

---

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ -  
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA -  
INGENIERÍA BIOMÉDICA**



**FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO**

**Entregable 6 - Caso Loayza**

**AUTORES:**

Villarreal Mamani, Rosa Isabel  
Santa Maria La Rosa Sanchez, Alejandro Sebastian  
Santivañez Portella, Gael Franz  
Torres Castañeda, Ricardo Percy  
Valdivia Pari, Valeria Ivannia  
Vásquez Cruz, Gustavo Alonso

**DOCENTES:**

Juan Manuel Zuñiga

**Grupo 15**

Lima, 2 de octubre del 2025

---

## CHECKPOINT 1 – BUSINESS CASE:

- **Situación inicial**

El proyecto se lleva a cabo como respuesta a las limitaciones que experimenta el paciente Loayza, un ingeniero que ha sufrido una lesión medular incompleta a nivel C4 de tipo D a causa de un disparo (impacto de bala). Esta situación ha resultado en una pérdida de la movilidad en su brazo izquierdo y un uso limitado de su brazo derecho, lo que también dificulta su capacidad para caminar sin apoyo adicional.

El principal problema se encuentra en su incapacidad para emplear su brazo izquierdo, lo cual no solo incrementa su dependencia en tareas cotidianas como comer y asearse, sino que también pone en riesgo su salud muscular debido a la atrofia provocada por la falta de actividad. Asimismo, la carencia de estabilidad al caminar, causada por la incapacidad de utilizar ambos brazos como soportes, incrementa el peligro de sufrir caídas, lo que complica aún más su situación.

Este contexto impulsa la creación de un dispositivo de asistencia biomédica para su brazo izquierdo, que permita facilitar movimientos asistidos, ofrezca soporte funcional durante la marcha y mejore su estabilidad al andar, promoviendo así la autonomía del paciente. La necesidad de este proyecto es evidente, ya que busca prevenir complicaciones a corto plazo (inminentes) como la debilidad muscular y el dolor, y a su vez proporcionar una solución que eleve la calidad de vida del paciente a largo plazo.

- **Objetivos estratégicos**

El proyecto tiene como meta principal diseñar y desarrollar un dispositivo de asistencia biomédica para el miembro superior izquierdo del paciente Loayza, orientado a promover su independencia funcional y prevenir complicaciones asociadas a la inmovilidad debido a la atrofia muscular. Para lograrlo se plantean los siguientes objetivos estratégicos:

- **Objetivos técnicos:**

1. Prevenir la atrofia muscular del brazo izquierdo mediante un sistema que proporcione movimientos pasivos o asistidos, garantizando la activación mecánica de los músculos.
2. Facilitar la adaptación del brazo como punto de apoyo en la marcha asistida, a través de un mecanismo que permita cierta flexión de la mano y soporte funcional en andadores u otros dispositivos.
3. Asegurar que el dispositivo cumpla criterios de ergonomía, seguridad biomédica y personalización, adaptándose a las necesidades fisiológicas y a la evolución del paciente.

4. Optimizar la postura corporal y la distribución del centro de masa mediante la incorporación de un sistema de soporte posterior tipo arnés en “8”, que contribuya a la estabilidad del tronco y reduzca la fatiga en los desplazamientos.

- **Objetivos económicos:**

1. Elaborar el dispositivo utilizando materiales accesibles y de bajo costo, que puedan conseguirse en el entorno local sin afectar la funcionalidad.
2. Gestionar de manera eficiente el presupuesto disponible como estudiantes, optimizando el uso de herramientas, insumos y tiempo de trabajo.
3. Priorizar soluciones simples y prácticas que reduzcan costos de fabricación y faciliten la construcción del prototipo.

- **Objetivos organizativos:**

1. Integrar el dispositivo como parte de rutinas de rehabilitación para prevenir la atrofia muscular en pacientes con lesiones medulares incompletas.
2. Facilitar el uso del dispositivo dentro de sesiones de terapia ocupacional, asegurando que apoye la funcionalidad en actividades de la vida.
3. Diseñar un sistema práctico y adaptable que pueda ser utilizado tanto en entornos clínicos como en el hogar, bajo la supervisión de un profesional de salud.

● **Valor añadido**

El sistema en conjunto busca aportar beneficios que contribuyan a aumentar el valor del dispositivo. Estos se dividen y se reparten según la entidad a la que se dirijan:

- **Para el usuario:**

En este caso, el costo de adquisición resulta plenamente justificable frente a la autonomía que brinda al paciente. El dispositivo puede ser controlado con el dedo pulgar izquierdo y, de manera simultánea, permitir la flexión de la mano, la fijación del brazo para sujetar un andador sin que este se balancee y, además, reducir el peso soportado por el hombro. De esta forma, se ofrecen características personalizadas que responden a las necesidades del paciente Loayza, favoreciendo que se sienta más independiente en actividades cotidianas como caminar o levantar un brazo, lo que previene la atrofia muscular.

- **Para la empresa:**

En este otro caso, para los institutos encargados del manejo de este tipo de pacientes, el dispositivo representa una ventaja significativa, ya que reduce la necesidad de supervisión constante y de asistencia en los ejercicios de movilidad del brazo. El paciente podría realizar estas acciones de manera autónoma, lo que facilita

el trabajo del personal de salud y disminuye posibles complicaciones.

- **Para la sociedad:**

El dispositivo favorece la reintegración de pacientes que han perdido grados de libertad en un miembro superior, promoviendo su independencia y ofreciendo una alternativa accesible que contribuye a mejorar su calidad de vida y a reducir las limitaciones derivadas de su condición.

- **Stakeholders**

En este proyecto, los usuarios principales son el paciente Loayza y, en general, personas con lesiones medulares que tienen limitaciones en la movilidad de sus brazos. El dispositivo está pensado para ayudarles a recuperar parte de su independencia y mejorar su calidad de vida. A su vez, los clientes pueden ser los centros de rehabilitación y hospitales que lo integren en sus terapias, así como los profesionales de la salud que lo recomienden a sus pacientes como parte del tratamiento.

Entre las partes interesadas clave están la familia del paciente, que lo apoya en el uso diario del dispositivo, y los médicos y terapeutas, que validan su utilidad en el proceso de rehabilitación. También tienen un rol importante la universidad y los docentes asesores, quienes acompañan el desarrollo técnico y práctico del proyecto, además de los proveedores de materiales, que permiten que la propuesta se lleve a cabo de manera accesible y funcional.

- **Competencias y equipo**

Nuestro equipo está conformado por estudiantes pertenecientes al 4to ciclo de Ingeniería Biomédica, con formación en áreas fundamentales como biología, física, química, programación y fundamentos de diseño de dispositivos médicos. Aunque no se cuenta con experiencia profesional consolidada, se compensa con la motivación, la disposición para aprender y la asesoría docente que guía tanto en el aspecto técnico como en la perspectiva clínica, necesaria para atender la problemática real del paciente Loayza.

En cuanto a conocimientos técnicos, nuestro grupo posee bases en electrónica básica y prototipado con Arduino, lo que permitirá implementar sensores de activación y circuitos de control en el exoesqueleto. De igual manera se cuenta con conocimientos de modelado 3D y fabricación digital para diseñar y producir piezas mecánicas personalizadas, y desarrollo de conectividad básica para la transmisión y registro de datos que respalden la evolución del paciente. El uso de metodologías de diseño (VDI 2221/2206) asegura que el proceso avance de forma estructurada, desde la necesidad clínica identificada hasta la validación del prototipo.

Los recursos disponibles incluyen laboratorios de electrónica y fabricación digital con acceso a impresión 3D y corte láser, software de simulación y modelado, y materiales esenciales para el prototipo: microcontroladores, sensores de presión o movimiento en dedos, módulos de energía simples y estructuras impresas en 3D que sirvan de soporte. Estos se complementan con la asesoría de docentes y la posibilidad de consulta con especialistas en rehabilitación y medicina, quienes aportan la perspectiva clínica.

- **Planificación inicial**

¿Cuál es el programa preliminar, presupuesto y posible riesgo?

**Cronograma preliminar:**

<b>Etapas</b>	<b>Plan</b>
Etapa 1 (Realizado)	Revisión del caso
Etapa 2 (Realizado)	Definición del problema
Etapa 3 (Realizado)	Revisión del estado del arte
Etapa 4 (Realizado)	Definir solución + Valor añadido
<b>Etapa 5 (Nos encontramos aquí)</b>	<b>Evaluación de la solución (requerimiento, funcionamiento, ensamblado, beneficios directos o indirectos)</b>
Etapa 6	Realizar las compras y recolección de información de importancia para el proyecto
Etapa 7	Construcción del prototipo y software
Etapa 8	Validación + pruebas
Etapa 9	Redacción del informe

**Presupuesto estimado:**

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad/Precio (c/u)</b>	<b>Link de compra</b>
TTP 223 (sensor de contacto)	<b>3 / s/3</b>	<a href="https://www.electromania.pe/producto/sensor-tactil/">https://www.electromania.pe/producto/sensor-tactil/</a>
Arduino	<b>1 / s/55.00</b>	<a href="https://naylorpmecatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html">https://naylorpmecatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html</a>
Guante	<b>1 / s/4</b>	<a href="https://www.electromania.pe/producto/guantes-antiestaticos-esd-de-fibra-de-carbon/">https://www.electromania.pe/producto/guantes-antiestaticos-esd-de-fibra-de-carbon/</a>

cables	1 / 10	<a href="https://www.promart.pe/cable-thw-90-450-750v-14-awg-celsa-blanco-venta-por-metro/p">https://www.promart.pe/cable-thw-90-450-750v-14-awg-celsa-blanco-venta-por-metro/p</a>
impresión 3D en soportes	-	-
pernos y pasadores de acero	8 / s/2	<a href="https://www.promart.pe/perno-hexag-tuer-cg2-1-2-1-x-4-unid-16442/p">https://www.promart.pe/perno-hexag-tuer-cg2-1-2-1-x-4-unid-16442/p</a>
Servomotor	1 / s/10.00	<a href="https://www.electromania.pe/producto/micro-servo-sg90/">https://www.electromania.pe/producto/micro-servo-sg90/</a>

<b>Software y Hardware</b>
Laptop OnShape / Autodesk Inventor Impresoras y software 3D Software de programación

<b>Posibles riesgos</b>
Incertidumbres de las medidas exactas en la impresión 3D. Fallas en la precisión o medidas de los sensores. Agotamiento de los productos (tiempo de vida).

**Lista de requerimientos:**

## **FUNCIÓN:**

<b>Campo</b>	<b>Requisito Funcional y/o No Funcional</b>	<b>Clasificación</b>
Funciones principales y subordinadas	<p>Requisito funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Flexión y extensión de los dedos para sujetar un andador.</li> <li>-Flexión y extensión gradual de codo.</li> <li>-Estabilizar su centro de masa con el arnés.</li> </ul> <p>Requisito no funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Fijación de la muñeca, codo y hombro para sujetar un andador y evitar el balanceo.</li> <li>-Reducir el peso del brazo que soporta el hombro.</li> </ul>	Must have

Flujos de energía	<p>Requisito funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El dispositivo debe alimentarse mediante una batería recargable que suministre energía a todo el sistema.</li> <li>-El dispositivo debe convertir la energía eléctrica de la batería en energía mecánica mediante servomotores y cables.</li> </ul> <p>Requisito no funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La batería debe tener una duración estimada de 5 horas con uso continuo y debe poder cargarse en máximo 8 horas.</li> <li>-El sistema debe ser seguro para el usuario (sin riesgo de sobrecalentamiento o descarga eléctrica).</li> </ul>	Must have
Flujos de material	<p>Requisito funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El dispositivo debe incorporar un material antitranspirante y biocompatible que controle la sudoración generada por el uso diario.</li> </ul> <p>Requisito no funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El material debe ser duradero para no comprometer la vida útil del dispositivo.</li> </ul>	Should have
Flujos de información	<p>Requisito funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El dispositivo debe recolectar datos a través de sensores/botones ubicados en el dedo índice de la mano izquierda.</li> <li>-El microcontrolador debe procesar los datos recolectados y transformarlos en órdenes para los servomotores o tornillos ajustables, permitiendo el funcionamiento del sistema.</li> </ul>	Must have
Definición de interfaces	<p>Requisito funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema debe conectarse mediante cables Bowden que transmitan la energía mecánica entre los servomotores y generen el movimiento requerido.</li> <li>-La interfaz usuario–dispositivo debe estar conformada por botones ubicados en el dedo índice.</li> <li>-El sistema debe contar con una verificación de dos pasos que evite la ejecución accidental de movimientos.</li> </ul> <p>Requisito no funcional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La verificación de dos pasos debe realizarse de forma rápida e intuitiva, sin comprometer la usabilidad del dispositivo.</li> </ul>	Must have

## DISEÑO/ESTRUCTURA

Campo	Requisito Funcional y/o No Funcional	Clasificación
Geometría	El exoesqueleto debe ajustarse a un brazo izquierdo adulto con dimensiones personalizadas, ocupando un volumen no mayor a 30% adicional del brazo natural.	Must have
Mecánica	La estructura debe soportar movimientos repetitivos de flexión y extensión del codo ( $0^{\circ}$ – $120^{\circ}$ ) con una desviación máxima de $\pm 5^{\circ}$ en la trayectoria.	Must have
	El actuador o asistencia para dedos debe permitir la apertura y cierre de mano suficiente para alcanzar un agarre funcional	Must have
	Los materiales usados deben resistir esfuerzos mecánicos sin deformarse más del 5% después de 1 000 ciclos de uso.	Should have
Eléctrica/Electrónica	El sistema debe funcionar con una tensión nominal y corriente segura para el usuario, integrando botón de activación en el dedo índice.	Must have
Software	El software de control debe permitir al menos 1 modo de operación: manual (sensor de contacto o botón en el dedo índice).	Should have
Seguridad	El dispositivo no debe presentar bordes cortantes ni generar sobrecalentamiento en contacto con la piel ( $>45^{\circ}\text{C}$ ), incorporando materiales acolchados e hipoalergénicos en zonas de apoyo.	Must have
Regulación	El diseño debe contar con documentación básica (planos, manual de uso) y validación inicial en entorno académico bajo supervisión de un profesional de salud.	Must Have
Ergonomía	El peso total no debe superar 1,5 kg, con puntos de sujeción ajustables al diámetro del brazo ( $\pm 15\%$ ) y permitiendo al menos 1 hora de uso continuo sin molestias significativas.	Must have



Diseño industrial	La estructura debe ser compacta, modular y con acabados suaves que permitan integración estética y comodidad en el uso diario.	Should have

## Uso

Campo	Requisito Funcional y/o No Funcional	Clasificación
Uso	Facilidad de uso: El exoesqueleto debe permitir al usuario un control intuitivo y sencillo de los movimientos del brazo, codo y mano, sin requerir conocimientos técnicos avanzados (Sensores de contacto).	Must have
	Curva de aprendizaje: El sistema debe ser fácil de aprender para el paciente, de modo que el usuario pueda comenzar a utilizarlo eficazmente sin un largo proceso de entrenamiento.	Must have
	Seguridad del usuario: El exoesqueleto podría contar con mecanismos de seguridad para evitar movimientos inesperados o dañinos que puedan lesionar al paciente.	Nice to have
	Experiencia del usuario: El dispositivo debe ofrecer una experiencia de uso cómoda (postura y soporte) para evitar fatiga muscular y puntos de presión.	Should have
Transporte	Tamaño y peso del dispositivo: El exoesqueleto debe ser lo suficientemente ligero como para no limitar significativamente el movimiento del paciente ni dificultar su transporte.	Must have
	Portabilidad: El exoesqueleto debe ser fácil de transportar, permitiendo que el usuario lo pueda llevar a diferentes lugares sin inconvenientes.	Must have
	Adaptabilidad al movimiento: El exoesqueleto permite que el usuario se mueva tanto en interiores como en exteriores sin mayor inconveniente.	Should have

## ORGANIZACIÓN

Campo	Requisito Funcional y/o No Funcional	Clasificación
Planificación	El dispositivo debe contar con un diseño modular y adaptable que permita mantener activos hombro, codo, muñeca y mano, integrando soporte para el tronco y asegurando su gestión y actualización a lo largo del tiempo.	Must have
	Debe incluir estrategias de mejora continua y capacitación de roles para garantizar la correcta integración en rutinas de rehabilitación y terapia ocupacional.	Should have
Sostenibilidad	El sistema debe funcionar de manera portátil con baterías recargables que aseguren el uso continuo sin dependencia de equipos externos, garantizando así su viabilidad durante todo el ciclo de vida.	Must have
	Debe optimizar el consumo energético y considerar materiales reciclables y mecanismos pasivos que reduzcan el impacto ambiental.	Should have
Aceptación social	El dispositivo debe ser ligero, ergonómico y seguro (sin bordes cortantes ni sobrecalentamiento), transmitiendo confianza al paciente y su entorno, lo que asegura aceptación en terapias domiciliarias y clínicas.	Must have
	Debe integrar un diseño estético atractivo con acabados suaves además de cumplir con normativas éticas y regulatorias básicas de dispositivos de rehabilitación en etapa académica.	Should have
Mercado	El dispositivo debe incluir modos de control progresivo, adaptables a diferentes grados de movilidad del paciente, asegurando así su competitividad y viabilidad dentro del mercado de dispositivos de rehabilitación biomédica.	Must have
	Debe contar con una estrategia de diferenciación frente a competidores, con documentación técnica y propuesta de escalabilidad, proyectando una reducción de	Should have

