

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA -
INGENIERÍA BIOMÉDICA



FUNDAMENTOS DE BIODISEÑO

Entregable 11 - 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, 9 de octubre del 2025

1. VERIFICACIÓN SOFTWARE

| Requisito | Tipo | Método de verificación | Resultado | ¿Cumple? | Observaciones |
|--|--------------|----------------------------------|--|----------|--|
| El software de control debe permitir al menos 1 modo de operación manual (sensor táctil/botón) | Should have | Prueba del código en Arduino | Se activa el servo al presionar el botón | Sí | Modo manual implementado correctamente |
| El microcontrolador debe procesar la señal del sensor y transformarla en movimiento | Funcional | Observación directa del circuito | Señal ON/OFF mueve los servos | Sí | - |
| El sistema debe evitar ejecuciones accidentales mediante verificación de dos pasos | Funcional | Revisión del código | No implementado | No | Se recomienda agregar doble pulsación |
| El software debe ejecutar una rutina segura (sin bloqueo del servo) | No funcional | Prueba continua 15 min | No hubo bloqueo | Sí | Revisar límites de ángulo |
| Debe integrarse con el hardware sin retrasos perceptibles | No funcional | Prueba de latencia | Latencia < 30 ms | Sí | - |

2. VERIFICACIÓN HARDWARE

Para la verificación del diseño del hardware del exoesqueleto del miembro superior izquierdo, se formularon las siguientes preguntas clave basadas en los requerimientos funcionales y no funcionales definidos para el paciente Loayza.

- **¿Cuánto peso debe tener el dispositivo?**

El exoesqueleto completo tiene un peso aproximado de **900–950 gramos**, incluyendo servomotores, soportes impresos en 3D, hilos de pescar y correas.

Este peso se encuentra dentro del límite establecido (<1.5 kg) y permite su uso continuo sin generar fatiga significativa.

- **¿Cuánto tiempo debe durar la batería de forma autónoma?**

El sistema utiliza tres baterías de litio de 3.7 V y 4200 mAh, considerando una eficiencia del 80%. Dos de ellas se conectan en paralelo para alimentar los servomotores, que consumen un máximo de 2 A; esta configuración proporciona una capacidad útil total de 6720 mAh, lo que equivale a aproximadamente 3.36 horas de autonomía. La batería restante alimenta la placa ESP32, cuyo consumo estimado es de 0.7 A; sin embargo, al emplear un conversor step-up que eleva de 3.7 V a 5 V, la corriente real demandada a la batería aumenta debido a la relación de voltaje y las pérdidas del conversor, reduciendo la autonomía entre un 35% y 50%. En consecuencia, la capacidad útil de 3360 mAh ofrece una autonomía aproximada de entre 2.3 y 3.1 horas para el ESP32. Si bien estas duraciones no alcanzan el objetivo inicial de 5 horas de operación continua, se propone reajustar el requerimiento a un mínimo viable de 2 horas para el prototipo académico.

- **¿Cuánta fuerza debe ejercer el sistema para permitir la flexión y cierre de la mano?**

Los servomotores han sido probados para el antebrazo, y si se alcanza la fuerza suficiente, sin embargo, no se ha podido probar para la flexión y cierre de la mano

- **¿Con cuántos botones físicos debe contar el dispositivo?**

El sistema cuenta con tres sensores táctiles TTP223, encargados de activar la acción deseada en un control. Se evaluó esta decisión para reducir la complejidad del control y permitir manejo con mínima movilidad.

- **¿Qué dimensiones debe tener el dispositivo?**

El exoesqueleto fue diseñado para ajustarse al brazo izquierdo adulto del paciente Loayza, ocupando un volumen adicional al 30% del brazo natural.

Incluye:

- Soporte de antebrazo y brazo impreso en PLA,
- Arnés tipo “8” para estabilidad torácica,

- **¿Necesita elementos de visualización?**

Sí, el dispositivo utiliza un LED indicador básico de funcionamiento y un indicador de batería en la caja con batería

- **¿El sistema cuenta con protección ante sobrecarga o fallas eléctricas?**

Sí, el sistema trabaja a voltajes seguros (5 V – 7.4 V), no presenta sobrecalentamiento, y las conexiones están aisladas dentro del módulo de control principal.

- **¿Se garantiza el aislamiento adecuado del sistema electrónico?**

Sí, todos los circuitos se encuentran protegidos en una caja impresa en 3D, minimizando el riesgo de daño, humedad o contacto con la piel.

- **¿El diseño permite mantenimiento o sustitución de piezas?**

Sí, las piezas están unidas mediante tornillos, los soportes son modulares y se pueden reemplazar servos, cables bowden y correas sin desarmar todo el sistema.

Tabla de verificación del sistema

| Requerimiento de diseño | Resultado del test |
|--|---|
| Flexión y extensión de dedos para agarre funcional | Se logra cierre de 3 dedos mediante cables Bowden. El agarre es estable. FALTA |
| Flexión del codo con asistencia mecánica | Alcance real: 75° aprox Cumple parcialmente |
| Activación mediante sensor táctil | El TTP223 responde de forma inmediata y repetible. Cumple |
| Distribución de carga mediante arnés | El arnés estabiliza el tronco sin incomodidad excesiva. Cumple |
| Alimentación correcta de los módulos eléctricos | Voltajes estables. No hay caídas de tensión. Cumple |
| Autonomía de batería | 28 minutos. No cumple el requerimiento inicial (5h) |
| Seguridad mecánica y ausencia de bordes | Todas las piezas presentan bordes suavizados. Cumple |
| Comodidad y ausencia de puntos de presión | Leves molestias en zonas sin acolchado. Cumple parcialmente |
| Modularidad del sistema | El prototipo permite el reemplazo de componentes. Cumple |

3. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO (FABRICACIÓN DIGITAL)

Tabla de verificación del exoesqueleto

| FUNCIONALIDAD | SÍ | NO |
|---|----|----|
| El dispositivo se activa al presionar el sensor | ✓ | |
| Combina mecánica + electrónica para asistir el movimiento | ✓ | |
| Permite el cierre de mano para sujetar el andador | | ✓ |
| El codo se mueve mediante servomotor | ✓ | |
| El rango de flexión del codo se alcanza completamente | | ✓ |
| Se ajusta al brazo del paciente | ✓ | |
| Posee piezas impresas en PLA | ✓ | |
| Incluye arnés tipo "8" para estabilidad | ✓ | |
| Batería con duración suficiente para una sesión | | ✓ |
| Presenta bordes redondeados y seguridad adecuada | ✓ | |

Tabla de verificación de diseño

| CATEGORÍA | REQUERIMIENTO INICIAL | REQUERIMIENTO FINAL |
|---------------------------|---|--|
| 1. Objetivo general | Asistir movimientos del brazo y permitir agarre del andador | Sistema modular que permite agarre y flexión asistida, con estabilización del tronco |
| 2. Funcionalidad mecánica | Flexión total del codo | Flexión parcial de codo + agarre estable de mano |
| 3. Rango de movimiento | 0°–120° | 0°–75° (limitado por torque del servo) |

| | | |
|----------------------------|--------------------------|---|
| 4. Materiales usados | PLA rígido | PLA + acolchado para comodidad |
| 5. Hilos | Hilo simple | Hilo de pescar optimizado para tracción |
| 6. Encaje y fijaciones | Fijación rígida | Fijación acolchada en zonas críticas |
| 7. Detección de activación | Sensor en dedo índice | Sensor táctil fiable y estable |
| 8. Control del movimiento | Servo básico | Servo + mecanismo Bowden para dedos |
| 9. Tiempo de respuesta | Activación inmediata | Activación <200 ms, estable |
| 10. Seguridad | Sin detalles adicionales | Sistema aislado + bordes suaves |
| 11. Fuente de energía | 5 horas de autonomía | 28 min reales (replanteo necesario) |