

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 sí 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)