehabilitación.</li> </ul>

### Reporte de resultados de rehabilitación

Para el reporte de resultados de rehabilitación, se dispone de una alternativa que proporciona un análisis integral de los tres tipos de movimientos del cuello. Esta opción permite evaluar detalladamente la flexión, extensión y rotación. Así, se garantiza un informe completo y preciso sobre el progreso de la rehabilitación.

#### ➤ Software de supervisión y control (ROS)



**Figura 29.** Software de supervisión y control (ROS)

Fuente: [20]

#### ➤ Automatización mediante scripts

```

1 #!/bin/bash
2
3 # Script de automatización
4 # Este script se ejecutará automáticamente cuando se ejecute el comando 'run'
5 # Este script se ejecutará automáticamente cuando se ejecute el comando 'run'
6 # Este script se ejecutará automáticamente cuando se ejecute el comando 'run'
7
8 # Definición de variables
9 # Definición de variables
10 # Definición de variables
11
12 # Ejecución de comandos
13 # Ejecución de comandos
14 # Ejecución de comandos
15
16 # Fin del script
17
18 # Ejecución de comandos
19 # Ejecución de comandos
20 # Ejecución de comandos
21
22 # Fin del script
23
24 # Ejecución de comandos
25 # Ejecución de comandos
26 # Ejecución de comandos
27
28 # Fin del script
29
30 # Ejecución de comandos
31 # Ejecución de comandos
32 # Ejecución de comandos
33
34 # Fin del script
35
36 # Ejecución de comandos
37 # Ejecución de comandos
38 # Ejecución de comandos
39
40 # Fin del script
41
42 # Ejecución de comandos
43 # Ejecución de comandos
44 # Ejecución de comandos
45
46 # Fin del script
47
48 # Ejecución de comandos
49 # Ejecución de comandos
50 # Ejecución de comandos
51
52 # Fin del script
53
54 # Ejecución de comandos
55 # Ejecución de comandos
56 # Ejecución de comandos
57
58 # Fin del script
59
60 # Ejecución de comandos
61 # Ejecución de comandos
62 # Ejecución de comandos
63
64 # Fin del script
65
66 # Ejecución de comandos
67 # Ejecución de comandos
68 # Ejecución de comandos
69
70 # Fin del script
71
72 # Ejecución de comandos
73 # Ejecución de comandos
74 # Ejecución de comandos
75
76 # Fin del script
77
78 # Ejecución de comandos
79 # Ejecución de comandos
80 # Ejecución de comandos
81
82 # Fin del script
83
84 # Ejecución de comandos
85 # Ejecución de comandos
86 # Ejecución de comandos
87
88 # Fin del script
89
90 # Ejecución de comandos
91 # Ejecución de comandos
92 # Ejecución de comandos
93
94 # Fin del script
95
96 # Ejecución de comandos
97 # Ejecución de comandos
98 # Ejecución de comandos
99
100 # Fin del script
  
```

**Figura 30.** Automatización con Scripts

Fuente: [20]

**Tabla 14.** Comparación entre alternativas de Reporte de resultados de rehabilitación

<b>REPORTE DE RESULTADOS DE REHABILITACIÓN</b>		
<b>ALTERNATIVA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Software de Supervisión y Control (ROS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración: Ofrece una plataforma robusta para la integración con diversos sensores y actuadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curva de Aprendizaje: Puede requerir tiempo para aprender y configurar adecuadamente.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad: Permite el desarrollo de aplicaciones personalizadas para el monitoreo y análisis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos del Sistema: Necesita un entorno informático adecuado para su funcionamiento óptimo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunidad Activa: Amplia comunidad de usuarios y desarrolladores que contribuyen con soporte y actualizaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad: Puede haber problemas de compatibilidad con algunos sistemas o hardware específicos.</li> </ul>
Automatización Mediante Scripts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personalización: Permite la creación de procesos automatizados ajustados a necesidades específicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia de Código: Requiere conocimientos de programación para desarrollar y mantener los scripts.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia: Reduce el tiempo necesario para generar reportes y realizar tareas repetitivas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento: Los scripts pueden necesitar actualizaciones y ajustes continuos para adaptarse a cambios en el sistema.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de Errores: Minimiza los errores humanos al automatizar tareas y procesos repetitivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad: La complejidad de los scripts puede aumentar con la funcionalidad requerida.</li> </ul>

De esta manera se tiene la siguiente matriz morfológica, donde se puede observar un resumen de las alternativas de solución que presenta el Módulo 2.



**Tabla 15.** Matriz morfológica del Módulo 2

Funciones	Alternativas de Solución	
Configuración y Regulación	Placas de microcontrolador	Software de simulación y control
Sesión de rehabilitación	Ejercicios de rango de movimiento (ROM)	
Reporte de resultados de rehabilitación.	Software de supervisión y control (ROS)	Automatización mediante scripts
Opciones	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>

### 2.3.4 Alternativas de solución

Una vez definida cada una de las alternativas de solución para cada módulo, se analiza mediante el criterio de selección de alternativas.

Por tanto, para el módulo 1 se tiene lo siguiente:

- ✓ Alternativa de solución 1: Correas ajustables, botón de encendido, motor paso a paso y juntas universales (cardán).
- ✓ Alternativa de solución 2: Cierre de velcro, llave de encendido, motor paso a paso y engranes rectos.
- ✓ Alternativa de solución 3: Cierre de presión de broches, botón de encendido, servomotor y acoples flexibles.

Para realizar la evaluación del peso específico se toma en cuenta los siguientes criterios.

- Accesibilidad, uno de los parámetros necesarios para tener la facilidad de que el mecanismo tenga ajustes.
- Ergonomía, se debe tener en cuenta para satisfacer la comodidad del usuario y de la misma manera aumentar la eficiencia del equipo.
- Seguridad, este es uno de los parámetros más importantes debido a que se enfoca en la protección de los usuarios.

➤ Capacidad de carga, una de las características que se toma en consideración para la selección del motor y por ende para el correcto funcionamiento del mecanismo. Por lo tanto, se tiene la siguiente tabla, donde se presenta la evaluación del peso específico con su respectiva ponderación. Teniendo en consideración que:

**Tabla 16.** Valoración de cada criterio

Seguridad > Accesibilidad > Capacidad de carga > Ergonomía						
Criterio	Seguridad	Accesibilidad	Capacidad de carga	Ergonomía	$\Sigma+1$	Valoración
Seguridad		1	1	1	3	0.5
Accesibilidad	0		1	1	2	0.33
Capacidad de carga	0	0		1	1	0.17
Ergonomía	0	0	0		0	0
				SUMA	6	

Ahora se realiza la evaluación de cada criterio en cada una de las alternativas de solución.

1. Evaluación del peso específico de la "Seguridad"

**Tabla 17.** Valoración de criterio de Solución

Opción de resolución 1 > Opción de resolución 2 > Opción de resolución 3						
Seguridad	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	Opción de resolución 3	$\Sigma+1$	Valoración	
Opción de resolución 1		1	1	2	0.66666667	
Opción de resolución 2	0		1	1	0.33333333	
Opción de resolución 3	0	0		0	0	
				SUMA	3	1

2. Evaluación del peso específico de la “Accesibilidad”

**Tabla 18.** Valoración de criterio de Accesibilidad

Opción de resolución 1 > Opción de resolución 2 > Opción de resolución 3					
Accesibilidad	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	Opción de resolución 3	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		1	0	1	1
Opción de resolución 2	1		0	1	0.5
Opción de resolución 3	0	0		0	0
SUMA				2	1

3. Valoración del peso específico de la “Capacidad de carga”

**Tabla 19.** Valoración de criterio de Capacidad de carga

Opción de resolución 3 > Opción de resolución 1 > Opción de resolución 2					
Capacidad de carga	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	Opción de resolución 3	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		1	0	1	0.67
Opción de resolución 2	0		0	0	0
Opción de resolución 3	1	1		2	0.67
SUMA				3	1

4. Valoración del peso específico de la “Ergonomía”

**Tabla 20.** Valoración de criterio de Ergonomía

Opción de resolución 1 > Opción de resolución 2 > Opción de resolución 3					
Ergonomía	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	Opción de resolución 3	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		1	1	2	0.67
Opción de resolución 2	0		1	1	0.33
Opción de resolución 3	0	0		0	0
SUMA				3	1

5. Resumen de Valoración de soluciones

**Tabla 21.** Valoración total

Ergonomía	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	Opción de resolución 3	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		1	1	2	0.67
Opción de resolución 2	0		1	1	0.33
Opción de resolución 3	0	0		0	0
SUMA				3	1

Por consiguiente, de la tabla anterior se determina que la Valoración más alta entre las 3 alternativas de soluciones es la Solución 1. De esta manera, la opción más adecuada para el diseño conceptual del robot paralelo es emplear correas ajustables, botón de encendido, motor paso a paso y juntas universales (cardán). Las cuales cumplen con todos los criterios anteriormente observados.

Mientras que para el módulo 2 se tiene las siguientes alternativas:

- ✓ Opción de resolución 1: Software de simulación y control, ejercicios de rango de movimiento (ROM), automatización mediante scripts
- ✓ Opción de resolución 2: Placas de microcontrolador, ejercicios de rango de movimiento (ROM), Software de supervisión y control (ROS)

De la misma manera para este módulo, se toma en cuenta los siguientes criterios:

- a. Diagnóstico previo, este parámetro ayuda a tener el conocimiento del estado del usuario, es decir, las necesidades.
- b. Rango de movimientos, es una de las características que limita los movimientos del robot paralelo.
- c. Velocidad de operación, es uno de los criterios importantes dentro de la configuración del mecanismo, debido a que ayuda a que los movimientos no sean violentos y por ende no exista ningún tipo de lesión.
- d. Paradas de emergencia, una de las características que ayuda a la seguridad de la utilización del mecanismo.
- e. Interfaz HMI, este criterio facilita el monitoreo del sistema tanto al usuario como al terapeuta.

**Tabla 22.** Valoración de cada criterio del módulo 2

Diagnóstico previo > Velocidad de operación > Rango de movimientos > Interfaz HMI = Paradas de emergencia

Criterio	Diagnóstico previo	Velocidad de operación	Rango de movimientos	Interfaz HMI	Paradas de emergencia	$\Sigma+1$	Valoración
Diagnóstico previo		1	1	1	1	4	0.4
Velocidad de operación	0		1	1	1	3	0.3
Rango de movimientos	0	0		1	1	2	0.2
Interfaz HMI	0	0	0		0.5	0.5	0.05
Paradas de emergencia	0	0	0	0.5		0.5	0.05
SUMA						10	1

De la misma manera, que el módulo anterior se realiza una Valoración entre las soluciones y cada uno de los criterios.

1. Evaluación del peso específico “Diagnóstico previo”

**Tabla 23.** Valoración de criterio de Diagnóstico previo

Opción de resolución 1 > Opción de resolución 2

Diagnóstico previo	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		1	1	1
Opción de resolución 2	0		0	0
SUMA			1	1

2. Evaluación del peso específico “Rango de movimientos”

**Tabla 24.** Valoración de criterio de Rango de movimientos

Opción de resolución 2 > Opción de resolución 1				
Rango de movimientos	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		0	0	0
Opción de resolución 2	1		1	1
		SUMA	1	1

3. Valoración del peso específico “Velocidad de operación”

**Tabla 25.** Valoración de criterio de Velocidad de operación

Opción de resolución 2 > Opción de resolución 1				
Velocidad de operación	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		0	0	0
Opción de resolución 2	1		1	1
		SUMA	1	1

4. Evaluación del peso específico “Paradas de emergencia”

**Tabla 26.** Valoración de criterio de Paradas de emergencia

Opción de resolución 2 > Opción de resolución 1				
Paradas de emergencia	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		0	0	0
Opción de resolución 2	1		1	1
		SUMA	1	1

5. Evaluación del peso específico “Interfaz HMI”

**Tabla 27.** Valoración de criterio de Interfaz HMI

Opción de resolución 1 > Opción de resolución 2				
Interfaz HMI	Opción de resolución 1	Opción de resolución 2	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1		1	1	1
Opción de resolución 2	0		0	0
		SUMA	1	1



## 6. Resumen de soluciones de criterios

**Tabla 28.** Valoración total

Criterio	Diagnóstico previo	Velocidad de operación	Rango de movimientos	Interfaz HMI	Paradas de emergencia	$\Sigma+1$	Valoración
Opción de resolución 1	0.40	0	0.000	0.05	0	0.45	2
Opción de resolución 2	0.00	0.3	0.20	0	0.05	0.55	1

De la tabla anterior se puede determinar que la **solución 2** tiene la mayor prioridad a comparación de la otra opción. Es por ello que se determina que, para el módulo funcional, donde se configura el mecanismo, se opta por emplear placas de microcontrolador, ejercicios de rango de movimiento (ROM) y Software de supervisión y control (ROS) para su mejor funcionamiento.

### 2.3.5 Solución propuesta general

A partir de la evaluación del peso específico de cada uno de los criterios, se llega a la siguiente solución para el robot paralelo, tomando en cuenta las especificaciones técnicas, la voz del usuario y demás temas desarrollados anteriormente.

**Tabla 29.** Solución General

	<b>Soluciones</b>	<b>Solución definitiva</b>
<b>MÓDULO 1</b>	Preparación y ubicación del mecanismo	
	Encendido del motor	
	Transformación de energía	
	Transmisión del momento torsor	
<b>MÓDULO 2</b>	Configuración y Regulación	
	Sesión de rehabilitación	
	Reporte de resultados de rehabilitación.	

### 2.3.6 Descripción detallada

Para determinar el valor del motor necesario para mover un prototipo de robot paralelo destinado a la rehabilitación del cuello, es esencial considerar varios factores clave. Primero, se debe tener en cuenta el peso promedio de una cabeza humana, que es aproximadamente 5,5 kg. Este peso es fundamental para calcular la fuerza que el motor debe aplicar para mover el robot adecuadamente. Además, es crucial considerar el momento torsor o torque requerido para girar o inclinar la cabeza. El torque se puede calcular multiplicando la fuerza (debido al peso de la cabeza) por la distancia desde el punto de apoyo (generalmente el centro del cuello). Con esta información, se puede determinar la potencia necesaria para el motor, que es el producto del torque y la velocidad angular a la que debe operar el motor. Así, asegurando que el motor tenga la capacidad adecuada para proporcionar tanto la fuerza como la velocidad necesaria, se garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del prototipo de rehabilitación.

Es por ello que para la siguiente tabla se tiene los siguientes datos:

$$m_c = 5,5 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$d_c = 14 \text{ [m]}$$

$$\omega = 0,084 \text{ [rad/s]}$$

Tomando en cuenta que  $m_c$  es el valor promedio de la cabeza en kg, así como  $d_c$  es la distancia crítica que se tiene al mover de manera lateral la cabeza y  $\omega$  que es el promedio de la velocidad angular que se requiere para obtener el movimiento de la cabeza de la mayor parte de personas.

**Tabla 30.** Variables de cálculo

	<b>Peso de la cabeza</b>	<b>Torque</b>	<b>Potencia del motor</b>
<b>FORMULAS</b>	$P_c = m_c * g$	$\tau = F_p * d_p$	$P = \tau * \omega$
<b>RESULTADOS</b>	$P_c = 53,96 \text{ [N]}$	$\tau = 7,55 \text{ [Nm]}$	$P = 0,634 \text{ [W]}$

De los resultados obtenido en la Tabla 29, se denota que se necesita un motor de potencia 0,634 [W], es decir, que es 0,85 hp equivalente a un motor de 1 [hp] para la propuesta de solución general que se ha descrito anteriormente.

Por ende, los motores que se puede emplear son motores lineales, servomotores, motores paso a paso, motores sin escobillas, entre otros. De tal manera que la solución general propuesta se ha seleccionado con éxito.

### **2.3.7 Elaboración del prototipo de robot paralelo**

A continuación, se presenta de manera detallada el proceso de fabricación de cada una de las partes que se ha desarrollado para la construcción del prototipo.



**Tabla 31.** Proceso de fabricación del prototipo

<p><b>COMPONENTES SIN RECUBRIMIENTO</b></p>	
<p><b>PROCESO DE PINTURA ELECTROSTÁTICA</b></p>	

**Tabla 32.** Componentes fabricados



<p><b>COMPONENTE FABRICADO</b></p>	<p><b>EVIDENCIA FOTOGRÁFICA</b></p>	<p><b>NÚMERO DE PLANO</b></p>
<p>Base fija posterior</p>		<p>24-UIO-90-07</p>

<p>Acople De Junta Tipo Belden Simple</p>		<p>24-UIO-90-08</p>
<p>Unión estática</p>		<p>24-UIO-90</p>
<p>Base fija delantera</p>		<p>24-UIO-90-09</p>
<p>Junta tipo Belden simple con salida roscada</p>		<p>24-UIO-90-02</p>
<p>Eslabón doble sentido compacto</p>		<p>24-UIO-90-03</p>

Eslabón regulable		24-UIO-90-04
Eslabón doble sentido extendido		24-UIO-90-05
Junta tipo Belden simple con salida rodela plana		24-UIO-90-06

**Tabla 33.** Componentes no fabricados

<b>COMPONENTE NO FABRICADO</b>	<b>EVIDENCIA FOTOGRÁFICA</b>	<b>CÓDIGO DE PLANO</b>
Sistema de ajuste de casco tipo trinquete		24-UIO-90-13
Perno		24-UIO-90-10

Tuerca de seguridad		24-UIO-90-12
Rodela plana		24-UIO-90-11

En la Tabla 29 se puede evidenciar el proceso de fabricación del prototipo, que se ha realizado empleando platina de acero A36 laminado al caliente de 1/2" x 1/8", debido a que se tiene facilidad de realizar procesos de soldadura, mecanizado, corte, entre otros. Además, se reduce el desperdicio del material, lo cual aumenta la eficiencia del uso. Mientras que para la ejecución de la base fija posterior y delantera se utiliza lámina galvanizada al frío de 0.9 mm de espesor.

Una vez realizada cada una de las piezas que componen el prototipo se expusieron al proceso de recubrimiento mediante la aplicación de pintura electrostática, de esta manera se previene que sea expuesto a las condiciones de abrasión, corrosión y rayos UV, además que soporta altas temperaturas, mejora el aspecto estético y tiene un acabado uniforme.

Del mismo modo en la Tabla 30 se distinguen de manera individual los componentes fabricados y revestidos con el acabado de pintura electrostática, así como también el número de plano que le corresponde.

Simultáneamente en la Tabla 31 se encuentran los componentes que no han sido fabricados como es el sistema de ajuste de casco tipo trinquete, pernos y tuercas de 1/4" en acero inoxidable que son esenciales para las juntas de cada eslabón.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Ensamble del prototipo del robot paralelo

Según la estructura modular y la selección de alternativas de solución, se determina que el ensamblaje o solución general es la siguiente: el diseño se compone de módulos independientes, cada uno optimizado para su función específica, permitiendo una integración eficiente y flexible. La solución seleccionada combina componentes estandarizados y personalizados, asegurando compatibilidad y facilidad de mantenimiento. Esta configuración garantiza rendimiento óptimo y adaptabilidad a futuras modificaciones.

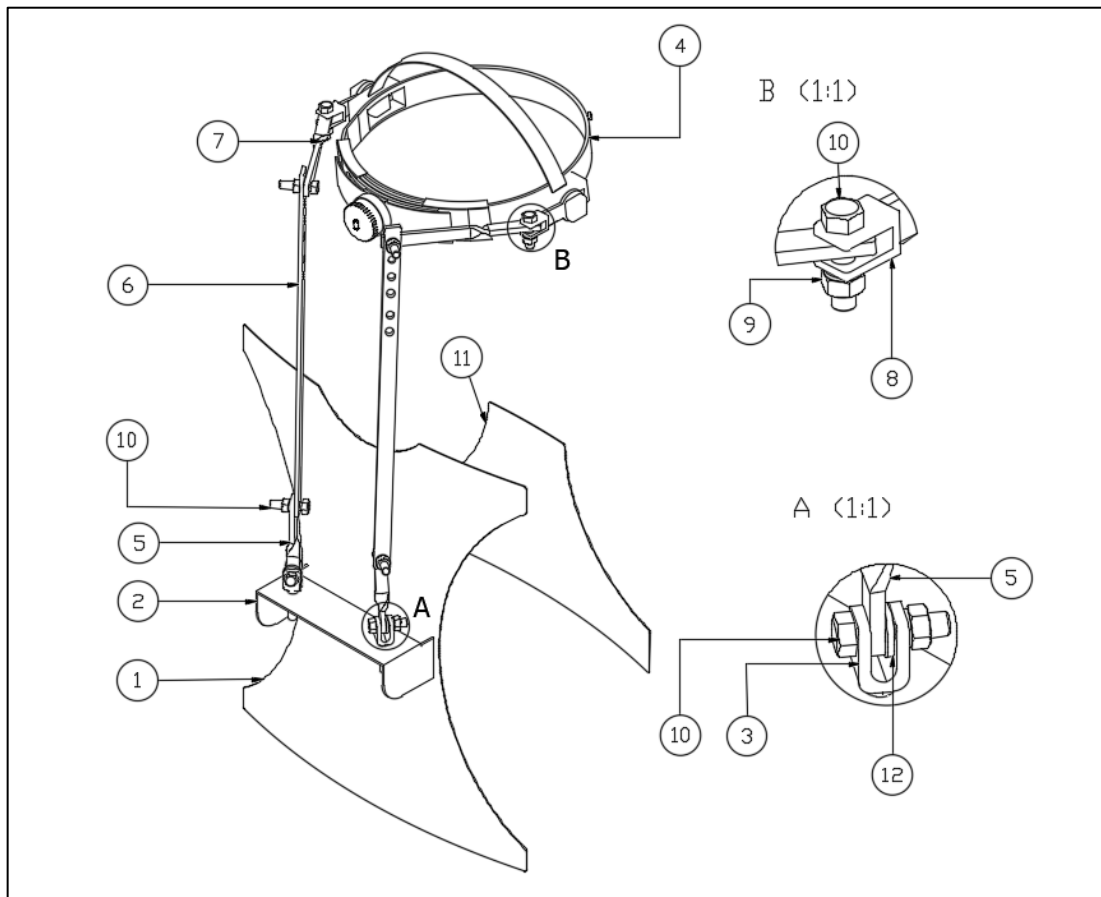


Figura 31. Solución General – Prototipo

Fuente: Propia

#### 3.2 Rangos de movimiento del prototipo robot paralelo

Se presenta la siguiente tabla, detallando los movimientos que se puede realizar con el prototipo realizado.



**Tabla 34.** Rangos de movimiento del prototipo

<b>MOVIMIENTO DE FLEXIÓN</b>	<b>MOVIMIENTO DE EXTENSIÓN</b>
	
<b>MOVIMIENTO DE ROTACIÓN</b>	<b>MOVIMIENTO DE FLEXIÓN LATERAL</b>
	

Una vez que se obtiene el modelo completo del ensamble del prototipo se comprueba que realice todos los movimientos mencionados en la Tabla 3.

El prototipo realizado cumple con los movimientos del cuello de manera eficiente y precisa, como se puede observar en la Tabla 33. Esta tabla muestra los rangos de movimiento alcanzados por el prototipo, incluyendo la flexión, extensión, rotación y inclinación lateral, comparándolos con los rangos naturales del cuello humano. Los datos indican que el robot puede replicar fielmente los movimientos necesarios para la rehabilitación, asegurando que los pacientes reciban una terapia adecuada y segura.

### **3.3 Planos de diseño de componentes**

Es crucial destacar que la sección de anexos contiene los planos detallados de todas las piezas del prototipo del robot paralelo. Estos planos ofrecen especificaciones y dimensiones exactas necesarias para su fabricación y ensamblaje. También incluyen vistas en planta, laterales e isométricas que ayudan a entender el diseño modular y su integración.

La inclusión de estos planos garantiza la transparencia del proceso de fabricación y respalda futuras revisiones técnicas.

En la parte 5 ANEXOS de este escrito, se encuentran ubicados los planos individuales y de conjunto.

### **3.4 Conclusiones**

- Se logra una solución integral al considerar los dispositivos y mecanismos actuales, además de integrar aspectos médicos, ergonómicos y de seguridad. Este enfoque asegura que el robot paralelo diseñado sea efectivo y seguro para la rehabilitación del cuello, abordando todas las necesidades y riesgos potenciales.
- A través del análisis funcional y modular, se identifican diversas alternativas de solución que simplifican la obtención del robot paralelo final. Este análisis permite optimizar cada componente del sistema, asegurando que el robot cumpla con los requisitos necesarios para la rehabilitación eficiente del cuello.
- Se desarrolla un modelo en 3D del prototipo del robot paralelo, utilizando medidas estándar y detallando los planos individuales y de taller. Este modelo tridimensional facilita la fabricación precisa y el ensamblaje del robot, proporcionando una representación clara del diseño final.

- Finalmente, se construye un prototipo físico y se verifica su capacidad para replicar los movimientos del cuello durante la rehabilitación. Se realiza un análisis detallado del motor para garantizar su adecuación. Sin embargo, la parte de control y automatización podría necesitar ajustes adicionales para optimizar el rendimiento del sistema.

### **3.5 Recomendaciones**

- Considerando la función modular y selección de alternativas se sugiere seleccionar un motor paso a paso de manera que se tome en cuenta las especificaciones técnicas que debe cumplir el robot paralelo para su desarrollo. Además de brindar la seguridad al usuario. Sin embargo, si existen variaciones de dimensionamiento, esta selección tiende a cambiar.
- En busca de implementar mejoras para el diseño conceptual anteriormente desarrollado, es recomendable que al realizar la siguiente parte de automatización se emplee un sistema de mantenimiento preventivo, de manera que se pueda garantizar un mayor tiempo posible de vida útil.
- Si existe el caso de realizar modificaciones al prototipo de robot paralelo, es importante considerar las partes que lo componen, la funcionalidad y el material empleado, puesto que son componentes sumamente importantes para que conserve los movimientos del cuello-cabeza.

## **4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1] S. Cardona, Teoría de máquinas, Barcelona: UPC, 2001.
- [2] G. S. Josué Navarrete, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y PRUEBAS DE UN ROBOT PARALELO 3UPS + 1RPU PARA REHABILITACIÓN DE RODILLA,» Quito, 2019.
- [3] N. X. G. Alvarez, «Desarrollo de un entorno de simulación para un robot paralelo activado por ocho cables,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2017.
- [4] D. A. B. López, Diseño detallado y construcción de un robot paralelo (el ojo ágil), Uniandes, 2015.
- [5] J. S. M. H. N. S. Wladimir Pachacama, «Diseño y Construcción de un prototipo de robot Delta para aplicaciones pick & place,» IEE, Quito, 2017.

- [6] P. Escudero, «Posicion anatómica ejes planos,» 04 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/posicion-anatmica-ejes-planos/130493941>. [Último acceso: 11 Julio 2024].
- [7] M. Navarro, «Estructura y partes de la columna vertebral,» 23 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.ilerna.es/blog/partes-estructura-columna-vertebral>. [Último acceso: 09 Julio 2024].
- [8] S. Tixa, Atlas of Surface Palpation, Elsevier, 2015.
- [9] Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares, Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://espanol.ninds.nih.gov/es/trastornos/esclerosis-lateral-amiotrofica-ela>. [Último acceso: 23 Febrero 2024].
- [10] M. R. Jouvencel, Latigazo cervical y colisiones a baja velocidad, Madrid: Díaz de Santos, S.A., 2003.
- [11] R. R. A. Fabio Salinas Durán, Rehabilitación en salud, 2.a edición, Antioquia: Universidad de Antioquia, 2008.
- [12] F. Micheli, Tratado de neurología clínica, Médica Panamericana, 2002.
- [13] J. A. T. G. D. C. Mónica García, Fundamentos del diseño en la ingeniería, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2009.
- [14] C. Riba, Ingeniería concurrente, Barcelona: UPC, 2006.
- [15] «Oechsle,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.oechsle.pe/paquetes-de-correas-de-pecho-ajustables-para-mochila-tomtop-y23038-negro-1000293789/p>. [Último acceso: 12 Junio 2024].
- [16] «Mercado Libre,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.mercadolibre.com.ec/kit-de-herramientas-de-reparacion-de-cierres-de-bicicleta-super-wrap-con-cinta-de-velcro-color-negro/p/MEC32057225>. [Último acceso: 13 Junio 2024].
- [17] «Etsy,» 2024. [En línea]. Available: [https://www.etsy.com/es/listing/593599593/broche-de-cuero-para-cinturon-y-armadura?ref=ap-listing&dd\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.etsy.com/es/listing/593599593/broche-de-cuero-para-cinturon-y-armadura?ref=ap-listing&dd_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F). [Último acceso: 13 Junio 2024].
- [18] «OMRON,» [En línea]. Available: <https://www.omron.com/global/en/>. [Último acceso: 24 Junio 2024].
- [19] «Schneider Electric,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.se.com/ww/en/>. [Último acceso: 24 Junio 2024].
- [20] «MECATRÓNICA LATAM,» [En línea]. Available: <https://www.mecatronicalatam.com/>. [Último acceso: 25 Junio 2024].
- [21] «UN APARATO ORTOPÉDICO ROBÓTICO MIDE LA MOVILIDAD DEL CUELLO EN PACIENTES CON CÁNCER,» 2023. [En línea]. Available: <https://tactical->

medicine.com/es/blogs/news/robotic-brace-measures-neck-mobility-in-cancer-patients. [Último acceso: 30 Junio 2024].

[22] «Robonik,» 2022. [En línea]. Available: <https://robotnik.eu/es/ros-control-industria-robotica/>. [Último acceso: 30 Junio 2024].

[23] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. Casa de la calidad

ANEXO II. Planos del prototipo robot paralelo

**ANEXO I**

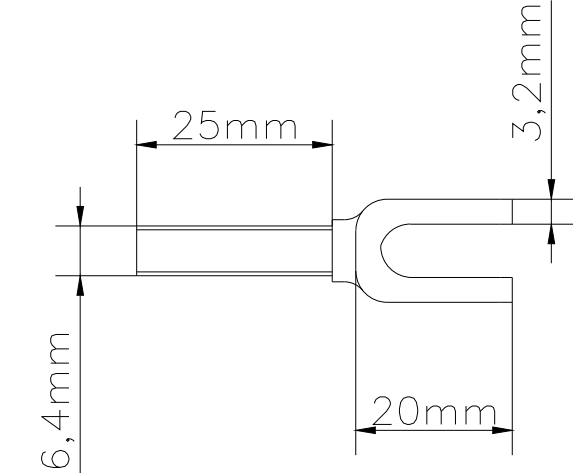
**ANEXO II**

# DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN

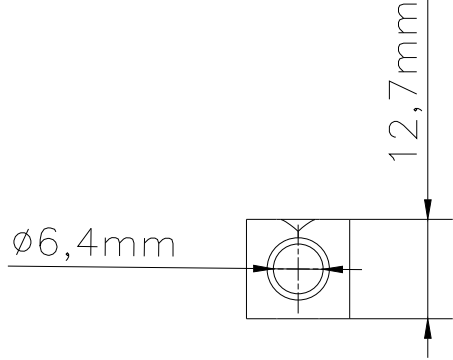
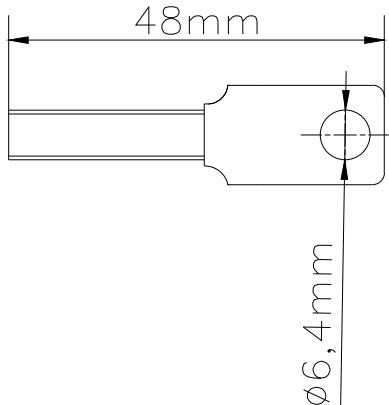
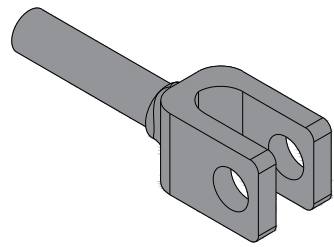
CONTENIDO	CÓDIGO	REVISIÓN	FECHA DE REVISIÓN	ESCALA
CARÁTULA, INDICE	24-UIO-90-01	C	11/07/2024	A4
JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA ROSCADA	24-UIO-90-02	C	11/07/2024	A4
ESLABÓN DOBLE SENTIDO COMPACTO	24-UIO-90-03	C	11/07/2024	A4
ESLABÓN REGULABLE	24-UIO-90-04	C	11/07/2024	A4
ESLABÓN DOBLE SENTIDO EXTENDIDO	24-UIO-90-05	C	11/07/2024	A4
JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA RODELA PLANA	24-UIO-90-06	C	11/07/2024	A4
BASE FIJA POSTERIOR	24-UIO-90-07	C	11/07/2024	A4
ACOPLE DE JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE	24-UIO-90-08	C	11/07/2024	A4
BASE FIJA DELANTERA	24-UIO-90-09	C	11/07/2024	A4
PERNO	24-UIO-90-10	C	11/07/2024	A4
RODELA PLANA	24-UIO-90-11	C	11/07/2024	A4
TUERCA DE SEGURIDAD	24-UIO-90-12	C	11/07/2024	A4
SISTEMA DE AJUSTE DE CASCO TIPO TRINQUETE	24-UIO-90-13	C	11/07/2024	A4

① ÍNDICE DE PLANOS  
Escala: 5/E

NOTAS GENERALES	INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	FACULTAD:
COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO	DIBUJANTE :			
	Abigail Uvillós (AU)		11/07/2024	
	DISEÑO :			
	Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024	
	REVISADO :			
	Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	
ING. PROYECTO:				
Ing. William Venegas (WV)			11/07/2024	
APROBACIÓN GRAL:				
Ing. William Venegas (WV)			11/07/2024	
 <p>Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com</p>				PROYECTO : <b>DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO</b>  DESCRIPCIÓN : <b>CARÁTULA - ÍNDICE</b>
TAMAÑO : <b>A4</b> ESCALA : <b>INDICADAS</b>				DIBUJO N° : <b>24-UIO-90-01</b> HOJA : <b>01 DE 01</b> REV. : <b>C</b>



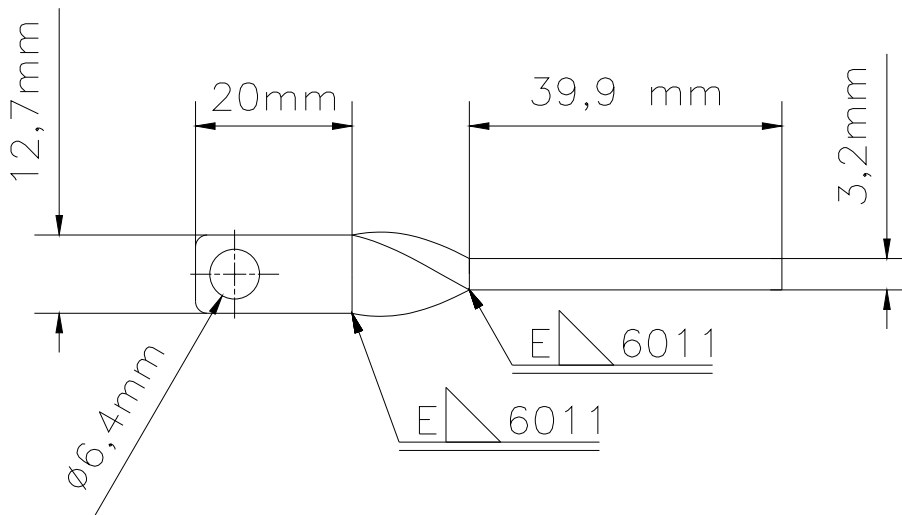
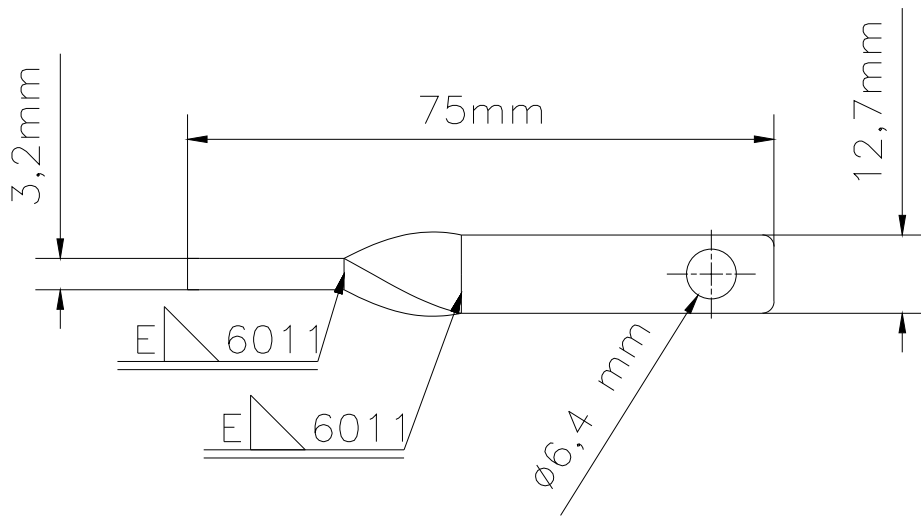
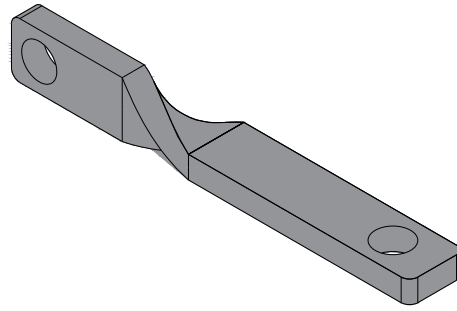
VISTA ISOMÉTRICA



① JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA ROSCADA  
Escala: 1:1000

NOTAS GENERALES	INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com	FACULTAD:		
COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO	DIBUJANTE :				PROYECTO :		DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO
	DISEÑO :				DESCRIPCIÓN :		JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA ROSCADA
	REVISADO :				DIBUJO N° :		24-UIO-90-02
	ING. PROYECTO:				HOJA :		01 DE 01
APROBACIÓN GRAL:				TAMAÑO :	A4	REV. :	C
				ESCALA :	INDICADAS		

VISTA ISOMÉTRICA

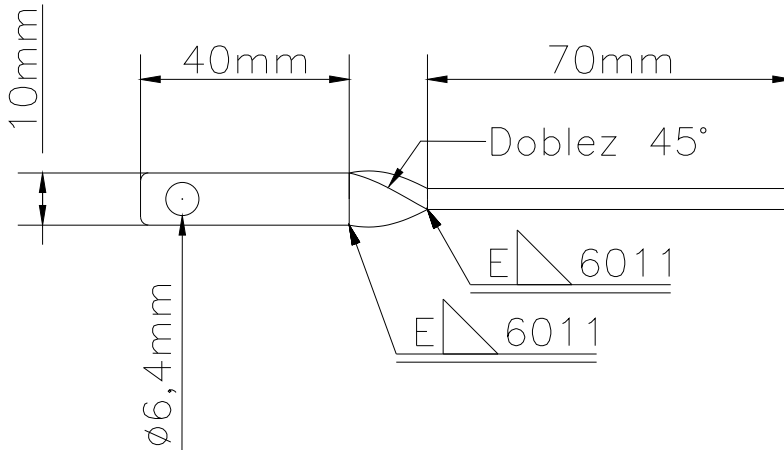
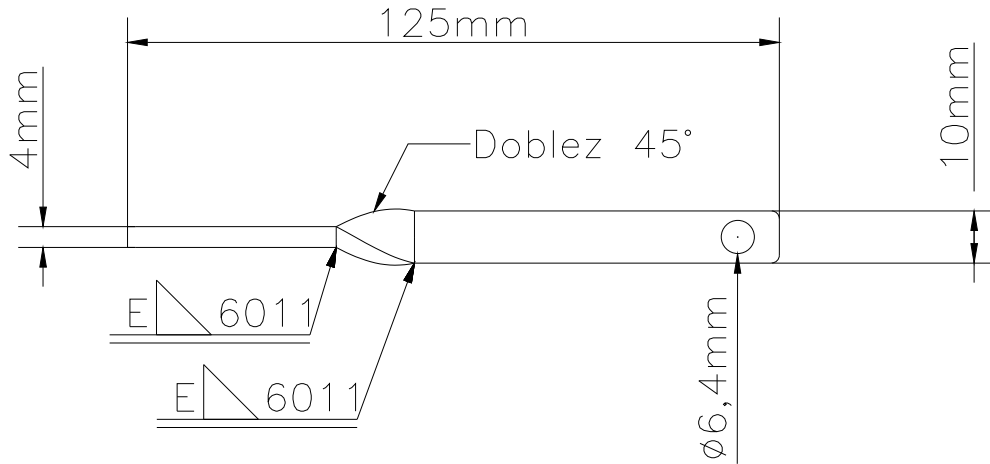
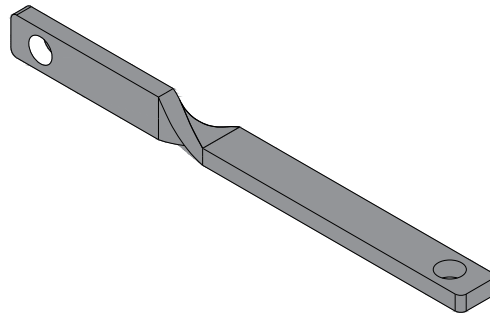


① ESLABÓN DOBLE SENTIDO COMPACTO  
Escala: 1:1000

NOTAS GENERALES  COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO	INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com	FACULTAD:		
	DIBUJANTE :				PROYECTO :		DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO
	DISEÑO :				DESCRIPCIÓN :		ESLABÓN DOBLE SENTIDO COMPACTO
	REVISADO :				TAMAÑO :		A4
	ING. PROYECTO:				ESCALA :		INDICADAS
	APROBACIÓN GRAL:				DIBUJO N° :		24-UIO-90-03
			HOJA :	01 DE 01	REV. C		

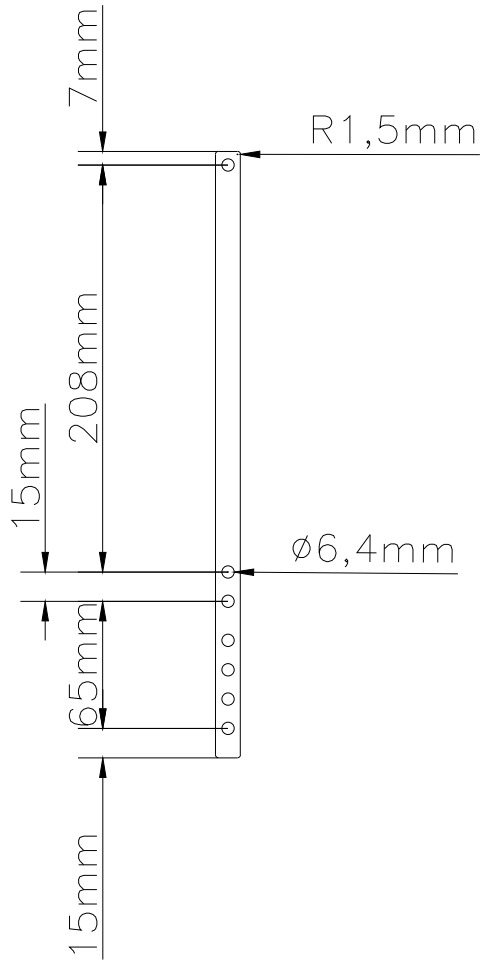


VISTA ISOMÉTRICA

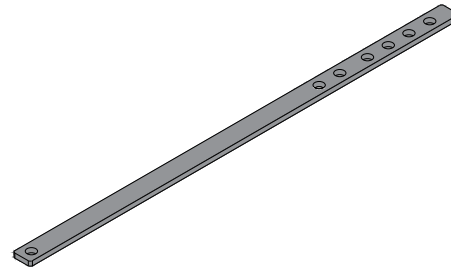


① **ESLABÓN DOBLE SENTIDO EXTENDIDO**  
Escala: 1:1000

NOTAS GENERALES	INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito, 170143 Sitio web: www.epn.com	FACULTAD:
COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO	DIBUJANTE :		11/07/2024		 PROYECTO : <b>DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO</b>
	DISEÑO :		11/07/2024		DESCRIPCIÓN :
	REVISADO :		11/07/2024		<b>ESLABÓN DOBLE SENTIDO EXTENDIDO</b>
	ING. PROYECTO:		11/07/2024		DIBUJO N° : 24-UIO-90-04 HOJA : 01 DE 01 REV. C
APROBACIÓN GRAL:		11/07/2024	TAMAÑO : <b>A4</b> ESCALA : <b>INDICADAS</b>		



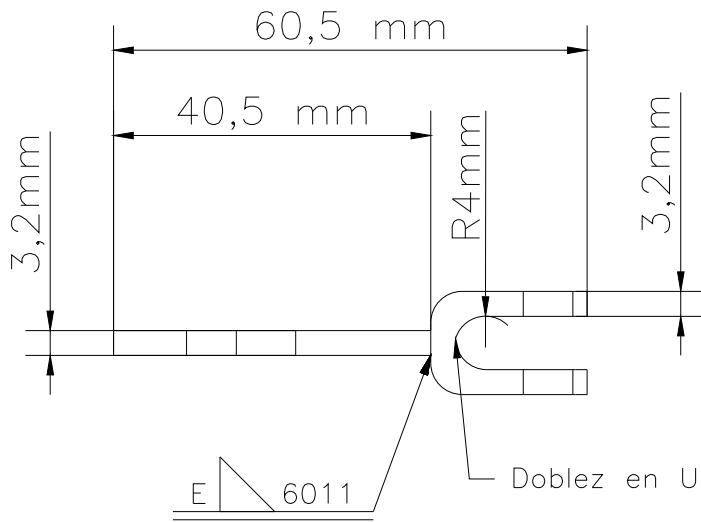
VISTA ISOMÉTRICA



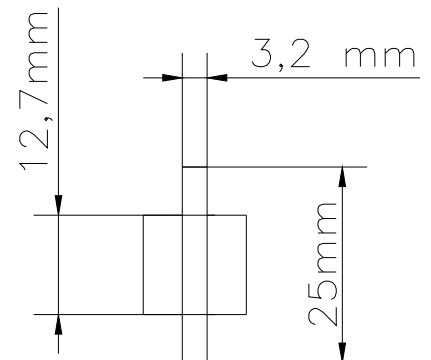
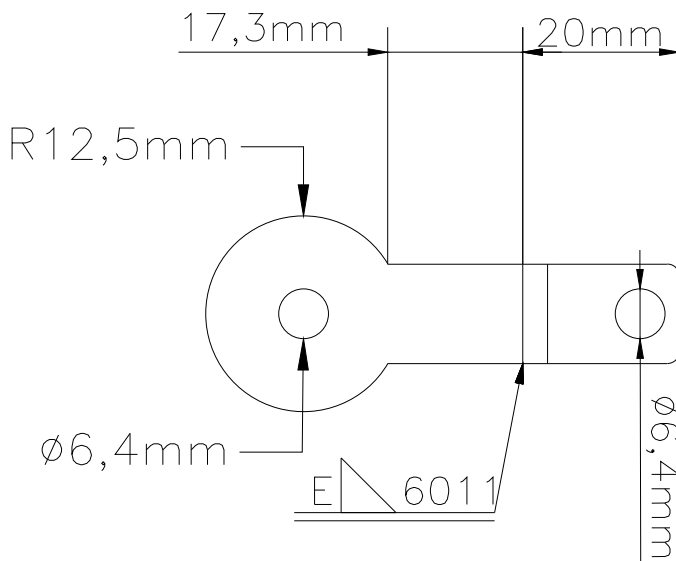
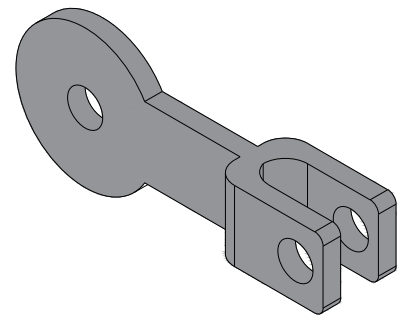
① ESLABÓN REGULABLE  
Escala: 1:250

NOTAS GENERALES		INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	FACULTAD:						
COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO		DIBUJANTE :									
		Abigail Uvillús (AU)		11/07/2024							
		DISEÑO :				PROYECTO :	DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO				
		Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024		DESCRIPCIÓN :	ESLABÓN REGULABLE				
		REVISADO :									
Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024									
ING. PROYECTO:											
Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024									
APROBACIÓN GRAL:											
Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024									
				TAMAÑO :	A4	DIBUJO N° :	24-UIO-90-05	HOJA :	01 DE 01	REV. :	C
				ESCALA :	INDICADAS						



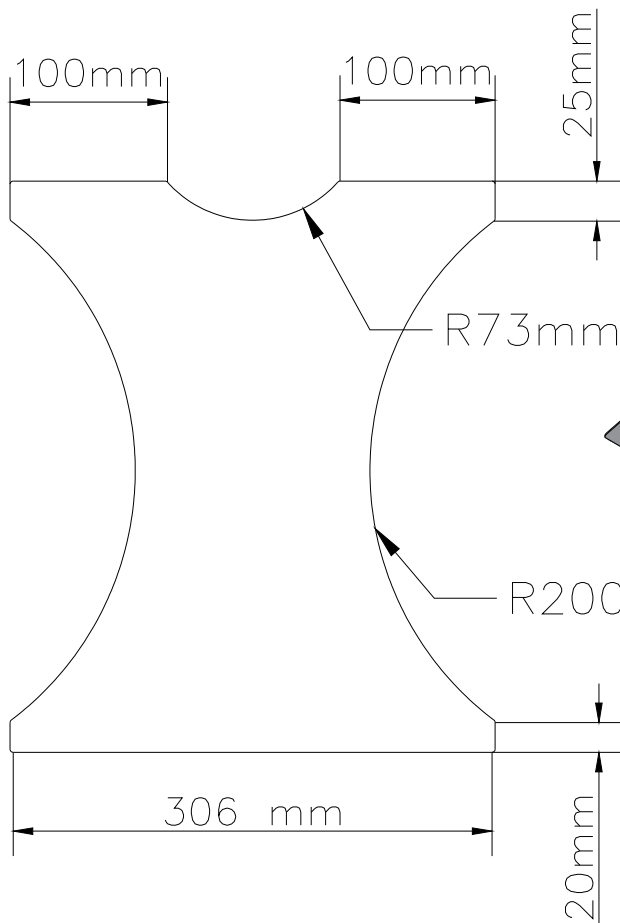


VISTA ISOMÉTRICA

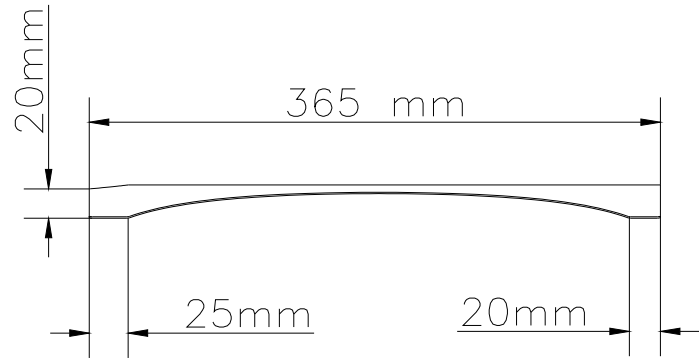
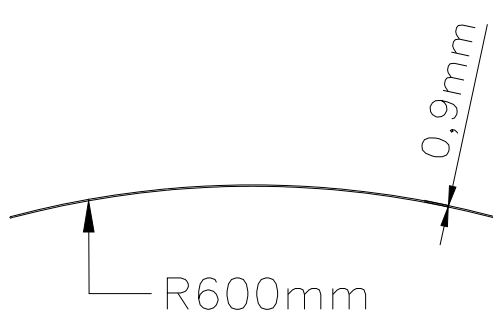
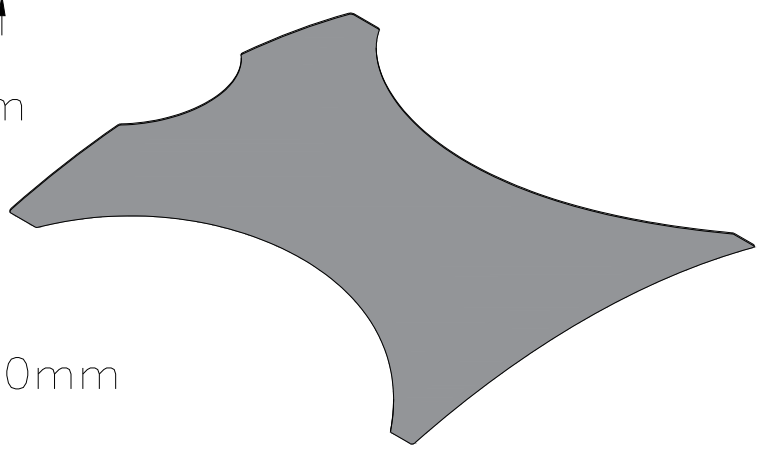


① JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA RODELA PLANA Escala: 1:1000

NOTAS GENERALES COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO	INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com	FACULTAD:	 PROYECTO : DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO DESCRIPCIÓN : JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA RODELA PLANA
	DIBUJANTE : Abigail Uvillós (AU)		11/07/2024		PROYECTO :	
	DISEÑO : Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024		DESCRIPCIÓN :	
	REVISADO : Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024		DIBUJO N° :	
	ING. PROYECTO: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024		HOJA :	
APROBACIÓN GRAL: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	TAMAÑO : A4 ESCALA : INDICADAS	24-UIO-90-06	01 DE 01	REV. C



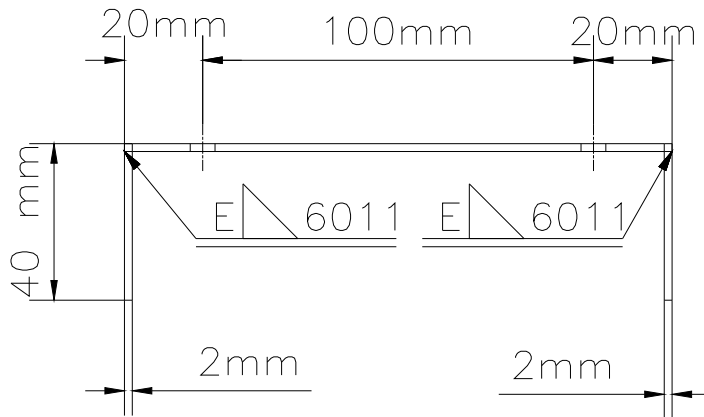
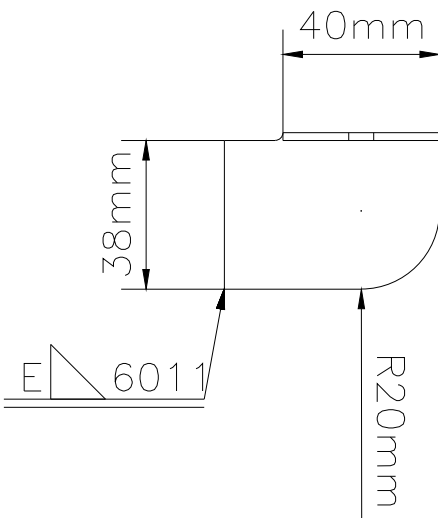
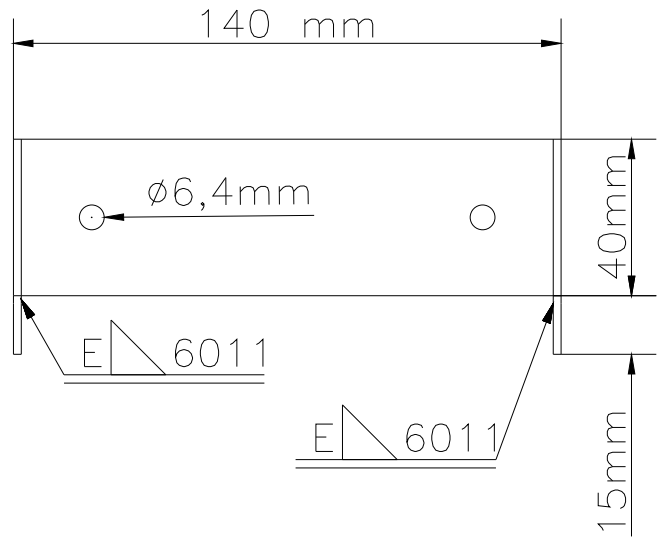
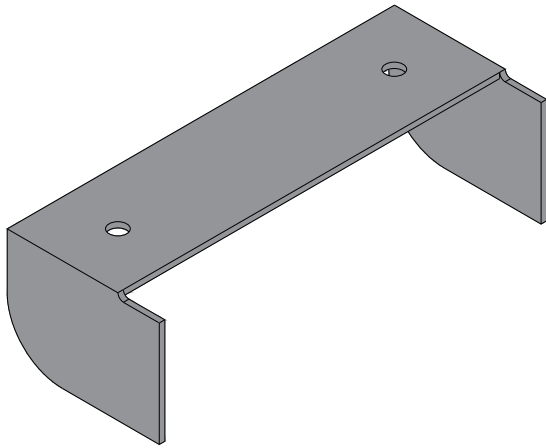
VISTA ISOMÉTRICA




① UNIÓN ESTÁTICA  
Escala: 1:200

NOTAS GENERALES		INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</p> <p>Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com</p>	FACULTAD:			
COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO		DIBUJANTE : Abigail Uvillús (AU)		11/07/2024			PROYECTO : <b>DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO</b>		
		DISEÑO : Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024	DESCRIPCIÓN : <b>UNIÓN ESTÁTICA</b>				
		REVISADO : Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	TAMAÑO : <b>A4</b>		DIBUJO N° : <b>24-UIO-90-07</b>	HOJA : <b>01 DE 01</b>	REV. : <b>C</b>
		ING. PROYECTO: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	ESCALA : <b>INDICADAS</b>				
		APROBACIÓN GRAL: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024					

VISTA ISOMÉTRICA

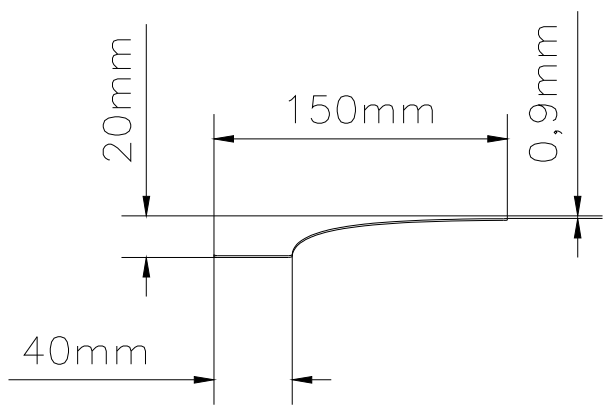
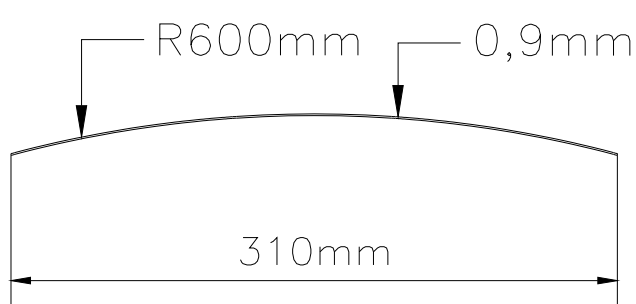
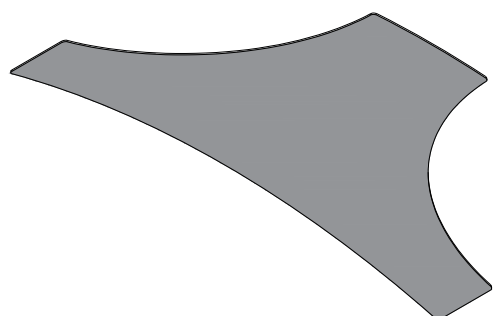
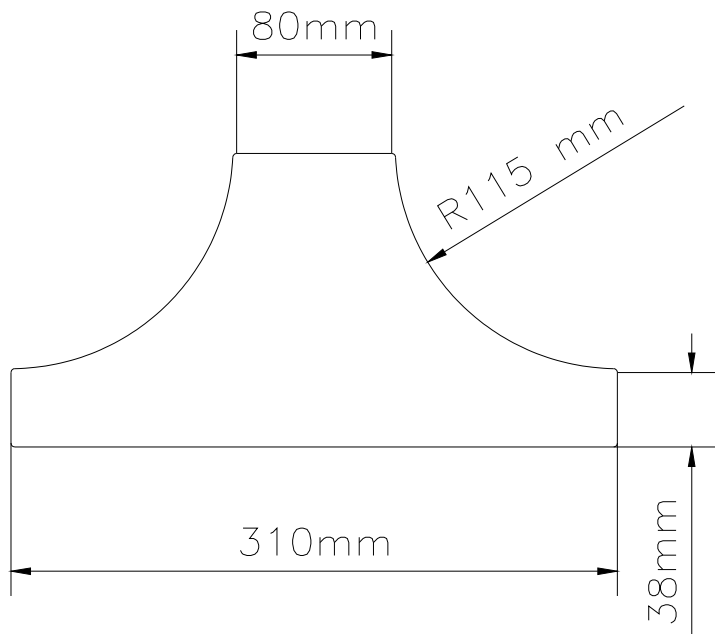


① ACOPLÉ DE JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE  
Escala: 1:500

NOTAS GENERALES		INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	FACULTAD:		
COMPONENTE DISEÑO Y FABRICADO		DIBUJANTE :					
		Abigail Uvillós (AU)		11/07/2024			
		DISEÑO :				PROYECTO :	DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO
		Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024		DESCRIPCIÓN :	ACOPLÉ DE JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE
		REVISADO :				TAMAÑO :	A4
Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024		ESCALA :	INDICADAS		
ING. PROYECTO:					DIBUJO N° :	24-UIO-90-08	
Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024			HOJA :	01 DE 01	
APROBACIÓN GRAL:					REV.:	C	
Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024					

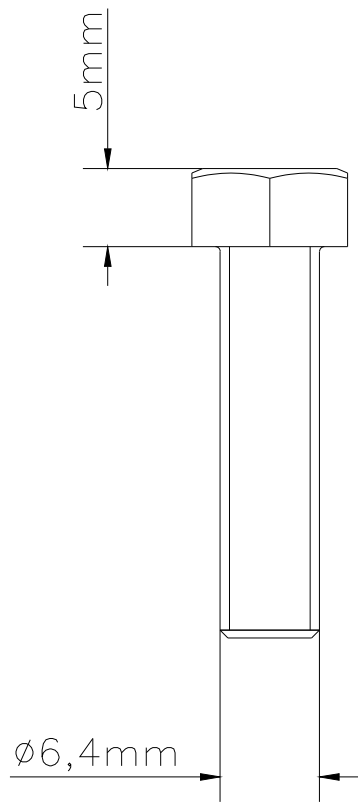


### VISTA ISOMÉTRICA

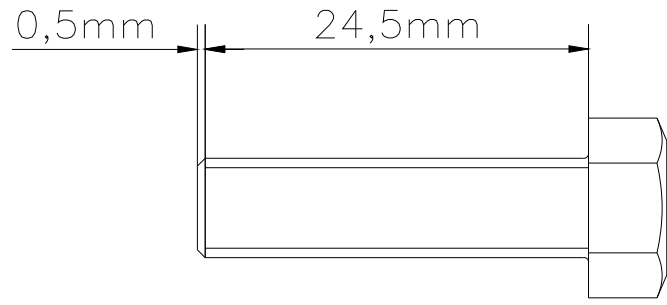
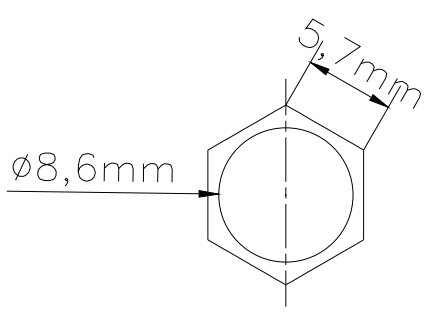
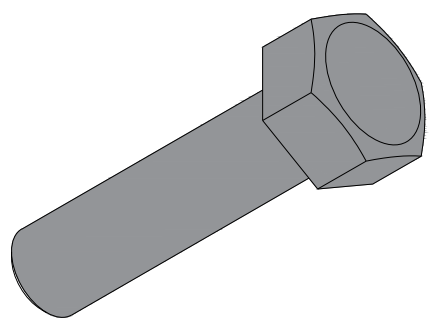


① BASE FIJA DELANTERA  
Escala: 1:250

NOTAS GENERALES		INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 FACULTAD:			
COMPONENTE DISEÑADO Y FABRICADO		DIBUJANTE : Abigail Uvillús (AU)		11/07/2024		PROYECTO : DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO		
		DISEÑO : Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024	DESCRIPCIÓN : BASE FIJA DELANTERA			
		REVISADO : Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024				
		ING. PROYECTO: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024				
		APROBACIÓN GRAL: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	TAMAÑO : A4	DIBUJO N° : 24-UIO-90-09	HOJA : 01 DE 01	REV. C
					ESCALA : INDICADAS			



VISTA ISOMÉTRICA

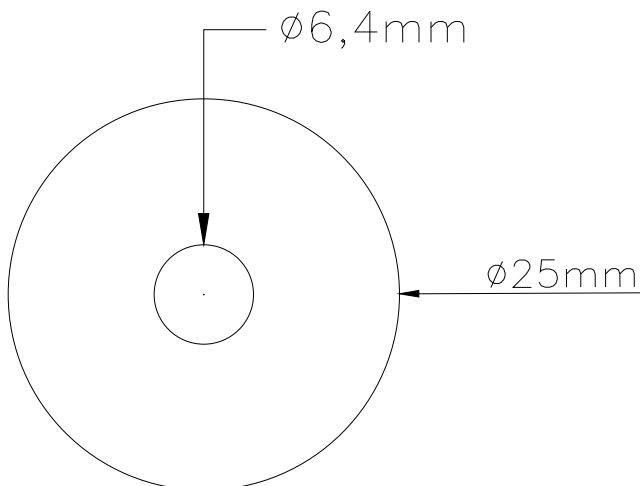
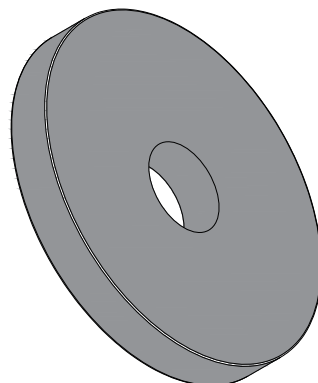
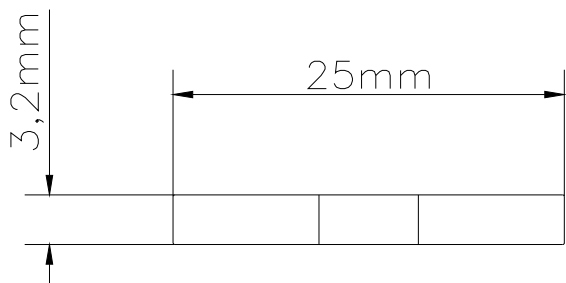


① PERNO  
Escala: 2:1

NOTAS GENERALES COMPONENTE NO MANUFACTURADO, ESTANDARIZADO	INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	FACULTAD:  PROYECTO : <b>DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO</b> DESCRIPCIÓN : <b>PERNO</b> DIBUJO N° : 24-UIO-90-10 HOJA : 01 DE 01 REV. C
	DIBUJANTE : Abigail Uvillós (AU)		11/07/2024	
	DISEÑO : Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024	
	REVISADO : Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	
	ING. PROYECTO: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	
	APROBACIÓN GRAL: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	
TAMAÑO : A4 ESCALA : INDICADAS				



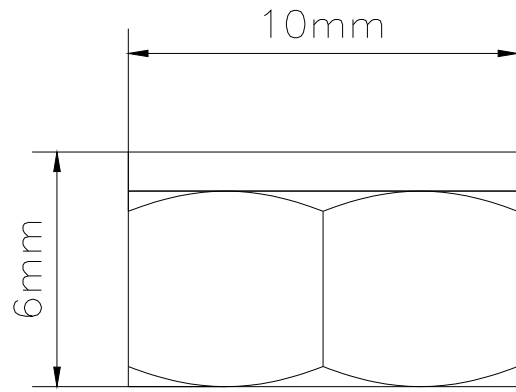
### VISTA ISOMÉTRICA



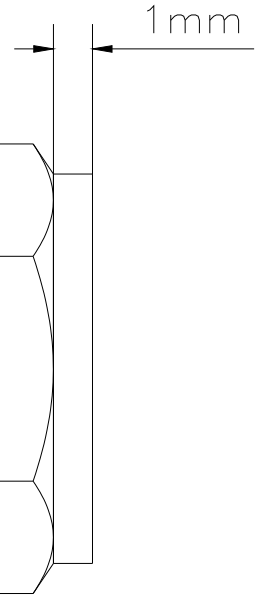
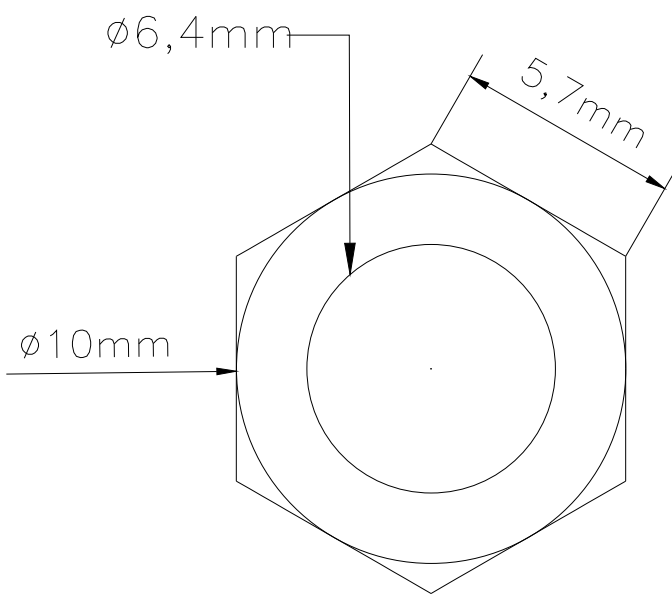
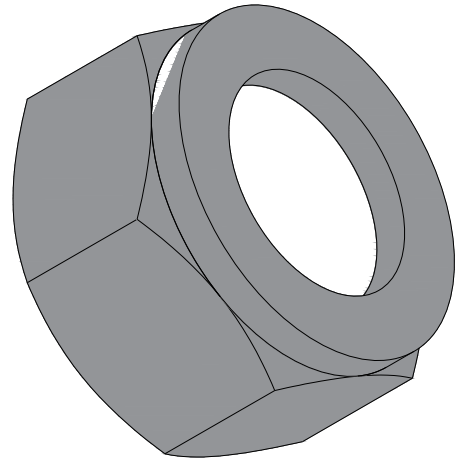
1 RODELA PLANA  
Escala: 2:1

NOTAS GENERALES COMPONENTE NO MANUFACTURADO, ESTANDARIZADO	INGENIERÍA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com	FACULTAD:					
	DIBUJANTE :				PROYECTO :		DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO			
	DISEÑO :				DESCRIPCIÓN :		RODELA PLANA			
	REVISADO :				TAMAÑO :		A4			
	ING. PROYECTO:				ESCALA :		INDICADAS			
APROBACIÓN GRAL:					DIBUJO N° :	24-UIO-90-11	HOJA :	01 DE 01	REV. :	C





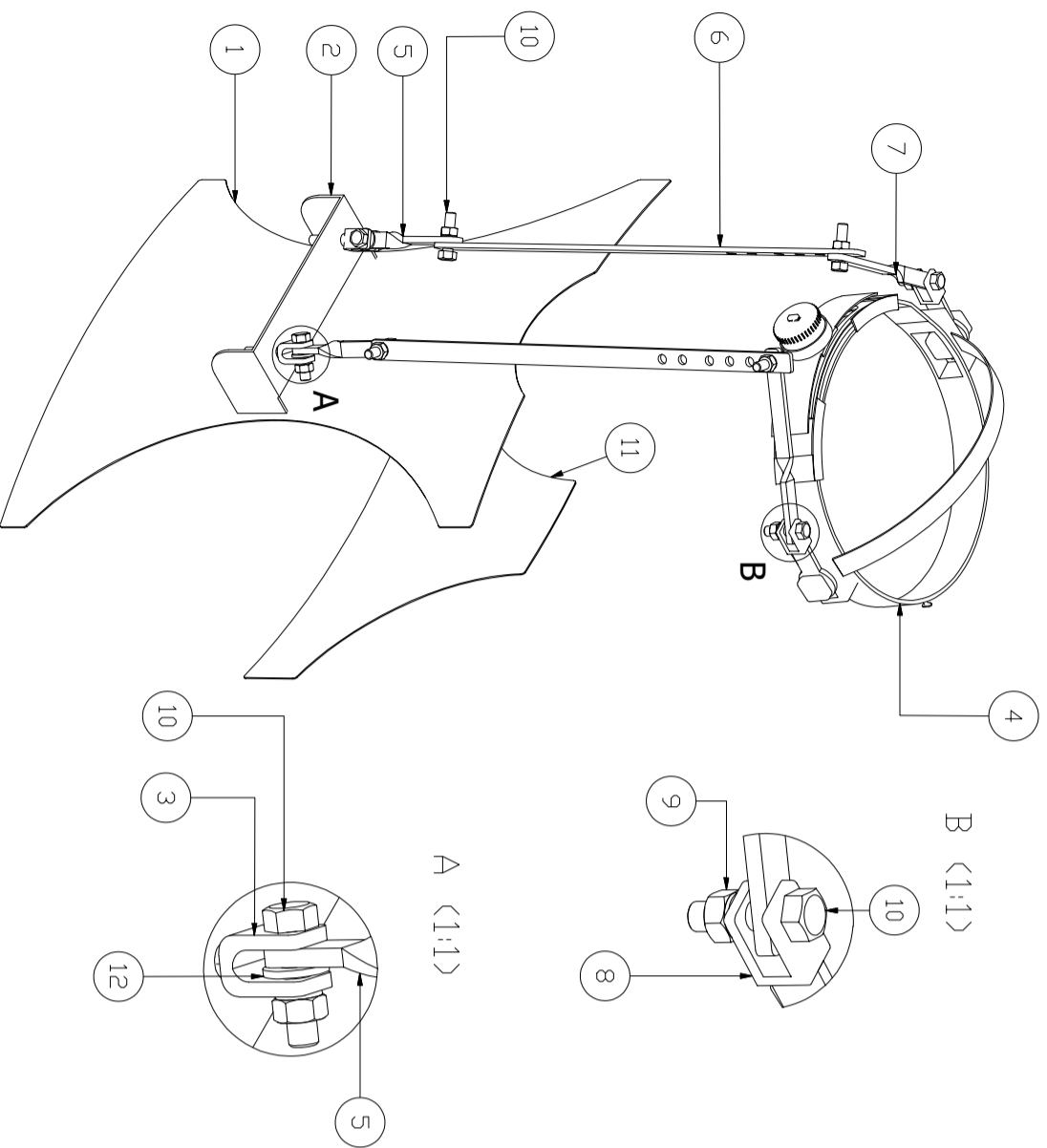
VISTA ISOMÉTRICA



① TUERCA DE SEGURIDAD  
Escala: 5:1

NOTAS GENERALES COMPONENTE NO MANUFACTURADO, ESTANDARIZADO	INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO	FIRMA	FECHA	 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143 Sitio web: www.epn.com	FACULTAD:	 PROYECTO : DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN DE REHABILITACIÓN DE CUELLO DESCRIPCIÓN : <b>TUERCA DE SEGURIDAD</b>
	DIBUJANTE : Abigail Uvillós (AU)		11/07/2024		PROYECTO :	
	DISEÑO : Gabriel Escudero (GE)		11/07/2024		DESCRIPCIÓN :	
	REVISADO : Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024		DIBUJO N° :	
	ING. PROYECTO: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024		HOJA :	
APROBACIÓN GRAL: Ing. William Venegas (WV)		11/07/2024	TAMAÑO : A4 ESCALA : INDICADAS	24-UIO-90-12	01 DE 01	REV. C


# ENSAMBLE PROTOTIPO



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CANT	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	BASE FIJA POSTERIOR	ACERO GALVANIZADO
2	1	ACOPLE DE JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE	ACERO A36
3	2	JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA ROSCADA	ACERO A36
4	1	SISTEMA DE AJUSTE DE CASCO TIPO TRINQUETE	POLIETILENO TEREFALATO
5	2	ESLABON DOBLE SENTIDO COMPACTO	ACERO A36
6	2	ESLABON REGULABLE	ACERO A36
7	2	ESLABON DOBLE SENTIDO EXTENDIDO	ACERO A36
8	2	JUNTA TIPO BELDEN SIMPLE CON SALIDA RODELA PLANA	ACERO A36
9	10	TUERCA DE SEGURIDAD	ACERO A36
10	8	PERNO	ACERO A36
11	1	BASE FIJA DELANTERA	ACERO A36
12	2	ARANDELA	CNS 5050 A - 6,5

## NOTAS GENERALES

Ensamble del prototipo de Robot Paralelo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01-ROB-01-10	REVISION: 0														
INGENIERIA / REGISTRO DISEÑO												FACULTAD :			
DIBUJANTE :		Alfredo Oñate (AO)		FECHA :		11/07/2024		 INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL Av. Libertador de Gómez 811-833 4000 San Miguel Tucumán, Tucumán Sitio web: www.ingen.com		PROYECTO :		DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ROBOT PARALELO PARA APLICACIÓN			
ING. DISEÑO :		Gabriel Sanderio (GS)		FECHA :		11/07/2024		REVISADO : Ing. William Venegas (WV)		DESCRIPCIÓN :		PLANO CONJUNTO DE ROBOT PARALELO			
ING. PROYECTO :		Ing. William Venegas (WV)		FECHA :		11/07/2024		APROBACIÓN OPAL: Ing. William Venegas (WV)		TAMANO :		A1			
APROBACIÓN OPAL:		Ing. William Venegas (WV)		FECHA :		11/07/2024		ESCALA : INDIADAS		DIBUJO N.º :		24-UIO-90-14			
												HOJA :		01 DE 01	
												REV. :		C	