



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

Diseño de una órtesis robótica activa de rodilla con control dual para rehabilitación biomédica

Autor:

D. Antonio Gutiérrez Fabro

Tutor:

Dr. D. Alonso Alonso Alonso

Valladolid, septiembre de 2025

TÍTULO: **Diseño de una órtesis robótica activa
de rodilla con control dual para
rehabilitación biomédica**

AUTOR: **D. Antonio Gutiérrez Fabro**

TUTOR: **Dr. D. Alonso Alonso Alonso**

DEPARTAMENTO:

TRIBUNAL

PRESIDENTE: **Dr. D. Ramón J. Durán Barroso**

VOCAL: **Dr. D. Ignacio de Miguel Jiménez**

SECRETARIO **Dr. D^a. Miriam Antón Rodríguez**

FECHA: **septiembre de 2025**

CALIFICACIÓN:

Resumen de TFM

Este TFM presenta el prototipo ORActive, una órtesis robótica activa de rodilla de bajo coste orientada a ejercicios de rehabilitación. El sistema combina un actuador de alto par, con detección de intención de movimiento mediante sensores de presión y control basado en ESP32, junto con una App Android para la configuración del sistema y gestión de las bases de datos (local y en la nube). Se han validado tres modos de funcionamiento (Automático, Asistido y Asistido Libre), demostrando la viabilidad técnica y económica del prototipo, consolidando a ORActive como una solución accesible y modular para la rehabilitación de rodilla en entornos clínicos o a distancia.

Palabras clave

Órtesis robótica, ESP32, Bajo coste, Rehabilitación de rodilla, Telerehabilitación.

Abstract

This Master's Thesis presents the ORActive prototype, a low-cost active robotic knee orthosis designed for rehabilitation exercises. The system combines a high-torque actuator with motion intention detection using pressure sensors and ESP32-based control, together with an Android app for system configuration and database management (local and cloud-based). Three operating modes (Automatic, Assisted and Free Assisted) have been validated, demonstrating the technical and economic viability of the prototype and consolidating ORActive as an accessible and modular solution for knee rehabilitation in clinical or remote settings.

Keywords

Robotic orthosis, ESP32, Low cost, Knee rehabilitation, Telerehabilitation..

“ Patri, el amor lo puede todo, ejemplo de vida y coraje”



Esta obra está sujeta a una licencia de
Atribución-NoComercial-CompartirIgual
[4.0 Internacional Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Agradecimientos

Sin duda, la realización del Máster Universitario en Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ha sido todo un reto personal. Pero este camino no lo he podido realizar sin ayuda, por eso quiero dar las gracias a las personas, profesores y compañeros que me han apoyado, animado y enseñado, para conseguir terminar estos estudios. En especial a mi tutor Alonso Alonso Alonso por su disponibilidad, ideas (como, realizar el *Modo Asistido Libre* y otras más) y ánimos para la consecución de este proyecto.

A mi amigo D. Manuel Bazán Grande por su inestimable ayuda en el diseño y creación de piezas de impresión 3D.

A la *Fundación POLIBEA* (Centro de neurorrehabilitación en Tres Cantos - Madrid), a sus terapeutas y directora Gema, por su colaboración y asesoramiento en este proyecto.

A mi compañera Rafi por ser el pilar fundamental, soportando el tiempo que dedico a estudiar y dándome del suyo para conseguir mis logros personales, a mi hijo Alberto, que además de buen locutor en los mensajes sonoros de la órtesis, demuestra que se puede aprender y conseguir nuevas metas, por muy complicadas que parezcan. Para terminar agradeciendo a mi hija Patricia por demostrarme, con su ejemplo de vida y coraje, que con determinación y constancia se consigue superar los peores problemas que te pone la vida, por más imposibles que parezcan (además de su esfuerzo en conseguir recuperar esa preciosa voz en algunos de los mensajes).

Listado de acrónimos

- **ABLE:** *ABLE Human Motion*. Exoesqueleto portátil de rodilla.
- **ACK:** *Acknowledgment*. Señal de reconocimiento en protocolos de comunicación.
- **ADC:** *Analog to Digital Converter*. Convertidor analógico–digital.
- **ADS:** *ADS1115*. Convertidor ADC de 16 bits de Texas Instruments.
- **AKB:** *Active Knee Brace*. Exoesqueleto de rodilla.
- **App:** Aplicación de software para dispositivos móviles.
- **ASMG-MTA:** Actuador servomotor empleado en la órtesis ORActive.
- **AUTO:** Asistencia automática adaptativa.
- **BES:** Señales bioeléctricas.
- **BLDC:** *Brushless DC Motor*. Motor de corriente continua sin escobillas.
- **BLE:** *Bluetooth Low Energy*. Variante de bajo consumo de *Bluetooth*.
- **CAD:** *Computer Aided Design*. Diseño asistido por ordenador.
- **CMRR:** *Common-Mode Rejection Ratio*. Relación de rechazo de modo común.
- **CPM:** Movilización pasiva continua.
- **CVIM:** Contracción Voluntaria Isométrica Máxima.
- **DAC:** *Digital to Analog Converter*. Convertidor digital–analógico.
- **DC:** *Direct Current*. Corriente continua.
- **DNNAS:** Sistema Dinámico de Asistencia por Redes Neuronales.
- **DSP:** *Digital Signal Processor*. Procesador digital de señales.
- **ECG:** Electrocardiografía. Técnica para medir la actividad eléctrica del corazón.
- **EMG:** Electromiografía. Técnica para medir la actividad eléctrica de los músculos.
- **ENV:** Señal EMG envolvente.
- **ESP32:** Microcontrolador de Espressif Systems con conectividad WiFi y *Bluetooth*.
- **FOC:** *Field Oriented Control*. Algoritmo de control orientado a campo.
- **FPGA:** *Field Programmable Gate Array*. Circuito integrado programable.
- **FSR:** *Force Sensitive Resistor*. Sensor de presión/resistencia sensible a la fuerza.
- **GND:** *Ground*. Tierra.
- **GPIO:** *General Purpose Input/Output*. Entrada/Salida de propósito general.
- **HAL:** *Hybrid Assistive Limb*. Exoesqueleto robótico de asistencia.
- **HTTP:** *HyperText Transfer Protocol*. Protocolo de transferencia de hipertexto.
- **IA:** Inteligencia Artificial.
- **IBM:** *International Business Machines*. Empresa multinacional de tecnología.
- **IC:** *Integrated Circuit*. Circuito integrado.
- **IDE:** *Integrated Development Environment*. Entorno de desarrollo integrado.
- **IMU:** *Inertial Measurement Unit*. Unidad de medición inercial.
- **IN:** Entrada.
- **INA114:** Amplificador de instrumentación de Texas Instruments.
- **JPG/JPEG:** *Joint Photographic Experts Group*. Formato gráfico.
- **JSON:** *JavaScript Object Notation*. Notación de objetos de JavaScript.
- **KERS:** *Kinetic Energy Recovery System*. Sistema de recuperación de energía cinética.
- **KNEXO:** Exoesqueleto de rodilla desarrollado por VUB.

- **LED:** *Light Emitting Diode*. Diodo emisor de luz.
- **MAK:** *Marsi Active Knee*. Órtesis robótica desarrollada por Marsi Bionics.
- **MIT:** *Massachusetts Institute of Technology*. Instituto de Tecnología de Massachusetts.
- **MR:** Magnetorreológico. Tipo de freno/actuador basado en fluidos MR.
- **NC:** *Normally Closed*. Normalmente cerrado.
- **NO:** *Normally Open*. Normalmente abierto.
- **MP3:** *MPEG Audio Layer 3*. Formato de audio comprimido.
- **ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.
- **OFF:** Apagado / desactivado.
- **OLED:** *Organic Light Emitting Diode*. Pantalla de diodos orgánicos emisores de luz.
- **ON:** Encendido / activado.
- **ONU:** Organización de las Naciones Unidas.
- **ORActive:** Órtesis Robótica Activa desarrollada en el TFM.
- **OUTPUT:** Salida.
- **PAM:** *Pneumatic Artificial Muscle*. Músculo artificial neumático.
- **PC:** *Personal Computer*. Ordenador personal.
- **PD:** *Proportional-Derivative*. Proporcional-derivativo.
- **PGA:** *Programmable Gain Amplifier*. Amplificador de ganancia programable.
- **PID:** *Proportional-Integral-Derivative*. Control clásico de lazo cerrado.
- **PNG:** *Portable Network Graphics*. Formato gráfico.
- **POST:** Método del protocolo HTTP.
- **PWM:** *Pulse Width Modulation*. Modulación por ancho de pulso.
- **RAW:** Señal EMG sin procesar.
- **RECT:** Señal EMG rectificada.
- **RMRA:** *Regenerative Magneto-Rheological Actuator*. Actuador magnetorreológico regenerativo.
- **RMS:** *Root Mean Square*. Valor cuadrático medio de una señal.
- **RS-485:** *Recommended Standard*. Estándar de comunicación serie (485).
- **RT:** Terapia robótica reactiva.
- **RX:** *Receive*. Canal de recepción de datos.
- **SCK / SCL:** *Serial Clock Line*. Línea de reloj en I²C.
- **SDA:** *Serial Data Line*. Línea de datos serial.
- **SEA:** *Series Elastic Actuator*. Actuador elástico en serie.
- **sEMG:** *Superficial Electromyography*. Electromiografía superficial.
- **STS:** *Sit-To-Stand*. Transición de sedestación a bipedestación.
- **TCE:** Traumatismo craneoencefálico.
- **TFM:** Trabajo Fin de Máster.
- **TX:** *Transmit*. Canal de transmisión de datos.
- **UART:** *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*. Receptor-transmisor asíncrono universal.
- **USB:** *Universal Serial Bus*. Estándar de conexión para periféricos.
- **UVLO:** *Under Voltage LockOut*. Protección contra bajo voltaje.
- **VUB:** *Vrije Universiteit Brussel*. Universidad Libre de Bruselas.
- **ZMP:** *Zero Moment Point*. Punto de momento cero, usado en control de equilibrio.

Índice

1.	Introducción	14
1.1.	Contexto, motivación y justificación del proyecto	14
1.2.	Objetivos	16
1.2.1.	Objetivos principales.....	16
1.2.2.	Objetivos secundarios	17
1.3.	Diagrama de bloques del sistema	18
1.4.	Estructura del documento	19
1.5.	Metodología	21
1.5.1.	Fases del proyecto	21
1.5.2.	Uso de herramientas de inteligencia artificial	22
1.5.3.	Diagrama de Gantt	23
2.	Estado del arte	24
2.1.	Aplicaciones y diseños	24
2.1.1.	Aplicaciones clínicas para rehabilitación.	24
2.1.2.	Aplicaciones para mejorar del rendimiento físico	32
2.1.3.	Tendencias y desafíos	36
2.1.4.	Posicionamiento del proyecto para el TFM	37
3.	Estudio técnico.....	38
3.1.	Componentes tecnológicos.....	38
3.1.1.	Actuadores.....	38
3.1.2.	Sensores.....	41
3.1.3.	Adaptadores y acondicionadores de señal	42
3.1.4.	Sistemas de control.....	45
3.1.5.	Órtesis robótica de rodilla (estructura mecánica)	46
3.2.	Fisiología y biomecánica de la rodilla	47
3.2.1.	Anatomía funcional y musculatura implicada.....	47
3.2.2.	Biomecánica de la marcha y comportamiento articular.....	48
3.2.3.	Transición de sedestación a bipedestación	49
3.3.	Electromiografía (EMG).....	53
4.	Estudio de viabilidad técnica.....	54
4.1.	Requisitos funcionales y biomecánicos	55
4.2.	Actuador.....	55
4.3.	Controlador y sensores	56
4.4.	Aplicación móvil.....	57
4.5.	Estructura mecánica de la órtesis	57

4.6.	Riesgos técnicos identificados.....	57
4.7.	Conclusión de viabilidad técnica	59
5.	Desarrollo técnico.....	59
5.1.	Módulo actuador.....	60
5.1.1.	Especificaciones técnicas	61
5.1.2.	Modos de control.....	62
5.2.	Módulo unidad de control.....	65
5.2.1.	Características principales.....	66
5.2.2.	Descripción de los pines	66
5.2.3.	Programación y entorno de desarrollo.....	68
5.3.	Módulo de sensores	69
5.3.1.	Sensor de posición.....	69
5.3.2.	Sensor de presión celda de carga de 50 Kg Medio Puente.....	70
5.3.3.	Convertidor ADC ADS1115	71
5.3.4.	Sensor de EMG.....	71
5.3.5.	Electrodos para EMG	74
5.4.	Módulo estructural de la órtesis.....	75
5.4.1.	Especificaciones técnicas	75
5.5.	Módulo de notificación y estado	76
5.5.1.	Pantalla OLED.....	76
5.5.2.	Sensor háptico	77
5.5.3.	Reproductor MP3	78
5.5.4.	Testigo luminoso	79
5.6.	Módulo de alimentación y medidas de seguridad	80
5.7.	Módulo App móvil.....	83
5.7.1.	Estructura del interfaz de usuario.....	83
5.7.2.	Plataforma de desarrollo de la interfaz App	84
6.	Diseño práctico	85
6.1.	Diseño mecánico	85
6.1.1.	Soporte fijo de la órtesis en la parte lateral sobre el muslo	87
6.1.2.	Soporte biela de aluminio de la zona tibial de la órtesis.....	87
6.1.3.	Caja y tapa soporte fijo Servo	88
6.1.4.	Caja y tapa cinturón de batería.....	88
6.2.	Diseño Hardware	89
6.2.1.	Unidad de alimentación y seguridad	91
6.2.2.	Unidad de control.....	91

6.2.3.	Actuador servomotor ASMG-MTA	92
6.2.4.	Pantalla OLED.....	92
6.2.5.	Sensor háptico	92
6.2.6.	Sensores de presión	93
6.2.7.	Reproductor MP3	93
6.2.8.	LED bicolor Rojo - Verde.....	93
6.3.	Diseño Software	93
6.3.1.	Aplicación App para móvil Android.....	94
6.3.2.	Guardar archivo del ejercicio en la nube (<i>Google Drive</i>).....	120
6.3.3.	Firmware del ESP32	123
6.4.	Guía de Usuario	149
6.5.	Montaje del sistema ORActive	161
6.5.1.	Montaje mecánico de la órtesis ORActive	161
6.5.2.	Montaje del hardware del sistema.....	165
6.6.	Presupuesto prototipo sistema ORActive	172
7.	Ajustes y comprobaciones del sistema ORActive.....	173
7.1.	Consumo energético.	173
7.2.	Señales PWM.	175
7.3.	Calibración entrada ADC del ESP32	178
7.4.	Alineación mecánica y puesta a cero con el servo	180
7.5.	Pruebas de seguridad	182
7.6.	Comprobaciones del sistema	184
8.	Pruebas y resultados del sistema ORActive	185
8.1.	Modo Automático.....	186
8.2.	Modo Asistido	191
8.3.	Modo Asistido Libre	196
9.	Estudio Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	204
10.	Impacto medioambiental	207
11.	Discusión y conclusiones	208
12.	Referencias	213
13.	Anexo	217

Lista de tablas

Tabla 1. Presupuesto del prototipo ORActive.....	173
--	-----

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema ORActive y sus conexión.....	19
Figura 2. Órtesis robótica Marsi Active Knee (MAK)	25
Figura 3. Órtesis robótica EICOSI	26
Figura 4. Órtesis robótica KNEXO	27
Figura 5. Órtesis robótica BioKEX.....	28
Figura 6. Órtesis robótica ABLE-KS.....	29
Figura 7. Órtesis robótica AKB.....	30
Figura 8. Órtesis robótica Tibion® PK100.....	31
Figura 9. Órtesis robótica HAL-SJ.....	32
Figura 10. Órtesis robótica Dnsys Z1.....	33
Figura 11. Órtesis robótica RoboKnee	34
Figura 12. Órtesis robótica de Maeda et al.....	35
Figura 13. Órtesis robótica de Karavas et al.	35
Figura 14. Esquema motor BLDC.	39
Figura 15. Actuadores neumáticos (PAMs).....	39
Figura 16. Actuadores hidráulicos	40
Figura 17. SEA (Series Elastic Actuators).....	40
Figura 18. Potenciómetro y encoder	41
Figura 19. Celda de carga y sensor FSR	41
Figura 20. Sensor inercial (IMU)	42
Figura 21. Sensor electromiográfico (EMG).....	42
Figura 22. Filtro Paso Bajo.....	43
Figura 23. Filtro Paso Alto.....	43
Figura 24. Adaptador de nivel lógico	43
Figura 25. Amplificador de instrumentación INA114	44
Figura 26. Diagrama de bloques HX711, aplicación de báscula de pesaje	44
Figura 27. ADS1115 Diagrama de bloques. Fuente: Texas Instruments.....	45
Figura 28. Esquema de bloques del sistema de control PID. Fuente: Picuino	45
Figura 29. Órtesis de rodilla. Fuente: Amazon.....	46
Figura 30. Los músculos necesarios para la locomoción humana normal en el plano sagital	48
Figura 31. Ciclo normal de la marcha.....	48
Figura 32. Ángulo y par de la articulación de la rodilla humana durante un ciclo de marcha.....	49
Figura 33. (a) Variaciones de los ángulos articulares en función del tiempo; (b) Modelo CAD de las fases del movimiento de bipedestación	50
Figura 34. (a) Variaciones del par de la articulación y del consumo de energía en función del tiempo; (b) Distancia del punto de momento cero desde la coordenada global	50
Figura 35. Señal EMG	53
Figura 36. Esquema de bloques del sistema.	60
Figura 37. Servomotor ASMG-MTA.....	61
Figura 38. Modos de funcionamiento y ajustes del ASMG-MTA	62
Figura 39. Módulo ESP32 Dev Kit C V4 de AZ-Delivery	66
Figura 40. Asignación de pines del ESP32 Dev Kit C V4.....	67
Figura 41. Sensor de presión celda de carga de 50 Kg Medio Puente.....	70

Figura 42. Módulo ADS1115.....	71
Figura 43. Partes del sensor MyoWare 2.0.....	72
Figura 44. Señales de salida del sensor MyoWare 2.0.....	72
Figura 45. Esquema eléctrico del sensor muscular MyoWare 2.0	73
Figura 46. Electrodo Kendall™ H124SG	74
Figura 47. Órtesis de rodilla.....	75
Figura 48. pantalla OLED de 1,3 pulgadas y 128x64 píxeles.....	76
Figura 49. Motor vibrador, sensor háptico	77
Figura 50. Reproductor MP3 DFPlayer Mini y altavoz.....	78
Figura 51. Diodo led bicolor rojo y verde	80
Figura 52. Batería Work y portabatería	81
Figura 53. Placa de expansión 38 pines ESP32 y regulador Buck DD7212SA 12 V	81
Figura 54. Portafusibles para fusibles de tubo de vidrio	82
Figura 55. Interruptor basculante redondo.....	82
Figura 56. botón de parada de emergencia.....	82
Figura 57. Switches finales de carrera	83
Figura 58. Cotas del servomotor	86
Figura 59. Diseño 3D del soporte fijo de la órtesis en la parte lateral sobre el muslo	87
Figura 60. Diseño 3D de la biela y la pieza de conexión con el eje del servomotor.	87
Figura 61. Caja y tapa soporte fijo Servo.....	88
Figura 62. Caja y tapa cinturón de batería	88
Figura 63. Módulos hardware utilizados y sus conexiones.	89
Figura 64. Esquema eléctrico del sistema ORActive.	90
Figura 65. Diagrama de flujo de la programación App.	95
Figura 66. Diseñador del MIT App Inventor.....	96
Figura 67. Logotipo ORActive.....	126
Figura 68. Órtesis robótica de rodilla ORActive	161
Figura 69. Detalle del final de carrera Extensión.	162
Figura 70. Biela de la órtesis robótica.	162
Figura 71. Parte fija del muslo de la órtesis robótica.....	163
Figura 72. Unión de las piezas del muslo y espinilla de la órtesis cerrada.	163
Figura 73. Unión de las piezas del muslo y espinilla de la órtesis abierta.	164
Figura 74. Instalación de sensores de presión Extensión y Flexión en la zona tibial. Sensor háptico en zona posterior del muslo.....	164
Figura 75. Detalle de las conexiones de alimentación.	165
Figura 76. Conexiones eléctricas del sistema ORActive.	165
Figura 77. Conectores de salida y de la tapa de la caja del cinturón de batería.	166
Figura 78. Vista general de la instalación en la caja del cinturón de batería.	167
Figura 79. Montaje caja del cinturón de batería.	167
Figura 80. Elementos de la caja del soporte fijo servo.....	169
Figura 81. Disposición de los componentes en la caja del soporte fijo servo.....	169
Figura 82. Montaje final de las dos cajas del sistema.	170
Figura 83. Órtesis Robótica Activa de rodilla ORActive totalmente terminada.	170
Figura 84. Órtesis Robótica Activa de rodilla ORActive, montaje en usuario.....	171
Figura 85. Fuente de alimentación RIDEN RD6030-W	174
Figura 86. Osciloscopio digital Fosc21C1.....	176
Figura 87. Señal PWM servomotor medida para 0°.	176
Figura 88. Señal PWM servomotor medida para 90°.	177
Figura 89. Señal PWM servomotor medida para 120°.	177
Figura 90. Señal PWM servomotor medida para el motor vibrador.....	178

Figura 91. Pulsador de ajuste a cero del servo.	180
Figura 92. Potenciómetro ajuste a cero del servo.....	181
Figura 93. desacoplación de ejes en ajuste cero.....	181
Figura 94. Resultado ejercicio real en Modo Automático.....	187
Figura 95. Resultado del ejercicio real en Modo Asistido.	192
Figura 96. Resultado del ejercicio real en Modo Asistido Libre.	197
Figura 97. Objetivos de desarrollo sostenible.....	204
Figura 98. Evolución de la tasa de cobertura de los indicadores de los ODS.....	205
Figura 99. Cobertura de los indicadores por objetivo. diciembre 2023	205

1. Introducción

Para comenzar se plantea: el contexto, la motivación y la justificación, seguido de los objetivos, la estructura y la metodología aplicada.

1.1. Contexto, motivación y justificación del proyecto

Gracias al avance tecnológico de la robótica y la ingeniería biomédica de los últimos años, hay una creciente demanda de soluciones tecnológicas aplicadas a la rehabilitación de personas con movilidad reducida, impulsando el desarrollo de dispositivos de asistencia para mejorar la calidad de vida de estas personas. Entre estos dispositivos se encuentran las órtesis robóticas activas, que son una alternativa prometedora con respecto a los sistemas pasivos tradicionales, ya que ofrecen asistencia motorizada al incorporar un control inteligente mediante actuadores, sensores y sistemas de control, que son capaces de generar movimiento asistido o no de forma programada y personalizada, permitiendo adaptar las terapias de rehabilitación al estado del usuario y realizar seguimientos de estas sesiones tanto en modo local como a distancia.

Dentro de las articulaciones, la rodilla desempeña un papel fundamental en la bipedestación y marcha en las personas, siendo una de las más afectadas o vulnerables en usuarios que han sufrido lesiones y degeneraciones neuromusculares, traumatismos o cirugías quirúrgicas. La rehabilitación de la rodilla requiere de ejercicios repetitivos, controlados y a veces asistidos, para conseguir recuperar la función motora de forma eficaz y segura.

En estos casos, la inmovilización prolongada de las articulaciones puede dar lugar a complicaciones como la rigidez articular, atrofia, pérdida de fuerza y de la resistencia muscular, donde se puede perder entre un 5 % y un 8 % de su fuerza por semana. La rehabilitación mediante ejercicios supervisados por fisioterapeutas tiene limitaciones, ya que es difícil tener una supervisión constante y que en cada repetición tenga exactamente la misma velocidad,

amplitud y fuerza aplicada, por esto, las órtesis robóticas activas aportan una ventaja importante, ya que permiten realizar movimientos controlados y seguros, con posibilidad de registrar las métricas de las sesiones del usuario para ver su progreso en el tiempo. Además, al ofrecer una asistencia adaptable según el estado funcional del usuario permite optimizar cada fase del tratamiento, desde la fase inicial pasiva hasta la activa con control de intención voluntario de movimiento. [1]

Los sistemas actuales de rehabilitación robótica suelen ser costosos, complejos o poco accesibles fuera de centros de rehabilitación y del entorno hospitalario. Además, muchos de estos sistemas no permiten adaptarse dinámicamente al nivel funcional del usuario ni a su evolución durante el tratamiento rehabilitador.

Este proyecto se ha presentado a la *Fundación POLIBEA* (Centro de neurorrehabilitación) para solicitar su asesoramiento, se justifica por la necesidad de diseñar una órtesis robótica accesible de bajo coste, adaptable y funcional, mediante la integración de un sistema de control dual (funcionamiento automático y con detección de intención de movimiento) que permite trabajar con un mismo dispositivo, tanto en las fases iniciales pasivas como en las fases activas donde el usuario recupera el control motor voluntario, adaptándose a las diferentes fases del proceso de rehabilitación, favoreciendo la progresión del usuario y su participación activa en las terapias de recuperación. Asimismo, el sistema permite mediante una conexión *bluetooth* a una App en un dispositivo móvil Android, realizar todos los controles y funciones de la órtesis robótica, así como el seguimiento de las sesiones de rehabilitación. Además, su diseño modular y de tecnología abierta, lo convierte en una plataforma escalable para futuras investigaciones o desarrollos clínicos.

Desde un punto de vista académico, este proyecto se enmarca en la asignatura que imparte mi tutor *3Alonso*, de Tecnologías de Rehabilitación en

Bioingeniería, donde se integran conocimientos de biomecánica, señales biológicas, electrónica, programación, control de sistemas y diseño mecánico. Su desarrollo no solo responde a una necesidad clínica, sino también a un interés personal por contribuir en la búsqueda de soluciones tecnológicas más accesibles en el ámbito de la rehabilitación y la ingeniería biomédica, que sean adaptables para entornos clínicos y domiciliarios.

Por último, se analiza como este proyecto contribuye positivamente en varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, en concreto los ODS 3 (Salud y bienestar), 9 (Industria, innovación e infraestructura) y 10 (Reducción de las desigualdades) al proponer una solución tecnológica funcional, accesible y centrada en la mejora de la salud y el bienestar, fomentar la innovación aplicada a la rehabilitación biomédica y promover la igualdad en el acceso a dispositivos como la órtesis robótica, especialmente en contextos de recursos limitados.[2]

1.2. Objetivos

Los objetivos de este proyecto se dividen entre principales y secundarios.

1.2.1. Objetivos principales

Dentro de los objetivos principales están los generales, enfocados en diseñar y desarrollar una órtesis robótica activa para la articulación de la rodilla que se llamará **ORActive**, que integre un sistema de control dual (automático y asistido por detección de intención de movimiento) orientado a ejercicios de rehabilitación biomédica, con el fin de asistir el movimiento articular de forma segura, adaptable y eficaz.

Por otra parte, están los objetivos específicos que son:

- Analizar los requisitos biomecánicos y funcionales de la articulación de la rodilla en el contexto de la rehabilitación.
- Seleccionar e integrar el hardware de los componentes electrónicos y mecánicos necesarios para el diseño funcional del sistema.

- Implementar un sistema de control dual, permitiendo tanto el modo de funcionamiento automático como el de activación por intención de movimiento del usuario.
- Desarrollar el software de control embebido en *ESP32* para la gestión de señales, control de los sensores y servomotor.
- Desarrollar el software de la App de control para dispositivos Android.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas básicas en entornos controlados.
- Disponer de históricos de sesiones para realizar el seguimiento del usuario.
- Documentar el diseño y validar su aplicabilidad dentro del ámbito de las técnicas de rehabilitación de bioingeniería.

1.2.2. Objetivos secundarios

Entre estos objetivos están:

- Facilitar la accesibilidad tecnológica, desarrollando una órtesis robótica activa de bajo coste, que sea replicable y adaptada a colectivos con recursos limitados.
- Favorecer la inclusión y autonomía de personas con movilidad reducida, facilitando su integración funcional en actividades de la vida diaria, como la bipedestación o la ayuda a la marcha.
- Reducir la brecha tecnológica en el ámbito de la salud mediante el uso de plataformas abiertas para fomentar el conocimiento y el desarrollo colaborativo.
- Desarrollar sistemas centrados en el usuario, personalizando aspectos como la comodidad, la seguridad y la adaptación a diferentes tipos de perfiles de usuarios.
- Impulsar el uso del dispositivo en entornos domiciliarios o de difícil acceso, haciendo posible que se pueda utilizar más allá de los centros especializados u hospitalarios.
- Incorporar prácticas sostenibles en el diseño, instalación y reciclaje,

para minimizar el impacto ambiental.

1.3. Diagrama de bloques del sistema

El diagrama del sistema ORActive se compone de los siguiente bloques:

- **Bloque App móvil**
 - **Función:** control de parámetros, selección de modo (automático/intención), visualización de datos en tiempo real.
 - **Conectado a:** ESP32 a través de *Bluetooth*.

Entrada al bloque: datos de sensores y progreso de la terapia.

Salida del bloque: datos de configuración y comandos.

- **Bloque del módulo ESP32 (Controladora principal)**
 - **Función:** realizar el algoritmo del control dual, el procesamiento de datos y comunicaciones.
 - **Algoritmo de control dual:**

Decide el movimiento del motor en base a la información de los sensores y al modo activo.

 - Modo automático: el sistema actúa el motor según los movimientos programados.
 - Modos por intención de movimiento (Asistido y Asistido Libre): detecta si el usuario quiere moverse (señal de los sensores de presión o EMG).
 - **Conectado a:**
 - App móvil a través de *Bluetooth*.
 - Sensores
 - Driver del servomotor

Entrada al bloque: recibe señales y datos desde sensores y la App.

Salida del bloque: envía señales al servomotor, datos a la App y feedback.

- **Bloque sensores:**
 - **Función:** realizar las mediciones de señales del sistema.
 - Sensores de EMG: mide la actividad muscular en la intención de movimiento.

- *Encoder* angular: mide el ángulo de rodilla.
- Sensores de presión: detectan la intención de movimiento.

- **Conectado a:** *ESP32* a través de cable.

Salida del bloque: envían datos al *ESP32* para interpretación de movimiento o estado.

- **Bloque driver del servomotor**

- **Función:** recibe la señal del *ESP32* y convierte en corriente para activar el motor con precisión, permitiendo controlar la dirección, velocidad y torque del motor.

Puede estar en el mismo bloque del servomotor

- **Bloque Servomotor con reductora**

- **Función:** genera el movimiento mecánico de la articulación.
- Servomotor con reductora es el actuador, que está conectado a la órtesis de la rodilla para producir la flexión o extensión según el control recibido.

- **Bloque órtesis de rodilla**

- **Función:** conecta el sistema a la pierna del usuario y transfiere el movimiento generado por el par del actuador (servomotor).

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema y sus conexión.

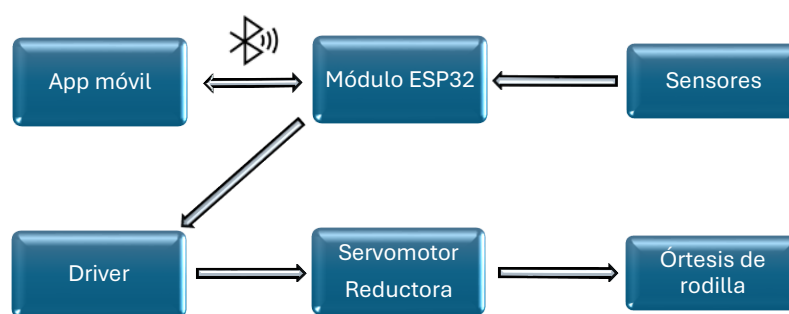


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema ORActive y sus conexión. Elaboración propia.

1.4. Estructura del documento

Esta memoria tiene doce apartados que desarrollan de forma estructurada los distintos aspectos importantes del diseño, análisis, implementación y validación de la órtesis robótica activa de rodilla ORActive con control dual

para aplicaciones en rehabilitación biomédica:

- Apartado 1: introduce el contexto del proyecto, define los objetivos principales y secundarios, presenta el diagrama de bloques funcional del sistema, describe la estructura del documento y la metodología empleada.
- Apartado 2: se recoge el estado del arte, incluyendo una revisión de dispositivos desarrollados actualmente, las estrategias de control y avances recientes, además posiciona el presente proyecto dentro de las líneas de investigación y desarrollo actual.
- Apartado 3: se centra en el estudio técnico de las tecnologías que están disponibles para la construcción de órtesis robóticas activas, donde se analizan los distintos tipos de actuadores, sensores, sistemas de control y estructuras de órtesis, así como los interfaces de interacción usuario-dispositivo.
- Apartado 4: estudia la viabilidad del proyecto desde un enfoque técnico y funcional.
- Apartado 5: describe el desarrollo técnico del sistema propuesto, detallando los componentes hardware utilizados, el software implementado y la forma en que se ha llevado a cabo la integración de los distintos módulos.
- Apartado 6: está dedicado al diseño práctico, la construcción de la órtesis y presupuesto, teniendo en cuenta aspectos ergonómicos, estructurales y de adaptabilidad al usuario.
- Apartado 7: analiza una serie de comprobaciones y de ajustes importantes para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad.
- Apartado 8: documenta las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, evaluando el rendimiento funcional del sistema.
- Apartado 9: analiza el impacto del proyecto sobre los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) de la ONU.
- Apartado 10: evalúa el impacto medioambiental que tiene el sistema y sus componentes, el uso de materiales, la eficiencia energética y el reciclaje.
- Apartado 11: recoge las conclusiones del trabajo y líneas de mejora futuras.
- Apartado 12: donde se muestran las referencias bibliográficas utilizadas.

1.5. Metodología

La metodología empleada en este Trabajo Fin de Máster se ha basado en un enfoque de diseño, desarrollo y validación de pruebas de un prototipo funcional de órtesis robótica activa ORActive.

Siguiendo una estrategia iterativa, el trabajo se estructuró en distintas fases cuya interacción permitió ajustar el diseño conceptual inicial, la validación de pruebas y la evaluación del sistema, a medida que avanzaba el desarrollo del prototipo.

En los siguientes apartados se detallan las fases del proyecto y la planificación temporal (diagrama de Gantt).

1.5.1. Fases del proyecto

Fases del proyecto acorde al plan de trabajo y entregas para el TFM serán:

- **Primera fase, análisis y estudio del proyecto**, con las siguientes tareas:
 - **Propuesta del proyecto:** Se define las subtareas “el título y la temática” y la subtarea “Introducción” que se divide en “Contexto de las órtesis robóticas activas” y “Motivación y justificación del TFM”.
 - **Planificación del proyecto:** Se definen las subtareas “Objetivos del proyecto”, “Organizar la memoria”, “Estado del arte”, “Estudio técnico” y el “Análisis de viabilidad técnica”.
 - **Recopilación y análisis de documentación:** Búsqueda de documentación relativa a las órtesis robóticas activas, sus componentes y sistemas de control, para su análisis y estudio.
- **Segunda fase, Desarrollo del proyecto** con las siguientes tareas:
 - **Desarrollo y memoria:** Se realiza las subtareas: el “Desarrollo técnico” el “Desarrollo práctico”, “Pruebas” y “análisis económico del proyecto” para realizar el prototipo.
 - **Estudio Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):** Se analiza como impacta el proyecto del TFM en la mejora de varios de estos ODS.

- **Impacto medioambiental:** Se estudia como reciclar los residuos de los componentes de la órtesis robótica activa.

En paralelo con estas fases, están algunas tareas e hitos importantes para la realización del TFM, como son:

- **Memoria TFM:** Es la parte fundamental del TFM, en su elaboración se recogen todos los aspectos fundamentales del estudio, análisis, diseño, desarrollo y pruebas del prototipo del proyecto, como son los puntos anteriores, así como las conclusiones y futuras líneas de investigación.
- **Presentación TFM:** Se realiza un documento de síntesis de presentación que resuma de forma clara y concisa todo el trabajo realizado en el proyecto del TFM, así como el análisis y resultados obtenidos, además de las conclusiones.
- **Defensa TFM:** Se realiza una defensa virtual mediante la exposición del documento de presentación del TFM y respondiendo a las preguntas oportunas del tribunal.

1.5.2. Uso de herramientas de inteligencia artificial

En la redacción de este Trabajo Fin de Máster se han empleado herramientas de inteligencia artificial y software de asistencia como apoyo. Concretamente, se empleó *ChatGPT-5* [3] (de *OpenAI*) para mejorar la redacción, revisión ortográfica y gramatical, *GitHub Copilot* [4] (en *Visual Studio Code* [5]) para autocompletar y depurar código durante la programación del firmware del ESP32 y *DeepL Translator* [6] para traducciones al inglés. Todo el contenido generado fue posteriormente revisado por el autor.

El uso de estas herramientas de IA se ha limitado a mejorar la productividad y a aspectos documentales, sin sustituir en ningún caso el trabajo original de análisis, diseño, desarrollo y validación de pruebas realizado en este TFM.

1.5.3. Diagrama de Gantt

En el gráfico 1 se muestra el diagrama de Gantt realizado con *Microsoft Project*, donde se muestra la duración de cada una de las fases del proyecto.

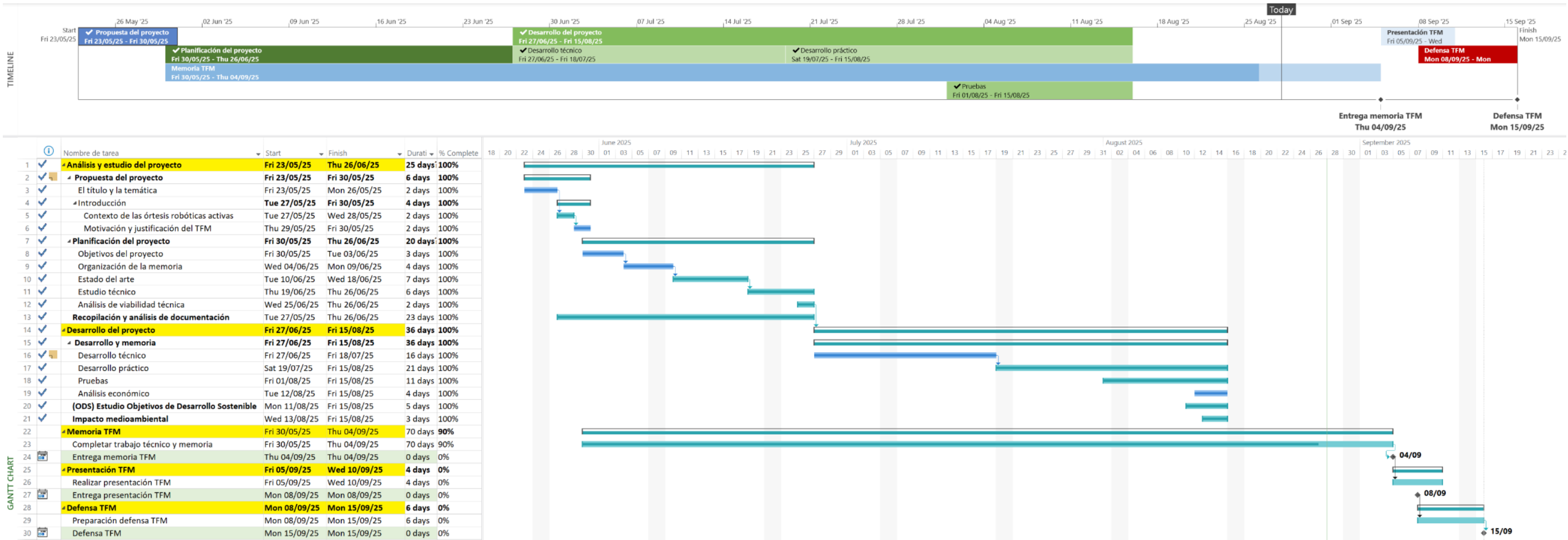


Gráfico 1. Diagrama de Gantt del proyecto del TFM. Elaboración propia.

2. Estado del arte

En los últimos años, el desarrollo de órtesis robóticas activas de rodilla ha aumentado notablemente en el ámbito de la rehabilitación, como una alternativa avanzada a las órtesis pasivas tradicionales. Las disfunciones articulares de rodilla producidas por los accidentes o patologías cerebrovasculares, traumatismos craneoencefálicos (TCE), lesiones medulares, artrosis, enfermedades degenerativas articulares u otros trastornos neuromusculares, requieren de dispositivos que no solo estabilicen la articulación, sino que además asistan activamente el movimiento, para conseguir una recuperación funcional más rápida y eficaz.

Las órtesis robóticas activas se diferencian por incorporar diferentes componentes tecnológicos como actuadores, sensores, y sistemas de control, permitiendo adaptarse a la biomecánica del usuario y facilitar movimientos naturales. Según *Chen et al.* [7], estos dispositivos no solo ayudan en la rehabilitación, sino también mejoran el rendimiento físico en personas sanas.

2.1. Aplicaciones y diseños

El desarrollo de órtesis robóticas activas de rodilla se ha dividido en dos grandes líneas de aplicación: la rehabilitación funcional de usuarios con disfunciones motoras y la mejora del rendimiento físico en personas sanas sometidas a esfuerzos intensos. Estas aplicaciones han impulsado el diseño de múltiples dispositivos, tanto experimentales como comerciales, con enfoques distintos en términos de estructura, control y tipo de usuario.

2.1.1. Aplicaciones clínicas para rehabilitación.

Uno de los principales usos de las órtesis robóticas activas es la rehabilitación de la marcha en usuarios con afecciones neuromusculares. Estos sistemas permiten realizar ejercicios repetitivos guiados y adaptados al nivel de movilidad del usuario, lo que favorece la neuroplasticidad y mejora la recuperación funcional.

Ejemplos destacados:

- **Marsi Active Knee (MAK):**

Es una órtesis robótica activa de rodilla portátil diseñada por *Marsi Bionics* [8] para asistir a la marcha de usuarios con problemas neurológicos. Se centra en el paradigma de asistencia según necesidad (*assist-as-needed*), permitiendo adaptar el nivel de ayuda al esfuerzo del usuario. Dispone de un motor eléctrico elástico rotatorio, estructura ligera (peso de 2,8 kg), batería externa con hasta 7 horas de uso continuo de autonomía y carga completa en 2 horas, un conjunto de sensores que incluyen uno en el motor para la posición angular y 8 sensores de presión de la plantilla del zapato mediante una conexión RS-485, que proporcionan datos en tiempo real sobre posición de rodilla y centro de presión, facilitando el envío de comandos de control de posición/velocidad y fuerza/impedancia (figura 2).



Figura 2. Órtesis robótica Marsi Active Knee (MAK). Fuente:[8]

Tiene 3 modos de funcionamiento:

- F0: Modo de control de fuerza cero: modo de actuación de "exoesqueleto transparente" (sin asistencia).
- M1: Asistencia adaptativa: modo de "asistencia según sea necesario",

cambia entre control de posición del ángulo de la articulación de la rodilla y velocidad según la fase de la marcha, ajustándose a la fuerza del usuario.

- M3: Asistencia continua: el nivel de asistencia se mantiene constante con una transición automática entre fases, ideal para usuarios con menor capacidad de movimiento voluntario.

- **EICOSI:**

Desarrollado para rehabilitación pasiva, la órtesis está compuesta de dos segmentos relacionados a lo largo de un eje de rotación, un segmento está unido al muslo y el otro está unido a la espinilla por medio de correas y donde el eje de rotación se fija a la altura de la articulación de la rodilla. Utiliza un motor DC sin escobillas (BLDC) con transmisión por cable de tracción, una polea y un husillo de bolas, proporcionando hasta 54 Nm de par con un ángulo de rotación máximo de $-2,1 \text{ rad}$ y la velocidad angular de $2,1 \text{ rad/s}$. El par de control se calcula utilizando una placa controladora (*dSPACE-DS1103*) equipada con un procesador IBM (*PowerPC 604th*) que funciona a 400 MHz . [9] Figura 3.

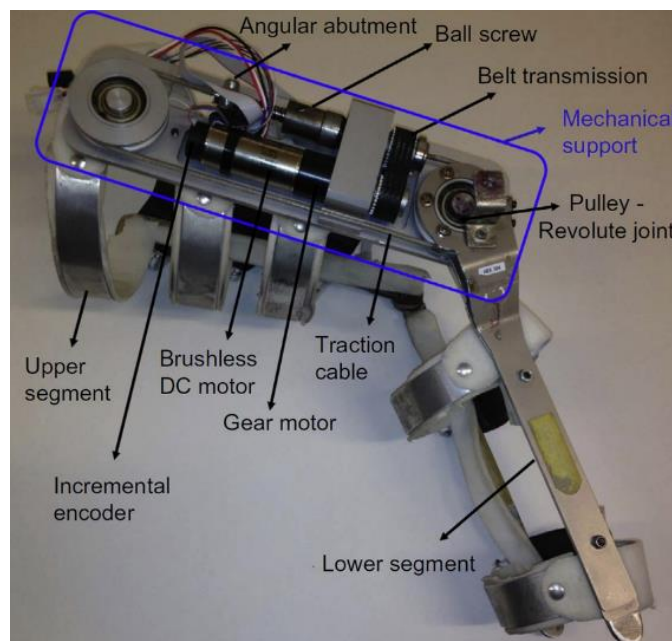


Figura 3. Órtesis robótica EICOSI. Fuente:[9]

- **KNEXO:**

Desarrollado por el grupo de investigación en Robótica y Mecánica Multicuerpo de la *Vrije Universiteit Brussel* (VUB) [10] se muestra en la figura 4, utiliza “*Pleated Pneumatic Artificial Muscles*” (PPAMs) como sistema de actuadores ligeros específicos y de flexibilidad variable, que proporciona asistencia activa a la articulación de la rodilla con alta fuerza para el apoyo total, es adaptable y seguro durante la rehabilitación de la marcha en cinta rodante, dispone de:

- Un modo de «par cero» para caminar sin asistencia y registrar el patrón de referencia de la rodilla.
- Un modo de asistencia ajustable basado en un controlador de trayectoria específico basado en la interacción, que combina una guía compatible con una respuesta segura a los pares de interacción humana.

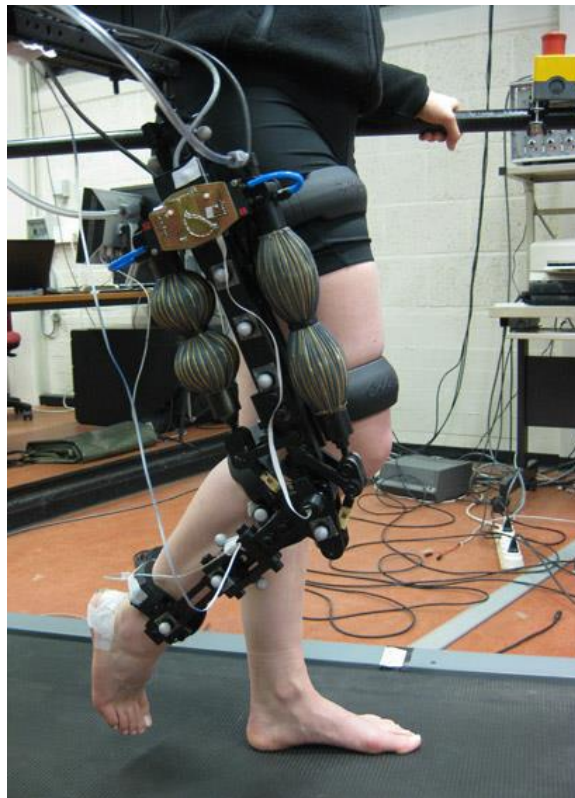


Figura 4. Órtesis robótica KNEXO. Fuente: [10]

- **BioKEX:**

Es una órtesis biónica para usuarios con disfunción de rodilla como se observa en la figura 5. Incorpora dos motores DC, un sistema de transmisión por un engranaje de cremallera, un mecanismo de unión de cinco barras, un engranaje de muslo y un engranaje de vástago. Puede generar hasta 50 Nm de par y pesa 2,3 kg sin contar la fuente de alimentación de corriente continua. Ha demostrado buena precisión en el seguimiento de trayectoria y control de par cero.[7]

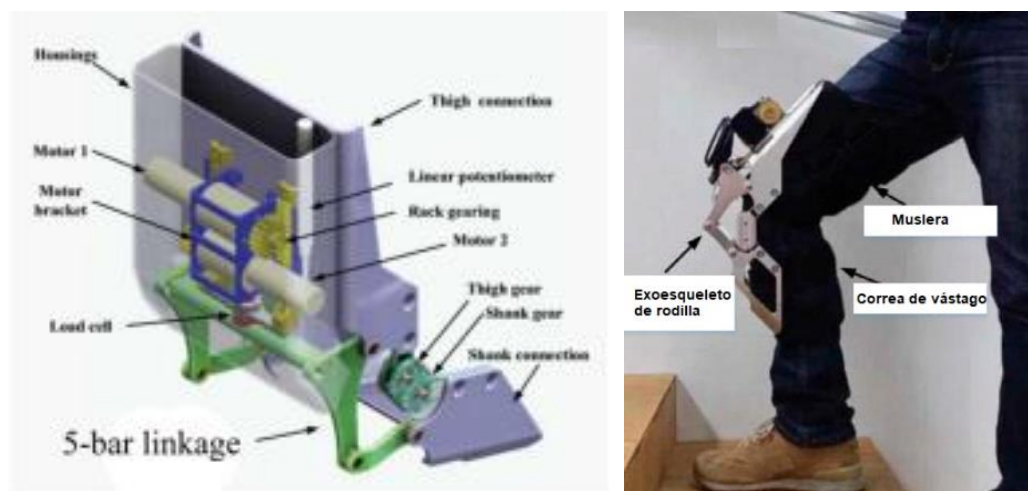


Figura 5. Órtesis robótica BioKEX. Fuente:[7]

- **ABLE-KS:**

Exoesqueleto portátil para rodilla (figura 6) desarrollado por la empresa española *ABLE Human Motion*, que puede proporcionar estabilidad de la rodilla durante la fase de postura y a diferencia de otras órtesis robóticas que se enfocan solo en asistencia pasiva o activa, este modelo combina modos de entrenamiento con asistencia o resistencia a los movimientos de flexión/extensión de la rodilla, lo cual permite adaptar la terapia según la evolución del usuario. Pesa 3,33 kg, la velocidad máxima del actuador es de 25.65 rad/s y puede proporcionar un par de 30 Nm, es decir, el 85 % del valor máximo de flexión/extensión para una persona que pesa 85 kg. [11]

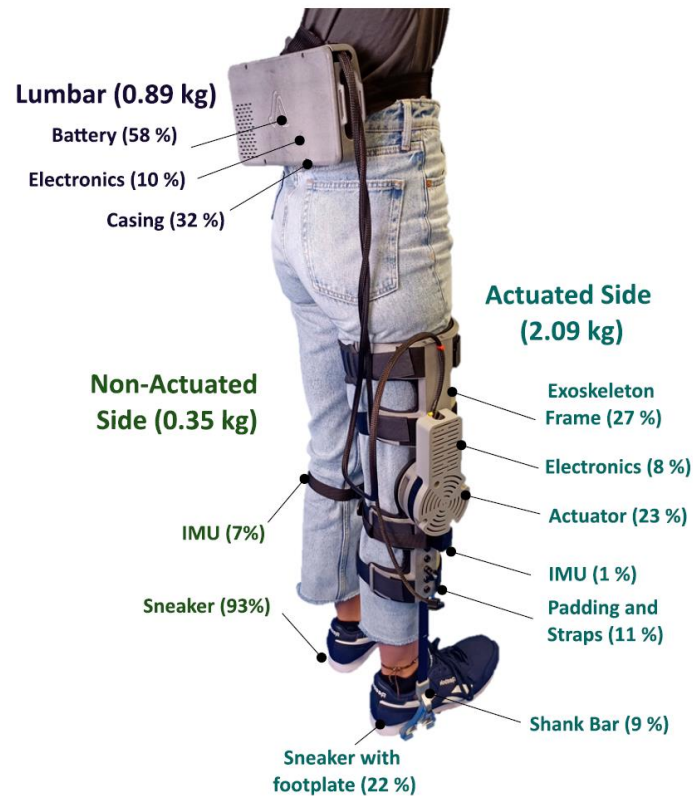


Figura 6. Órtesis robótica ABLE-KS. Fuente:[11]

- **AKB (Active Knee Brace):**

Este dispositivo mostrado en la figura 7, integra un actuador magnetorreológico, que se compone de un motor y un freno magnetorreológico (MR) que trabajan en paralelo regenerativo (RMRA), que combina funciones de asistencia activa a la marcha en la articulación de la rodilla, frenado y recuperación energética, que ofrece una alta eficiencia energética y asistencia adecuada a los usuarios para ayudarles a caminar con un movimiento natural. El motor puede generar un par continuo máximo de 9,6 Nm, y el freno MR puede generar un par de frenado máximo de 34 Nm. El hardware de control del AKB se compone de un PC remoto y una placa controladora integrada. La fuente de alimentación del AKB son baterías de polímero de litio.[7]

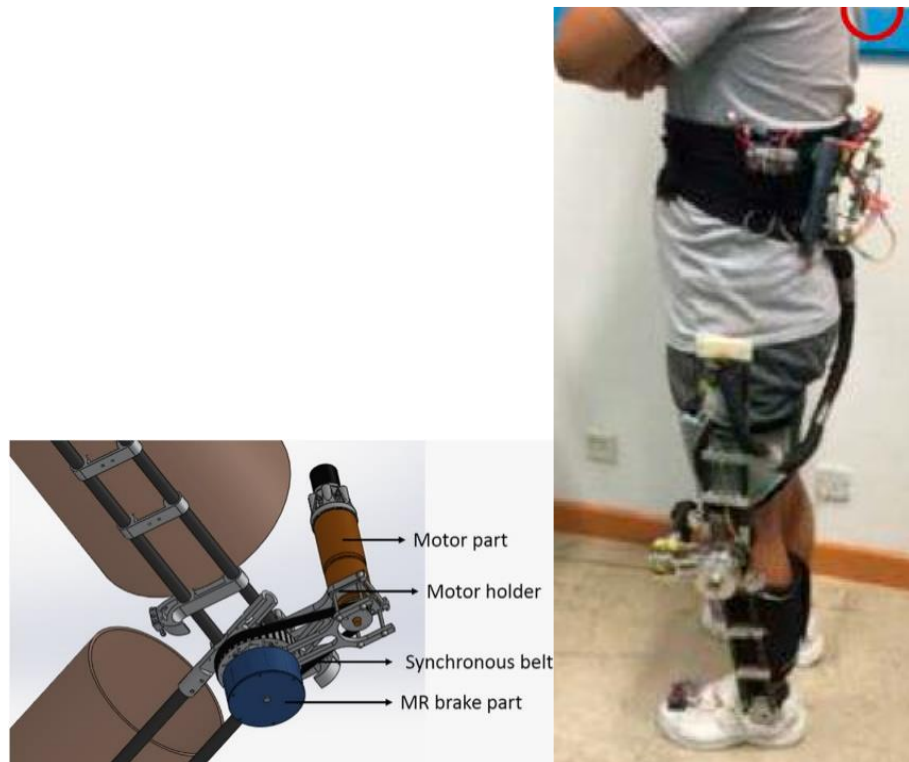


Figura 7. Órtesis robótica AKB. Fuente:[7]

- **Tibion® PK100:**

Es una órtesis robótica activa de rodilla comercial con actuador eléctrico de alto par, estructura de fibra de carbono, sensores (posición, fuerza, presión plantar), control en tiempo real mediante FPGA y firmware embebido, dispone de una batería ion-litio recargable (figura 8). Tiene cuatro modos de funcionamiento: asistencia automática adaptativa (AUTO), activación manual con bloqueo (MANUAL), movilización pasiva continua (CPM) y terapia robótica reactiva (RT) que detecta el inicio de movimiento respondiendo al esfuerzo del usuario y asistiéndolo si no es capaz de completarlo.

Está diseñada para asistencia adaptativa y rehabilitación en usuarios con afecciones neurológicas como ictus, parkinson y esclerosis múltiple. Mejora el equilibrio, la fuerza muscular y la mecánica de la marcha. [12]

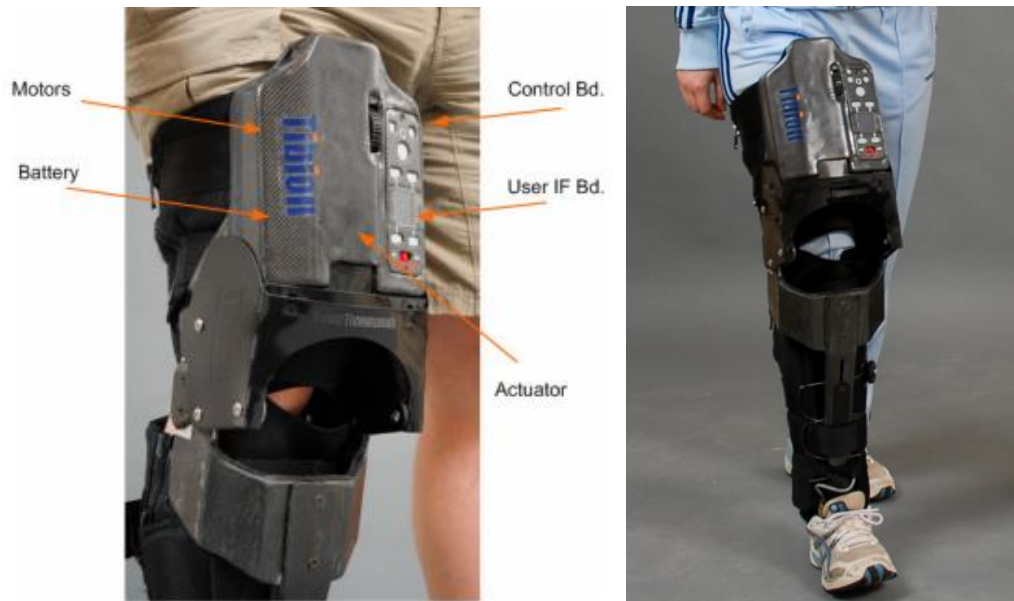


Figura 8. Órtesis robótica Tibion® PK100. Fuente:[12]

- **HAL-SJ (Cyberdyne):**

Desarrollada por *Cyberdyne Inc* (figura 9) es la versión de rodilla del exoesqueleto HAL. Permite ejercicios de flexión y extensión incluso en la cama, con control basado en la detección de señales bioeléctricas (BES) mediante electrodos en la parte delantera y trasera del muslo, así como de los sensores que dan información del ángulo del motor. El par de asistencia se ajusta automáticamente mediante un controlador que ajusta la configuración según la señal de extensión/flexión detectada. Los parámetros que el terapeuta puede ajustar con el controlador son el balance de la señal de extensión/flexión, la ganancia de asistencia y el límite de par. [13]

Utiliza el modo *CVC-AutoFlx*, que genera un par asistido hacia extensión de la rodilla cuando detecta intención de movimiento y cuando se retira la fuerza de la extensión de la rodilla, se genera un par de asistencia hacia la flexión que permite adaptar la asistencia operativa a la extensión de rodilla en posición sentada (90° de flexión). [13]

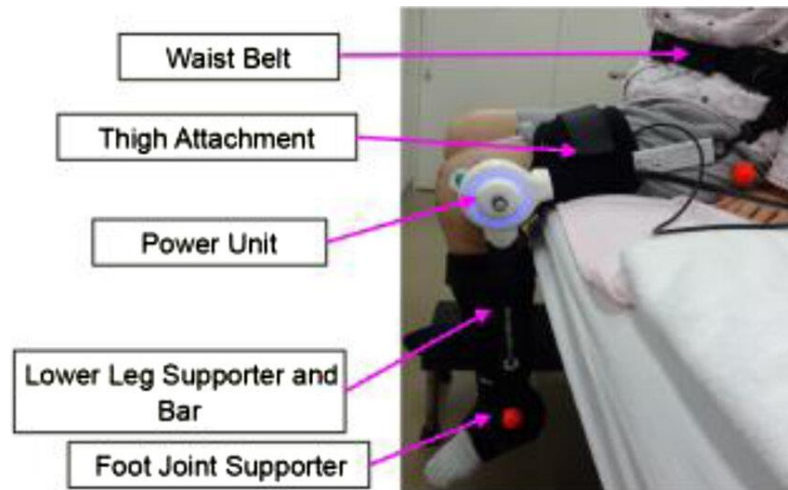


Figura 9. Órtesis robótica HAL-SJ. Fuente:[13]

2.1.2. Aplicaciones para mejorar del rendimiento físico

En el ámbito de las personas sanas, algunos exoesqueletos de rodilla están diseñados para aumentar la fuerza, la resistencia o la velocidad en actividades exigentes como caminatas prolongadas, trabajos industriales o entrenamientos deportivos.

Ejemplos destacados:

- **Dnsys Z1 Pro:**

Desarrollado por la empresa *DNSYS Innovation* está en fase de *crowdfunding* en la web *Kickstarter* [14], con envíos previstos para noviembre-diciembre 2025, proporciona asistencia activa en la articulación de la rodilla mejorando el rendimiento físico en actividades como caminar, subir pendientes o escaleras, senderismo o esquí, así como dar apoyo funcional a personas con fatiga muscular o con movilidad reducida para la mejora de su independencia o facilitar las tareas cotidianas (figura 10).

Este dispositivo integra tecnologías de control inteligente en tiempo real mediante un procesador de doble núcleo a 240 MHz, dispone de controladores de motor independientes con algoritmos de control de campo orientado (FOC) a frecuencia de hasta 40 kHz.[14]

El sistema dispone de una IA propietaria DNNAS (Sistema Dinámico de Asistencia por Redes Neuronales) entrenada con datos reales y más de 1.500 horas de datos de movimiento, de esta forma permite anticipar y adaptar la asistencia según la intención de movimiento del usuario con una latencia inferior a 10 milisegundos.[14]

El modelo Pro incorpora dos motores BLDC de 450 W cada uno (DNA-1), con un torque máximo de hasta 24 Nm por pierna (aprox. 245 kg ·cm) que permite una asistencia activa para reducir hasta un 50 % la carga en las rodillas. El peso del conjunto es de unos 680 gramos por pierna, con una autonomía de hasta 5 horas, que incluye el Sistema de Recuperación de Energía Cinética (KERS) que permite la carga regenerativa de energía durante el descenso.[14]



Figura 10. Órtesis robótica Dnsys Z1. Fuente:[14]

RoboKnee:

Desarrollado por *Pratt et al.*, mejora la fuerza o la resistencia muscular durante la marcha y tareas físicas exigentes como la subida de escaleras, levantar peso y la realización de sentadillas con una pierna cargando hasta 60 kg adicionales sin fatiga (figura 11).

Está equipado con un actuador elástico lineal en serie (SEA) de alto rendimiento, accionado por un servomotor *brushless* DC (BLDC) con husillo de bolas, con capacidad de proporcionar hasta 1330 N de fuerza. El control se realiza mediante un bucle de control proporcional-derivativo (PD) analógico para controlar la fuerza real sobre la carga, con medición de fuerza basada en la deformación de muelles y un codificador lineal en el actuador elástico en serie para determinar el ángulo de la rodilla. Su peso aproximado es de 3 kg más 4 kg de las baterías, que funcionan a 24–48 V y permiten una autonomía de 30 a 60 minutos de uso intensivo. [15]



Figura 11. Órtesis robótica RoboKnee. Fuente:[15]

- **Maeda et al.:**

Diseñaron un sistema robótico de rodilla mostrado en la figura 12, con músculos artificiales neumáticos agonista-antagonista (PAMs) para asistencia variable durante la marcha de personas sin discapacidad. Para accionar la flexión y extensión de la articulación de la rodilla el sistema dispone de un compresor de aire, un regulador neumático, sensores y un controlador integrado, el ángulo de equilibrio articular y la rigidez articular se controlan por separado. El exoesqueleto pesa 0,8 kg (sin compresor) y puede reducir la actividad muscular excesiva.[7]

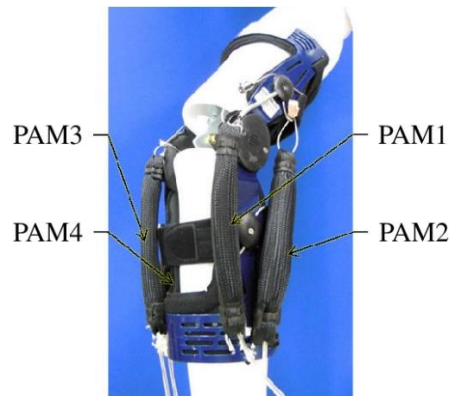


Figura 12. Órtesis robótica de Maeda et al. Fuente:[7]

- **Karavas et al.:**

Desarrollaron un exoesqueleto robótico uniaxial de rodilla (figura 13) diseñado para asistencia y aumento de rigidez articular, utilizando una estrategia de control mediante la teleimpedancia, que ajusta de forma dinámica tanto la posición de referencia como la rigidez articular del actuador, según la actividad muscular de movimiento voluntario del usuario mediante señales EMG de 6 músculos antagonistas.[16]

Dispone del actuador *CompAct-RS* que puede generar hasta 80 Nm de par elástico con una deflexión máxima de 11°, el actuador se compone por una parte de un motor *brushless frameless* (Kollmorgen), reductor *harmonic drive* 100:1, codificador incremental óptico (*MicroE Systems* con una resolución de 12 bits) y codificador absoluto magnético, por otra parte de un sistema SEA (*Series Elastic Actuator*) con rigidez reconfigurable entre 200 y 800 Nm/rad. El peso total del actuador es de 2,1 kg y tiene un rango de movimiento de 0–120°. [16]

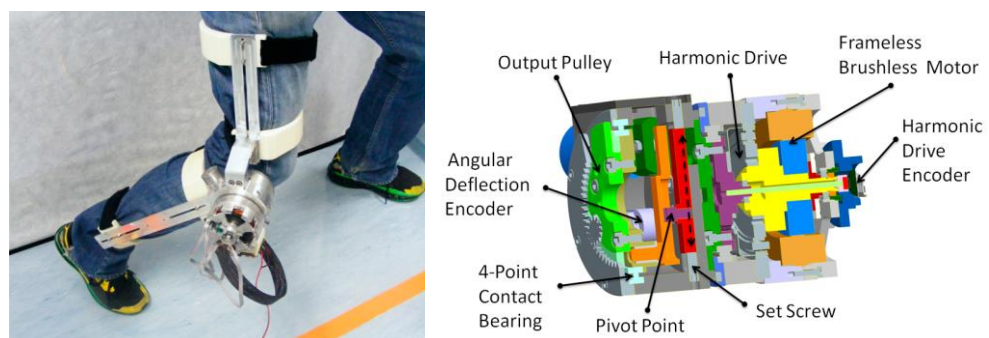


Figura 13. Órtesis robótica de Karavas et al. Fuente:[16]

2.1.3. Tendencias y desafíos

El desarrollo de órtesis robóticas activas de rodilla se encuentra en fase de consolidación tecnológica y expansión clínica. Estudios recientes muestran avances notables, pero también destacan una serie de retos aún por superar.

Entre las principales tendencias actuales están:

- **Miniaturización y portabilidad**, reduciendo el peso y tamaño de los actuadores para conseguir tanto un uso en el domicilio del usuario, como en un centro ambulatorio.
- **Desarrollo de estructuras más ergonómicas**, para mejorar el confort, la facilidad de uso y la integración con la anatomía del usuario.
- **Actuadores de nueva generación**, como los SEA (*Series Elastic Actuators*), que mejoran la seguridad, la adaptabilidad al movimiento humano y el control del par aplicado con precisión.
- **Control basado en intención de movimiento**, con sensores EMG, IMU o de presión plantar, para adaptar la asistencia en función del esfuerzo real del usuario.
- **Asistencia adaptativa**, que ajusta la ayuda automáticamente según la capacidad motora actual del usuario, mejorando su participación activa.
- **Uso de algoritmos** de inteligencia artificial y aprendizaje automático para personalizar la asistencia.
- **Feedback y gratificación**, para aumentar la motivación del usuario en las sesiones de terapia.
- **Integración digital y conectividad**, con la incorporación de interfaces más intuitivos para el usuario y el uso de aplicaciones móviles para controlar parámetros del sistema, registrar datos y guiar la terapia en tiempo real, facilitando el seguimiento por parte del terapeuta de forma asíncrona.

Entre los desafíos clave que persisten están:

- **Interpretar correctamente la detección de intención** de movimiento y su integración, de forma que no aumente su complejidad.

- **Seguridad**, conseguir un equilibrio entre potencia del par y seguridad en el diseño de actuadores.
- **Aceptación en el ámbito clínico**: mediante la validación médica, la facilidad de uso por terapeutas y conseguir una compatibilidad con la creación de protocolos estándar.
- **Interfaz usuario-dispositivo** que sea intuitiva y accesible para los distintos perfiles funcionales de usuarios o pacientes.
- **Coste elevado**, es un auténtico desafío conseguir la fabricación a gran escala de sistemas robóticos avanzados para que tengan un bajo coste.

2.1.4. Posicionamiento del proyecto para el TFM

El proyecto desarrollado en este TFM aborda varios de los retos y tendencias actuales que se han identificado en el estado del arte, proponiendo el diseño y la realización del prototipo ORActive, una órtesis activa de rodilla de bajo coste con las siguientes características:

- **Control dual**: dispone de un modo automático y otro asistido mediante activación intencional de movimiento.
- **Tecnologías abiertas de hardware y software**: como el módulo de la familia ESP32 y su entorno.
- **Módulos de sensores**: de señales de presión o EMG y posición angular de la órtesis.
- **Motores de alto par con reductora**: actuador eléctrico con transmisión mecánica que asegura una relación adecuada entre el tamaño, el par, el consumo y la seguridad.
- **Sistema modular de bajo coste**, una solución accesible y replicable que permita su uso tanto en entornos clínicos ambulatorios como domiciliarios, permitiendo el acceso a colectivos con una renta baja.
- **Interfaz gráfica mediante una aplicación móvil**, que permite al terapeuta o al usuario el ajuste de parámetros del sistema como el modo de control, la velocidad o amplitud angular articular, pudiendo visualizar el progreso

y obtener un feedback en tiempo real, además de guardar las sesiones en bases de datos local y en la nube para el control de forma asíncrona, consiguiendo una personalización y seguimiento del proceso de la rehabilitación del usuario.

Por todo lo expuesto, se consigue facilitar una rehabilitación más eficaz, accesible y centrada en el usuario, que posiciona al proyecto de este TFM como una alternativa viable en el campo de las órtesis robóticas activas de nueva generación.

3. Estudio técnico

Este apartado aborda los componentes tecnológicos, la fisiología y biomecánica de la rodilla, como base para el diseño de la órtesis ORActive.

3.1. Componentes tecnológicos

El correcto funcionamiento de una órtesis robótica activa depende de la integración coordinada de distintos subsistemas: actuadores, sensores y sistemas de control. Estos componentes trabajan conjuntamente para proporcionar asistencia precisa al movimiento articular, reconociendo la intención del usuario o reproduciendo patrones predefinidos.

3.1.1. Actuadores

Los actuadores son los elementos encargados de generar el par o fuerza necesaria para mover la articulación de la rodilla. Los principales tipos empleados son:

- **Motores eléctricos (DC y *brushless* DC):**

Son los más utilizados por su alta densidad de potencia, buena eficiencia y facilidad de control. En particular, los motores *brushless* DC (BLDC, figura 14) destacan por su respuesta rápida en velocidad y par, además de una menor generación de ruido con un mantenimiento reducido. Estos motores permiten un control fino de la asistencia,

especialmente cuando se integran con sistemas PID y *drivers* digitales.[17]

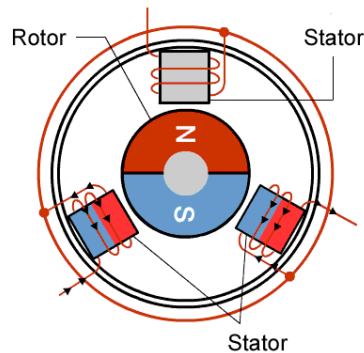
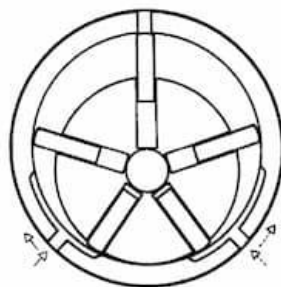


Figura 14. Esquema motor BLDC. Fuente: ©2025 Renesas Electronics Corporation.

- **Actuadores neumáticos (PAMs):**

Utilizan aire comprimido para producir movimiento (figura 15). Presentan una excelente relación potencia-peso, alta suavidad y naturalidad de movimiento, lo que los hace ideales para rehabilitación. Sin embargo, requieren compresores o depósitos externos, lo que puede ser negativo para la portabilidad.[17]

- **Motor de aletas.**



- **Motor de pistones.**

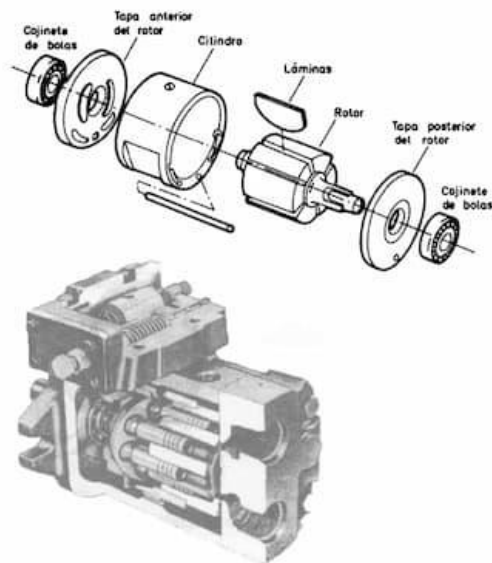


Figura 15. Actuadores neumáticos (PAMs). Fuente: ©2025 KONETIA

- **Actuadores hidráulicos:**

Operan mediante el uso de fluidos presurizados (figura 16). Son potentes y permiten movimientos suaves y continuos. Son apropiados cuando se requiere mover cargas significativas, aunque su peso y complejidad limitan su uso en órtesis ligeras.[17]

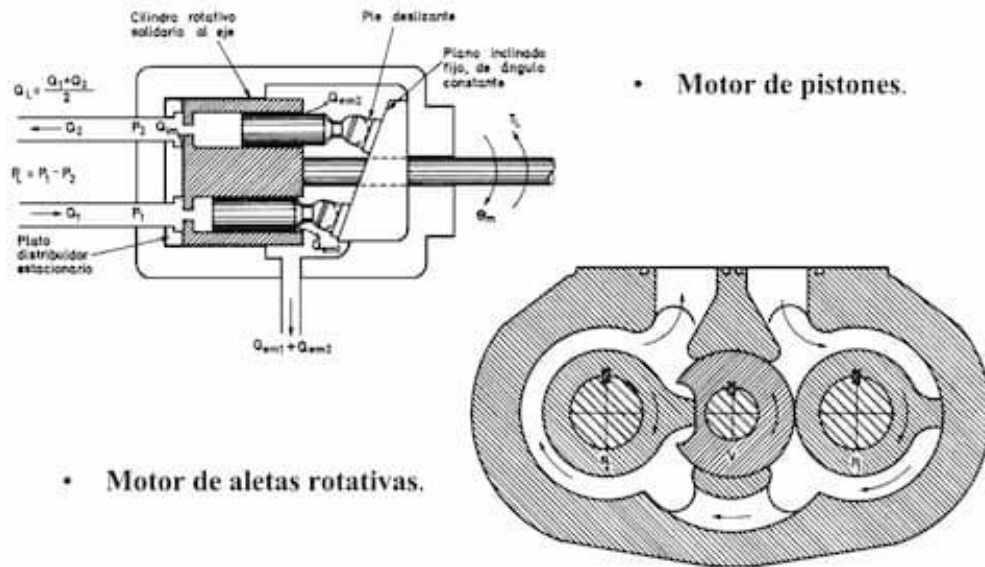


Figura 16. Actuadores hidráulicos. Fuente:©2025 KONETIA

- **SEA (Series Elastic Actuators):**

Incorporan elementos elásticos entre el motor y la carga (figura 17), lo que mejora la *backdrivability*, reduce la impedancia mecánica y protege ante impactos. Se utilizan especialmente cuando se requiere un control de fuerza preciso y seguro durante la interacción humano-robot.[7]

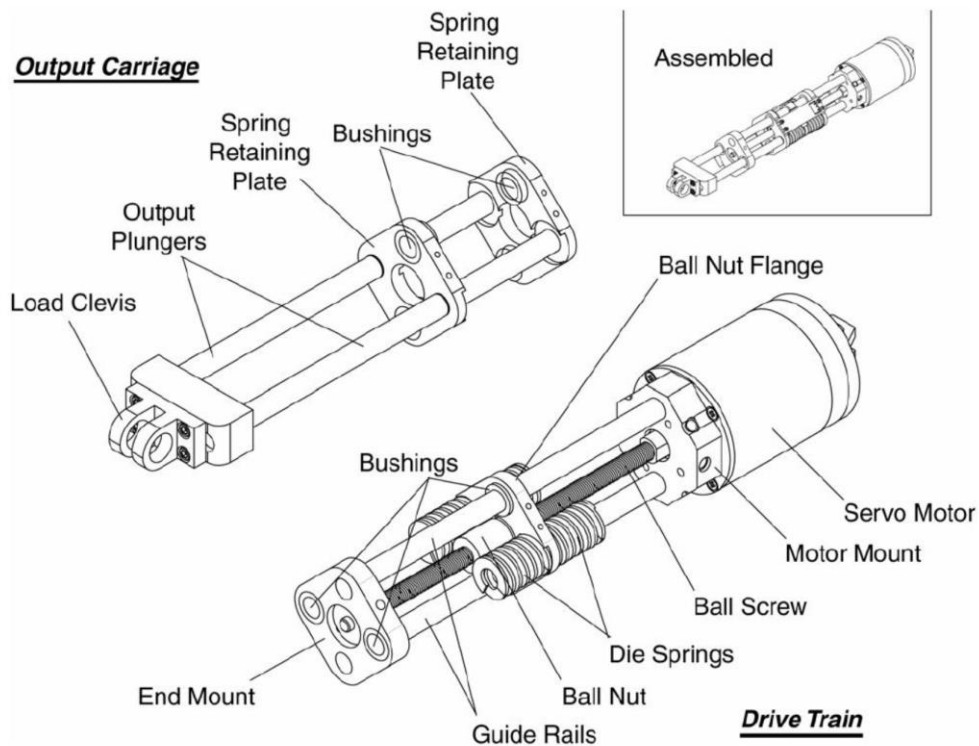


Figura 17. SEA (Series Elastic Actuators)

3.1.2. Sensores

La información sensorial es esencial para adaptar el comportamiento de la órtesis a las condiciones del usuario. Los principales sensores utilizados son:

- **Sensores de posición:**

Como potenciómetros y *encoders* (incrementales o absolutos, figura 18) los hay también magnéticos, permiten medir con precisión el ángulo de flexión/extensión de la órtesis de rodilla. Son fundamentales para el control en lazo cerrado y el seguimiento de trayectoria.[7]

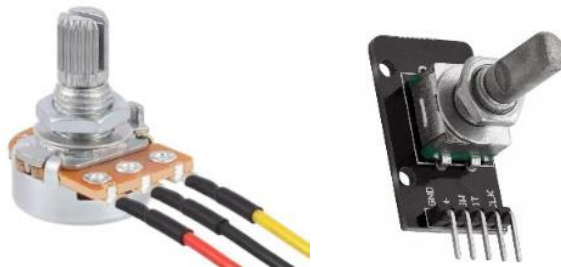


Figura 18. Potenciómetro y encoder . Fuente: Amazon

- **Sensores de fuerza/presión:**

Como las celdas de carga (*load cells*) y sensores FSR (figura 19), se emplean para medir las fuerzas aplicadas entre el dispositivo y el usuario o contra el suelo. Son claves para estrategias de control por esfuerzo o para detección de fase de marcha.[7]



Figura 19. Celda de carga y sensor FSR. Fuente: Amazon

- **Sensores inerciales (IMU):**

Miden aceleración y velocidad angular (figura 20). Se utilizan para inferir la dinámica del movimiento y detectar la intención del usuario, como inicio de marcha, cambios de postura o desequilibrios.[17]



Figura 20. Sensor inercial (IMU) . Fuente: Amazon

- **Sensores electromiográficos (EMG):**

Registran la actividad eléctrica muscular, anticipando el movimiento antes de que ocurra físicamente. Permiten un control basado en la intención motora, útil para usuarios con movilidad parcial o en fases avanzadas de rehabilitación (figura 21).[7]

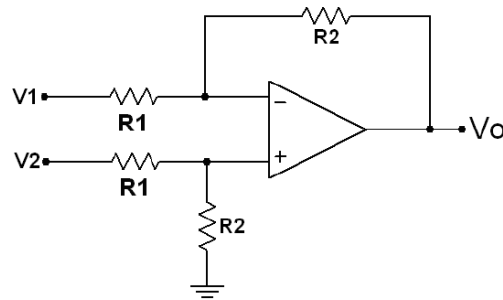


Figura 21. Sensor electromiográfico (EMG). Fuente: Amazon

3.1.3. Adaptadores y acondicionadores de señal

En los sistemas de órtesis robóticas activas, las señales provenientes de sensores analógicos suelen requerir un tratamiento previo antes de su digitalización y uso en el sistema de control. Este acondicionamiento puede incluir amplificación, filtrado, y conversión de niveles lógicos o eléctricos. Los elementos más comunes son:

- **Amplificadores operacionales (Op-Amps):** Utilizados para amplificar señales débiles, como las captadas por los sensores EMG o FSR. Como el amplificador diferencial: circuito que amplifica la diferencia entre dos señales de entrada ($V_2 - V_1$) y rechaza las señales comunes (ruido compartido por ambas entradas), construido con un solo amplificador operacional y 4 resistencias.



Características:

- La tensión de salida V_o se expresa como:

$$V_o = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_2}{R_1} ; \text{ Ganancia } G = \frac{R_2}{R_1}$$

- **Filtros pasivos o activos:** Eliminan ruido eléctrico o componentes de baja y alta frecuencia no deseadas. En la figura 22 se muestra el filtro paso bajo y en la figura 23 el filtro paso alto.

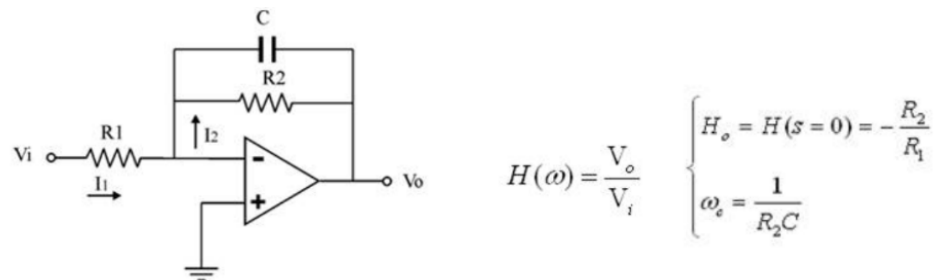


Figura 22. Filtro Paso Bajo.

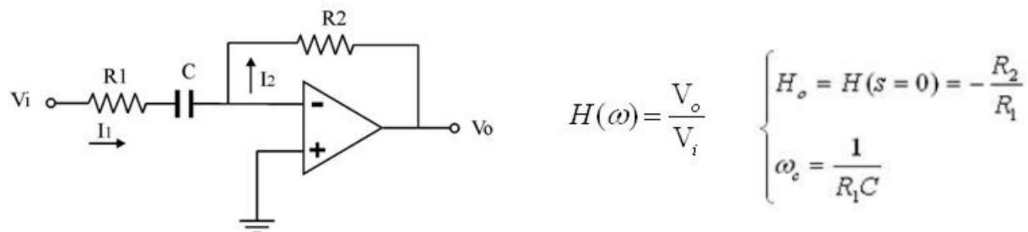


Figura 23. Filtro Paso Alto.

- **Adaptadores de nivel lógico:** Cuando los sensores o módulos trabajan a diferentes voltajes, los adaptan para que sean compatibles (por ejemplo de 5V a 3,3V). Figura 24.

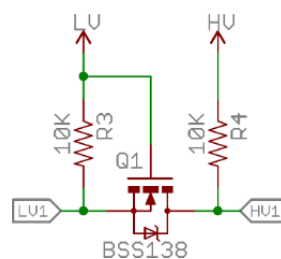


Figura 24. Adaptador de nivel lógico. Fuente: SparkFun Electronics

- **Amplificadores de instrumentación:** Usados especialmente con señales biológicas como EMG, ya que permiten amplificación diferencial con alta precisión y bajo ruido. En la figura 25 se muestra el circuito integrado INA114 que realiza esta función.

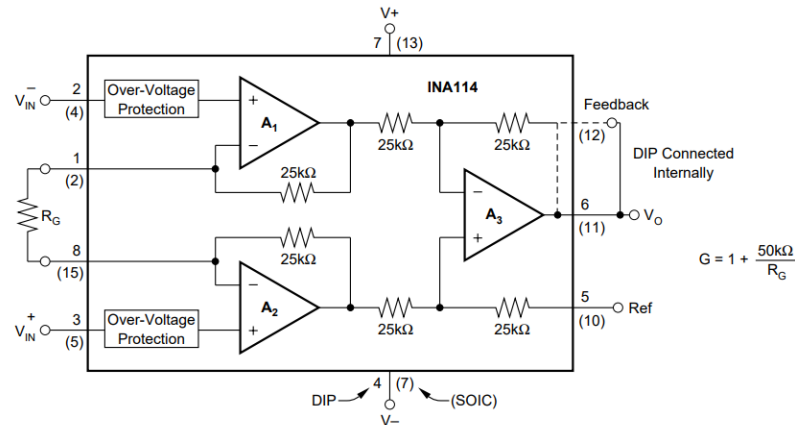


Figura 25. Amplificador de instrumentación INA114. Fuente: Texas Instruments

- **Convertidor ADC de alta precisión para celdas de carga HX711:** Módulo integrado por un amplificador de ganancia programable (PGA) y un ADC de 24 bits, que actúa directamente sobre las señales diferenciales generadas por una celda de carga (figura 26).

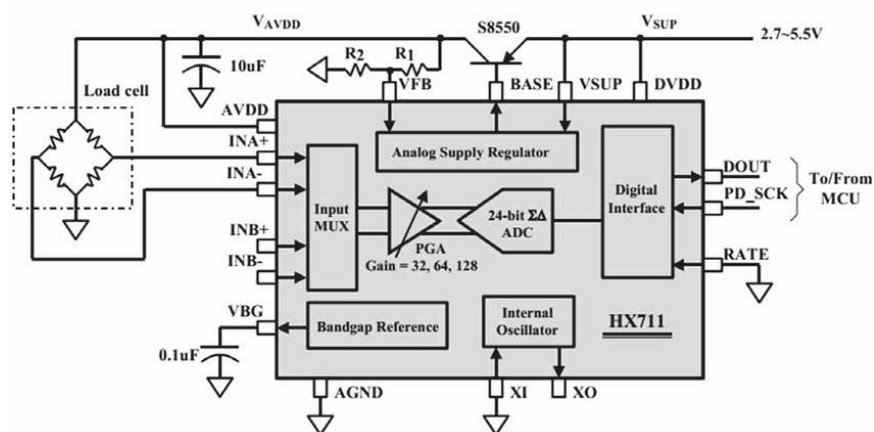


Figura 26. Diagrama de bloques HX711, aplicación de báscula de pesaje. Fuente: AVIA Semiconductor

- **Convertidor ADC de alta precisión con 4 canales de entrada ADS1115:** Módulo integrado por un amplificador de ganancia programable (PGA) y un ADC de 16 bits con 4 canales de entrada o 2 diferenciales, dispone de comunicación I^2C . En la figura 27 se muestra su diagrama de bloques.

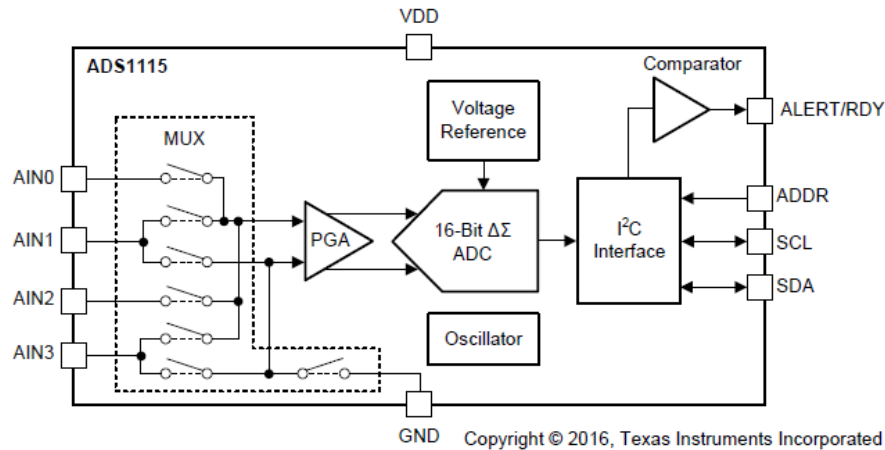


Figura 27. ADS1115 Diagrama de bloques. Fuente: Texas Instruments

La correcta selección y diseño de estos elementos es importante para garantizar la calidad de la señal que llega al sistema de control, evitando los errores que puedan influir en la seguridad o la eficacia del sistema.

3.1.4. Sistemas de control

El sistema de control interpreta la información de los sensores y regula los actuadores. Existen múltiples enfoques, entre ellos:

- **Control de posición:**

Es el más utilizado, busca seguir una trayectoria angular predefinida mediante algoritmos como PID y es adecuado para movilización pasiva controlada [17]. En la figura 28 se muestra el esquema de bloques de este sistema de control.

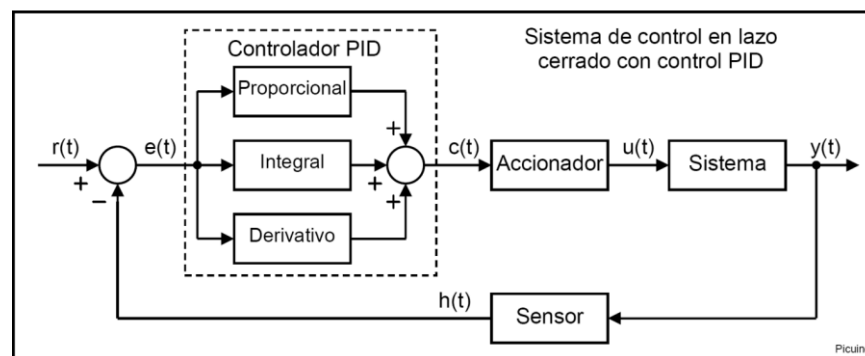


Figura 28. Esquema de bloques del sistema de control PID. Fuente: Picuino

- **Control de fuerza o par:**

Ajusta la salida del actuador según las fuerzas medidas, permitiendo que el sistema interactúe de forma segura y adaptable

con el usuario. Se emplea en rehabilitación activa o asistida.[17]

- **Control por impedancia:**

Regula la rigidez virtual entre el exoesqueleto y el usuario, facilitando un movimiento más natural y seguro. Es ideal para situaciones en las que se desea adaptabilidad dinámica a los cambios en el entorno o estado del usuario.[7]

- **Control por intención de movimiento (EMG/IMU):**

El sistema se activa solo si detecta que el usuario quiere moverse, basándose en señales musculares o patrones de movimiento. Este enfoque mejora la participación activa del usuario en la terapia y puede reflejar su nivel de recuperación.[7]

3.1.5. Órtesis robótica de rodilla (estructura mecánica)

La órtesis (figura 29) es el componente estructural que se coloca en la pierna del usuario y que permite realizar la transmisión del movimiento generado por el actuador hacia la articulación de la rodilla. Entre las características de su diseño están la ergonomía, resistencia y la adaptabilidad a las diferentes medidas de las piernas de los usuarios, además de ser compatible y adaptable a los sensores y actuadores que estén integrados.



Figura 29. Órtesis de rodilla. Fuente: Amazon

Los elementos principales de una órtesis de rodilla son:

- **Soportes ajustables** en muslo y espinilla, unidos por una articulación mecánica alineando su eje con el anatómico de la rodilla del usuario.
- **Bisagras biomecánicas** que permiten la flexión y extensión de la pierna.
- **Puntos de fijación del actuador**, que pueden ser de varios tipos: en paralelo a la pierna o en ángulo, todo dependerá del tipo de transmisión.
- **Uso de materiales ligeros y resistentes**, como aluminio, plásticos o incluso fibra de carbono.
- **Cierres**, que pueden ser de velcro, hebillas o correas para una colocación firme, rápida y segura.

Algunos modelos comerciales y prototipos de investigación incorporan además, elementos modulares que permiten sustituir o ajustar rápidamente sensores, motores o componentes estructurales, lo que facilita su adaptación a diferentes usuarios y fases del tratamiento.

En diseños portátiles o de uso domiciliarios se tiene en cuenta la estética, que los materiales sean transpirables y facilidad para poder ser colocado por el propio usuario o una segunda persona sin formación técnica especializada.

3.2. Fisiología y biomecánica de la rodilla

La articulación de la rodilla cumple un papel clave en la locomoción humana, permitiendo la transferencia de carga, absorción de impactos y generación de propulsión. Su análisis desde la fisiología y biomecánica es esencial para el diseño de órtesis robóticas activas, ya que determina los requerimientos mecánicos, de movimiento y control que deben integrarse en el sistema.

3.2.1. Anatomía funcional y musculatura implicada

La rodilla es una articulación sinovial de tipo bisagra, compuesta principalmente por el fémur, la tibia y la rótula. Su estabilidad y movilidad dependen de los ligamentos cruzados y colaterales, así como de los músculos que la rodean. En el plano sagital (figura 30), los principales músculos

implicados en la marcha son: como extensores el recto femoral y el vasto medial, como flexores el bíceps femoral, semitendinoso y el gastrocnemio. [7]

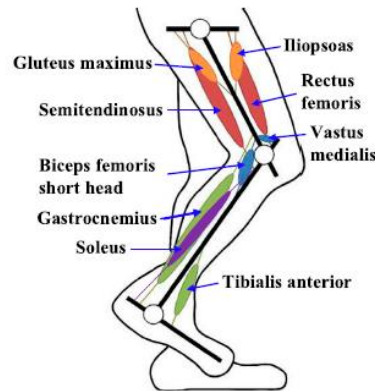


Figura 30. Los músculos necesarios para la locomoción humana normal en el plano sagital. Fuente:[7]

Estos músculos se activan de forma coordinada durante las distintas fases del ciclo de la marcha: durante el contacto inicial, el cuádriceps controla la flexión de la rodilla para amortiguar el impacto, durante el despegue, los isquiotibiales ayudan a iniciar la flexión para permitir el avance del pie.

3.2.2. Biomecánica de la marcha y comportamiento articular

Durante la marcha normal, como se puede ver en la figura 31 la rodilla pasa por dos grandes fases [7]:

- Fase de apoyo: Comienza con una ligera flexión ($\sim 15^\circ$) para absorber el impacto, seguida por una extensión progresiva para estabilizar la pierna bajo carga.
- Fase de oscilación: Inicia con una flexión ($\sim 60^\circ$) que permite el despeje del pie, y termina con una extensión que prepara el siguiente contacto.

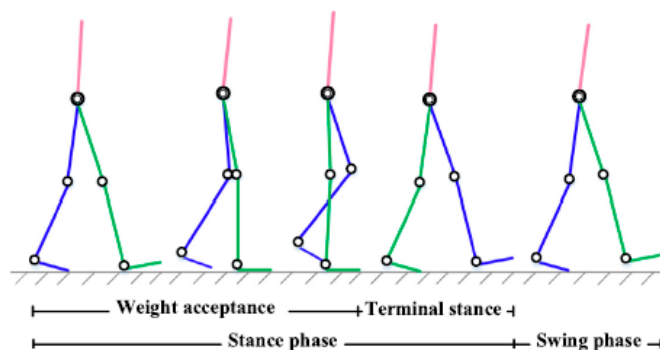


Figura 31. Ciclo normal de la marcha. Fuente:[7]

Este comportamiento puede modelarse como un sistema de resorte amortiguado, cuya rigidez cambia a lo largo del ciclo según la activación muscular y la carga. Esta propiedad se altera en presencia de patologías neuromusculares, como accidentes cerebrovasculares o lesiones medulares, donde la rigidez, fuerza y coordinación están comprometidas.[7]

La Figura 32 ilustra gráficamente el comportamiento de la rodilla durante un ciclo de marcha completo, representando el ángulo articular (línea azul) y el par articular (línea roja discontinua) en función del porcentaje del ciclo. Se observa cómo el par oscila entre valores positivos y negativos según si la articulación requiere generación de movimiento o absorción de impacto, mientras que el ángulo de la rodilla alcanza un máximo alrededor del 70 % del ciclo, coincidiendo con la máxima flexión durante la fase de oscilación.[7]

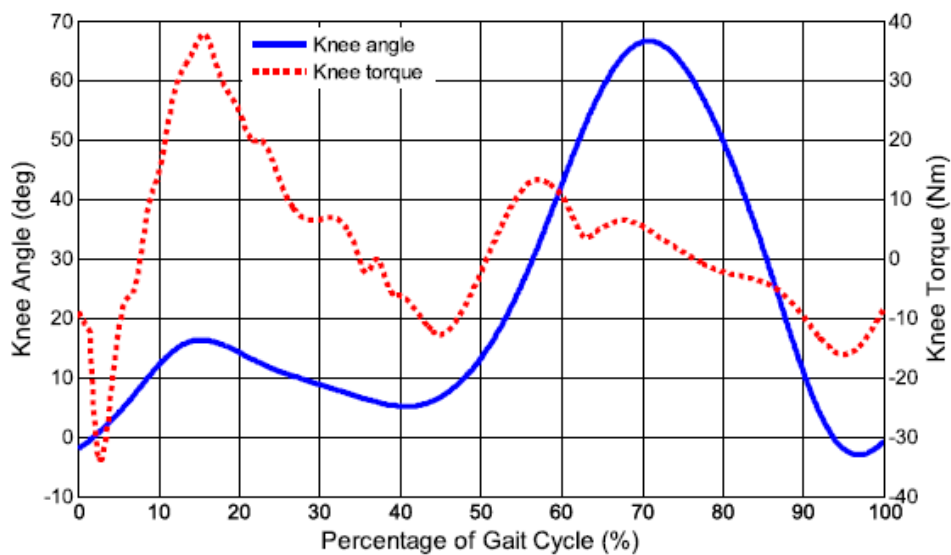


Figura 32. Ángulo y par de la articulación de la rodilla humana durante un ciclo de marcha. Fuente:[7]

3.2.3. Transición de sedestación a bipedestación

La acción de levantarse desde una silla (*Sit-To-Stand*, STS) es una de las tareas motoras funcionales más frecuentes, pero también una de las más complejas desde el punto de vista biomecánico que implica una coordinación precisa entre articulaciones, equilibrio postural y generación de fuerza. Su análisis detallado permite diseñar órtesis robóticas activas, capaces de asistir a este proceso de forma segura y eficiente. A continuación, se describen las

fases clave del movimiento según el modelo biomecánico (adulto con una altura de 1795 mm y 89,15 kg de peso) optimizado mediante algoritmos genéticos propuesto por *Rudra Pal y Pratihari* (2016) [18], junto con los valores articulares y funcionales estimados, figuras 33 y 34.

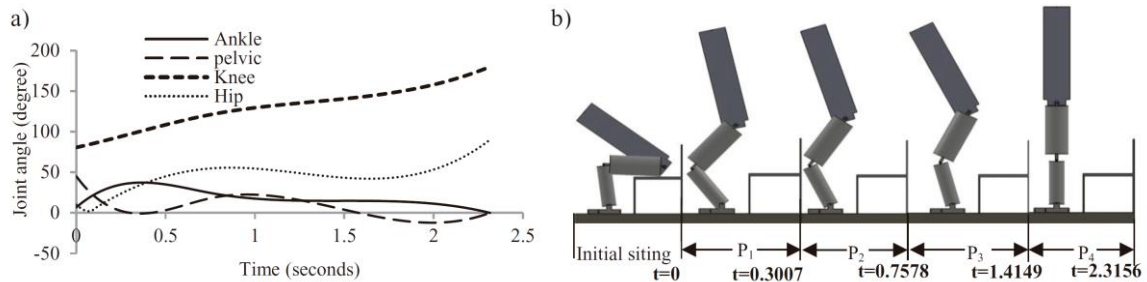


Figura 33. (a) Variaciones de los ángulos articulares en función del tiempo; (b) Modelo CAD de las fases del movimiento de bipedestación. Fuente:[18]

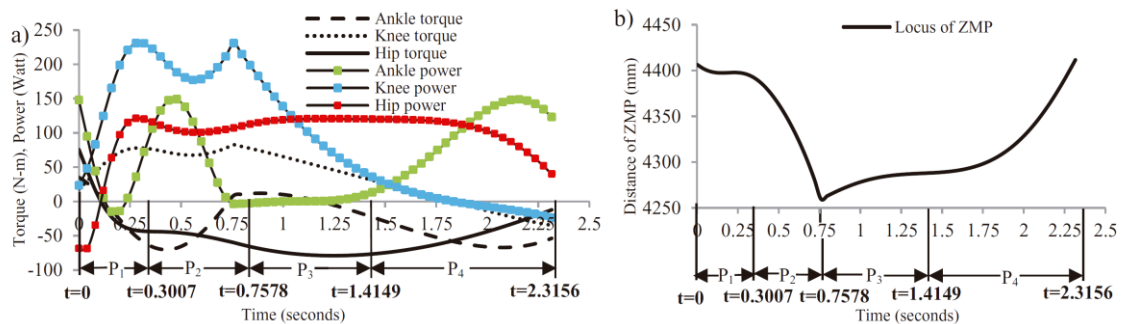


Figura 34. (a) Variaciones del par de la articulación y del consumo de energía en función del tiempo; (b) Distancia del punto de momento cero desde la coordenada global. Fuente:[18]

• Fase P₁

○ Descripción biomecánica:

El usuario comienza el movimiento inclinando el tronco hacia adelante desde la posición sentada. Esto desplaza el centro de masa hacia los pies y se prepara para generar impulso vertical.

○ Ángulos articulares:

- Tronco (*Pelvic*): se flexiona hasta 45° hacia adelante para permitir el desplazamiento del centro de masa.
- Cadera (*Hip*): flexionada inicialmente a 10°.
- Rodilla (*Knee*): tiene una flexión de 80,62°.
- Tobillo (*Ankle*): en dorsiflexión a 7° y se incrementa hasta los 37°.

○ Torque y potencia:

Rodilla: 17,84 Nm, con unos 30 W.

Cadera: Parte en $75,6 \text{ Nm}$ para convertirse rápidamente en negativa hasta los -40 Nm aproximadamente (cambio de dirección).

Tobillo: 35 Nm necesario para iniciar el ascenso, con unos 60 W

- Datos a tener en cuenta para la órtesis robótica:

El sistema puede monitorear mediante sensor el ángulo del tronco y la cadera para detectar el inicio del movimiento, para identificar la fase y preparar al sistema para la asistencia sincronizada.

- **Fase P₂**

- Descripción biomecánica:

Se produce el momento de separación de los glúteos del asiento. Es el punto más crítico para el equilibrio y donde comienza la extensión de las articulaciones.

- Ángulos articulares:

- Tronco: se mantiene flexionado a 45° .
- Cadera y rodilla: inician su extensión (sobre 55° cadera y 120° rodilla) desde las posiciones anteriores.
- Tobillo: comienza a cambiar de los 37° de dorsiflexión a una posición más neutra sobre los 10° .

- Torque y potencia:

- Rodilla: alcanza su pico de par de $82,60 \text{ Nm}$, con unos 230 W .
- Cadera: sigue aumentando aproximadamente hasta los -60 Nm , con $120,55 \text{ W}$
- Tobillo: alcanza el pico del par de $70,22 \text{ Nm}$ con $148,78 \text{ W}$.

- Implicación para la órtesis:

Aquí se requiere máxima asistencia. El actuador de rodilla debe ser capaz de suministrar par inmediato y sincronizado. Esta fase justifica el uso de servos de alto par y control de fuerza o de impedancia.

- **Fase P₃**

- Descripción biomecánica:

Se completa la extensión de las articulaciones inferiores y el tronco se incorpora progresivamente hasta alcanzar la posición erguida.

- Ángulos articulares finales:
 - Rodilla: aumenta a 160° .
 - Cadera: de 55° a 30° .
 - Tobillo: se mantiene sobre los 10° .
 - Tronco: empieza a enderezarse verticalmente de 45° a unos 10° .
- Torque y potencia:
 - Rodilla: desciende desde el pico a unos $35\text{--}40\text{ Nm}$ (60 W).
 - Cadera: llega hasta su pico negativo de -79 Nm .
 - Tobillo: aumenta progresivamente hasta unos 40 Nm , con 110 W .

El sistema debe aplicar asistencia progresiva, adaptando el par a medida que disminuye la carga dando soporte postural.

- **Fase P₄**

- Descripción biomecánica:

El usuario ya se encuentra de pie. El cuerpo realiza pequeños ajustes para mantener el equilibrio estático. El ZMP (*Zero Moment Point*) debe mantenerse dentro de los valores del polígono de soporte de los pies. Esto indica que el punto de momento cero permanece en el polígono del pie durante todo el movimiento STS (equilibrio dinámico).
- Ángulos articulares:

Todas las articulaciones se estabilizan en posición funcional: rodilla pasa a 180° (extensión completa), tronco erguido a 0° , tobillo pasa a una posición neutra 0° , cadera a 0° o en leve hiperextensión.
- Torque y potencia:

Los pares son mínimos, para dar sustento y equilibrio.
- Implicación para la órtesis:

El dispositivo puede entrar en un modo de soporte estático, donde se mantiene una rigidez suficiente para ayudar al usuario posturalmente. También puede integrarse una función de seguridad para prevenir caídas.

3.3. Electromiografía (EMG)

La electromiografía (EMG) es una técnica que permite detectar, analizar y utilizar la señal eléctrica generada por los potenciales de acción de las fibras musculares durante su contracción. Esta señal (figura 35) nos permite evaluar el nivel de activación muscular (amplitud), fatiga muscular (frecuencia) y latencia de activación (el tiempo que tarda el músculo en activarse). [19]

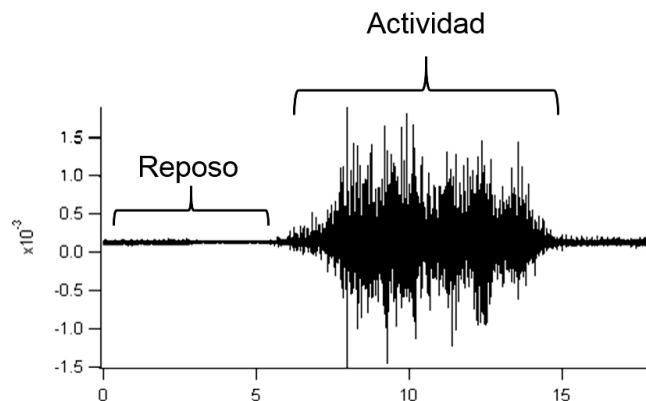


Figura 35. Señal EMG. Fuente:[19]

Existen dos tipos principales de EMG:

- Superficial (sEMG): Emplea electrodos colocados sobre la piel, la señal tiene un valor de entre $50 \mu V$ a $1 mV$ y un contenido frecuencial de entre $10 Hz$ a $3 kHz$. Es una técnica no invasiva y muy utilizada en aplicaciones clínicas o domiciliarias.
- Intramuscular: Requiere agujas o electrodos insertados, la señal tiene un valor de entre 0.1 a $5 mV$ y un contenido frecuencial de entre 0 a $10 kHz$. Es una técnica invasiva y aunque ofrece mayor precisión, no es adecuada para sistemas de uso prolongado o domiciliario.

Para analizar la amplitud de la señal EMG, es común en el deporte y la rehabilitación utilizar la raíz media cuadrática de la señal (RMS) y la Contracción Voluntaria Isométrica Máxima (CVIM) como referencia del 100% de la activación, para mostrar el porcentaje de la activación muscular respecto a la CVIM.

Para detectar el inicio de la actividad muscular en EMG, el método más utilizado es comprobar si la señal supera el umbral de 2 o 3 veces la desviación estándar de la señal en reposo (línea basal) con una duración de al menos de 20 a 50 *milisegundos* [19], esta detección se puede utilizar en rehabilitación robótica como una forma de detectar la intención de movimiento del usuario, lo que permite implementar modos de control para que el sistema responda de forma anticipada o de asistencia al esfuerzo muscular, posibilitando la interacción de forma adaptativa.

En el caso de la rehabilitación de la rodilla, la EMG suele aplicarse sobre músculos clave como el recto femoral, el vasto medial o los isquiotibiales, dependiendo de si se desea captar la intención de extensión o flexión. La determinación de patrones EMG permite al sistema anticiparse al movimiento, asistiendo activamente al usuario de forma proporcional o desencadenando acciones programadas.[7]

Sin embargo, para el uso de la EMG hay que superar algunos desafíos técnicos:

- Las señales son de baja amplitud y con mucho ruido, por lo que es importante la amplificación y el filtrado preciso.
- La captación de la señal puede verse afectada por movimientos del electrodo, sudor del usuario o interferencias externas.
- Es necesario realizar un procesamiento en tiempo real, con técnicas como el cálculo de la envolvente (*Envelope*), RMS o rectificado para detectar activaciones musculares útiles.

A pesar de estas limitaciones, la EMG se considera una buena fuente para lograr un control biológico de una órtesis robótica, que se puede combinar con otros sensores IMUs o FSRs.

4. Estudio de viabilidad técnica

El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad técnica del proyecto de la órtesis robótica activa de rodilla con control dual, enfocado a realizar ejercicios de rehabilitación de extensión y flexión de rodilla, en posición estática (sentado

o tumbado) en un entorno clínico o domiciliario. Para analizar si es viable técnicamente se deben cumplir una serie de requisitos funcionales, de capacidades mecánicas y electrónicas del sistema, así como tener en cuenta los posibles riesgos.

4.1. Requisitos funcionales y biomecánicos

La órtesis debe permitir realizar movimientos controlados de extensión y flexión de la rodilla en un rango aproximado de 90° a 0° , contando con que el usuario no necesita soportar su propio peso.

Estos requisitos son:

- Rango angular de trabajo necesario: Debe estar entre 90° para flexión en sedestación a 0° para extensión total.
- Velocidad angular: Tiene que estar controlada por el terapeuta o función de trabajo entre 5 a 15 $^\circ/s$.
- Torque estimado: Se estima que pueda trabajar entre 5 a 15 Nm , dependiendo de la resistencia que oponga la pierna y de la función que programe el terapeuta según la fase de recuperación en la que se encuentre el usuario.
- Modos de uso: hay dos modos de funcionamiento:
 - Asistencia automática: La órtesis realiza el movimiento completo del ejercicio sin colaboración del usuario, que dependerá de los parámetros que programe el terapeuta.
 - Asistido por intención de movimiento: El sistema responde a señales (sensor de fuerza o EMG) para que la órtesis ayude a realizar el movimiento voluntario del usuario, que también dependerá de los parámetros que programe el terapeuta.

4.2. Actuador.

Se debe emplear un servo de alto par, que cumpla las siguientes especificaciones:

- Par nominal mayor a 15 o 20 Nm

- Alimentación de 12 a 24 V DC (normal entre gran variedad de servomotores)
- Control del tipo PWM, para disponer de un *Driver* compatible con salidas de este tipo en el microcontrolador.
- Posibilidad de disponer de una relación de reducción simple de 1:2 o 1:3, para que el sistema sea capaz de entregar torques mayores al nominal del servomotor de hasta 75–110 Nm, que están muy por encima de los requerimientos del sistema, pero es interesante tener esta posibilidad para aumentar el torque en el futuro o para otros usos como ayudar a caminar.

Con estas especificaciones el actuador cumple ampliamente los requerimientos funcionales del proyecto, incluso permite disponer de un control adaptativo según la resistencia de la pierna del usuario, además de garantizar la escalabilidad en caso de usos futuros.

4.3. Controlador y sensores

El microcontrolador tiene que cumplir con los siguiente requisitos:

- Salidas del tipo PWM.
- Entrada analógicas y digitales.
- Conectividad *Bluetooth*.
- Capacidad de control en lazo cerrado.
- Bajo consumo energético.
- Puede disponer de un interfaz máquina-usuario para mostrar estados.

Los sensores que se necesitan para realizar el control del sistema son:

- *encoder* rotativo, magnético o potenciómetro para controlar la posición.
- Sensor de fuerza, IMU o EMG para detectar intención de movimiento.
- Botones para indicar posibles ordenes o parada de emergencia.

Con estas características el sistema de control es viable, compacto y con la suficiente potencia para realizar las tareas proyectadas.

4.4. Aplicación móvil

La aplicación móvil de control, programación de parámetros y seguimiento de sesiones de terapias tiene que cumplir los siguientes requisitos y funciones:

- Disponer de un terminal móvil (*Tablet*) con plataforma *Android* y posibilidad de conexión vía *Bluetooth BLE*.
- Selección de modo (automático / asistido por intención).
- Configuración de velocidad.
- Rango del ángulo de movimiento.
- Número de repeticiones.
- Monitorización de progreso y registro en base de datos de sesiones.
- Desarrollo con herramientas de programación de App accesibles como: *MIT App Inventor*, *Android Studio* o *Flutter*

Estos requisitos son factibles de cumplir con herramientas “*Open Source*”.

4.5. Estructura mecánica de la órtesis

Esta estructura tiene que garantizar que se pueda disponer de:

- Utilizar una rodillera articulada ajustable comercial.
- Botón que permita bloquear la rodillera en un ángulo específico máximo en extensión y flexión.
- Soporte para el servomotor montado sobre estructura ligera de aluminio o impresión 3D reforzada.
- Correas de sujeción de velcro ajustables en longitud con un acolchado cómodo y con posibilidad de poder adaptarse anatómicamente a diferentes piernas de los usuarios.

El diseño de esta estructura es factible realizarla con materiales de bajo coste y el uso de herramientas de fabricación accesibles

4.6. Riesgos técnicos identificados

La realización de este proyecto se enfrenta a potenciales riesgos técnicos que están identificados y que pueden ser solucionados o mitigados. Estos son:

- Ruido en señales del sensor de intención (EMG), que se puede mitigar o reducir con:
 - El uso de electrodos de buena calidad con cables trenzados o apantallados.
 - Limpieza de la piel sobre la que se sitúa el electrodo.
 - Utilizar una entrada diferencial con tres electrodos (activo, referencia y tierra), que permite eliminar las interferencias comunes, como puede ser el uso de amplificadores de instrumentación (como el *INA114*) y el uso de filtros activos.
- Falta de torque de la órtesis ante una resistencia alta de la pierna, que se puede solucionar aumentando la relación de reducción o con el aumento de la tensión al servomotor.
- Un mal posicionamiento del dispositivo puede producir incomodidad al usuario, así como a la correcta ejecución del ejercicio y su seguridad. Para evitar estos riesgos hay que comprobar:
 - Que el eje de rotación del actuador coincida con el centro del eje de la articulación de la rodilla.
 - Que no existan holguras o deslizamientos de la órtesis durante su funcionamiento, repasando que las correas de sujeción y los soportes del servomotor estén bien ajustados.
 - Que las cargas del peso del montaje estén equilibradas.
- Lentitud del sistema y en la comunicación móvil, que puede ser consecuencia de la lentitud en el procesamiento del microcontrolador y de la App, alta latencia en el protocolo del *Bluetooth* o problemas de interferencias. Para evitar o mitigar estos efectos se puede tener en cuenta:
 - El microcontrolador ejecutará las funciones críticas del control del sistema de forma autónoma, sin depender de la App del móvil.
 - Que el sistema siga funcionando aunque falle la conexión.
 - Tener una confirmación de estado (ACK) en las comunicaciones entre el microcontrolador y la App, para que estén sincronizados y evitar que se queden “colgados”.

- Utilizar la tecnología *Bluetooth BLE* que es más eficiente y soporta mejor las interferencias.
- Posibilidad de reconexión automática sin intervención del usuario.
- Problemas de montaje e integración de todos los componentes del sistema, donde la solución está en confiar de la pericia y habilidad del desarrollador de este proyecto, o de la capacidad de conseguir asesoramiento de personas con más experiencia.

4.7. Conclusión de viabilidad técnica

Una vez analizado el entorno del uso de la órtesis robótica activa (rehabilitación en estático y que no soporta el peso del usuario), los componentes seleccionados y riesgos, se puede llegar a la conclusión de que el sistema propuesto **es técnicamente viable**, seguro y escalable.

5. Desarrollo técnico

En este apartado se comprobará como se ha diseñado una solución para cumplir los objetivos funcionales del proyecto y su presupuesto, que sea compacta, segura y adaptable, que permita realizar ejercicios de rehabilitación (flexión y extensión de la rodilla) en usuarios.

También se justificará técnicamente la selección hardware de componentes electrónicos, programación del software (firmware) del microcontrolador, la integración de los sensores, el desarrollo de una aplicación App en un dispositivo móvil Android para la configuración y supervisión del sistema, así como el diseño mecánico.

La arquitectura general del sistema está compuesta funcionalmente por seis módulos principales:

- **Actuador:** Servo de alto par que permite realizar el movimiento controlado de la rodilla.
- **Unidad de control:** Consta de un microcontrolador *ESP32* con *Bluetooth BLE*,

encargado de gestionar el servomotor, los sensores y conectar con la aplicación App en el terminal móvil.

- **Sensores:** Permiten medir la posición angular, detectar la intención de movimiento, así como proteger el sistema y al usuario de posibles fallos.
- **Aplicación App móvil:** Con una interfaz gráfica que permita configurar, supervisar y guardar las sesiones de terapia realizadas al usuario.
- **Estructura de la órtesis:** Se dispone de una rodillera ortopédica modificada para acoplar todo el sistema y poder transmitir el movimiento a la articulación de la pierna del usuario.
- **Sistema de notificación y estado:** Pantalla OLED de 1.3 pulgadas, sensor háptico (motor vibrador), reproductor MP3 y diodo led bicolor (Rojo/Verde).

En la Figura 36 se muestra el esquema de bloques del sistema, donde se representa la interacción y flujo de datos entre los diferentes módulos.

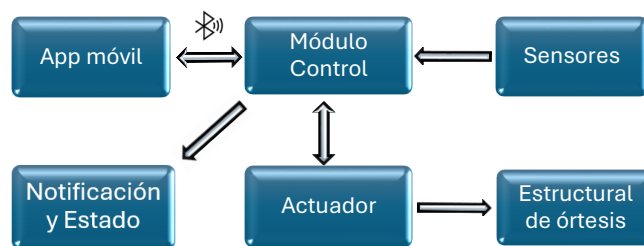


Figura 36. Esquema de bloques del sistema. Elaboración propia.

Además de estos bloques hay que contar con el **bloque de alimentación y medidas de seguridad**: donde se incluye la batería, interruptor ON/OFF, fusible, interruptor de emergencia tipo enclavamiento y los switches finales de carrera NC (Normalmente Cerrado) de extensión y flexión para evitar sobrecargas mecánicas y seguridad fisiológica del usuario.

5.1. Módulo actuador

Para la ejecución del movimiento controlado de extensión y flexión de la rodilla, se ha seleccionado como actuador un servomotor DC modelo ASMG-MTA (figura 37) de alto par y precisión [20], diseñado para aplicaciones de robótica, brazos mecánicos, línea de producción industrial y en general

sistemas asistidos que requieran alto par, precisión y control digital.

Este modelo incluye una caja reductora metálica, *encoder* magnético de alta resolución, control integrado y opciones de configuración ajustables, lo que lo convierte en una solución ideal para el sistema de la órtesis robótica activa de este proyecto.



Figura 37. Servomotor ASM6-MTA. Fuente: [20]

5.1.1. Especificaciones técnicas

Parámetro	Valor
Tensión de operación recomendada	12–24V DC
Tensión máxima soportada	30V DC
Corriente sin carga	< 500 mA
Corriente máxima	10 A \pm 0,2 A
Par de arranque (<i>Starting Torque</i>)	350 kg \cdot cm (\approx 34.3 Nm)
Par de mantenimiento (<i>Holding Torque</i>)	350 kg \cdot cm
Velocidad nominal (24V)	0,12 s/60°
Ángulo de giro configurable	\pm 180° o 0°– 360° (<i>ajustable</i>)
Peso	550 g
Dimensiones	95 mm \times 60 mm \times 110 mm
Resolución de control magnético	Encoder 15 bits (32768 pasos)
Vida útil estimada	>1000000 ciclos a carga completa

5.1.2. Modos de control

El servomotor *ASMG-MTA* ofrece varios modos de funcionamiento y ajustes que se pueden configurar mediante un *switch*, *jumpers* y potenciómetros integrados en su placa como se muestra en la figura 38.

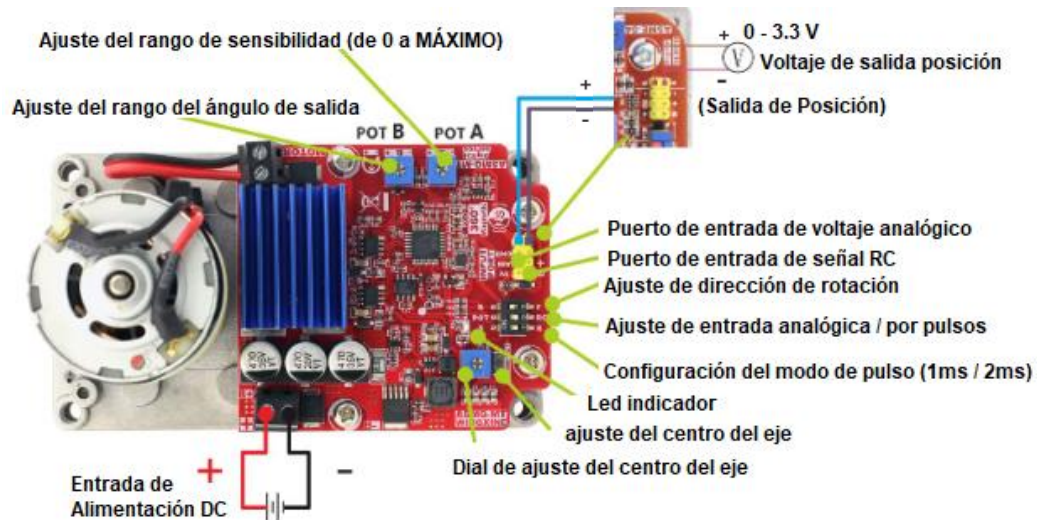
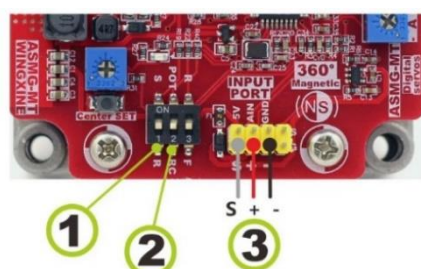


Figura 38. Modos de funcionamiento y ajustes del ASMG-MTA. Fuente: [20]

- **Tensión de alimentación DC:** del servomotor está entre 12 a 24 V y debe conectarse respetando la polaridad indicada.
- **Potenciómetro A:** ajuste de la sensibilidad del movimiento del servo.
- **Salida de posición:** es ideal para que los dispositivos externos detecten el ángulo de dirección del servomotor.
 - Rango de voltaje de salida: 0V a 3.3V
 - La relación es: 0V para 0° y de 3.3V para 360°
- **Led:** si parpadea el led es que el servo está funcionando correctamente.
- **Modo RC - PWM ("1 ms Pulse Width Mode")**

Este modo permite controlar la posición del servomotor con señales PWM (modulación por ancho de pulso) de 1 ms (1 – 2 ms ancho de pulso).



1. El *switch* 1: está en la posición "R".
2. El *switch* 2: está en la posición "RC".
3. En el *jumper*:
 - Posición 1: se usa el pin "S" como entrada de la entrada de señal.

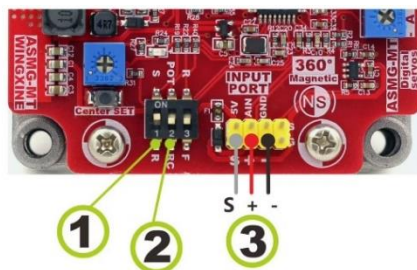
- Posición 3: se usa el pin "-" que se conecta a la línea de señal negativa.

ADVERTENCIA: El servo usa una fuente de alimentación independiente, por lo tanto, la posición 2 el pin "+" no necesita conexión.

Modo compatible con ESP32: utilizar función `ledcWrite()`.

▪ Modo RC - PWM ("2 ms Pulse Width Mode")

Este modo permite controlar la posición del servomotor con señales PWM de 2 ms (0,5 – 2,5 ms ancho de pulso).



1. El switch 1: está en la posición "S".
2. El switch 2: está en la posición "RC".
3. En el jumper:

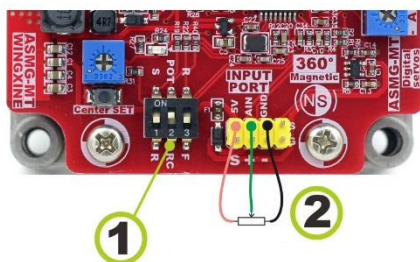
- Posición 1: se usa el pin "S" como entrada de la entrada de señal.
- Posición 3: se usa el pin "-" que se conecta a la línea de señal negativa.

ADVERTENCIA: El servo usa una fuente de alimentación independiente, por lo tanto, la posición 2 el pin "+" no necesita conexión.

Modo compatible con ESP32: utilizar función `ledcWrite()`.

▪ Modo de voltaje (potenciómetro o analógico)

Este modo te permite controlar la posición del servo usando un voltaje analógico o un potenciómetro.



1. El switch 2: está en la posición "POT".
2. En el jumper:

- Posición 1: el pin "5V" y posición 3: el pin "GND" se conectan a los extremos fijos del potenciómetro.

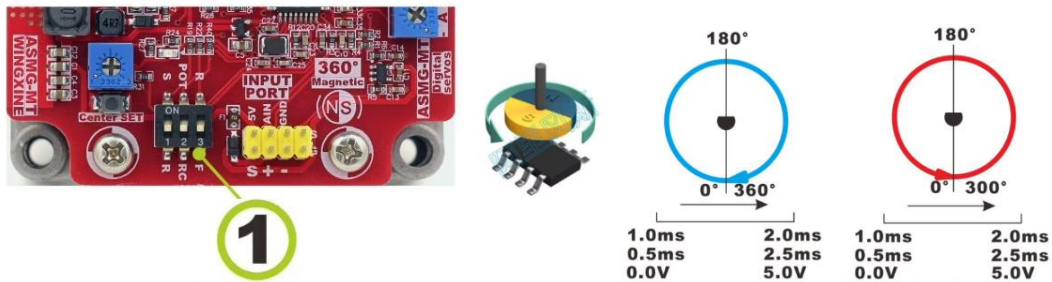
- Posición 2: el pin "AIN" se conecta al terminal intermedio (cursor) del potenciómetro. Los potenciómetros deben tener un valor de 10kΩ, 50kΩ o 100kΩ, con una resistencia mínima de 10kΩ.

Si se controla la posición del servo usando un voltaje se utilizan solo los pines "AIN" y "GND" con un rango de voltaje de entrada de 0V a +5V (DC).

Para utilizar un ESP32 hay que tener en cuenta que sólo puede generar una señal analógica con el DAC (pines 25 y 26) de $0V$ hasta $3,3V$ y no $5V$, por lo que el servo solo se moverá en una parte de su rango total grados.

▪ Configurar la dirección de operación

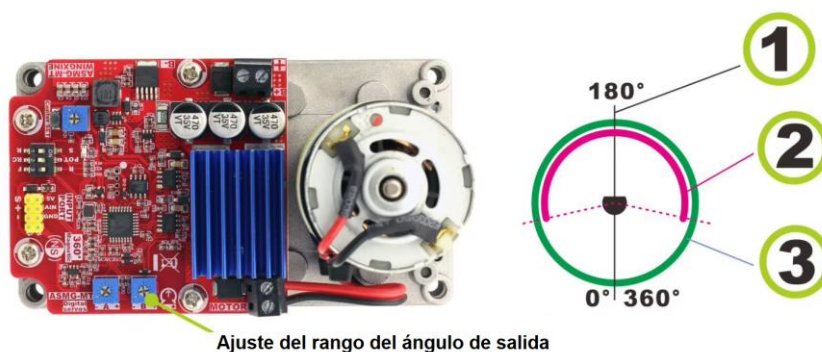
Este módulo permite invertir la dirección de rotación del servo con la misma señal de entrada, sólo hay que cambiar la posición del switch 3.



1. El *switch* 3 está en la posición "F" para el sentido de giro hacia adelante y la posición "R" para cambiar el sentido.

▪ Ajustar el rango de giro del servo

Este ajuste sirve si quieres limitar el ángulo de movimiento del servo, que se puede utilizar por razones mecánicas o de seguridad, se puede ajustar girando el potenciómetro *B* en sentido antihorario para el ángulo mínimo y en sentido horario para el ángulo máximo.



Ajuste del rango del ángulo de salida

1. El ángulo mínimo del servo se limita a 180° (medio giro)
2. Rango de ángulo de movimiento reducido (por ejemplo, la línea morada se ha limitado el servo al 60%).
3. El ángulo máximo del servo es con el rango completo de 360° (línea verde).

Nota: El rango de entrada (PWM o voltaje) no cambia, sólo se adapta internamente el ángulo máximo alcanzado.

▪ Configurar el punto central del servo

Esta configuración permite definir con precisión el punto central del recorrido del servomotor (0°).



Para configurar hay que dejar libre el eje del servo, conectar la alimentación y presionar el botón "center set" una vez para entrar en el modo ajuste, ajustar el potenciómetro dial hasta alcanzar la posición central deseada, volver a presionar el botón "center set" para guardar la configuración de forma permanentemente (tener en cuenta que el eje puede girar 360°).

5.2. Módulo unidad de control

La unidad de control del sistema está basada en la placa *ESP32 Dev Kit C V4* de *AZ-Delivery* [21] (figura 39) creada en torno al chip *ESP32 Wroom 32D*, un microcontrolador de alto rendimiento y bajo consumo que integra conectividad inalámbrica, múltiples periféricos analógicos y digitales, con capacidad de procesamiento *dual core*, siendo ideal para aplicaciones embebidas complejas como lo es el dispositivo del proyecto. [21]

Este módulo se encarga de coordinar el funcionamiento de todos los elementos del sistema: recibe los datos de los sensores (posición, EMG o fuerza), realiza el control del actuador (servomotor *ASMG-MTA*), gestiona los modos de funcionamiento (automático o asistido por intención), controla los mensajes de feedback (notificación y estado) y se comunica con la aplicación móvil mediante *Bluetooth BLE*.



Figura 39. Módulo ESP32 Dev Kit C V4 de AZ-Delivery. Fuente: [21]

5.2.1. Características principales

Parámetro	Valor
Tensión de operación	3.3V en pines; 5V en alimentación USB
Corriente de funcionamiento	> 500 mA recomendados
Microcontrolador	ESP32-WROOM-32D
Arquitectura	Xtensa® single-dual-core 32-bit LX6
Rango de frecuencia de reloj	80MHz / 240MHz
RAM	512 kB
Memoria Flash	4 MB
GPIOs disponibles	34 pines digitales
ADC	18 canales de 12 bits
DAC	2 canales de 8 bits (GPIO25 y GPIO26)
PWM	16 canales independientes configurables
Interfaces de Comunicación	SPI, I2C, I2S, CAN, UART, USB (para PC)
Protocolos Wi-Fi	802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps)
Frecuencia Wi-Fi	2.4 GHz - 2.5 GHz
Bluetooth	V4.2 - BLE y Bluetooth Classic
Antena Wireless	PCB

5.2.2. Descripción de los pines

El microcontrolador ESP32 dispone de pines del tipo entrada/salida (GPIO),

estos pines se pueden configurar para realizar funciones digitales y analógicas, lo que permite integrar diferente tipos de periféricos en el mismo chip.

En la figura 40 se muestra el esquema y asignación de todos los 38 pines.

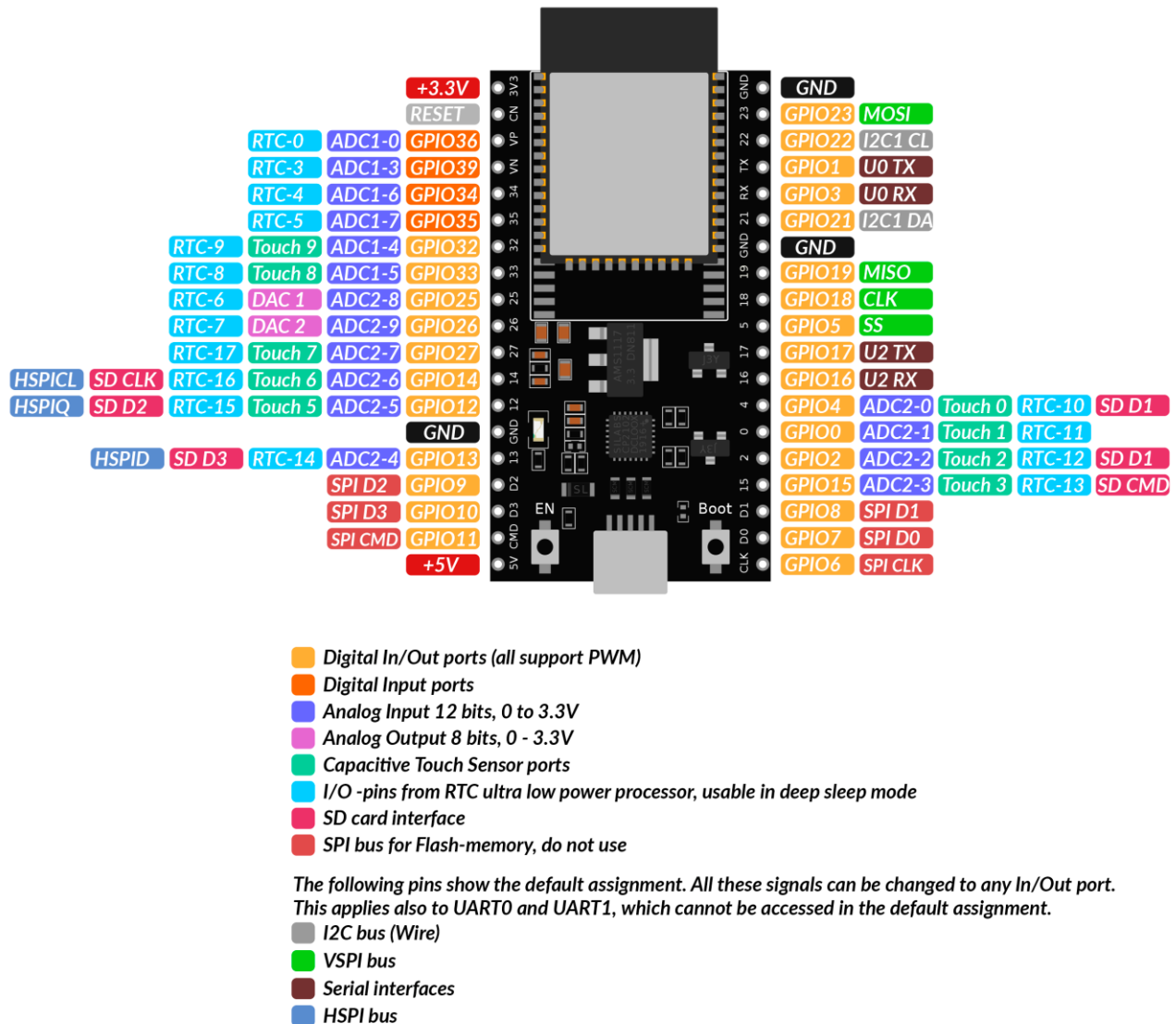


Figura 40. Asignación de pines del ESP32 Dev Kit C V4. Fuente: [21]

Dentro de los pines más destacados por su posible uso están:

Tipo de pin	Cantidad	Pines comunes	Uso en el proyecto
GPIO digitales	~34	GPIO 0–39	Control de salidas, lectura de botones
PWM	16 canales	GPIO 2, 4, 18, 19, 21, 22, 23...	Control del servo

Tipo de pin	Cantidad	Pines comunes	Uso en el proyecto
ADC (entrada analógica)	18 (<i>ADC1</i> + <i>ADC2</i>)	<i>GPIO 32–39, 0, 2, 4, 12–15</i>	Lectura de sensores como <i>encoder</i> , EMG o FSR
DAC (salida analógica)	2	<i>GPIO 25, GPIO 26</i>	Control voltaje al servo
UART, I2C, SPI	Múltiples (<i>configurables</i>)	<i>GPIO 1, 3, 21, 22, etc.</i>	Para comunicación con otros módulos

Notas sobre pines:

- *GPIO 34–39*: son solo entradas (no se pueden usar como salidas).
- *GPIO 0, 2, 15*: son sensibles durante el arranque, evitar el uso.
- *GPIO 6–11*: están conectados al chip flash interno, no utilizar.

5.2.3. Programación y entorno de desarrollo

El entorno usado para la programación del ESP32 es *Arduino IDE* (por simplicidad y compatibilidad), aprovechando tanto el conjunto de librerías y funciones nativas propias del ESP32:

Librerías utilizadas:

- *Arduino.h*: Usar el ESP32 en el entorno Arduino.
- *BluetoothSerial.h*: Comunicación *Bluetooth*.
- *Wire.h*: Bus I²C.
- *U8g2lib.h*: Pantalla OLED SH1106 128×64.
- *HardwareSerial.h*: Comunicación UART2.
- *DFRobotDFPlayerMini.h*: Reproductor MP3 de audio DFPlayer Mini.
- *ADS1X15.h* (*Rob Tillaart*): Control del ADC ADS1115.

Funciones y recursos propios del ESP32:

- *ledcSetup()*, *ledcAttachPin()*, *ledcWrite()*: control PWM por hardware.
- *analogRead()*: Uso ADC interno.
- *pinMode()*, *digitalWrite()*: Control GPIO digital.

El código se puede estructurar en tareas utilizando *freeRTOS* si se requiere que trabaje en multitarea (doble núcleo), pudiendo separar las lecturas de sensores, control del motor y comunicación *Bluetooth BLE*.

5.3. Módulo de sensores

La órtesis robótica activa cuenta con un sistema de sensores para controlar la precisión en el movimiento, seguridad en la ejecución del ejercicio y ser capaz de tener una respuesta ante la intención de movimiento del usuario. Este sistema se compone de tres tipos de sensores: un *encoder* magnético integrado en el accionador para saber la posición angular y dos para detectar la intención de movimiento (uno de presión y otro alternativo por señal EMG).

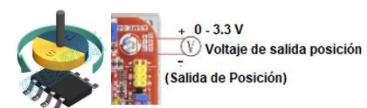
5.3.1. Sensor de posición

El servomotor *ASMG-MTA* incorpora un sensor de posición interno basado en un *encoder* magnético absoluto de 15 bits, lo que proporciona una resolución de 32.768 pasos por vuelta. Este *encoder* detecta la posición de un imán montado en el eje del motor y capta la orientación del campo magnético traduciendo directamente en un valor angular entre 0° y 360° , siendo una ventaja con respecto a *encoders* incrementales al no perder la posición al alimentar el circuito, por lo que no necesita tener referencias o realizar una calibración. De esta forma permite al controlador conocer en todo momento el ángulo exacto de la articulación de la órtesis de rodilla.

La controladora del servomotor utiliza un control de tipo modo de lazo cerrado para garantizar que el ángulo programado se alcanza de forma precisa. El rango de rotación puede configurarse entre $\pm 180^\circ$ o 0° - 360° .

La lectura de la posición se usa tanto en modo de funcionamiento del sistema automático como en modo asistido, para poder verificar que el movimiento programado y enviado al actuador se ejecuta correctamente.

- **Salida de posición:** es ideal para que los dispositivos externos detecten el ángulo de dirección del servomotor. En el *jumper*: Posición 4 el pin "S" positivo y posición 4 el pin "G" negativo.
 - Rango de voltaje de salida: $0V$ a $3,3V$.
 - La relación es: $0V$ para 0° y de $3,3V$ para 360°



5.3.2. Sensor de presión celda de carga de 50 Kg Medio Puente

El módulo sensor (figura 41), tiene una lámina de metal que al deformarse produce una variación de resistencia, que es proporcional al peso aplicado y envía una señal a través del cable rojo. [22]

Las características técnicas principales son:

Propiedad	Valor
Tipo de sensor	<i>Celda de carga</i>
Rango	<i>50 kg</i>
Salida cero	$\pm 0,3 \text{ mV/V}$
Sensibilidad de salida	$1,0 \pm 0,15 \text{ mV/V}$
Linealidad	$0,2\% \text{ F.S (Full Scale)}$
Histéresis	$0,2\% \text{ F.S}$
Repetibilidad	$0,1\% \text{ F.S}$
Fluencia	$0,1\% \text{ F.S (3 min)}$
Impedancia de salida (entrada) R1 y R2	$1000 \pm 10 \Omega$
Temperatura de funcionamiento	$-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$
Error de cuadratura	$0,15\% \text{ F.S}$
Deriva de temperatura cero	$0,3\% \text{ F.S/}10^{\circ}\text{C}$
Deriva de sensibilidad a la temperatura	$0,3\% \text{ F.S/}10^{\circ}\text{C}$
Resistencia de aislamiento	$\geq 2000 \text{ M}\Omega$
Voltaje de excitación	$3-10 \text{ VCC}$
Límite de sobrecarga	$150\% \text{ F.S}$
Precisión total	$0,3\% \text{ F.S}$

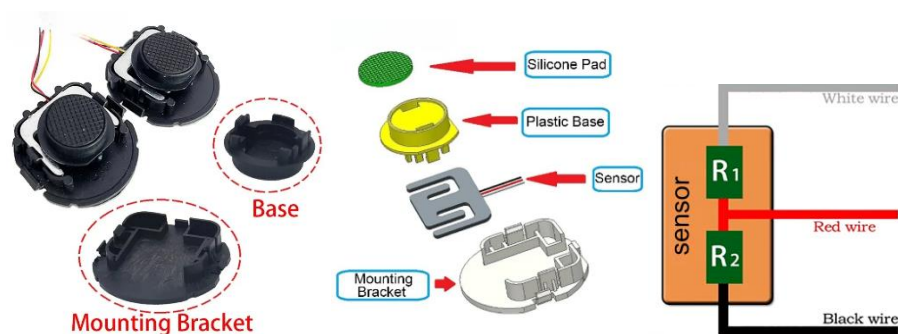


Figura 41. Sensor de presión celda de carga de 50 Kg Medio Puente. Fuente:[22]

5.3.3. Convertidor ADC ADS1115

El módulo ADS1115 es una placa *breakout* convertidor ADC de alta precisión de 4 canales o 2 diferenciales, con un amplificador de ganancia programable (PGA) que proporciona una ganancia de hasta x16 para señales pequeñas como las del sensor de presión por celda de carga, dispone de un canal de comunicación I^2C . [23]

Las características técnicas principales son:

Propiedad	Valor
Resolución	16 bits
Frecuencia de muestreo programable:	De 8 a 860 muestras/seg
Fuente de alimentación y niveles lógicos	2,0 V a 5,5 V
Bajo consumo de corriente	Modo continuo: 150 μ A
Modo de disparo único	Apagado automático
Ganancia interna	Hasta x16
Interfaz I^2C	4 pines Direcciones seleccionables
Entradas	4 entradas simples o 2 diferenciales
Comparador programable	
Referencia	Interna de tensión de baja deriva
Oscilador	Interno

En la figura 42 se muestra el módulo ADS1115 y sus pines.

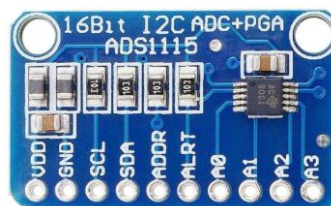


Figura 42. Módulo ADS1115. Fuente:[23]

5.3.4. Sensor de EMG

El *MyoWare 2.0 Muscle Sensor* de *SparkFun Electronics*, es un módulo analógico de electromiografía que integra todos los circuitos de tratamiento de la señal EMG: amplificación, filtrado, rectificación y suavizado, que proporciona 3 salidas analógicas para poder usar con un microcontrolador.

En la figura 43 se muestra todas las partes del sensor *MyoWare 2.0*. [24]

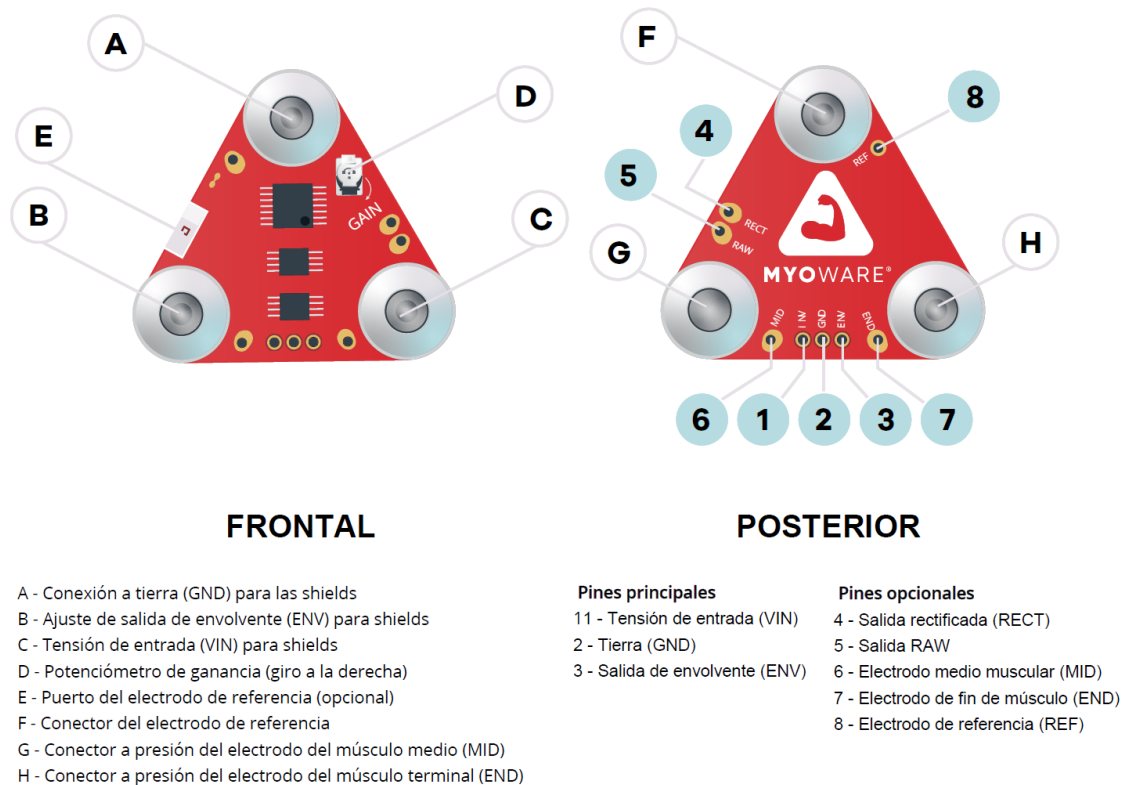


Figura 43. Partes del sensor *MyoWare 2.0*. Fuente:[24]

■ Especificaciones técnicas:

La señal EMG captada por el sensor muscular *MyoWare 2.0* pasa por un amplificador, un filtro de paso de banda, un rectificador y un detector de envoltente, disponiendo de 3 salidas del sensor: sin procesar (RAW), rectificadas (RECT) y de envoltente (ENV), figura 44.

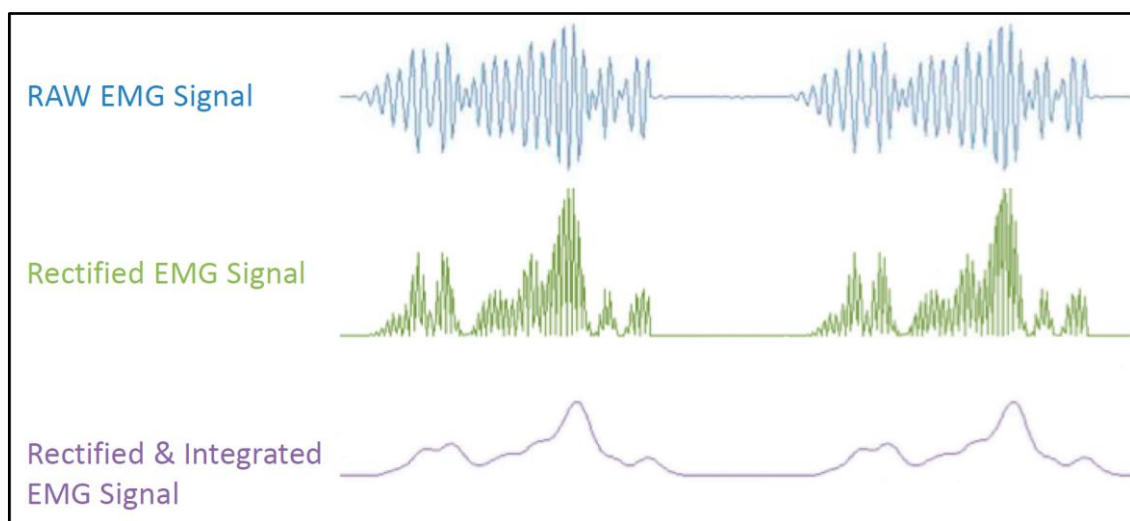


Figura 44. Señales de salida del sensor *MyoWare 2.0*. Fuente:[24]

Principales características [24]:

- Voltaje de alimentación:
Mínimo = +2,27 V ; típico = +3,3 V o +5 V ; máximo = +5,47 V
- Corriente de polarización de entrada: 250 pA, máx. 1 nA
- Impedancia de entrada: 800 kΩ
- Relación de rechazo de modo común (CMRR): 140 dB
- Filtros
Filtro paso alto: activo de primer orden, $f_c = 20,8 \text{ Hz}$, -20 dB
Filtro paso bajo: activo de primer orden, $f_c = 498,4 \text{ Hz}$, -20 dB
- Método de rectificación: Onda completa
- Detección de envolvente
Lineal : Pasivo de primer orden, $f_c = 3,6 \text{ Hz}$, -20 dB
- Ecuación de ganancia ideal:

Raw (RAW): $G = 200$

Rectificado (RECT): $G = 200$

Envolvente (ENV): $G = 200 * R / 1 \text{ k}\Omega$

R es la resistencia del potenciómetro en kΩ

En la figura 45 se muestra el esquema interno para el procesamiento de señal del sensor muscular *MyoWare 2.0*.

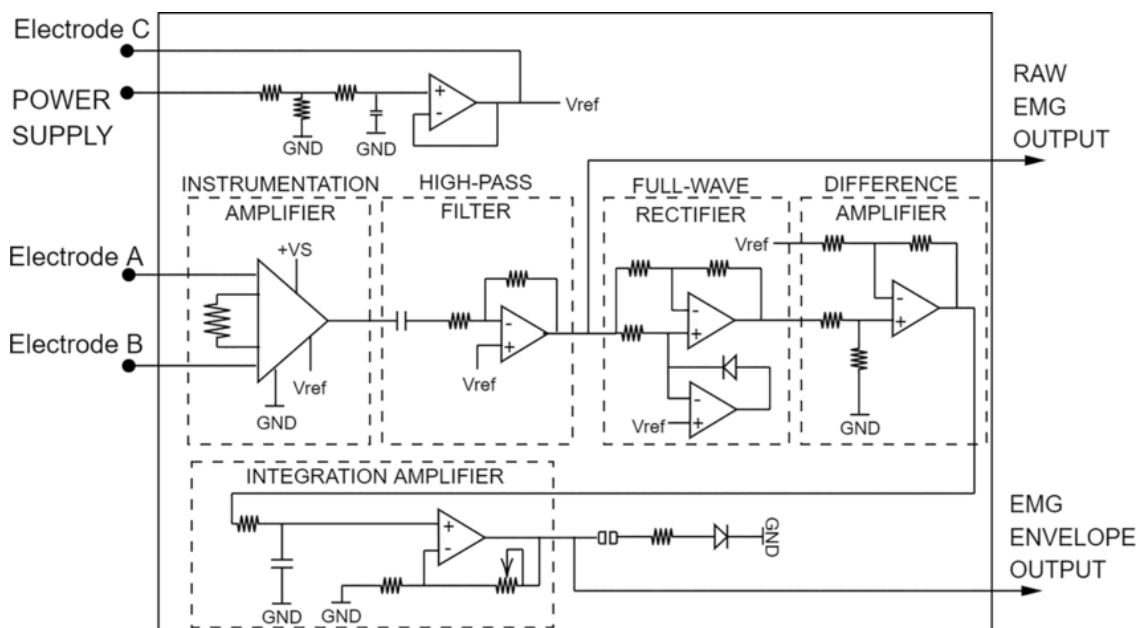


Figura 45. Esquema eléctrico del sensor muscular *MyoWare 2.0*. Fuente:[25]

Este sensor se puede utilizar como complemento o mejora al sensor de presión para detectar la intención de movimiento del usuario al detectarse la señal en el sensor.

5.3.5. Electrodos para EMG

Para captar la señal EMG con fiabilidad, se utilizan electrodos de superficie pregelificados *Kendall™ H124SG* (figura 46), que están diseñados para captar los biopotenciales en aplicaciones médicas como la electrocardiografía (ECG) y electromiografía superficial (EMG). [24]



Figura 46. Electrodo Kendall™ H124SG. Fuente:[24]

Las características técnicas principales [24] son:

Propiedad	Valor
Tipo	<i>Electrodo redondo pregelificado</i>
Diámetro	<i>24 mm</i>
Área total	<i>452 mm²</i>
Área conductiva de gel	<i>201 mm²</i>
Grosor total	<i>1 mm</i>
Material conductor	<i>Ag/AgCl (plata/cloruro de plata)</i>
Gel	<i>Hidrogel adhesivo conductivo</i>
Adhesivo	<i>Sensible a presión, grado médico</i>
Resistencia de impedancia (AC)	<i>~220 Ω</i>
Tensión de offset (DC)	<i>0,2 mV</i>
Compatibilidad	<i>Biocompatible (DIN ISO 10993), libre de látex</i>

5.4. Módulo estructural de la órtesis

El módulo estructural utilizado es una órtesis mecánica de rodilla (figura 47) para sujetar la pierna del usuario, dispone de un soporte lateral para el montaje del actuador (ASMG-MTA) que permite alinearlo con la articulación de la rodilla, los sensores de presión o EMG irán colocados sobre la zona tibial o espinilla (anterior y posterior) de la órtesis o del usuario, los componentes electrónicos del sistema de control ESP32 y su alimentación, irán montados en una caja impresa colocada en la parte superior de la estructura.



Figura 47. Órtesis de rodilla. Fuente: Amazon

5.4.1. Especificaciones técnicas

Especificación	Valor
Material principal	Aleación de aluminio + ABS
Peso total	~1,4 kg (sin motor ni electrónica)
Longitud ajustable muslo	280 mm – 400 mm
Longitud ajustable espinilla	300 mm – 420 mm

Especificación	Valor
	$0^{\circ} - 120^{\circ}$ (mecánico)
Rango de ángulo de rodilla	-Ángulos de límite de extensión: $0^{\circ}, 15^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}, 75^{\circ}, 90^{\circ}$ -Ángulos de límite de flexión: $0^{\circ}, 15^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}, 75^{\circ}, 90^{\circ}, 105^{\circ}, 120^{\circ}$
Sistema de sujeción	Cintas ajustables y acolchadas con cierres de velcro
Montaje módulos	Soporte impreso 3D lateral
usuario	Adulto (~160 – 185 cm)

5.5. Módulo de notificación y estado

El sistema ORActive incorpora varios elementos destinados a informar y guiar al usuario mediante mensajes visuales, auditivos y hápticos. Todos estos elementos están controlados por el microcontrolador ESP32 .

5.5.1. Pantalla OLED

La pantalla OLED (figura 48) es de 1,3 pulgadas y tiene una resolución de 128x64 píxeles OLED blancos, están controlados individualmente por el chip SH1106 que tiene incorporado.[26]

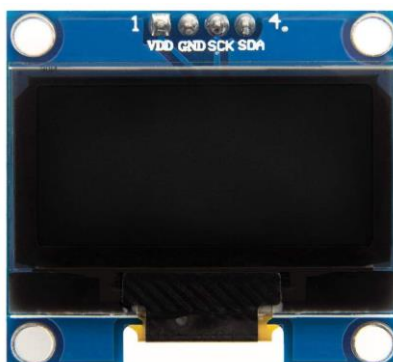


Figura 48. pantalla OLED de 1,3 pulgadas y 128x64 píxeles. Fuente: [26]

Información Técnica:

Especificación	Valor
Dimensiones	36 x 34 x 3mm
Matriz de puntos	128 x 64

Tamaño de los píxeles	0,21 mm × 0,21 mm
Paso de píxeles	0,23 mm × 0,23 mm
Color de los píxeles	Blanco
Modo de visualización	Matriz pasiva
Interfaz de comunicación	I2C
Bajo consumo de energía	< 11mA
Voltaje de alimentación	3,3V a 5V
Temperatura de funcionamiento	-20 a 70 °C

5.5.2. Sensor háptico

Está formado por un motor vibrador para informaciones no audibles, que convierte las señales eléctricas en vibración mecánica, la intensidad de la vibración se puede controlar mediante un canal PWM desde el ESP32. [27]
En la figura 49 se muestra el motor vibrador.



Figura 49. Motor vibrador, sensor háptico. Fuente:[27]

Información técnica:

Especificación	Valor
Tamaño	21 × 23 mm
Agujero de fijación	3 mm
Distancia entre agujeros	15 mm
Motor plano	Diámetro de 10 mm, grosor de 2.7 mm
Voltaje nominal	5.0 VDC
Voltaje de funcionamiento	3.0 – 5.3 VDC
Velocidad nominal	mínimo 9000 rpm
Corriente nominal	hasta 60 mA

Corriente de arranque	<i>hasta 90 mA</i>
Voltaje de arranque	<i>DC 3.7 V</i>
Resistencia de aislamiento	<i>10 MΩ</i>
Puerto	<i>Digital</i>
Controlador	<i>MOS de disparo alto, corte en bajo nivel</i>

5.5.3. Reproductor MP3

El sistema dispone de un reproductor MP3 *DFPlayer Mini* (figura 50) con altavoz, que reproduce mensajes de voz grabados en la microSD para dar instrucciones y guiar al usuario desde el ESP32 durante el uso del ORActive.[28]

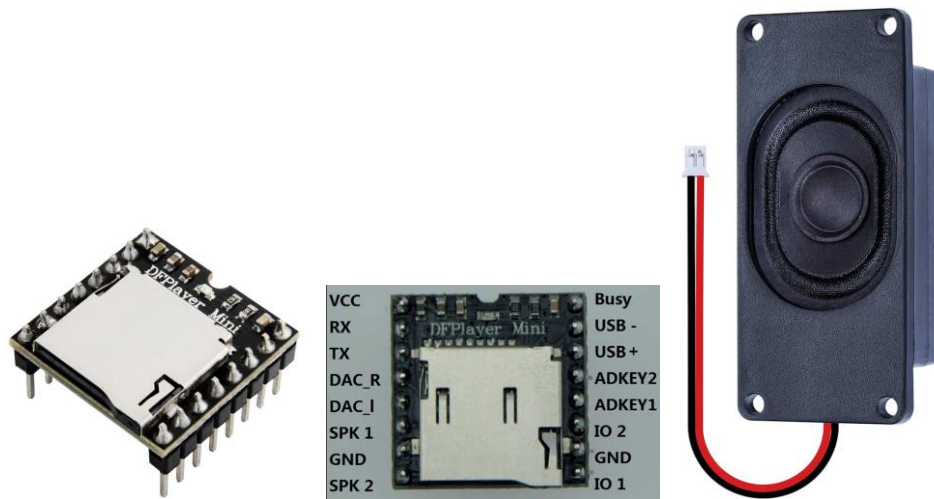


Figura 50. Reproductor MP3 DFPlayer Mini y altavoz. Fuente:[28]

Las principales características técnica del *DFPlayer* son:

Especificación	Valor
Decodificación	<i>MP3 y WMV</i>
Interfaz de comunicación	<i>UART (9600 bit/s)</i>
Frecuencias de muestreo	<i>8 kHz, 11.025 kHz, 12 kHz, 16 kHz, 22.05 kHz, 24 kHz, 32 kHz, 44.1 kHz y 48 kHz</i>
Salida DAC	<i>24 bits</i>
Relación señal/ruido (SNR)	<i>85 dB</i>
Rango dinámico	<i>90 dB</i>
Sistemas de archivos	<i>FAT16 y FAT32</i>

Tarjetas microSD	<i>Hasta 32 GB</i>
Modos de control	<i>modo serie, modo de control con tecla AD</i>
Amplificador incorporado	<i>3 W</i>
Los datos de audio se organizan por carpetas	<i>Hasta 100 carpetas, cada una con hasta 1000 canciones</i>
Volumen	<i>Ajustable en 30 niveles</i>
Ecualizador (EQ)	<i>Ajustable en 10 niveles</i>

Información técnica del altavoz:

Especificación	Valor
Tamaño del Altavoz	<i>70 × 30 × 15 mm</i>
Peso	<i>24 g</i>
Material	<i>Plástico</i>
Color	<i>Negro</i>
Longitud del Cable	<i>48 cm</i>
Potencia Nominal	<i>3 W</i>
Impedancia Nominal	<i>8 Ω</i>
Interfaz	<i>JST-PH2.0 2 Pines</i>
Sensibilidad	<i>120 dB / W</i>
Frecuencia	<i>Rango Completo</i>
Magnético	<i>Imán Interno</i>

5.5.4. Testigo luminoso

Se dispone de un diodo LED bicolor de cátodo común, para dar información luminosa del estado de funcionamiento del sistema, en rojo indica que hay algún problema o se está inicializando y en verde que todo está listo para empezar (*Ready*).

En la figura 51 se muestran las principales características.

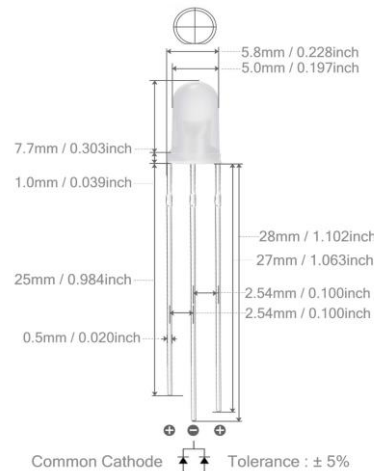


Figura 51. Diodo led bicolor rojo y verde. Fuente: CHANZON

Especificaciones técnicas:

Especificación	Valor
Lente	5 mm de diámetro / Transparente / Redondo
Color de emisión	(R) 620nm-625nm / (G) 515nm-520nm R: 2000-3000mcd / G: 15000-18000mcd
Intensidad luminosa	ultrabrillante
Ángulo de visión	30 grados
Voltaje	1,8V (R) / 3V - 3,2V (G)
Corriente directa	20 mA cada color
Potencia	0,1 W
Polaridad	Cátodo (pin largo), Ánodos (pines cortos)

5.6. Módulo de alimentación y medidas de seguridad

Este bloque es muy importante, ya que por una parte proporciona al sistema una fuente de energía portátil y de capacidad suficiente para realizar varias sesiones, por otra parte integra distintos elementos de seguridad a nivel eléctrico y mecánico para asegurar que el usuario no sufra ningún daño.

La alimentación está compuesta por:

- Una **batería Work PowerShare Pro** [29] de 20 V de 4000 mAh (figura 52) y de un portabatería desde donde salen los cables de alimentación general de 20 V.



Figura 52. Batería Work y portabatería. Fuente:[29]

- **Convertidor de tensión (regulador Buck DD7212SA)**

Para alimentar todo el hardware a 3,3 V se utiliza un el conversor de la placa de expansión 38 pines del ESP32 que se alimenta del regulador Buck DD7212SA con 12 V (figura 53).

- Voltaje de entrada 13 ~ 27 V, salida 12 V
- Corriente de salida máxima 2A, corriente de salida máxima de corto tiempo 3A
- Frecuencia de trabajo del módulo convertidor reductor DC-DC 900 KHz. La eficiencia es del 76-93%.
- Corriente de reposo: alrededor de 250 μA
- Apagado por sobretemperatura, bloqueo por subtensión (UVLO), protección contra voltaje BS y protección contra cortocircuitos.
- Temperatura de funcionamiento: $-20^{\circ}C$ a $+85^{\circ}C$
- Tamaño: 25x15,1x6,2 mm
- Peso : 2,46 g

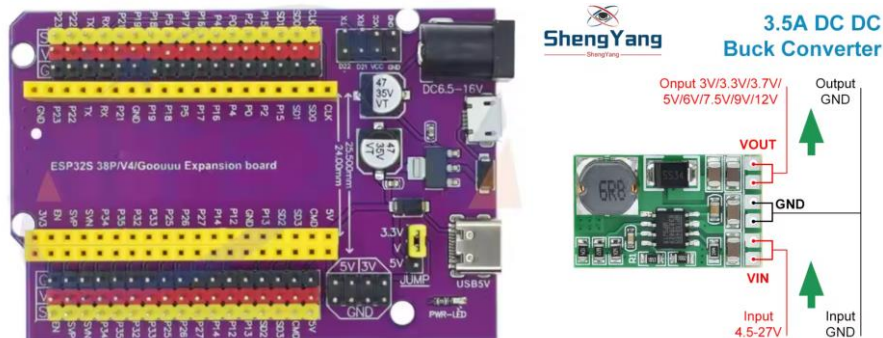


Figura 53. Placa de expansión 38 pines del ESP32 y regulador Buck DD7212SA de 12 V. Fuente Aliexpress

- **Portafusibles para fusibles de tubo de vidrio de 5x20 mm** (figura 54) de 5 A, como seguridad contra sobrecorrientes. [30]



Figura 54. Portafusibles para fusibles de tubo de vidrio. Fuente:[30]

- **Interruptor basculante redondo ON/OFF** [31] (figura 55), para conectar o desconectar la órtesis robótica ORActive.

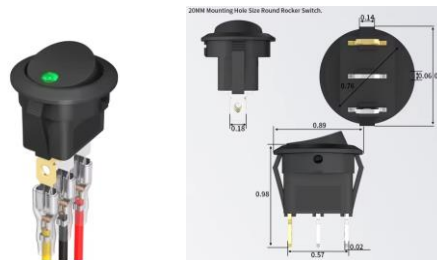


Figura 55. Interruptor basculante redondo . Fuente:[31]

- **Interruptor de botón de parada de emergencia** (enclavamiento) [32], fabricado en metal y cabeza de seta impermeable de acero inoxidable, para su reinicio es necesario la rotación y es antideslizante con luz roja cuando se actúa (figura 56). En caso de parada de emergencia el botón desconecta la alimentación y apaga todo el sistema.



Figura 56. botón de parada de emergencia. Fuente:[32]

- **Switches finales de carrera** [33] (figura 57): son conectados de forma normalmente cerrado y el sistema dispone de uno para el final de carrera de Flexión (120°) y otro para el final de carrera de Extensión (0°),

de esta forma se consigue dar seguridad de sobrecargas mecánicas a la órtesis y fisiológica al usuario, ya que cuando actúan desconectan toda la alimentación y apagan el sistema.

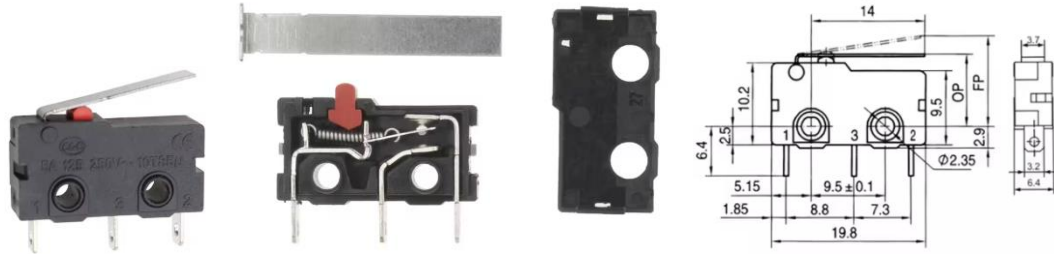


Figura 57. Switches finales de carrera. Fuente:[33]

5.7. Módulo App móvil

La aplicación móvil desarrollada para este proyecto forma parte esencial del sistema, ya que proporciona un interfaz de usuario para el control, configuración y seguimiento de los ejercicios realizados en las sesiones de terapias de la órtesis robótica activa.

La App es desarrollada en la plataforma *MIT App Inventor* (alternativa: *Flutter*) para dispositivos móviles con sistema operativo *Android 2.1* ("Eclair") o superior con conectividad *Bluetooth BLE* (*Bluetooth Low Energy*) 4.0 o superior, el interfaz se ha diseñado para permitir al usuario disponer de una accesibilidad fácil, intuitiva y portátil, que pueda ser utilizada por los terapeutas en entornos de rehabilitación o incluso por el usuario en entornos controlados.

5.7.1. Estructura del interfaz de usuario

La estructura básica del interfaz tiene los siguientes apartados principales:

- Panel de inicio:
 - Escaneo de conexiones disponibles.
 - Conexión *Bluetooth BLE* con el *ESP32*.
 - Introducir usuario.
- Panel de configuración:
 - Ángulo inicial y final de la órtesis (*sliders* o campos numéricos).

- Velocidad de movimiento.
- Número de repeticiones.
- Modo: automático, asistido o asistido libre.
- Panel de sesión:
 - Botón iniciar o detener.
 - Indicador del ángulo actual.
 - Indicador de activación (EMG/FSR).
- Panel de historial o seguimiento:
 - Registro base de datos local y en la nube de las sesiones completadas.

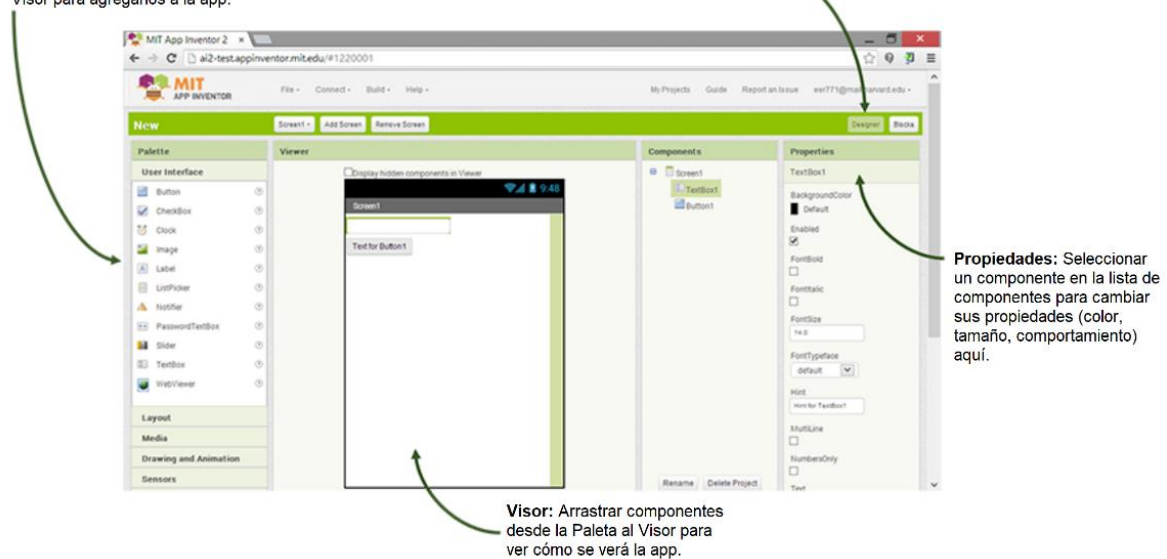
5.7.2. Plataforma de desarrollo de la interfaz App

Para crear la interfaz App para móviles de la órtesis robótica activa se ha considerado utilizar la plataforma de desarrollo *MIT App Inventor*, que es: «un entorno de programación intuitivo y visual que permite crear aplicaciones completamente funcionales para teléfonos Android, iPhones y tabletas Android/iOS, basada en bloques que facilita la creación de aplicaciones complejas y de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales». [34]

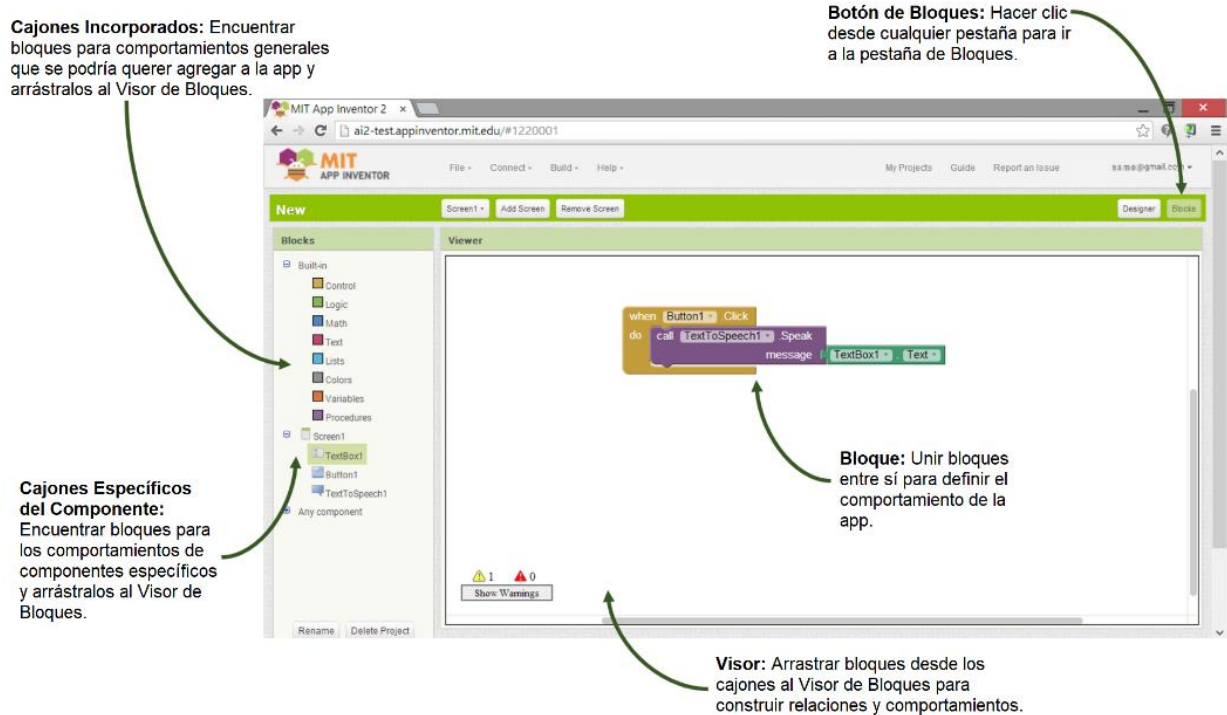
- *MIT App Inventor* consta del Diseñador y el Editor de bloques [34]:
 - El Diseñador permite crear el interfaz de la aplicación:

Paleta: Encontrar los componentes y arrástralos al Visor para agregarlos a la app.

Botón de Diseñador: Hacer clic desde cualquier pestaña para ir a la pestaña del Diseñador.



- El Editor de bloques permite programar el comportamiento de la aplicación juntando bloques:



6. Diseño práctico

Este apartado detalla el diseño y la construcción práctica del sistema de órtesis robótica activa de rodilla (ORActive), integrando tanto la mecánica, el hardware y el software de control (incluyendo tanto el firmware del microcontrolador como la aplicación App móvil Android). Se explica cómo se complementan todos los módulos del prototipo para su correcto funcionamiento, los pasos de ensamblaje, conexión de los componentes, así como la lógica de programación y control desde la App móvil.

6.1. Diseño mecánico

El diseño mecánico consiste en una órtesis robótica de rodilla, basada en un modelo comercial de una órtesis mecánica de rodilla, se modifica añadiendo un soporte fijo en la parte lateral sobre el muslo que al que se fija el servomotor, cuyo eje se centra con el eje de rotación de la rodilla y se acopla a una biela de aluminio que se fija a la zona tibial de la órtesis, transfiriendo el par de giro

directamente sobre la articulación desplazando la pierna según el ángulo de movimiento del servomotor.

Todo el hardware electrónico se monta dentro de dos cajas:

- Una caja que va sobre el soporte fijo del muslo que contiene el ESP32, el reproductor MP3 *DFPlayer Mini*, *LED* y el *ADS1115*.
- Otra caja en un cinturón que contiene la pantalla *OLED*, altavoz, los botones de *ON/OFF* y de parada de emergencia, fusible, regulador de tensión Buck *DD7212SA* y la batería por la parte externa.

Agradecer a **D. Manuel Bazán Grande** por la colaboración en el diseño y fabricación de piezas en impresión 3D.

En los siguientes apartados se muestran los diseños de las diferentes partes mecánicas. En la figura 58 se muestran las cotas del servomotor ASMG-MTA.

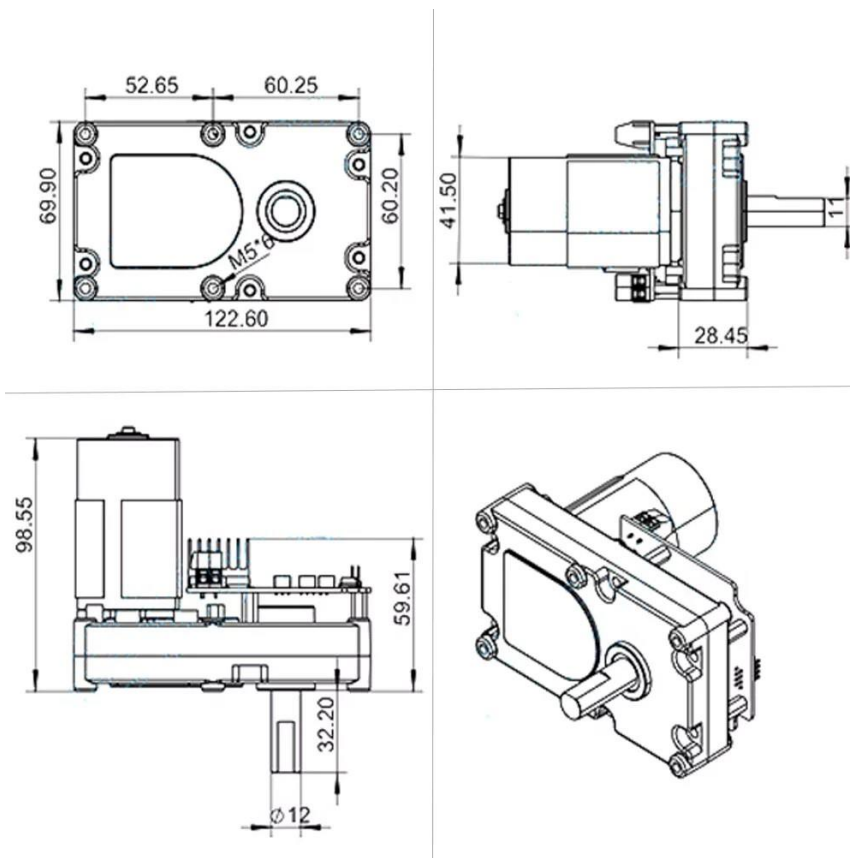


Figura 58. Cotas del servomotor. Fuente: [20]

6.1.1. Soporte fijo de la órtesis en la parte lateral sobre el muslo

En la figura 59 se muestra el diseño 3D creado mediante *Autodesk Fusion* [35] del soporte fijo de la órtesis de la parte lateral sobre el muslo, que hace de soporte al servomotor y la caja del ESP32.

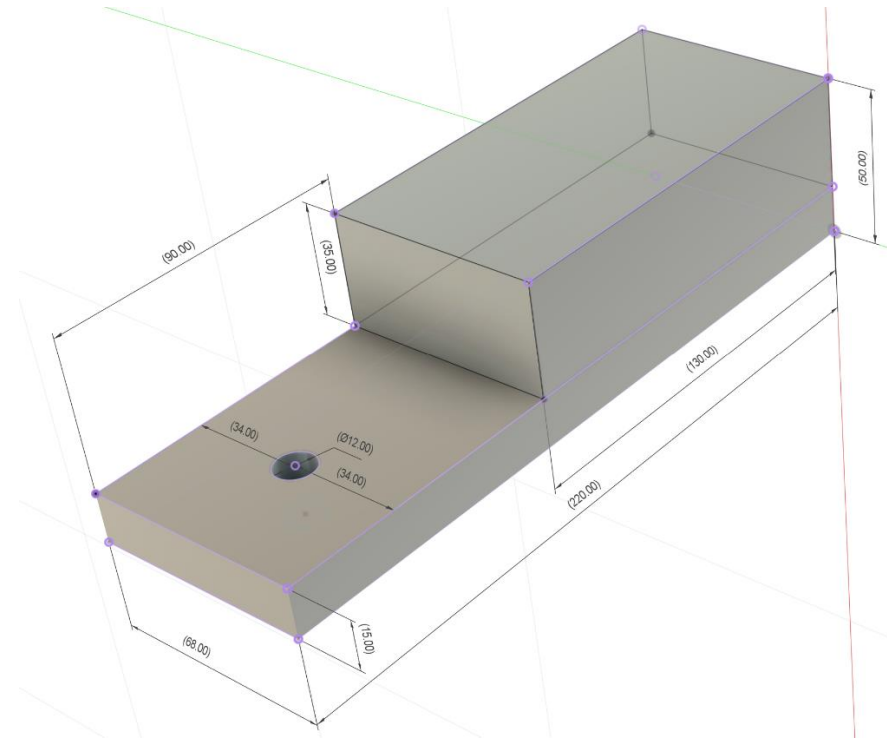


Figura 59. Diseño 3D del soporte fijo de la órtesis en la parte lateral sobre el muslo. Elaboración propia.

6.1.2. Soporte biela de aluminio de la zona tibial de la órtesis

En la figura 60 se muestra el diseño 3D creado mediante *Autodesk Fusion* [35] de la biela y la pieza de conexión con el eje del servomotor.

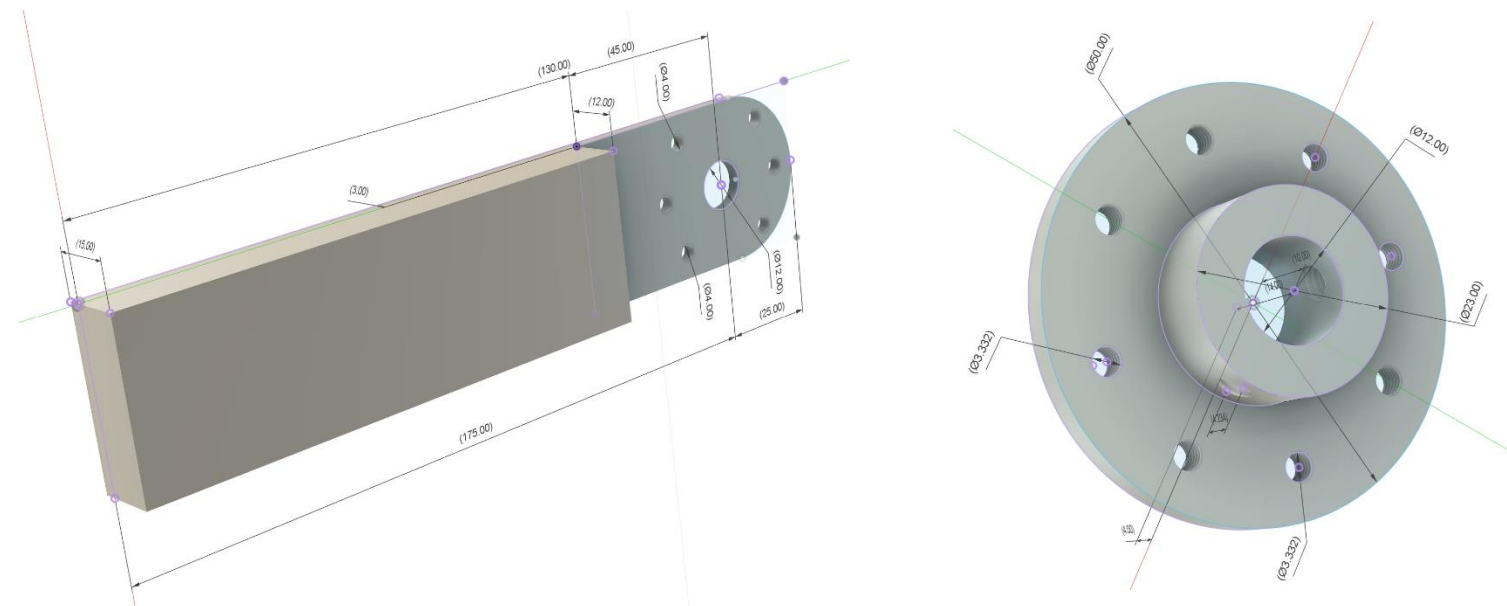


Figura 60. Diseño 3D de la biela y la pieza de conexión con el eje del servomotor. Elaboración propia.

6.1.3. Caja y tapa soporte fijo Servo

En la figura 61 se muestra el diseño 3D creado mediante *Autodesk Fusion* [35] de la caja y tapa que está en el soporte fijo de la órtesis de la parte lateral sobre el muslo.

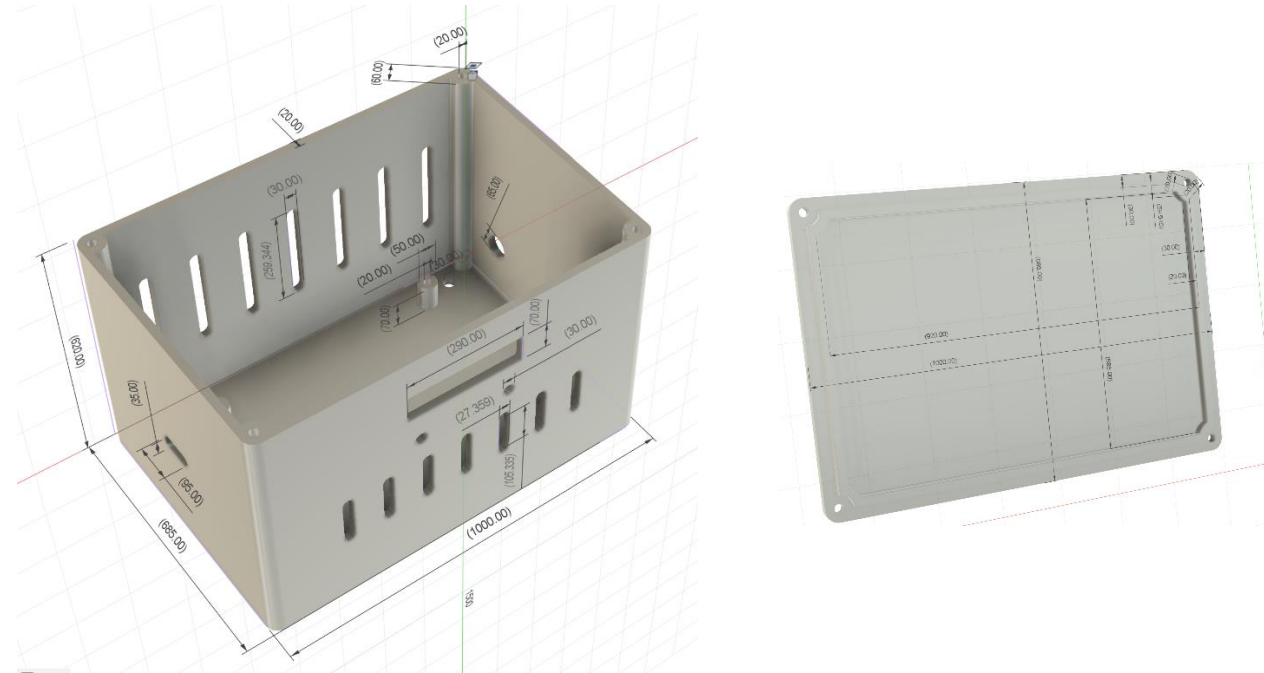


Figura 61. Caja y tapa soporte fijo Servo. Elaboración propia.

6.1.4. Caja y tapa cinturón de batería

En la figura 62 se muestra el diseño 3D creado mediante *Autodesk Fusion* [35] de la caja y tapa que está en el cinturón de la batería.

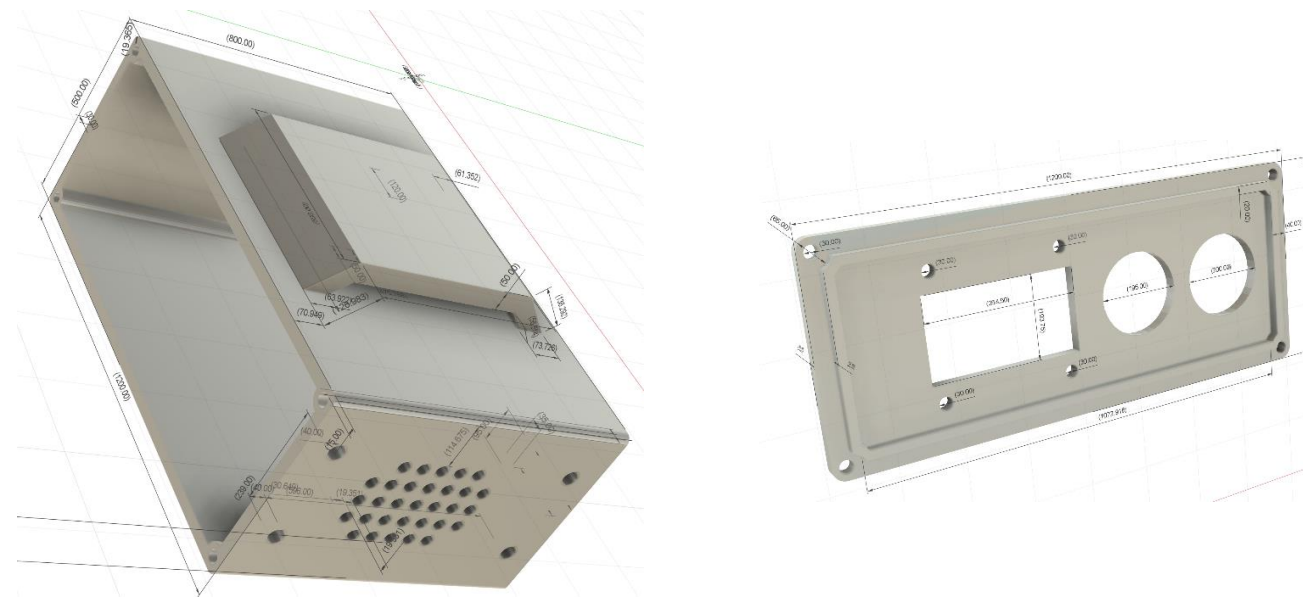
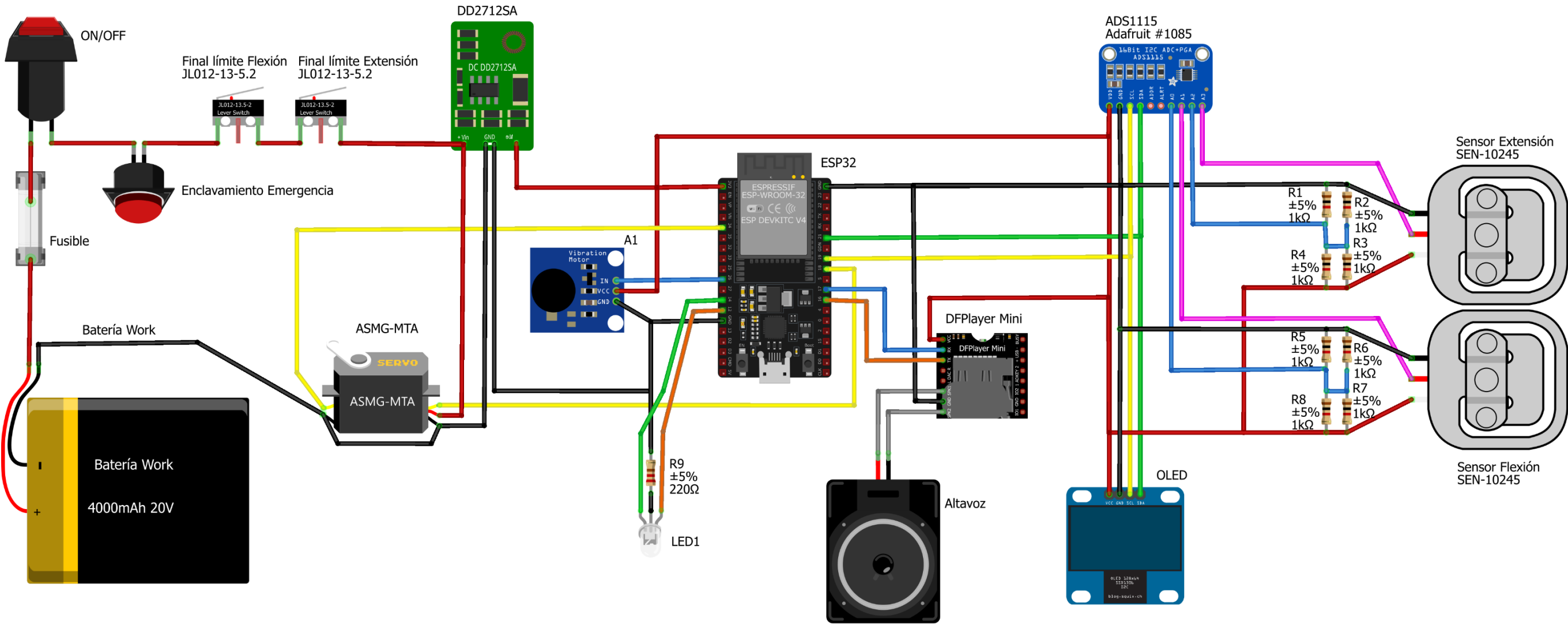


Figura 62. Caja y tapa cinturón de batería. Elaboración propia.

6.2. Diseño Hardware

El sistema hardware del sistema ORActive está diseñado con *Fritzing* [36] de forma modular y compacto, para permitir la integración de sensores, actuadores, y dispositivos de control. En la figura 63 se muestran los principales módulos electrónicos utilizados y sus conexiones.



fritzing

Figura 63. Módulos hardware utilizados y sus conexiones. Elaboración propia.

En la figura 64 se muestra el esquema eléctrico diseñado con *Fritzing* [36] del sistema ORActive.

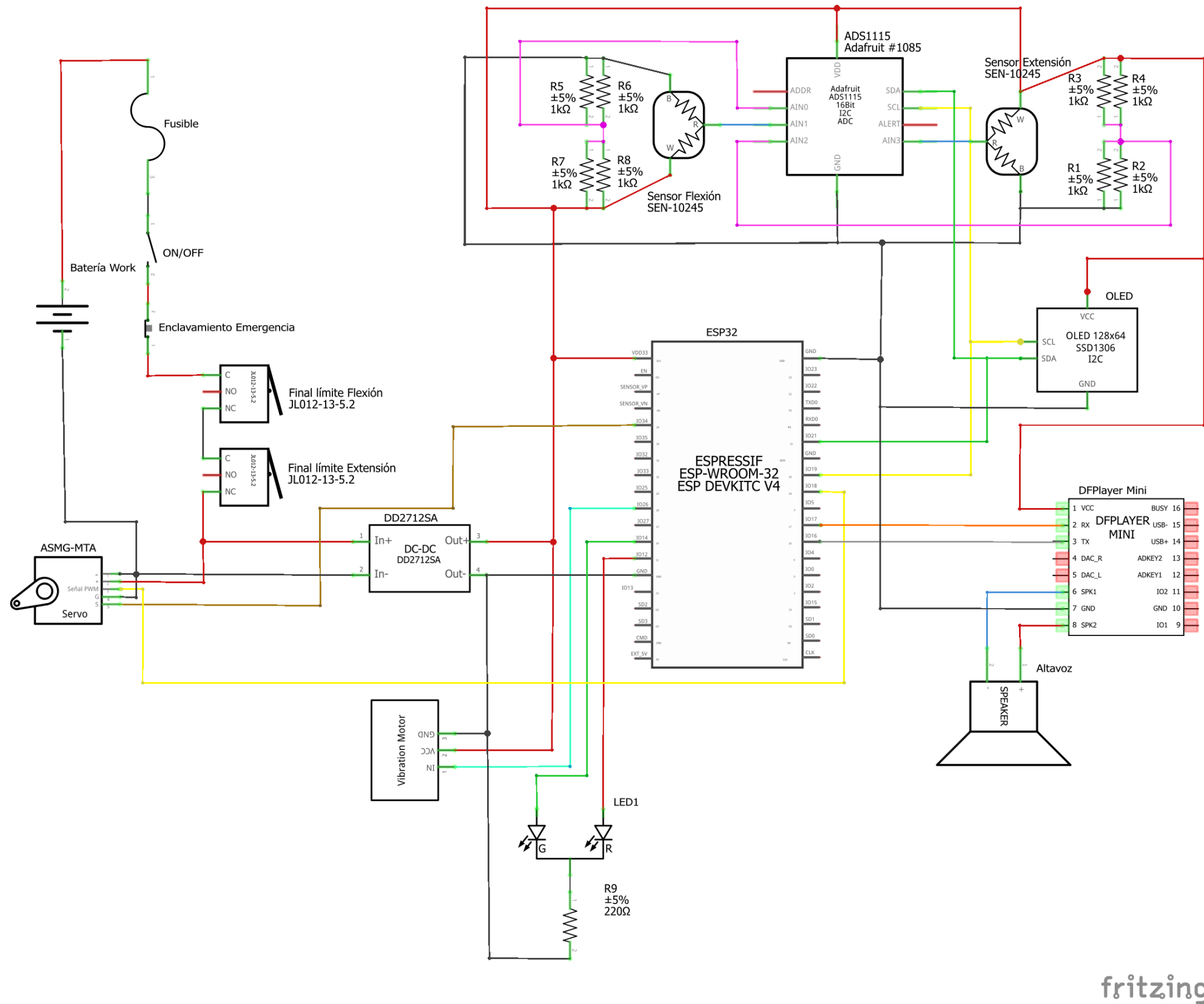


Figura 64. Esquema eléctrico del sistema ORActive. Elaboración propia.

6.2.1. Unidad de alimentación y seguridad

La fuente que alimenta a todo el sistema es una batería de 20 V y 4000 mAh recargable de la marca *Work*, que proporciona suficiente autonomía para realizar varias sesiones de trabajo, como medida de seguridad la salida que alimenta al sistema dispone de fusible de 5A, interruptor ON/OFF, interruptor de enclavamiento de emergencia y *switches* de final de carrera de Extensión y Flexión NC (Normalmente Cerrado), dando una tensión de la salida general de 20 V.

La salida general de 20 V alimenta al actuador servomotor ASMG-MTA y al convertidor de tensión (regulador DD7212SA) a sus pines 1 y 2 (*In+*, *In-*), para alimentar con su salida pines 3 y 4 (*Out+*, *Out-*) de 3,3 V a los diferentes módulos.

6.2.2. Unidad de control

Está formada por el microcontrolador *AZDelivery ESP32 Dev Kit C V4* (38 pines), núcleo central de control del sistema *ORActive*, encargado de la gestión de los sensores, actuadores y comunicación *Bluetooth*.

Crea los interfaces y conexiones:

- Conexión *Bluetooth* con la App móvil.
- Conexión Serial (115200 bit/s) a consola para funciones del modo ingeniería (operación y mantenimiento).
- I²C para la comunicación con la pantalla OLED y ADS1115 por los pines *GPIO 21* para SDA y *GPIO 19* para SCL.
- UART (9600 bit/s) para la comunicación con el reproductor MP3 *DFPlayer Mini*, con los pines *GPIO 16* (RX) para TX y *GPIO 17* (TX) para RX.
- Control del Servomotor ASMG-MTA, pin *GPIO 18* para la señal PWM del control de posición y pin *GPIO 34* entrada del ADC propio para lectura del ángulo desde el *encoder* magnético del Servomotor.
- Led de estado, salida digital *GPIO 14* verde (*Ready*) y *GPIO 12* rojo (Inicializando).
- Sensor háptico (motor vibrador) mediante señal PWM pin *GPIO 26*.

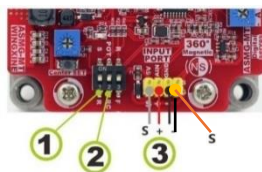
6.2.3. Actuador servomotor ASMG-MTA

Para mover la órtesis articulada se utiliza el servomotor ASMG-MTA de alto par de hasta $350 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ ($\approx 34.3 \text{ Nm}$), con sensor *encoder* magnético.



La alimentación es de 20 V proporcionada por la batería que entra al conector de Entrada de Alimentación DC.

Se utiliza el control de la posición mediante señales PWM, utilizando Modo RC - PWM ("*1 ms Pulse Width Mode*") de 1 ms ($1 \text{ ms} - 2 \text{ ms}$ ancho de pulso)



1. El *switch* 1 está en la posición "R".
2. El *switch* 2 está en la posición "RC".
3. En el *jumper*:

- *Posición 1*: se usa el pin "S" como entrada de la entrada de señal PWM que se conecta al pin *GPIO 18* del ESP32
- *Posición 3*: se usa el pin "-" que se conecta a la línea de señal negativa.
- *Posición 4*: se usa el pin "S" como voltaje de salida: 0V a $3,3\text{V}$ para el ángulo de dirección del servo (0° para 0° y de $3,3\text{V}$ para 360°), se conecta al *GPIO 34* del ESP32.
- *Posición 4*: superior se usa el pin "G" que se conecta a la línea de señal negativa general.

6.2.4. Pantalla OLED

Su alimentación es de $3,3 \text{ V}$ y dispone de un interfaz de comunicación I^2C , pines *SCK* y *SDA* que se conectan a los pines correspondiente del bus del ESP32.

6.2.5. Sensor háptico

Está formado por un motor vibrador (*A1*) que se activa por un canal PWM vibrador a 5 kHz de frecuencia y 8 bits de resolución.

Se alimenta con $3,3 \text{ V}$ y su pin de entrada "IN" se conecta con el pin *GPIO 26* del ESP32.

6.2.6. Sensores de presión

Cada sensor está compuesto por una celda de carga de 5 kg y medio puente de 500 Ω cada una, se complementa cada medio puente añadiendo un divisor de tensión con cuatro resistencias fijas de 1 k Ω ($R1-R4$ para la primera celda de carga y $R5-R8$ para la segunda), de esta forma se completa el puente de *Wheatstone* para cada sensor, alimentado con 3,3 V.

Las dos salidas diferenciales de las celdas de carga se conectan al ADS1115, un ADC 16 bit y 4 Canales. La entrada $A0$ y $A1$ se conectan a la celda de carga de Flexión y las entradas $A2$ y $A3$ a la celda de carga de Extensión. El ADS1115 es alimentado con 3,3 V y dispone de un interfaz de comunicación I^2C , pines SCL y SDA que se conectan a los pines correspondiente del bus del ESP32.

6.2.7. Reproductor MP3

Está alimentado a 3,3 V y tiene un amplificador de 3 W integrado con 30 niveles de volumen, que se conecta a un altavoz mediante los pines $SPK1$ y $SPK2$, dispone de una conexión UART a 9600 bit/s con pines TX y RX a los pines $GPIO 16$ y $GPIO 17$ del ESP32 respectivamente.

6.2.8. LED bicolor Rojo - Verde

Este LED con cátodo común al que mediante una resistencia $R9$ de 220 Ω se conecta a la línea negativa del sistema, el ánodo rojo se conecta al pin $GPIO 12$ y el verde al $GPIO 14$ del ESP32 y se usa para mostrar mensajes de estado.

6.3. Diseño Software

El sistema software del sistema ORActive se compone de un primer bloque que desarrolla una aplicación App mediante la plataforma de desarrollo MIT App Inventor [34], un segundo bloque con el script de Google Apps Script [37] para guardar el ejercicio en la nube (Google Drive) [38], por último un tercer bloque con el Firmware del ESP32 mediante la plataforma PlatformIO espressif32 [39] con framework para Arduino en Visual Studio Code [5].

6.3.1. Aplicación App para móvil Android

Mediante la aplicación App de ORActive, creada de forma modular para futuras funciones y desarrollada mediante la plataforma de desarrollo *MIT App Inventor* [34], se crea un interfaz entre el usuario y el sistema de control del ESP32, donde se gestiona, configura y actúa completamente sobre el flujo de la sesión de trabajo. Sus principales funciones son:

- **Conexión y control *Bluetooth*:** controla la conexión *bluetooth* y almacena el nombre de la ella, si no encuentra la conexión ofrece otra desde la base de datos de dispositivos emparejados o detectados, esto puede ocurrir si se ha sustituido el ESP32 por avería o la primera vez que se usa ORActive. También asegura un enlace estable con el ESP32 antes de iniciar cualquier operación y reconecta de forma automática si se pierde la conexión.
- **Gestión de usuario:** para guardar ejercicios y datos de su perfil.
- **Configuración de parámetros de ejercicio:** donde se introduce el número de repeticiones, modo de trabajo (Automático, Asistido o Asistido Libre), con los ángulos máximos de extensión y flexión, así como la velocidad límite o umbral.
- **Visualización en tiempo real:** se muestra visualmente el progreso del ejercicio, mostrando los datos que son recibidos desde el ESP32: como el modo de trabajo, la repetición actual, los valores del ángulo de la órtesis y la velocidad de movimiento, así como si está en marcha (activa) o no (no activa), además si se selecciona la opción de guardar el ejercicio, se dibuja en una gráfica todos los datos de los ángulos que realiza la órtesis y su velocidad en caso de modo Asistido Libre (donde la velocidad puede ser variable).
- **Gestión de la base de datos local y en la nube (*Google Drive*):** se puede guardar, cargar o borrar los ejercicios de un usuario.
- **Conexión bidireccional App - ESP32:** se puede enviar o recibir comandos y datos en tiempo real, como puede ser una interrupción de usuario.

En la figura 65 se muestra el diagrama de flujo de la programación App.

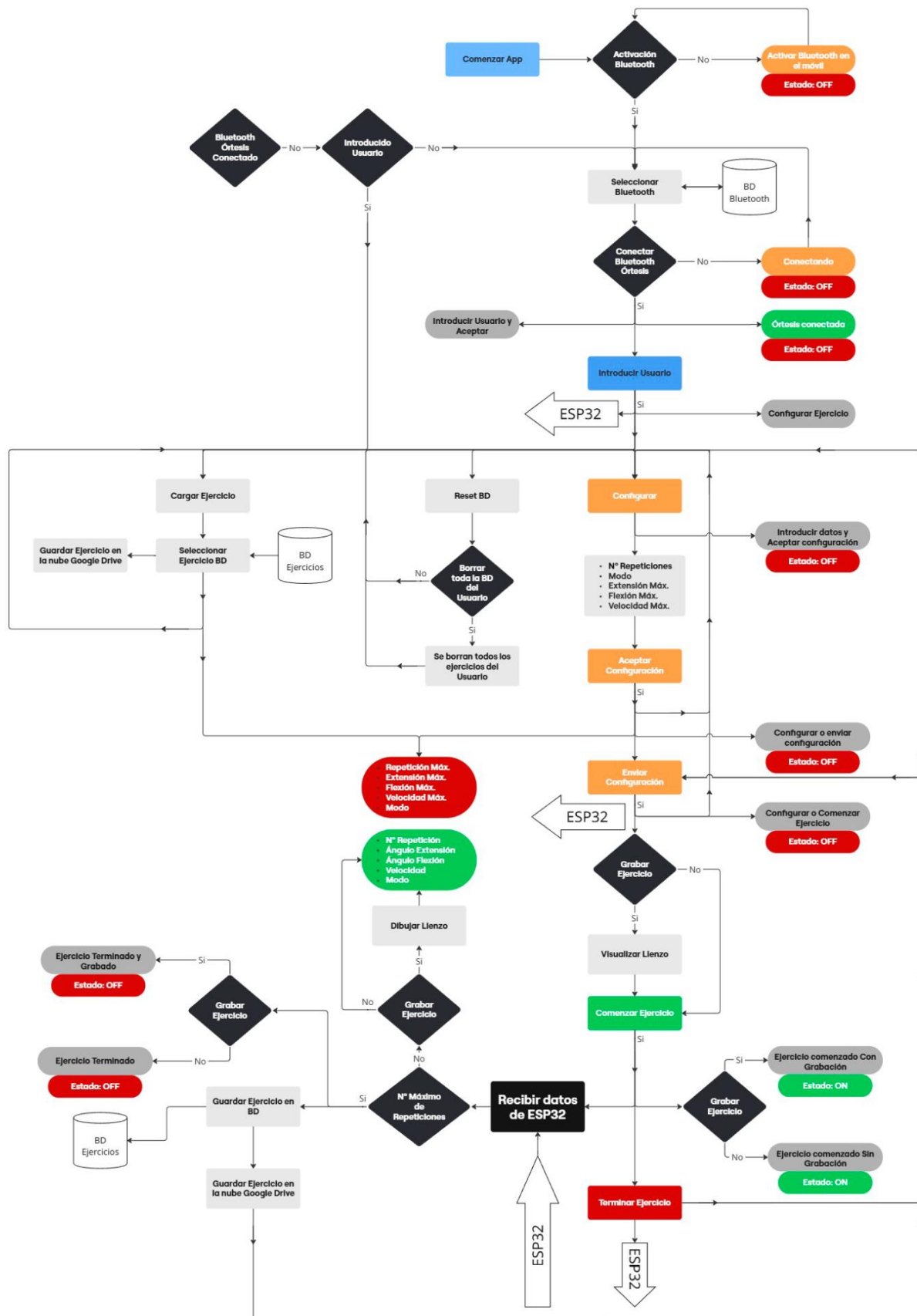
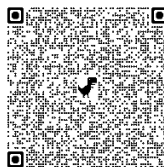


Figura 65. Diagrama de flujo de la programación App. Elaboración propia.

Autor: D. Antonio Gutiérrez Fabro
Tutor: Dr. D. Alonso Alonso Alonso

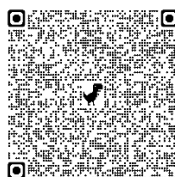
El archivo de programación *MIT App Inventor* se puede descargar desde el siguiente enlace: [ORActive V4 1.aia](#)

Y en el código QR:



La aplicación para instalar la App en el dispositivo móvil se puede descargar desde el siguiente enlace: [ORActive V4 1.apk](#)

Y en el código QR:



Desde el Diseñador del *MIT App Inventor* se permite crear el interfaz de la aplicación App ORActive (figura 66).

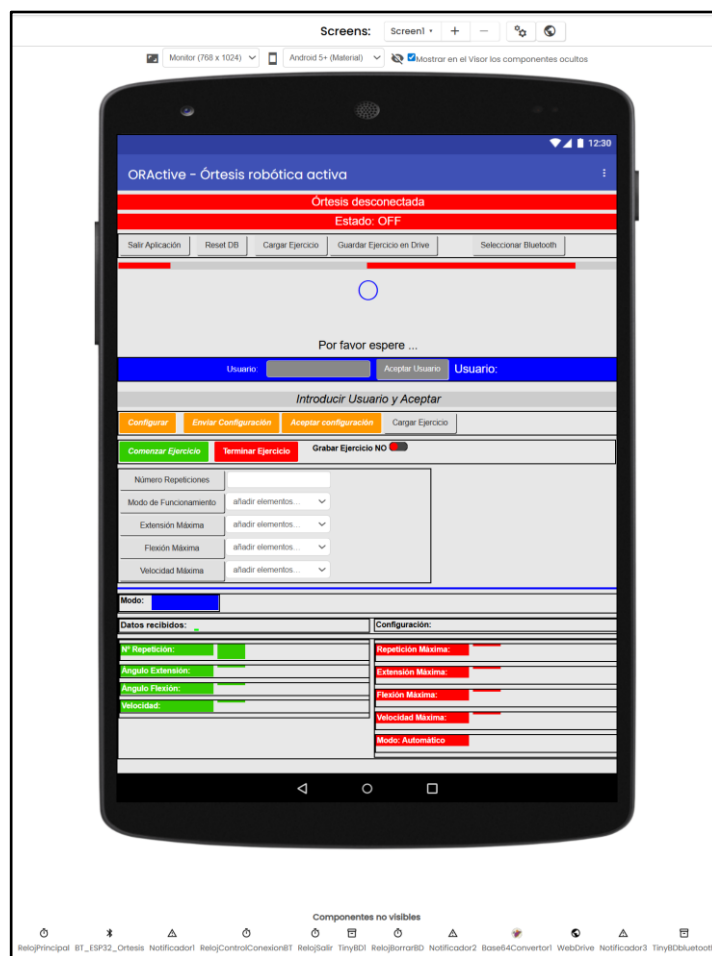
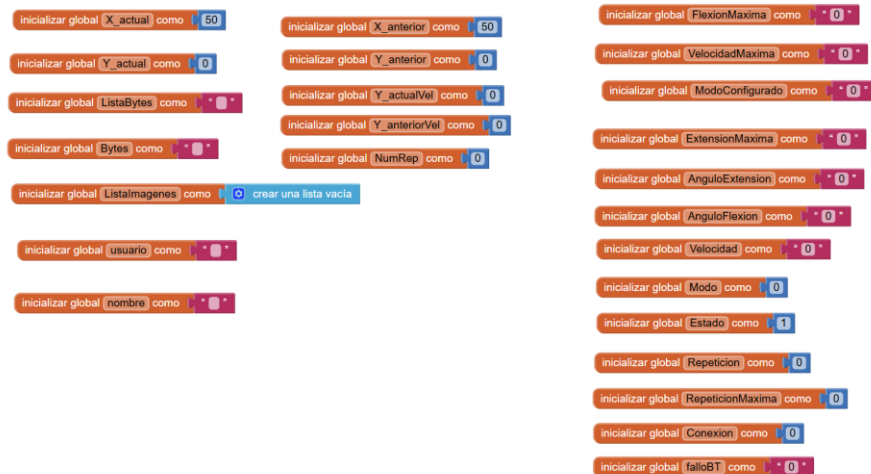


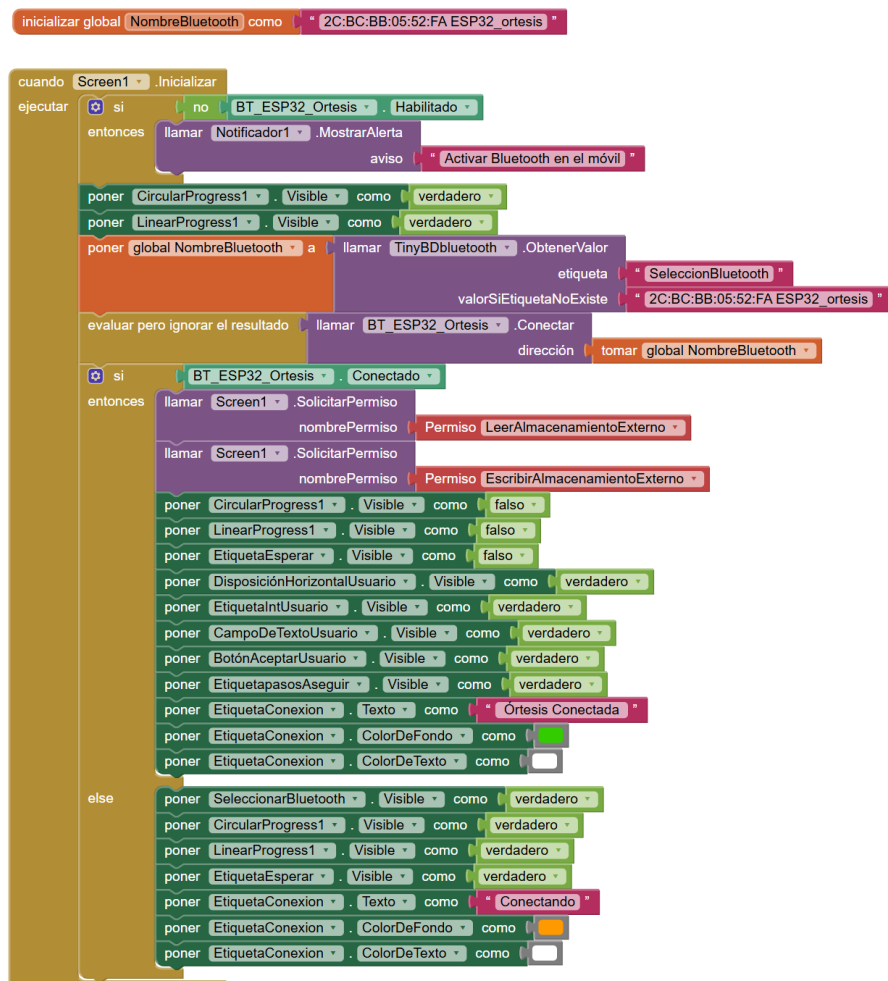
Figura 66. Diseñador del MIT App Inventor. Fuente:[34]

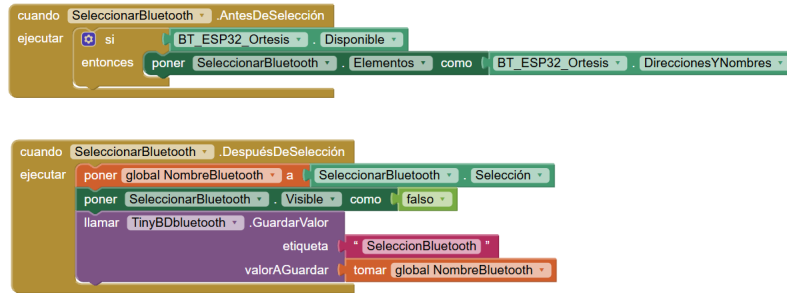
Desde el Editor de bloques del *MIT App Inventor* se programa el comportamiento de la aplicación App ORActive. A continuación se muestra el programa realizado por bloques.

- Se muestran la inicialización de las variables utilizadas en el programa.

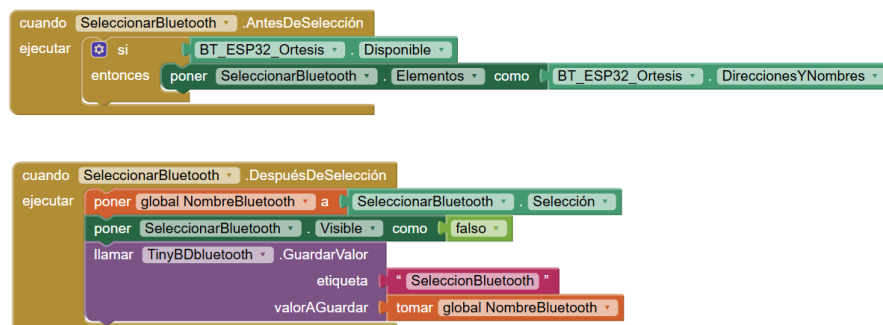


- Bloque de inicialización cuando la pantalla principal de la App se abre

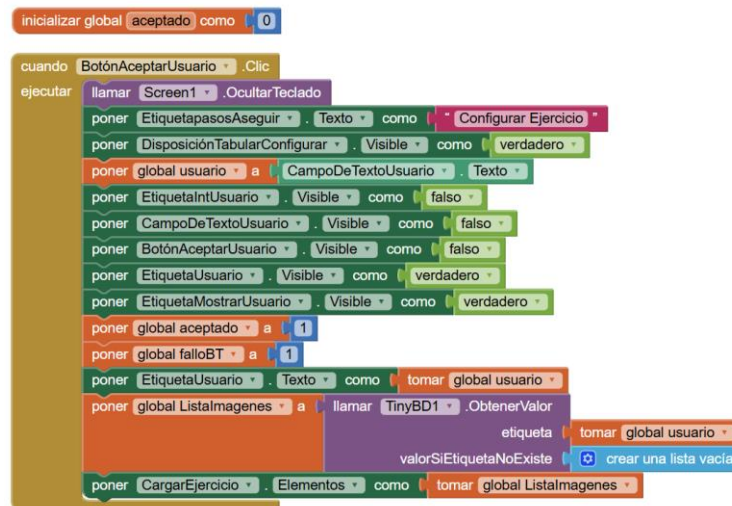




- Si el *Bluetooth* no está habilitado envía al notificador un mensaje de alerta: "Activar Bluetooth en el móvil"
- Si el *Bluetooth* está habilitado:
 - Muestra los indicadores de progreso y espera.
 - Carga el nombre o dirección del dispositivo guardado previamente en la base de datos interna (TinyDBBluetooth), si no hay ninguno guardado usa por defecto "2C:BC:BB:05:52:FA ESP32_ortesis".
 - Inicializa la conexión con el dispositivo cargado de la base de datos del *bluetooth* (BT_ESP32_Ortesis.Conectar)
- Si se conecta el *bluetooth* del dispositivo ESP32:
 - Se solicitan permisos de lectura y escritura en almacenamiento externo.
 - Oculta los indicadores de progreso y espera.
 - Muestra el formulario para que el usuario introduzca su nombre y lo acepte antes de poder trabajar con la órtesis ORActive.
 - Cambia el estado de la conexión "Órtesis Conectada".
- Si falla la conexión al *bluetooth* del dispositivo ESP32:
 - Muestra el botón de SeleccionarBluetooth, para poder seleccionar manualmente un nuevo dispositivo *ESP32 Bluetooth*:

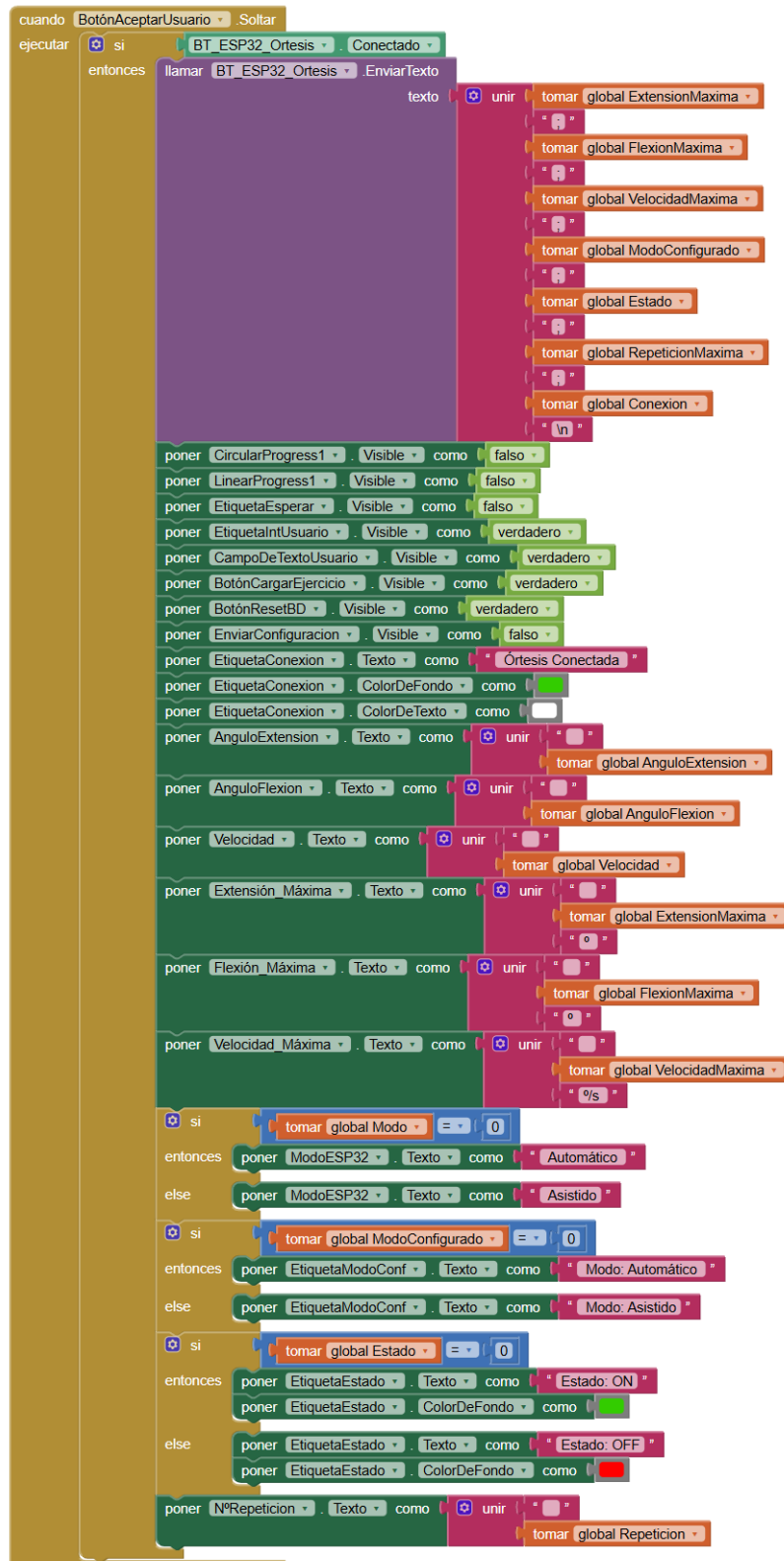


- Muestra los indicadores de progreso.
- Cambia el estado de la conexión "Conectando".
- Bloque de introducir usuario, que tiene dos partes: al hacer "click" y al soltar el botón "BotónAceptarUsuario":
 - Al hacer "click" en el botón:



- Oculta el teclado de introducir el usuario y cambia la etiqueta de Pasos a Seguir como "Configurar Ejercicio".
- Guarda el nombre del usuario en la variable: "global usuario".
- Oculta campos de usuario.
- Marca banderas de usuario aceptado (`aceptado = 1`) y tiene en cuenta que hay usuario en un posible fallo de *bluetooth* (`falloBT = 1`)
- Muestra nombre del usuario.
- Carga desde la base de datos "TinyDB1" los ejercicios del usuario en "listaImágenes" (si no hay la carga vacía) y esta lista en la selección "CargarEjercicio.Elementos".
- Al "soltar" el botón si el *bluetooth* está conectado:
 - Se envía toda la configuración de defecto al ESP32 de la órtesis ORActive en un solo *string* con el siguiente formato y datos:
 - Separados por ";"
 - "ExtensionMaxima = 0"
 - "FlexionMaxima = 0"
 - "VelocidadMaxima = 0"

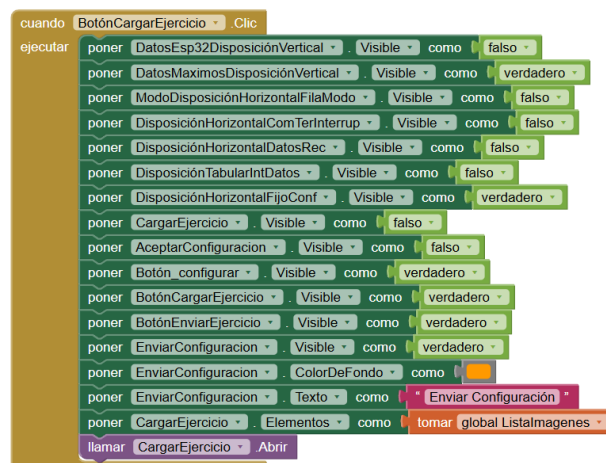
- "ModoConfigurado = 0 (Automático)"
- "Estado = 1 (OFF)"
- "RepeticionMaxima = 0"
- "Conexión = 0 (Desconectado)"
- "\n")



- Oculta los indicadores de progreso y espera.
- Muestra nombre del usuario
- Muestra botones "CargarEjercicio" y "ResetBD"
- Oculta botón "EnviarConfiguración"
- Cambia el estado de conexión a "Órtesis Conectada"
- Muestra los datos de lectura recibidos desde el ESP32 y los configurados:
 - Separados por ";"
 - "AnguloExtension"
 - "AnguloFlexion"
 - "Velocidad"
 - "Extensión_Máxima"
 - "Flexión_Máxima"
 - "Velocidad_Máxima"
 - "Modo" (Automático=0, Asistido=1, Asistido Libre=2)
 - "Estado" (ON=0, OFF=1)
 - "Repetición"
 - "\n") final comando

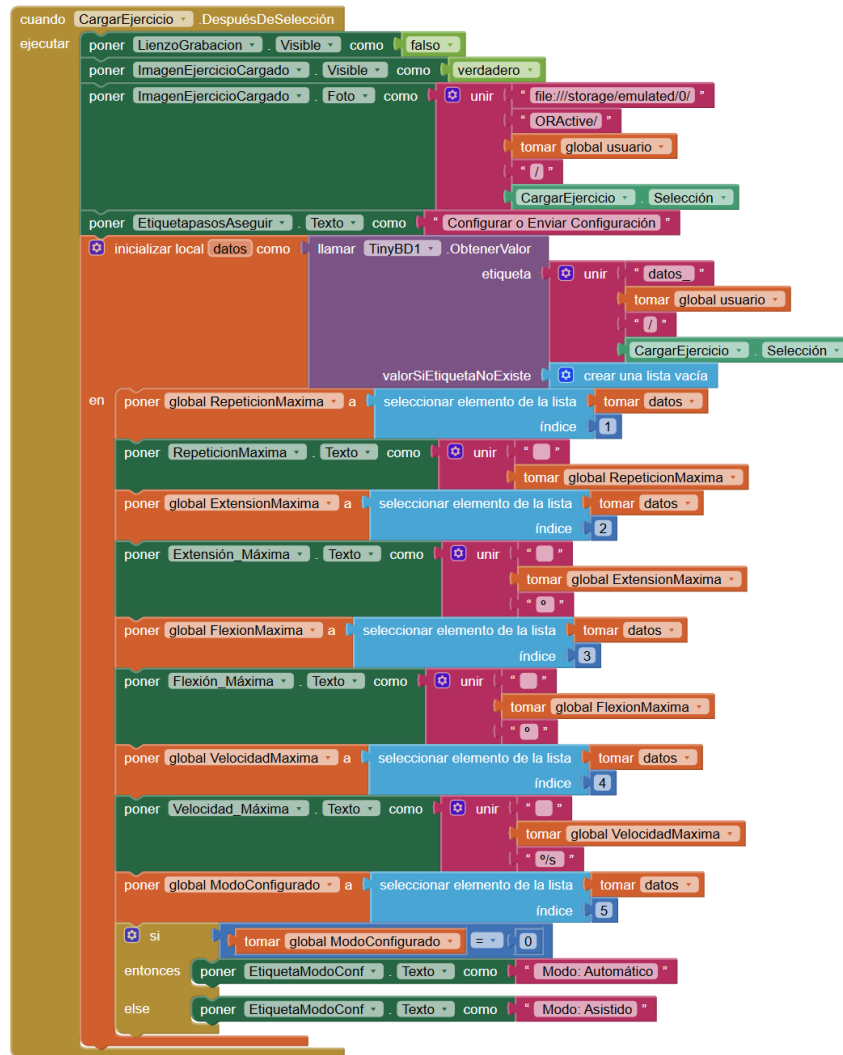
• Bloque botón "CargarEjercicio":

- Al hacer "click" en el botón:



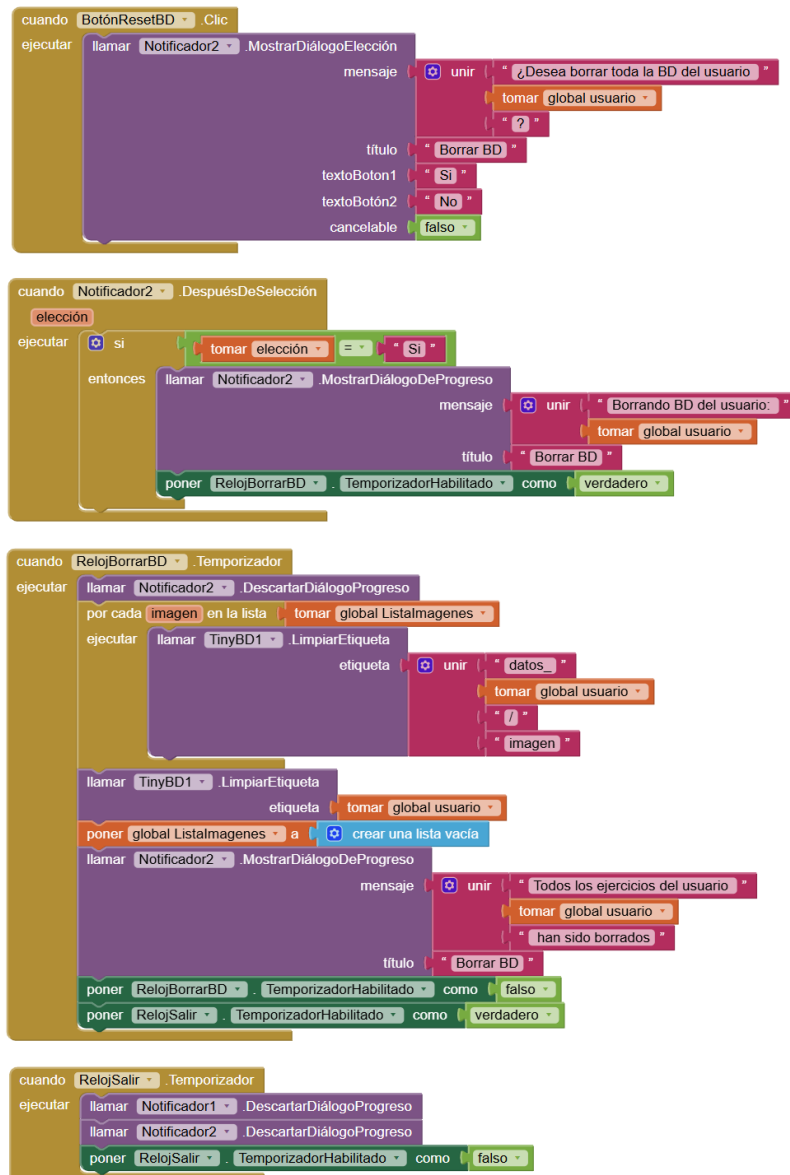
- Oculta los datos de lectura y configuración.
- Muestra los botones de "Configurar", "Cargar Ejercicio", "Enviar Ejercicio".
- Carga la lista de ejercicios guardados abriendo inmediatamente el selector para que el usuario elija el ejercicio a cargar.

- Después de la selección de "Cargar Ejercicio":



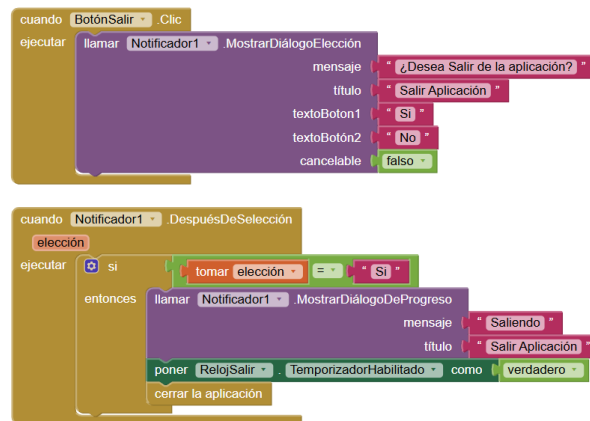
- Oculta el Lienzo de Grabación.
- Carga y muestra la imagen del ejercicio seleccionado del usuario desde la carpeta de fotos de ejercicios guardados:
 - "file:///storage/emulated/0/ORActive/<usuario>/<selección>"
- Etiqueta Pasos a Seguir como "Configurar o Enviar Configuración".
- Recupera de TinyDB sus parámetros de configuración del ejercicio guardado y los carga en las variables y etiquetas para editarlos o enviar la configuración al ESP32:
 - "RepeticiónMáxima"
 - "ExtensiónMáxima"
 - "FlexiónMáxima"
 - "VelocidadMáxima"
 - "ModoConfigurado"

• Bloque botón "ResetBD":



- Abre un diálogo de confirmación:
 - "¿Desea borrar toda la BD del usuario <usuario>?"
- Si la elección es "Sí" muestra un diálogo de progreso:
 - "Borrando BD del usuario: <usuario>"
- Borra en la base de datos TinyDB1 los ejercicios del usuario, dejando la lista vacía.
- Muestra un mensaje final:
 - "Todos los ejercicios del usuario <usuario> han sido borrados"
- Desactiva "RelojBorrarBD" y activa "RelojSalir":
 - Descarta los diálogos de progreso y desactiva "RelojSalir"

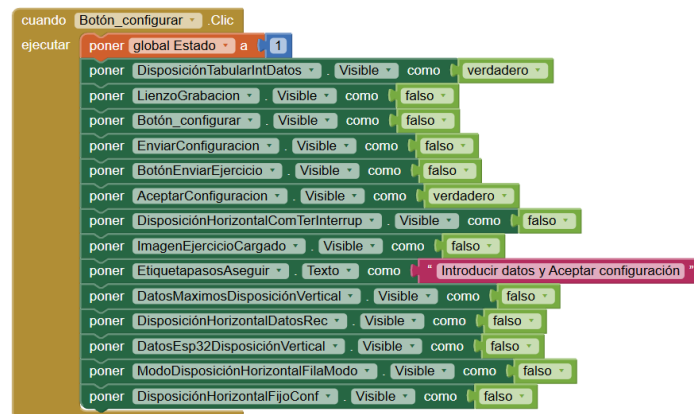
- Bloque botón "Salir":



- Abre un diálogo de confirmación:
 - "¿Desea Salir de la aplicación?"
- Si la elección es "Sí" muestra un diálogo de progreso:
 - "Saliendo"
- Activa "RelojSalir".
- Cierra la aplicación App.

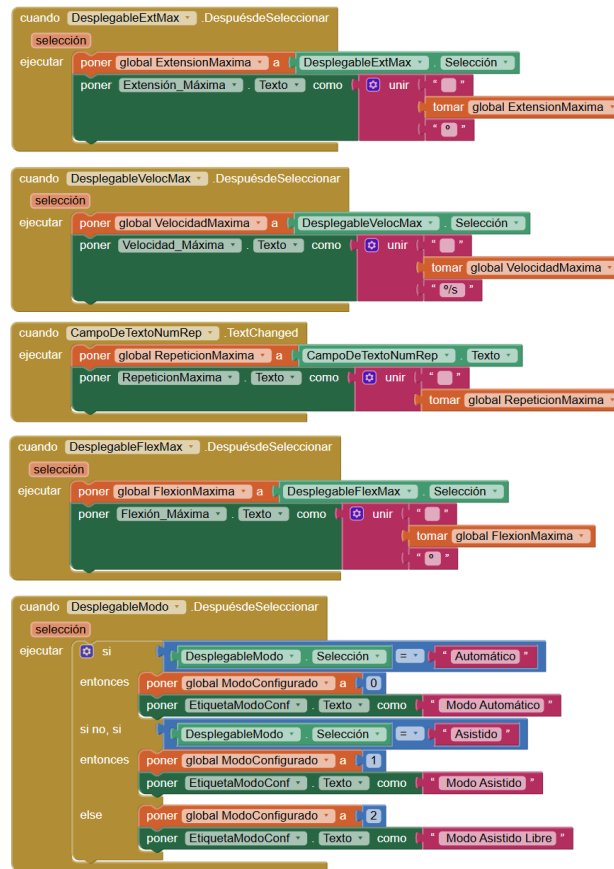
- Bloque botón "Configurar":

En este bloque se entra en la configuración manual de los datos que se enviarán al ESP32.



- Se asigna a la variable "Estado = 1" (OFF)
- Se muestran todos los datos que se van a configurar y se ocultan todos los elementos que no son necesarios.
- Se muestra el botón "Aceptar Configuración" para confirmar los datos configurados.
- Etiqueta Pasos a Seguir "Introducir datos y Aceptar configuración".

- Bloque para configurar los parámetros de funcionamiento de ORActive:



- Mediante desplegables o campo de texto se introducen en cada variable el valor de configuración:

- "ExtensiónMáxima" (0 a 90 grados)
- "VelocidadMáxima" (0 a 9)
- "RepeticiónMáxima" libre
- "FlexiónMáxima" (0 a 120 grados)
- "ModoConfigurado" (Automático=0, Asistido=1, Asistido Libre=2)

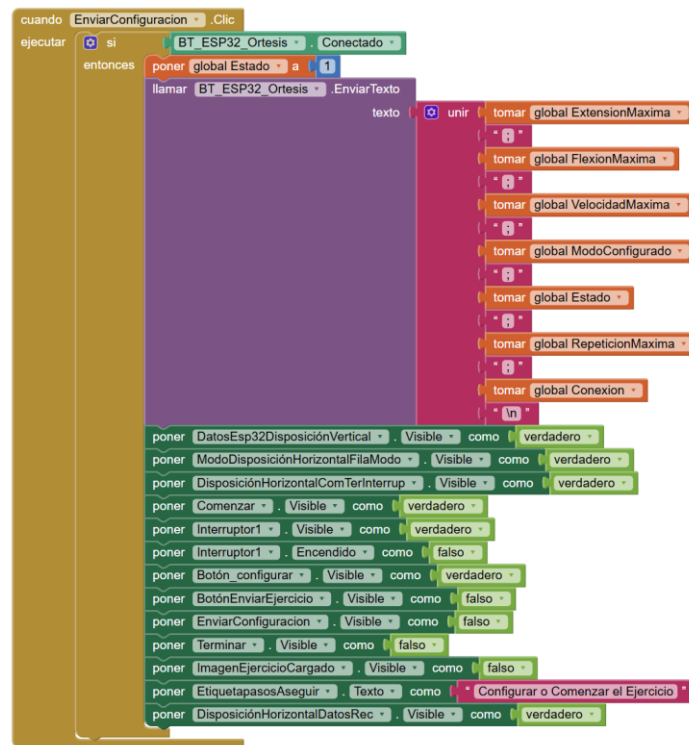
- Bloque botón "Aceptar Configuración":



- Oculta el teclado y desplegables de configuración.
- Se muestran todos los parámetros configurados.

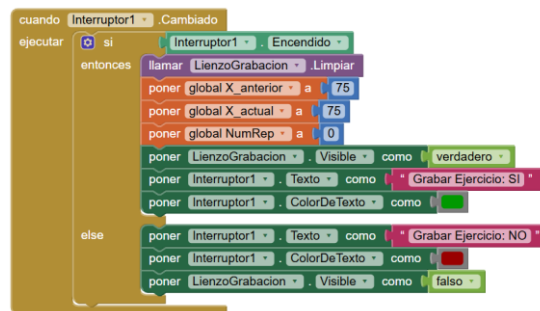
- Etiqueta Pasos a Seguir "Configurar o Enviar Configuración".
- Se muestra el botones "Configurar" (por si se quieren rectificar los parámetros configurados) y "Enviar Configuración".
- Bloque botón "Enviar Configuración":

Al hacer “click” en este botón, si el *bluetooth* está conectado se envía la configuración al ESP32.

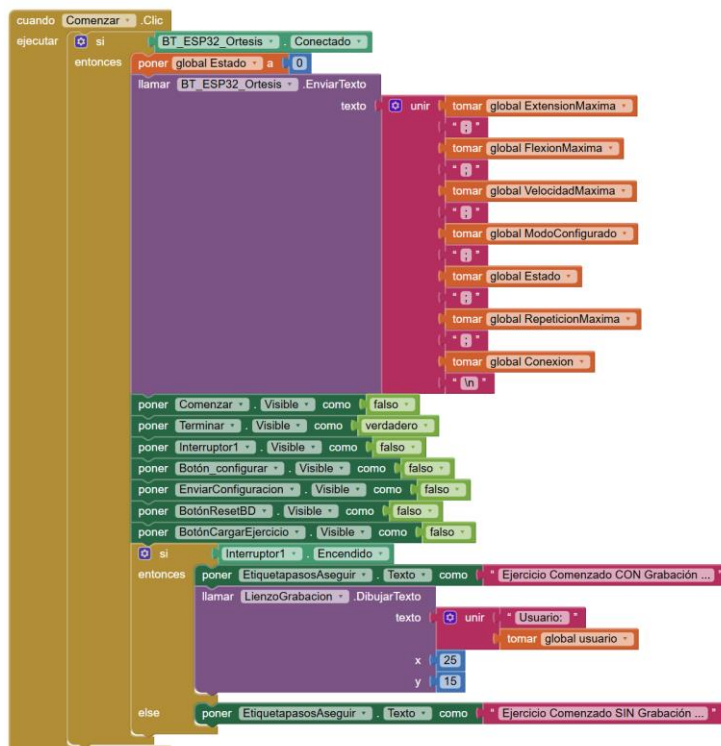


- Pone la variable de "Estado = 1" (OFF).
- Se envía toda los datos configurados al ESP32 de la órtesis ORActive en un solo *string* con el siguiente formato:
 - Separados por ";"
 - "ExtensionMaxima"
 - "FlexionMaxima"
 - "VelocidadMaxima"
 - "ModoConfigurado"
 - "Estado"
 - "RepeticionMaxima"
 - "Conexión"
 - "\n")
- Muestra los datos enviados y recibidos.

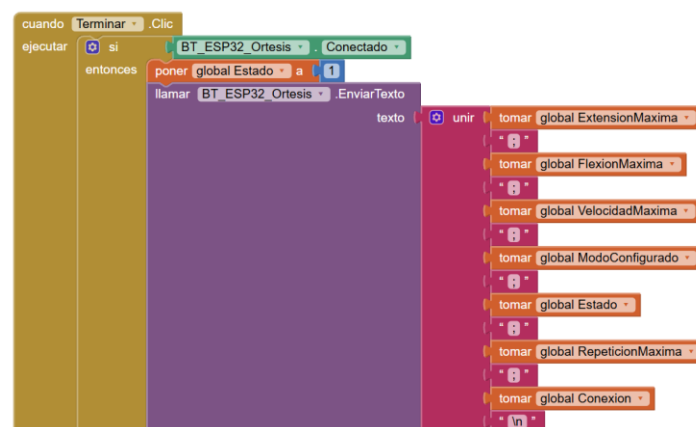
- Muestra el botón "Comenzar" e interruptor "Grabación Si/No".
- Oculta los botones de "Enviar Configuración", "Enviar Ejercicio" y "Terminar".
- Etiqueta Pasos a Seguir "Configurar o Comenzar el Ejercicio".
- Bloque interruptor "Grabar Ejercicio":
Mediante este interruptor se selecciona si se quiere o no grabar el ejercicio.



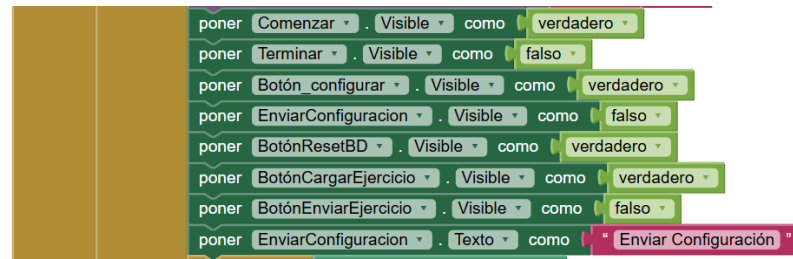
- Si el interruptor está encendido "Grabar Ejercicio: SI":
➢ Limpia y muestra el lienzo listo para dibujar.
- Si el interruptor está apagado "Grabar Ejercicio: NO":
➢ Oculta el lienzo.
- Bloque botón "Comenzar" si el *bluetooth* está conectado:



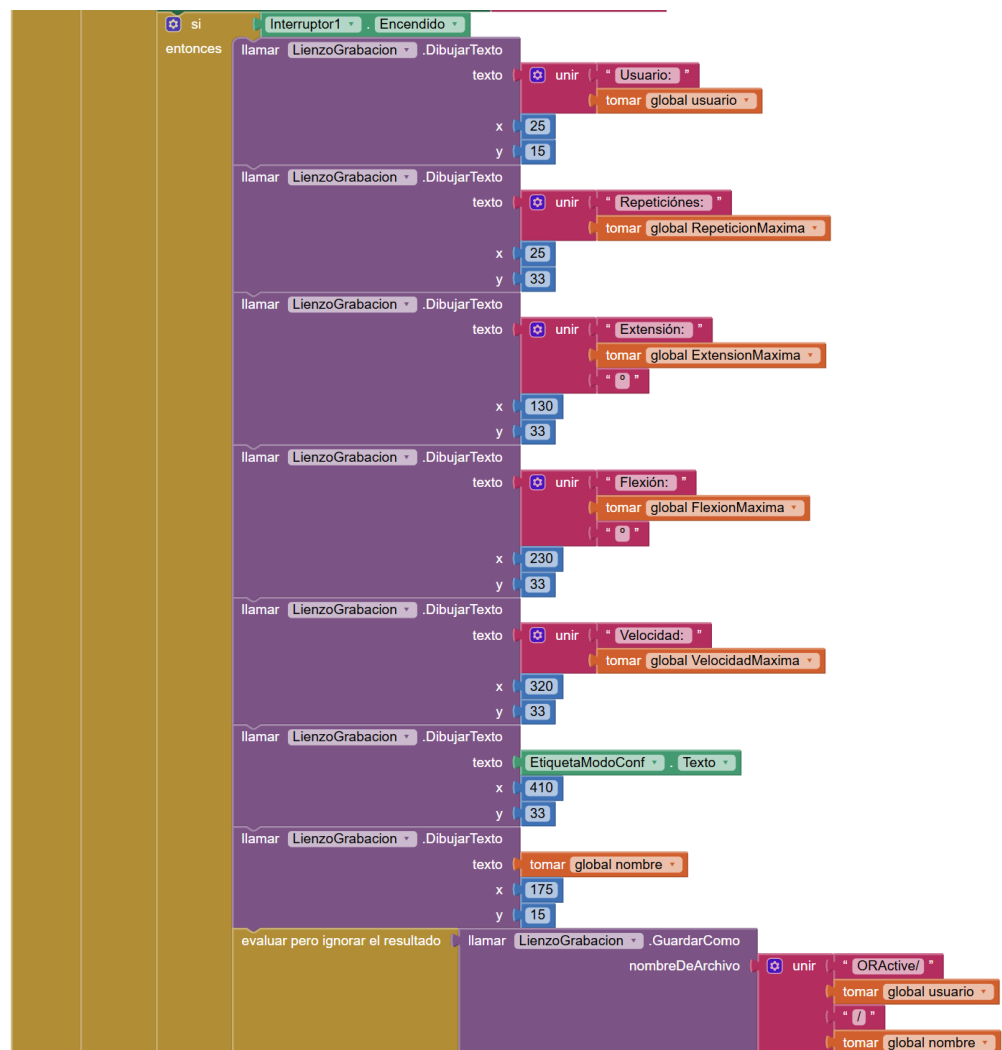
- Pone la variable de "Estado = 0" (ON) y envía la orden del comando para empezar al ESP32, junto a todos los parámetros otra vez en un solo *string* con el siguiente formato:
 - Separados por ";"
 - "ExtensionMaxima"
 - "FlexionMaxima"
 - "VelocidadMaxima"
 - "ModoConfigurado"
 - "Estado"
 - "RepeticionMaxima"
 - "Conexión"
 - "\n")
- Muestra el botón de "Terminar" por si se quiere interrumpir el ejercicio durante su ejecución. Oculta el resto de botones que no se utilizan.
- Si el interruptor está encendido pone Etiqueta Pasos a Seguir: "Ejercicio Comenzado CON Grabación ..." y escribe nombre del usuario sobre el lienzo, que está esperando los datos de ángulos (velocidad si es Modo Asistido Libre) recibidos desde el ESP32.
- Si el interruptor está apagado pone Etiqueta Pasos a Seguir: "Ejercicio Comenzado SIN Grabación ..."
- Bloque botón "Terminar" si el *bluetooth* está conectado:



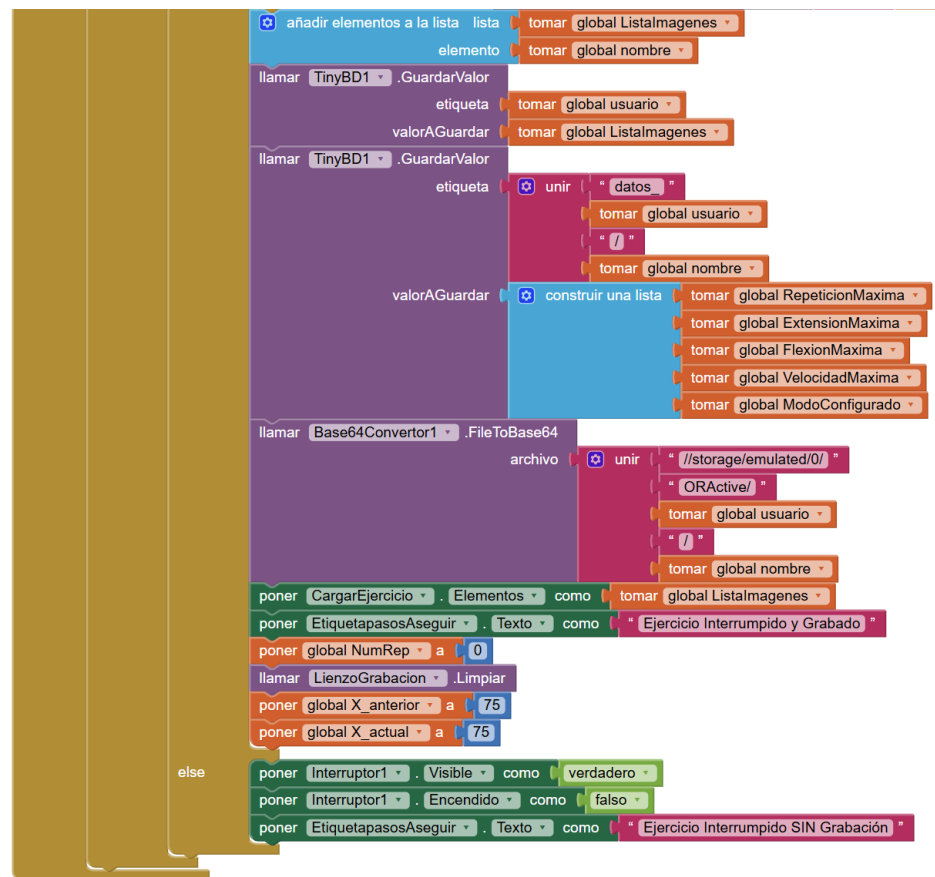
- Se pone la variable "Estado = 1" (OFF)
- Se envía al ESP32 el estado OFF para que detenga el movimiento de la órtesis robótica.



- la interfaz vuelve a modo previo, se ocultan botones "Terminar" y "Enviar Ejercicio", se muestran botones "Comenzar", "configurar", "Enviar Configuración", "Reset BD", "Cargar Ejercicio".



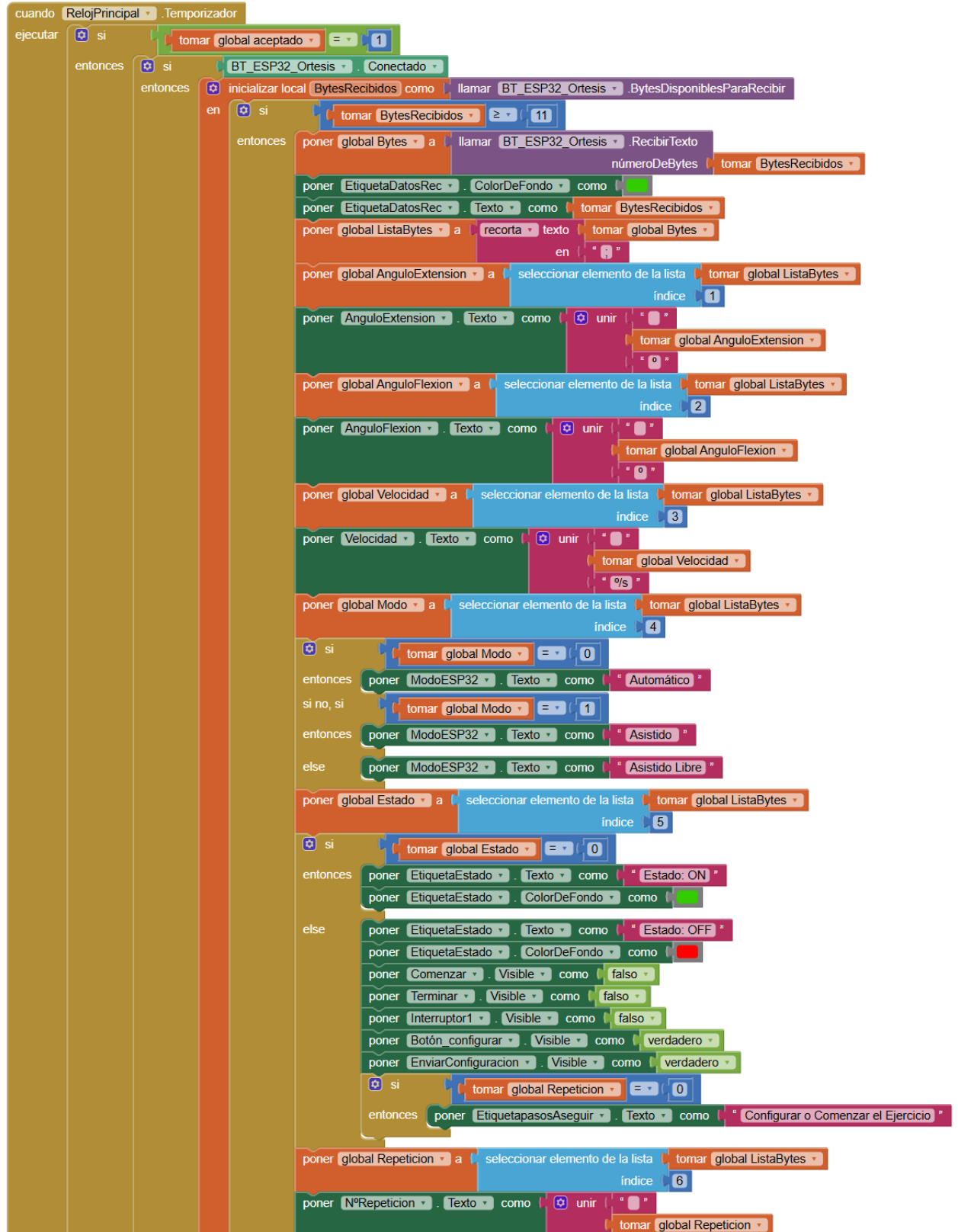
- Si la grabación estaba activa:
 - Se genera y guarda el lienzo en archivo de imagen del ejercicio ("**<nombre>**"), escribiendo sobre el lienzo el nombre del usuario, todos los parámetros de configuración y nombre del ejercicio.
 - La imagen se guarda en la Ruta: "**/ORActive/<usuario>/<nombre>**".



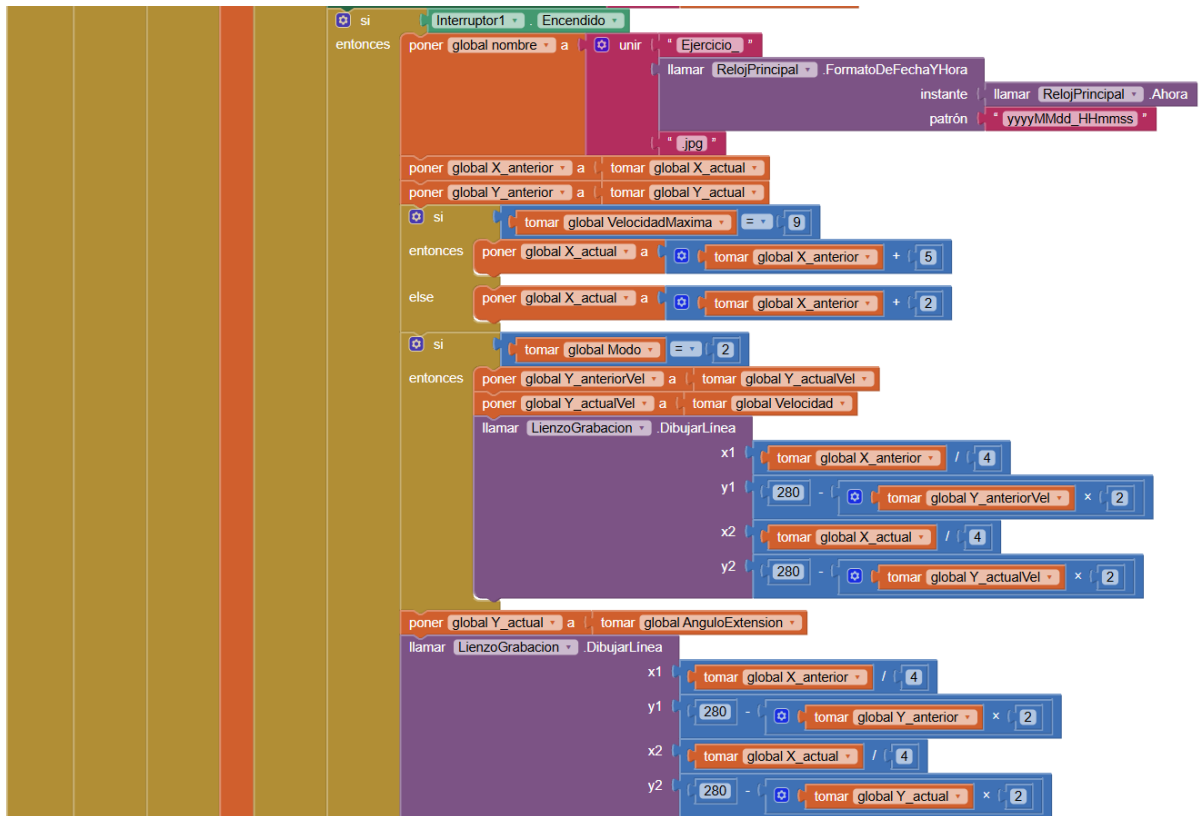
- La imagen guardada se incorpora a la lista local de ejercicios para ese usuario
- Actualiza la lista de ejercicios "Elementos" del usuario y guarda los parámetros del ejercicio del usuario en la base de datos "TinyDB1".
- Convierte el archivo guardado de la imagen del ejercicio a "Base64" para poder subirlo a la nube (Google Drive)
("/storage/emulated/0/ORActive/usuario/nombre")
- Etiqueta Pasos a Seguir: "Ejercicio Interrumpido y Grabado".
- Limpia el lienzo y reinicia contadores.
- Si la grabación no estaba activa:
 - Muestra botón "Comenzar" y el interruptor apagado.
 - Etiqueta Pasos a Seguir: "Ejercicio Interrumpido SIN Grabación"
- Bloque botón "Reloj Principal".

Este es el bloque principal, el temporizador "RelojPrincipal" se ejecuta en bucle y es el control principal de la App.

Si se ha aceptado al usuario ("aceptado = 1"), el *Bluetooth* está conectado y se reciben al menos 11 bytes desde el ESP32 (para asegurar que se están enviando datos y evitar errores de transmisión):

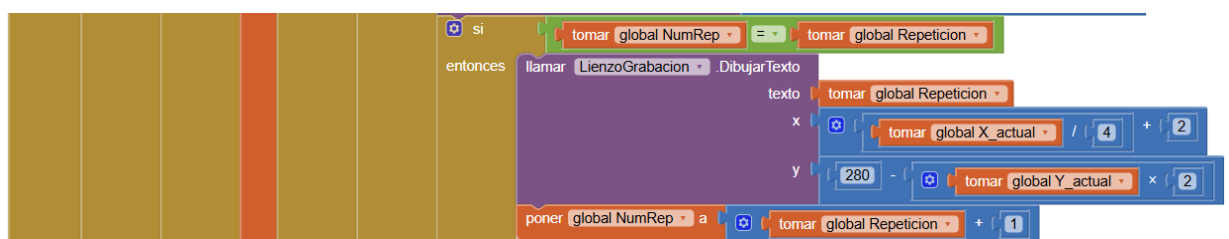


- Se guardan el número de bytes recibidos que hay disponibles desde el ESP32 en la variable "BytesRecibidos".
- En la variable "Bytes" se guardan los datos recibidos desde el ESP32 en forma de cadena de texto (*string*), con el formato:
 - Ángulo de extensión;Ángulo de flexión;Velocidad;Modo de funcionamiento;Estado;Número de repeticiones realizadas\n
- En la variable "ListaBytes" se guarda la lista resultante de dividir el contenido de "Bytes" utilizando el carácter ";" como separador.
- De la lista "ListaBytes" se extrae cada elemento y se asigna a su variable correspondiente:
 - "AnguloExtension": elemento 1 de "ListaBytes"
 - "AnguloFlexion": elemento 2 de "ListaBytes"
 - "Velocidad": elemento 3 de "ListaBytes"
 - "Modo": elemento 4 de "ListaBytes"
 - "Estado": elemento 5 de "ListaBytes"
 - "Repetición": elemento 6 de "ListaBytes"
- Muestra los datos recibidos en la interfaz visual.
- Muestra el modo de funcionamiento recibido:
 - "Modo Automático": si "Modo = 0"
 - "Modo Asistido": si "Modo = 1"
 - "Modo Asistido Libre": si "Modo = 2"
- Muestra el estado recibido:
 - "Estado ON": si "Estado = 0"
 - "Estado OFF": si "Estado = 1"
- Si se recibe "Estado = 1" (OFF): muestra botón "Configurar" y "Enviar Configuración", oculta el resto de botones. Si además se recibe que "Repetición = 0": Etiqueta Pasos a Seguir: "Configurar o Comenzar el Ejercicio".

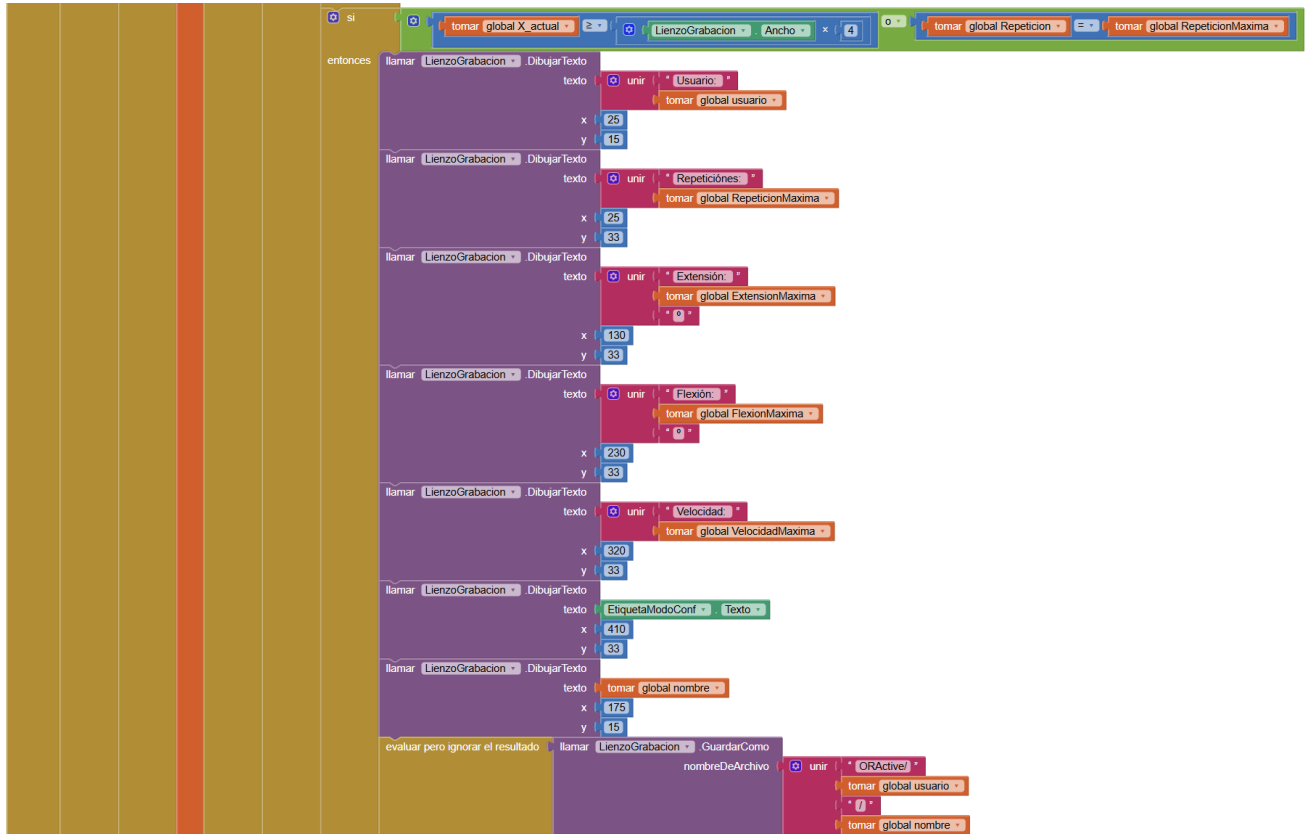


Si la grabación está activada:

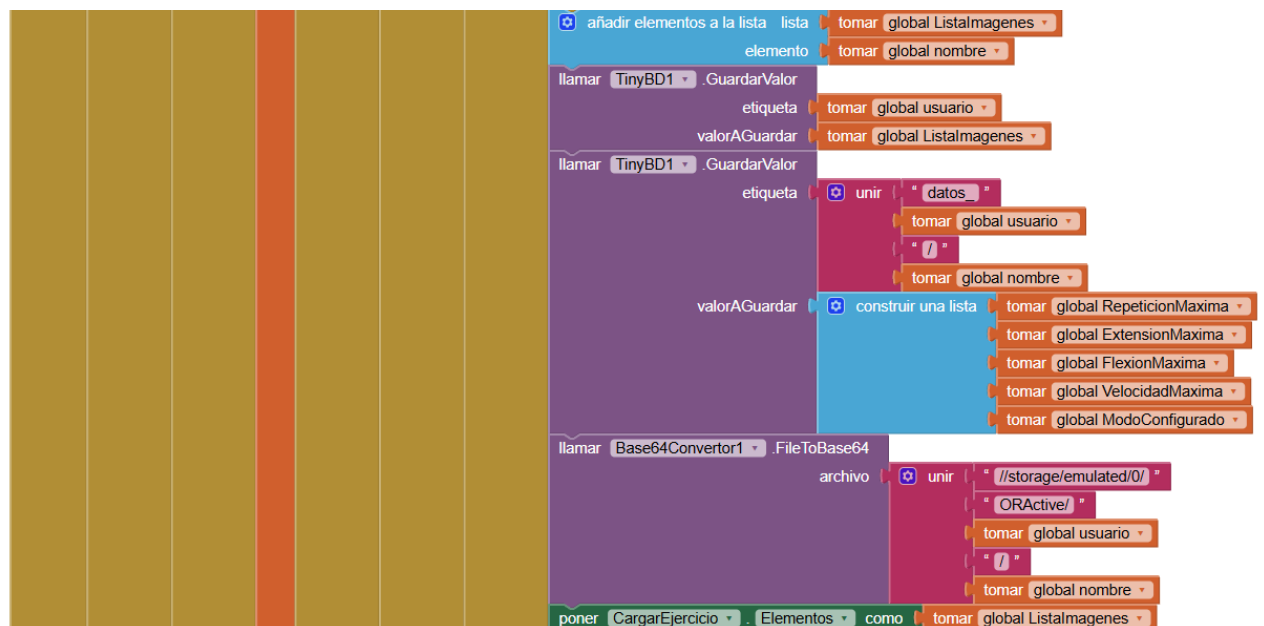
- Se genera un nombre para la imagen del ejercicio que luego se guardará (por ejemplo: "Ejercicio_20250810_114213.jpg").
- Guardas las coordenadas anteriores para poder dibujar una línea desde el punto anterior al punto actual.
- Se hace un ajuste ("+5") para el caso de ser una "Velocidad = 9" para que las líneas dibujadas no queden muy juntas, el ajuste es menor en caso de cualquier otra velocidad recibida ("+2").
- Si el "Modo = 2" (Asistido Libre) se dibuja la curva de Velocidad.
- Se dibuja la curva del ángulo recibido desde ESP32.
- El escalado " $X / 4$ " y " $280 - Y \times 2$ " sirve para que las curvas queden bien encuadradas dentro del lienzo.



- Rotula el número de cada repetición en el lienzo.



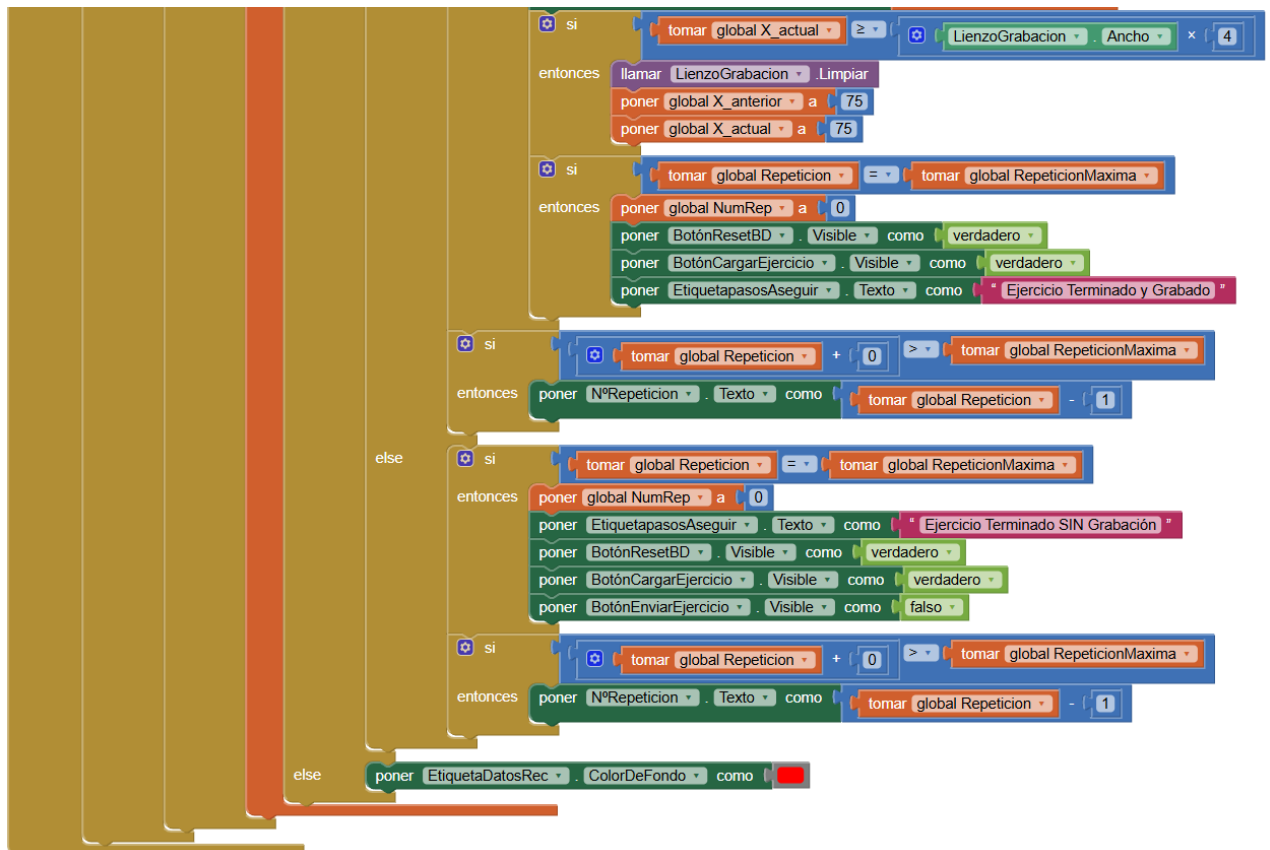
- Si se llega al ancho del lienzo, o se han completado las repeticiones configuradas se escribe sobre el lienzo el nombre del usuario, todos los parámetros de configuración y nombre del ejercicio.
- La imagen se guarda en la Ruta: `"/ORActive/<usuario>/<nombre>"`.



- La imagen guardada se incorpora a la lista local de ejercicios para ese

usuario.

- Actualiza la lista de ejercicios "Elementos" del usuario y guarda los parámetros del ejercicio del usuario en la base de datos "TinyDB1".
- Convierte el archivo guardado de la imagen del ejercicio a "Base64" para poder subirlo a la nube (Google Drive)
(`"/storage/emulated/0/ORActive/usuario/nombre"`)



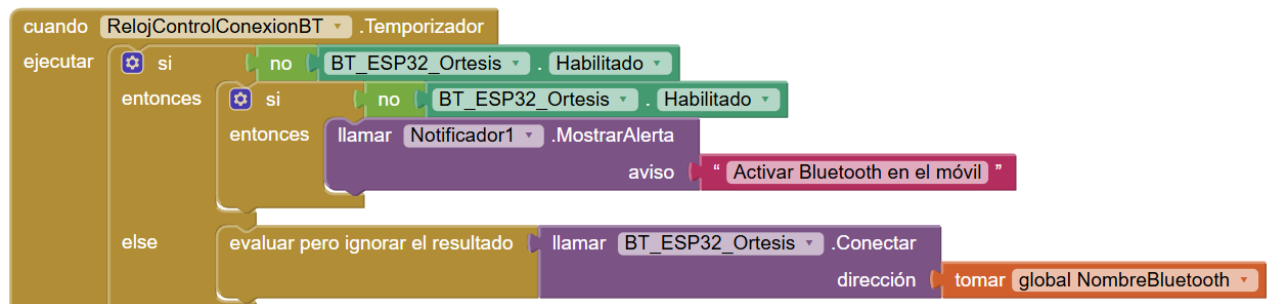
- Una vez se ha guardado el ejercicio si el gráfico llega al borde derecho del lienzo, este se limpia.
- Se reinician las coordenadas "X_anterior" y "X_actual" a "75" para empezar a dibujar desde el inicio del lienzo.
- Si se llegan al número de repeticiones máximas programadas:
 - "NumRep ": se pone a 0.
 - Se activan los botones "ResetBD" y "Cargar Ejercicio".
 - Etiqueta Pasos a Seguir: "Ejercicio Terminado y Grabado".
- Se ajusta el número de repeticiones para mostrarlo correctamente.

Si la grabación no está activada:

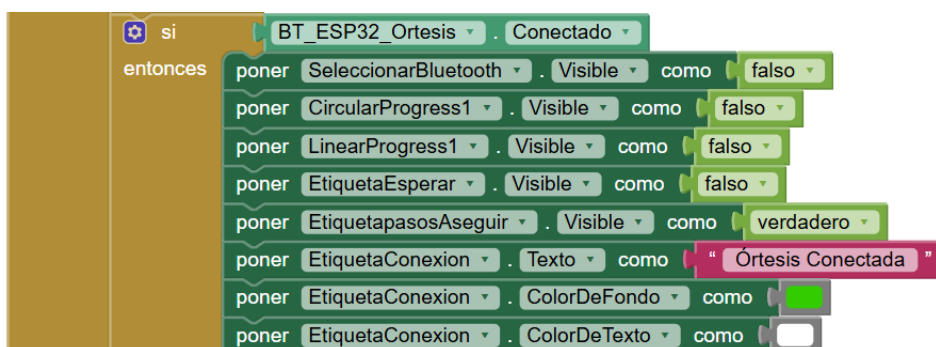
- Si se llegan al número de repeticiones máximas programadas:
 - "NumRep ": se pone a 0.
 - Se activan los botones "ResetBD" y "Cargar Ejercicio".
 - Etiqueta Pasos a Seguir: "Ejercicio Terminado SIN Grabación".
- Se ajusta el número de repeticiones para mostrarlo correctamente.

• Bloque temporizador de control de conexión *Bluetooth*:

Este temporizador se repite en bucle y mantiene la conexión *Bluetooth* con el ESP32 siempre activa y lista. Si se cae la conexión, se encarga de recuperarla de notificarlo.

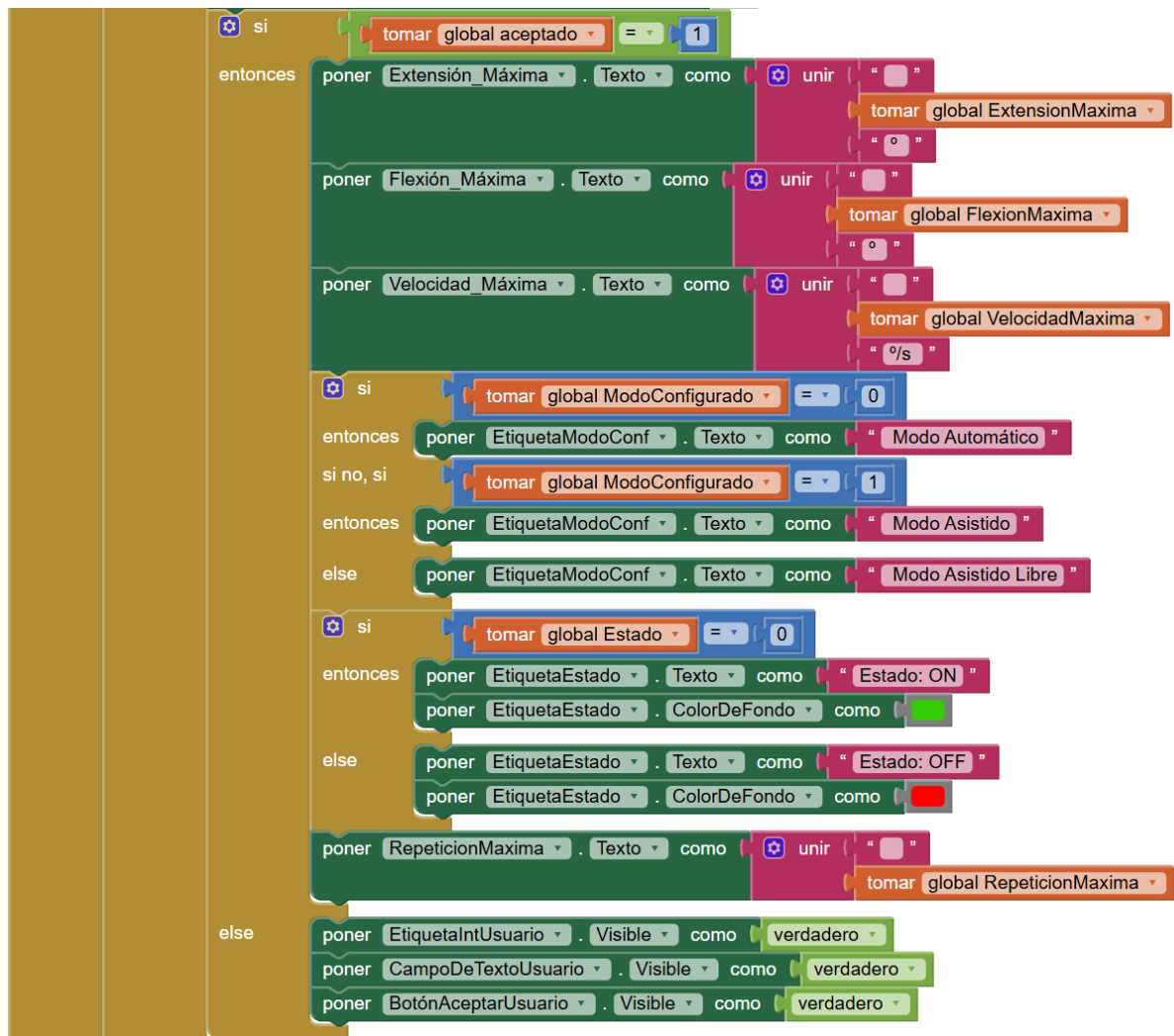


- Si el *Bluetooth* del móvil no está habilitado, muestra un aviso con "Notificador1": "Activar Bluetooth en el móvil".
- Si el *Bluetooth* del móvil está habilitado, conecta el *Bluetooth* del ESP32.

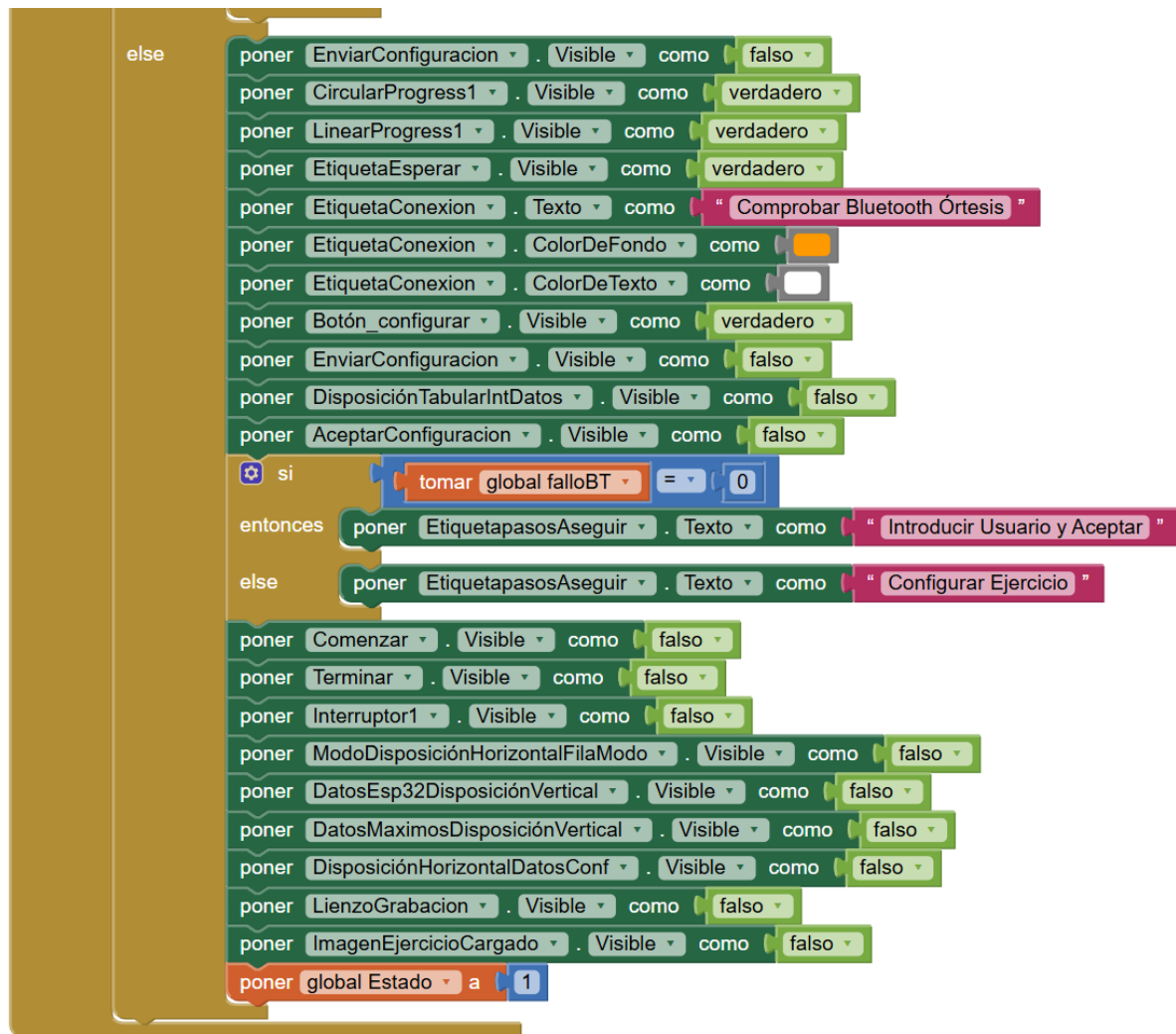


Si el *Bluetooth* está conectado:

- Oculta los indicadores de progreso y espera.
- Cambia el estado de conexión a "Órtesis Conectada".



- Si el usuario ya está validado, se recuperan y muestran todos los datos guardados para ese usuario (continúa por donde estaba):
 - "Extension_Máxima"
 - "Flexion_Máxima"
 - "Velocidad_Máxima"
 - "Modo_Configurado"
 - "Estado"
 - "Repetición_Máxima"
- Si el usuario no está validado, muestra el formulario para que el usuario introduzca su nombre y lo acepte antes de poder trabajar con la órtesis ORActive.



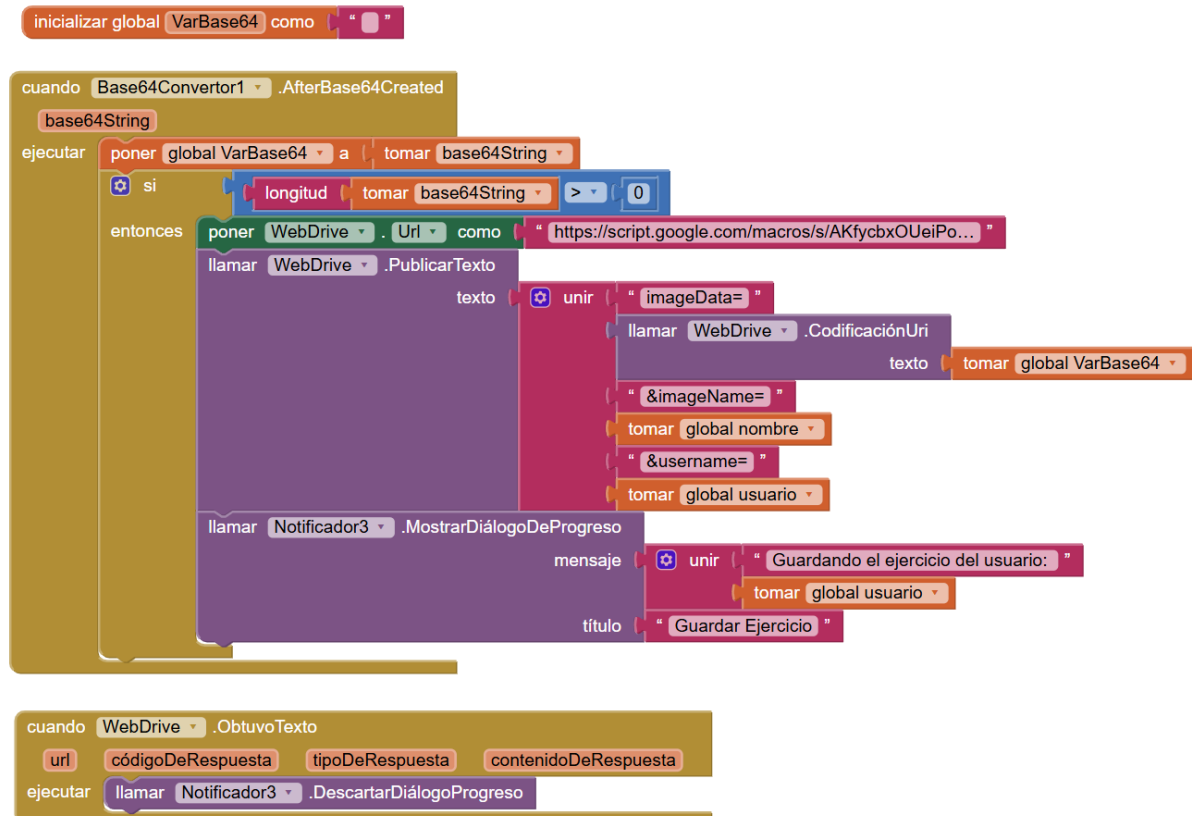
Si el *Bluetooth* no está conectado:

- Se muestran los indicadores de progreso y espera.
- Se ocultan botones y elementos de configuración y ejecución del ejercicio, menos el botón de "Configurar".
- Cambia el estado de conexión a "Comprobar Bluetooth Órtesis".
- Etiqueta Pasos a Seguir:
 - Si el *Bluetooth* nunca se conectó con éxito, mensaje: "Introducir Usuario y Aceptar".
 - Si el *Bluetooth* si se conectó con éxito, mensaje: "Introducir Usuario y Aceptar".
- Se pone variable "Estado = 1" (OFF).

- Bloque componente "Base64Convertor1" si el *bluetooth* está conectado:

Este bloque convierte una imagen en formato "Base64" (representar datos binarios usando solo caracteres de texto) y la envía al *Script* de *Google Apps Script* [37] para guardarla en *Google Drive* [38].

Esta parte de la programación está basada y modificada de un tutorial desarrollado por VaidrollTeam en su blog. [40]



- En "VarBase64" se guarda la cadena de texto que representa la imagen codificada en "Base64", que se crea vacía.
- Cuando el componente "Base64Convertor1" termina de convertir un archivo de imagen del ejercicio en texto "Base64", este se guarda en "VarBase64" y si la longitud del texto es mayor que 0 (no está vacío) se envía al servidor:
 - Se establece "WebDrive.Url" con la dirección de enlace al *Google Apps Script* que hace de *backend*:
`"https://script.google.com/macros/s/AKfycbxOUeiPoJL7Q5bvo0h58cQWRSiWx1A0pWNltZXg-m5SVC21tfDyNb5atpFS7FW6pA2a/exec"`
 - Se publican los datos en "WebDrive.PublicarTexto" enviando

tres parámetros ("mensaje POST"):

- "imageData = VarBase64" (Cadena Base64 con la imagen).
- "imageName = <nombre>" (Nombre de la imagen).
- "username = <usuario>" (Nombre del usuario).

➤ Se muestra una notificación en el móvil:

"Guardando el ejercicio del usuario: <nombre>"

- Cuando el script de Google Apps Script responde se descarta la notificación en el móvil.

6.3.2. Guardar archivo del ejercicio en la nube (Google Drive)

El archivo (la imagen del ejercicio) que se guarda en la nube (a través *Google Drive*), se envía primero a un *Script* de *Google Apps Script*, que actúa como *backend* o intermediario entre la App y el servidor de la nube. El *Script* del proyecto ORActive de *Google Apps Script* es el siguiente: [40]

```
function doPost(e)
{
  try {
    // Obtener la imagen en Base64
    const encodedBase64 = e.parameter.imageData;
    const base64Image = decodeURIComponent(encodedBase64);
    const decodedImage = Utilities.base64Decode(base64Image);

    // Nombre de imagen
    let imageName = e.parameter.imageName || "imagen_desde_appinventor.jpg";

    // Formato e imagen MIME
    const imageFormat = e.parameter.imageFormat || "jpg";
    let mimeType = "image/jpeg";

    if (imageFormat.toLowerCase() === "png") {
      mimeType = "image/png";
      if (!imageName.toLowerCase().endsWith(".png")) {
        imageName += ".png";
      }
    } else if (imageFormat.toLowerCase() === "jpg" || imageFormat.toLowerCase() === "jpeg") {
```

```
if (!imageName.toLowerCase().endsWith(".jpg") &&
!imageName.toLowerCase().endsWith(".jpeg")) {
    imageName += ".jpg";
}

const blob = Utilities.newBlob(decodedImage, mimeType, imageName);

// Carpeta principal con nombre actualizado
const mainFolderName = "ORActive";
let mainFolder = DriveApp.getFoldersByName(mainFolderName);
if (mainFolder.hasNext()) {
    mainFolder = mainFolder.next();
} else {
    mainFolder = DriveApp.createFolder(mainFolderName);
}

// Obtener nombre de usuario desde los parámetros
const username = e.parameter.username || "usuario_desconocido";

// Buscar o crear subcarpeta para el usuario
let userFolderIterator = mainFolder.getFoldersByName(username);
let userFolder;
if (userFolderIterator.hasNext()) {
    userFolder = userFolderIterator.next();
} else {
    userFolder = mainFolder.createFolder(username);
}

// Guardar la imagen en la subcarpeta del usuario
userFolder.createFile(blob);

// Respuesta de éxito
return ContentService.createTextOutput("Ejercicio enviado correctamente")
    .setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);

} catch (error) {
    return ContentService.createTextOutput(JSON.stringify({"status": "error",
"message": error.toString()}))
        .setMimeType(ContentService.MimeType.JSON);
}
}
```


- La función `"doPost(e)"` recibe la solicitud `"HTTP POST"` enviado por la App con los datos:

`"e.parameter.imageData"`: texto en `"Base64"`.

`"e.parameter.imageName"`: nombre del archivo.

`"e.parameter.username"`: nombre del usuario.

- Convierte el texto de `"Base64"` a su contenido original en binario (bytes) de la imagen del ejercicio, mediante los comando:

`"decodeURIComponent"` y `"Utilities.base64Decode"`.

- El contenido binario de la imagen se convierte en un objeto *Blob* (*Binary Large Object*) que se guarda en memoria, contiene datos binarios con información adicional:

`"Utilities.newBlob(decodedImage, mimeType, imageName)"`

`decodedImage`: contenido binario.

`mimeType`: tipo imagen JPG o PNG.

`imageName`: nombre de archivo.

- Guarda el objeto *Blob* en un archivo en *Google Drive*:
 - Busca en *Google Drive* si ya existe una carpeta llamada `"ORActive"` y si no existe la crea.

`"DriveApp.createFolder(mainFolderName)"`

- Dentro de esa carpeta, busca una subcarpeta con el nombre del usuario y si no existe la crea.

`"mainFolder.createFolder(username)"`

- Se escribe en el almacenamiento real de *Google Drive* el objeto *Blob* en la subcarpeta del usuario.

`"userFolder.createFile(blob)"`

- El archivo enviado desde la App ya está disponible en *Google Drive* con su nombre y formato correcto.

`"ORActive/username/imageName.jpg (o .png)"`

- Envía un mensaje de texto a la App para confirmar que se ha realizado el guardar en *Google Drive*:

`"Ejercicio enviado correctamente"`

6.3.3. Firmware del ESP32

El *Firmware* del ESP32 se desarrolla mediante la plataforma *PlatformIO* [39] *espressif32* con *framework* para *Arduino* en *Visual Studio Code* [5]. El archivo de programación se puede descargar en el enlace: [ORActive_prototipo_v1_1.cpp](#)

Y en el código QR:



El código es el siguiente (*Versión v1.0*):

```
//-----
//                                UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
//                                ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN
//                                TRABAJO FIN DE MÁSTER
// MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES
// Diseño de una órtesis robótica activa de rodilla con control dual para rehabilitación biomédica
// Autor: D. Antonio Gutiérrez Fabro
// Esta obra está sujeta a una licencia de:
// Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional Creative Commons
//-----
//                                INICIO DEL CÓDIGO para el proyecto  ORActive
//-----
// Versión prototipo v1.0
// -----
// Versión con tres modos de funcionamiento (automático = 0, asistido = 1, asistido libre =2)
// Modo asistido libre funciona con velocidad variable
// Sensor de presión para detectar flexión y extensión tipo ADS1115 y sensor de presión Celda de Carga
// Versión que mejora el modo asistido libre, con inicialización ángulo inicial y no detección
// de cambio de sensor de presión
// Las visualizaciones por consola se usan para depuración y mantenimiento
// Incluye la funcionalidad de Bluetooth para enviar y recibir datos de la App
// Incluye la pantalla OLED SSH1106 128x64 I2C
// Incluye el logo de ORActive en la pantalla OLED
// Incluye la funcionalidad de calibración automática de sensores de presión ADS1115 y Celda de Carga
// Incluye la funcionalidad de reposo y finalización de la órtesis
// Incluye la funcionalidad de finalización del ejercicio desde la App
// Incluye la funcionalidad de reproducción de sonidos MP3 con el DFPlayer Mini
// Incluye la funcionalidad de vibración con el motor vibrador y diodo LED bicolor rojo y verde
//-----
```

Se incluyen bibliotecas y definiciones:

```
// Incluir las bibliotecas
#include <Arduino.h>           // Incluir las bibliotecas para Arduino
#include "BluetoothSerial.h"   // Biblioteca para Bluetooth
```

```
#include <Wire.h> // Biblioteca Wire para I2C
#include <U8g2lib.h> // Biblioteca U8g2 para manejar pantallas OLED
#include <HardwareSerial.h> // Biblioteca para manejar la comunicación serial
#include <DFRobotDFPlayerMini.h> // Biblioteca para manejar el reproductor de MP3 DFPlayer Mini
#include <ADS1X15.h> // Biblioteca de Rob Tillaart para manejar el ADC ADS1115

// Definición de pines I2C para OLED y ADS1115
#define I2C_SDA 21
#define I2C_SCL 19

// Definición de modos de funcionamiento
#define MODO_AUTOMATICO 0
#define MODO_ASISTIDO 1
#define MODO_ASISTIDO_LIBRE 2

// Definición de entradas diferenciales para el sensor de presión Celda de Carga ADS1115
#define sensorFlexion 0
#define sensorExtension 1
```

Definición de objetos.

```
// -----
// Definición de Objetos - Instancias de clases
// -----
BluetoothSerial SerialBT; // Definición de Bluetooth

ADS1115 ads(0x48); // Definición del ADS1115 con dirección I2C 0x48

// Definición de pantalla OLED SSH1106 128x64 I2C
// Se usa el constructor U8G2_SH1106_128X64_NONAME_F_HW_I2C
// Inicializar la pantalla con rotación 0, sin reset y pines de reloj y datos por defecto
U8G2_SH1106_128X64_NONAME_F_HW_I2C u8g2(U8G2_R0, U8X8_PIN_NONE);

// Configuración del reproductor de MP3 DFPlayer Mini
HardwareSerial DFPlayerMiniSerial(2); // UART2 del ESP32
DFRobotDFPlayerMini DFPlayerMini;
```

Declaración de funciones.

```
// -----
// Declaración de funciones
// -----

// Movimiento y modos
bool moverGradualmente(int desde, int hasta,
    bool ignorarCambiosSensorContrario = false, bool ignorarEstado = false);
bool pausa(unsigned long tiempoMs, bool ignorarEstado = false);
void ejecutarModo(int modo);
void ejecutarRepeticiones();
void ExtensionDeReposo(int AnguloFinalReposo);
```

```
void prepararExtensionInicial(int AnguloInicial);

// Sensores y actuadores
void moverServoPWM(int angulo);
int leerAnguloReal();
int16_t presionADS1115(uint8_t sensor);
bool calibrarSensoresPresion();

// Pantalla, sonido y feedback
void mostrarLogoORActive();
void mostrarEnPantalla(int16_t angulo, int8_t modo, int8_t estado,
    int8_t rep, bool mostrarPresion);
void mostrarMensajeTemporal(const char* mensaje);

// Comunicación Bluetooth
bool verificarEntradaBluetooth();
bool procesarDatos(String mensaje);
bool interrupcionUsuario(bool ignorarEstado, int anguloActual);
void enviarDatosDuranteMovimiento(int anguloActual);
```

Definición de pines y variables globales.

```
// -----
// Definición de pines y variables globales
// -----

// Pines y configuración Hardware
const int pinServo = 18;           // Pin para PWM
const int pinADC = 34;            // Pin analógico del sensor de ángulo
const int pinDFPlayerMini_RX = 16; // Pin 3 RX del DFPlayer Mini
const int pinDFPlayerMini_TX = 17; // Pin 2 TX del DFPlayer Mini
const int pinVibrador = 26;       // Pin para el motor vibrador
const int pinLedVerde = 14;       // Pin para el LED verde
const int pinLedRojo = 12;        // Pin para el LED rojo

// Variables de configuración y estado
int AnguloExtension = 0;          // Ángulo de extensión inicial
int AnguloFlexion = 0;            // Ángulo de flexión inicial
int Velocidad = 2;               // Inicialización del servo a velocidad 2
int Modo = 0;                   // Modo inicial (0 = automático)
int Estado = 1;                 // Estado inicial (1 = activo)
int Repeticion = 0;              // Repetición inicial (0 = sin repeticiones)
int Conectado = 1;               // Conectado inicial (1 = conectado)

// Configuración del PWM (Servo y Motor Vibrador)
const int canalPWMServo = 0;     // Canal 0 del PWM del servo (0-15)
const int canalPWMVibrador = 10; // Canal 10 del PWM para el motor vibrador (0-15)
const int nivelVibradorPWM = 240; // Nivel de vibración para el motor vibrador
const int resolucionBits = 12;   // Resolución del PWM (12 bits servo)
```

```
const int frecuenciaPWM = 50;    // Frecuencia del PWM (50 Hz para el servo)
const uint16_t pulsoMinServo = 1000; // Pulso en microsegundos a 0°
const uint16_t pulsoMaxServo = 2000; // Pulso en microsegundos a 360°
const uint16_t anguloMaxServo = 360; // Rango angular del servo
```

Configuración del logo para la pantalla 128x64px, definido como array de bytes, "logo_ORActive" (logo_ORActive.png) figura 67.



Figura 67. Logotipo ORActive. Elaboración propia.

Realizado con la herramienta Online "image2cpp" [41], que convierte imágenes en matrices de bytes (o matrices de vuelta a imágenes) para usar con pantallas monocromáticas como las OLED en Arduino. [41]

```
// Configuración del logo para la pantalla 128x64px (definido como array de bytes), "logo_ORActive"
// Realizado con la herramienta Online "image2cpp" para convertir imágenes en matrices de bytes
const unsigned char epd_bitmap_logo_ORActive [] PROGMEM = {
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x3f, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfe, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0xff, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xe0, 0xff, 0x01, 0x00, 0xf0, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf0, 0xff, 0x03, 0x00, 0xfe, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0xff, 0x07, 0x00, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0xff, 0x07, 0x80, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0x0f, 0xe0, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0x0f, 0xf0, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0x0f, 0xf8, 0x07, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0x0f, 0xfc, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0x0f, 0xfe, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0x0f, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0xff, 0x07, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0xff, 0x87, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf0, 0xff, 0x83, 0x3f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xe0, 0xff, 0xc1, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0xff, 0xc0, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x3f, 0x80, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x80, 0xff, 0xff, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xe0, 0xff, 0xff, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0xff, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
```

```

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x80, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xe0, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x3f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf0, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x80, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfe, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xfc, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0x07, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x7c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf0, 0x0f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x3c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xe0, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x1c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x3f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x80, 0x7f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0xe0, 0x1f, 0xf8, 0xff, 0x0f, 0xc0, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0x3c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0xf8, 0xff, 0xf8, 0xff, 0x3f, 0xe0, 0x2f, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x0b, 0x5c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x7c, 0xf8, 0xc1, 0x03, 0x5e, 0xe0, 0x7e, 0x00, 0x00, 0xc0, 0x03, 0x40, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0xbe, 0xf7, 0xdb, 0xfb, 0x5e, 0xf0, 0x5e, 0x80, 0xef, 0xf1, 0x9f, 0x7f, 0xfe, 0xfe, 0xe1, 0x07,
0xde, 0xe8, 0xc5, 0x0b, 0x5e, 0xf0, 0xfd, 0xc0, 0xff, 0xf2, 0xaf, 0x5f, 0xfe, 0xfe, 0xfa, 0x3f,
0x5e, 0xe0, 0xc5, 0x03, 0x6e, 0x78, 0xbd, 0xe0, 0xf3, 0xc2, 0x23, 0x5e, 0x78, 0x38, 0x3e, 0x5c,
0x5e, 0xe0, 0xc5, 0xff, 0x37, 0x78, 0xbc, 0xe1, 0xed, 0xd2, 0xbb, 0x5e, 0x76, 0xd9, 0xbf, 0x7d,
0x5e, 0xe0, 0xc5, 0x83, 0x1b, 0xfc, 0x7f, 0xe1, 0x05, 0xc2, 0x0b, 0x5e, 0xf0, 0x5f, 0xfc, 0xbf,
0xbe, 0xf0, 0xc5, 0xfb, 0x0f, 0x3c, 0x78, 0xe1, 0xe5, 0xc3, 0x0b, 0x5e, 0xe0, 0x6d, 0xfc, 0xbf,
0x7c, 0xf8, 0xc6, 0x03, 0x37, 0xde, 0xf7, 0xe2, 0x01, 0xc2, 0x03, 0x1e, 0xe0, 0x2f, 0x3c, 0x80,
0xf8, 0x7f, 0xfa, 0x5f, 0xff, 0xff, 0xfc, 0xc7, 0xff, 0xc3, 0x9f, 0x7f, 0xc1, 0x37, 0xf8, 0xbf,
0xe0, 0x1f, 0xf9, 0x5f, 0xbf, 0x7f, 0xfd, 0x0b, 0x7f, 0x81, 0xaf, 0x7f, 0xc1, 0x17, 0xe0, 0x4f,
0x10, 0xe0, 0x00, 0x40, 0x80, 0x00, 0x01, 0x88, 0x80, 0x41, 0x20, 0x00, 0x01, 0x18, 0x10, 0x30,
0xe0, 0x3f, 0xf8, 0x7f, 0xfe, 0xff, 0xfd, 0x0f, 0x7f, 0x80, 0xbf, 0xff, 0x81, 0x0f, 0xe0, 0x0f,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00
};
// Array of all bitmaps for convenience. (Total bytes used to store images in PROGMEM = 1040)
const int epd_bitmap_allArray_LEN = 1;
const unsigned char* epd_bitmap_allArray[1] = {
    epd_bitmap_logo_ORActive
};

```

Tabla de calibración del ADC del ESP32

```

// Tabla de calibración del ADC del ESP32 con el sensor de ángulo del servo se usa para convertir
// las lecturas del ESP32 de 0 a 4095 (12 bits) del ADC a ángulos de 0 a 360 grados.
// Los valores son aproximados y se han ajustado según la calibración del sensor, mediante un proceso

```

```
// que mapea los valores del ADC a los ángulos correspondientes. Por ejemplo:
// Si el ADC devuelve 0, el ángulo es 0 grados; si devuelve 4095, el ángulo es 360 grados.
// La tabla se define como un array de enteros, donde cada índice representa un valor del ADC
// y el valor en ese índice es el ángulo correspondiente en grados.
// La tabla se puede ajustar según la precisión requerida y el rango de operación del sensor.
// Tabla de valores del ADC del sensor de ángulo del servo
const int tablaADC[] = {
    0, 8, 89, 188, 296, 404, 510, 626, 737, 835,
    953, 1069, 1167, 1284, 1402, 1492, 1620, 1734, 1847, 1944,
    2062, 2182, 2275, 2397, 2507, 2610, 2727, 2846, 2947, 3068,
    3207, 3350, 3475, 3644, 3850, 4021, 4093
};
// Tabla de ángulos correspondientes a los valores del ADC
// Esta tabla se usa para convertir los valores del ADC a ángulos en grados.
const int tablaAngulo[] = {
    0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90,
    100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190,
    200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290,
    300, 310, 320, 330, 340, 350, 360
};
const int tablaSize = sizeof(tablaADC) / sizeof(tablaADC[0]); // Tamaño de la tabla
```

Variables globales de control interno

```
// Variables globales de control interno
String datos = "";
unsigned int repActual = 0; // Inicialización de la repetición actual

const int volumenDFPlayer = 25; // Volumen del DFPlayer Mini (0-30)
const int sonidoBienvenida = 1; // Número del sonido de bienvenida en DFPlayer Mini
const int sonidoInicio = 2; // Número del sonido de inicio en DFPlayer Mini
const int sonidoFlexAlc = 3; // Número del sonido de flexión alcanzada en DFPlayer Mini
const int sonidoExtAlc = 4; // Número del sonido de extensión alcanzada en DFPlayer Mini
const int sonidoPreIni = 5; // Número del sonido de preparación inicial en DFPlayer Mini
const int sonidoPreFin = 6; // Número del sonido de preparación final en DFPlayer Mini
const int sonidoReposoIni = 7; // Número del sonido de reposo inicio en DFPlayer Mini
const int sonidoReposoComp = 8; // Número del sonido de reposo completo en DFPlayer Mini
const int sonidoCalInicio = 9; // Número del sonido de calibrado inicio en DFPlayer Mini
const int sonidoCalFin = 10; // Número del sonido de calibrado final en DFPlayer Mini
const int sonidoFin = 11; // Número del sonido de finalización en DFPlayer Mini

int16_t zeroOffsetFlexion = 0; // Offset en reposo para el sensor de flexión
int16_t zeroOffsetExtension = 0; // Offset en reposo para el sensor de extensión
const int16_t umbralMinimo = 20; // Umbral mínimo para detectar fuerza
const int16_t umbralMaximo = 500; // Umbral máximo para detectar fuerza

bool movimientoEnCurso = false; // Indica si un movimiento está en curso
bool extensionInicialHecha = false; // Indica si la extensión inicial se ha realizado
bool extensionDeReposoHecha = false; // Indica si la extensión de reposo se ha realizado
```



```
bool intApp = false;           // Variable para controlar interrupciones de la aplicación
bool flagMensajeInicio = true; // Bandera para mostrar mensaje de inicio

bool mostrarPresionFlexionExtension = true; // Mostrar presión en pantalla
unsigned long tiempoEnvio = 100;           // Tiempo en ms entre envíos a Bluetooth
```

FUNCIÓN: setup

```
//-----
// FUNCIÓN: setup()
// Configuración inicial del sistema: comunicación, PWM, IC2, OLED, mostrar Logo,
// DFPlayer Mini, LED, posición inicial del servo, motor vibrador y sensores de presión
//-----
void setup() {

    // Inicializar comunicación Consola Serial y Bluetooth
    Serial.begin(115200);
    Serial.println(F("○ ----- Iniciando consola serial..."));
    Serial.println(F("● ----- Consola serial lista.));

    Serial.println(F("○ ----- Iniciando Bluetooth..."));
    if (!SerialBT.begin("ESP32_Ortesis")) {
        Serial.println(F("⚠ ----- Error: No se pudo iniciar el módulo Bluetooth.));
        while (true);
    }
    Serial.println(F("● ----- Bluetooth listo.));

    // Configurar pines de LEDs
    pinMode(pinLedVerde, OUTPUT);
    pinMode(pinLedRojo, OUTPUT);
    digitalWrite(pinLedVerde, LOW); // Apagar LED verde al inicio
    digitalWrite(pinLedRojo, HIGH); // Encender LED rojo al inicio

    // inicializar y configurar el PWM del servo
    ledcSetup(canalPWMServo, frecuenciaPWM, resolucionBits); // Configurar el canal PWM para el servo
    ledcAttachPin(pinServo, canalPWMServo);                 // Asociar el pin del servo al canal PWM
    delay(1000);                                             // Esperar a que el servo se estabilice

    // inicializar y configurar el PWM del motor vibrador
    ledcSetup(canalPWMvibrador, 5000, 8);                   // Canal PWM vibrador, 5kHz de frecuencia, 8 bits de
    resolucion
    ledcAttachPin(pinVibrador, canalPWMvibrador);           // Asociar pin al canal de PWM
    ledcWrite(canalPWMvibrador, 0);                          // Inicializar el vibrador con duty 0 (Apagar motor vibrador)
    delay(100);                                              // Esperar a que el vibrador se estabilice

    // Inicializar el servo al ángulo real actual
    int anguloInicial = leerAnguloReal();                   // Leer el ángulo actual al iniciar
    Serial.println("Ángulo inicial leído: " + String(anguloInicial)); // Mostrar ángulo inicial en el
    monitor serie
    moverServoPWM(anguloInicial); // Fijar el duty al ángulo real en el inicio y activa la señal PWM
```

```
// Inicializar comunicación I2C
Serial.println(F("○ ----- Iniciando bus I2C..."));
Wire.begin(I2C_SDA, I2C_SCL);
Serial.println(F("● ----- Bus I2C inicializado.));

// Inicializar pantalla OLED con U8g2
u8g2.begin();
Serial.println(F("○ ----- Iniciando pantalla OLED..."));
u8g2.setFont(u8g2_font_6x12_te); // Fuente del texto en la pantalla
Serial.println(F("● ----- Pantalla OLED lista.));

// Inicializar y configurar DFPlayer Mini MP3
DFPlayerMiniSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, pinDFPlayerMini_RX, pinDFPlayerMini_TX);
Serial.println(F("○ ----- Iniciando DFPlayer Mini MP3..."));
// Esperar a que DFPlayer Mini esté listo
if (!DFPlayerMini.begin(DFPlayerMiniSerial)) {
    Serial.print(F("△ ----- No se pudo iniciar DFPlayer Mini MP3));
    while (true); // Detener ejecución por fallo crítico
}
Serial.println(F("● ----- DFPlayer Mini MP3 listo.));
delay(200);
DFPlayerMini.volume(volumenDFPlayer); // Volumen inicial (0 a 30)
DFPlayerMini.play(sonidoBienvenida); // Reproducir sonido de bienvenida

// Mostrar logo
mostrarLogoORActive();

// Inicialización del servo desde su ángulo real actual hasta 0°
delay(3000); // Esperar 3 segundo para estabilizar
anguloInicial = leerAnguloReal(); // Leer el ángulo real después de mover
Serial.println("Ángulo inicial leído: " + String(anguloInicial));
digitalWrite(pinLedRojo, LOW); // Apagar LED rojo
digitalWrite(pinLedVerde, HIGH); // Encender LED verde
moverGradualmente(anguloInicial, 0, false, true); // Mover servo a 0° inicial

// Inicializar ADS1115 sensores de presión
Serial.println(F("○ ----- Iniciando ADS1115..."));
if (!ads.begin()) {
    Serial.println(F("△ ----- Error: No se pudo inicializar el ADS1115.));
    while (true); // Detiene ejecución por fallo crítico
}
ads.setGain(ADS1X15_GAIN_0256MV); // Configurar ganancia máxima ±0.256V (~0.0078125V por bit)
ads.setDataRate(ADS1X15_DATARATE_7); // Conf. tasa de muestreo, máxima veloc. (~1.2 ms por lectura)
ads.readADC(0); // Leer canal 0 forzando la aplicación de Gain y Rate

Serial.println(F("● ----- ADS1115 listo.));
Serial.println(F("☑ ----- Sistema ORActive listo. Esperando configuración...));
}
```

FUNCIÓN: loop

```
//-----
// FUNCIÓN: loop()
// Bucle principal del programa. Verifica la entrada Bluetooth y ejecuta los modos según estado (ON/OFF)
// si la velocidad es mayor a 0. Si no está conectado, muestra las opciones de configuración
//-----
void loop() {
    verificarEntradaBluetooth(); // Verificar entrada Bluetooth y procesar comandos

    if (Conectado == 0) {
        // Mostrar mensaje de espera si el sistema está inactivo (OFF)
        if (Estado == 1) {
            if (flagMensajeInicio) {
                DFPPlayerMini.play(sonidoInicio); // Reproducir sonido inicio mp3
                flagMensajeInicio = false; // Reiniciar bandera de mensaje de inicio
            }
            ledcWrite(canalPWMvibrador, 0); // Apagar vibrador
            u8g2.clearBuffer();
            u8g2.drawUTF8(0, 10, "Enviar Configuración");
            u8g2.drawUTF8(0, 32, "Grabar SI/NO");
            u8g2.drawUTF8(0, 54, "Pulsar Comenzar Ejerc.");
            u8g2.sendBuffer();
        }
        // Si está activo (Estado == 0) y velocidad válida, ejecutar el modo seleccionado
        if (Estado == 0 && Velocidad > 0) {
            ejecutarModo(Modo);
        } else if (Estado == 0 && Velocidad <= 0) {
            Serial.println("⚠----- Modo no reconocido. Verificar en App la configuración.");
            u8g2.clearBuffer();
            u8g2.drawUTF8(0, 10, "Modo no reconocido");
            u8g2.drawUTF8(0, 32, "Verificar en App");
            u8g2.sendBuffer();
        }
    }
}
```

FUNCIÓN: mostrarLogoORActive

```
//-----
// FUNCIÓN: mostrarLogoORActive()
// Muestra en pantalla OLED el logo al iniciar.
//-----
void mostrarLogoORActive() {
    u8g2.clearBuffer(); // Limpiar buffer
    u8g2.drawXBMP(0, 0, 128, 64, epd_bitmap_logo_ORActive); // Dibujar logo en (x=0, y=0)
    u8g2.sendBuffer(); // Mostrar en pantalla
}
```

FUNCIÓN: mostrarEnPantalla

```
//-----
// FUNCIÓN: mostrarEnPantalla()
// Muestra el estado actual del dispositivo en la pantalla OLED:
// modo, estado, ángulo, repetición, velocidad y presión.
//-----
void mostrarEnPantalla(int16_t angulo, int8_t modo, int8_t estado, int8_t rep, bool mostrarPresion) {

    u8g2.clearBuffer(); // Limpiar buffer de pantalla

    // Mostrar texto del modo actual
    String textoModo;
    if (Modo == MODO_AUTOMATICO) {
        textoModo = "Modo: Automático";
    } else if (Modo == MODO_ASISTIDO) {
        textoModo = "Modo: Asistido";
    } else if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
        textoModo = "Modo: Asistido Libre";
    }
    u8g2.drawUTF8(0, 9, textoModo.c_str());
    String textoEstado = (estado == 0) ? "Estado: ON" : "Estado: OFF"; // Estado ON/OFF
    u8g2.drawUTF8(0, 23, textoEstado.c_str());
    String textoAngulo = "Ángulo: " + String(angulo) + "°"; // Ángulo actual
    u8g2.drawUTF8(0, 37, textoAngulo.c_str());
    String textoRep = "Repetición: " + String(rep); // Repetición actual
    u8g2.drawUTF8(0, 51, textoRep.c_str());
    String textoVelocidad = "Vel: " + String(Velocidad); // Velocidad actual
    u8g2.drawUTF8(0, 64, textoVelocidad.c_str());

    // Mostrar presión de Flexión o Extensión en Modo Asistido y Asistido Libre
    if (mostrarPresion) {
        int16_t presion = mostrarPresionFlexionExtension
            ? presionADS1115(sensorFlexion) : presionADS1115(sensorExtension);

        String textoPresion = "Presión: " + String(presion);
        Serial.print("Presión ADS: " + String(presion) + " : ");

        u8g2.drawUTF8(47, 64, textoPresion.c_str());
    }

    u8g2.sendBuffer(); // Enviar buffer a pantalla OLED
}
```

FUNCIÓN: mostrarMensajeTemporal

```
//-----
// FUNCIÓN: mostrarMensajeTemporal()
// Muestra un mensaje de texto temporal en pantalla durante 1 segundo
```

```
//-----
void mostrarMensajeTemporal(const char* mensaje) {

    u8g2.clearBuffer();
    u8g2.setFont(u8g2_font_6x12_te);
    u8g2.drawUTF8(0, 32, mensaje);
    u8g2.sendBuffer();
    if (!pausa(1000)) return; // Esperar 1 segundo para mostrar mensaje
}
```

FUNCIÓN: moverServoPWM

```
//-----
// FUNCIÓN: moverServoPWM()
// Mueve el servo al ángulo especificado utilizando PWM.
// Convierte el ángulo a una señal PWM para el servo (resolución 12 bits)
// parámetro: ángulo (Ángulo en grados de 0 a 360)
//-----
void moverServoPWM(int angulo) {

    angulo = constrain(angulo, 0, anguloMaxServo); // El ángulo se limita entre 0 y 360 grados

    // Pulso en microsegundos (pulso_us)
    // pulso_us = pulso mínimo + (ángulo / ángulo máximo) * rango
    const uint32_t rango_us = (uint32_t)(pulsoMaxServo - pulsoMinServo);
    const uint32_t pulso_us = pulsoMinServo + ((uint64_t)angulo * rango_us) / anguloMaxServo;

    const uint32_t periodo_us = 1000000UL / frecuenciaPWM; // Periodo en microsegundos

    // Calcular duty
    // duty = round( pulso_us / periodo_us * 2^resolucionBits )
    // Truco para redondear para enteros sin usar round() (más rápido computacionalmente):
    // sumar el divisor/2 (periodo_us/2) al numerador
    uint32_t duty = ((uint64_t)pulso_us * (1UL << resolucionBits) + (periodo_us / 2)) / periodo_us;

    // Los límites del duty deben estar entre 0 y (2^resolucionBits - 1)
    if (duty < 0) duty = 0; // Limitar a 0
    const uint32_t dutyMax = (1UL << resolucionBits) - 1; // Máximo duty (2^resolucionBits - 1)
    if (duty > dutyMax) duty = dutyMax; // Limitar a dutyMax

    ledcWrite(canalPWMServo, duty); // Enviar a canal PWM del servo para mover
}
```

FUNCIÓN: leerAnguloReal

```
//-----
// FUNCIÓN: leerAnguloReal()
// Lee el valor del sensor de ángulo (conectado al ADC del ESP32) y lo convierte a grados, usando
// interpolación lineal entre pares de valores de las tablas tablaADC[] y tablaAngulo[]
```

```
// El valor del ADC se promedia varias lecturas para mejorar la precisión de la lectura
// Si el valor del ADC está fuera del rango de la tabla, toma el ángulo mínimo o máximo.
// Devuelve: ángulo interpolado en grados correspondiente al valor del ADC leído en el sensor del servo
//-----
int leerAnguloReal() {

    // Leer varias veces del ADC ESP32 y hacer la media para reducir el ruido
    const uint8_t muestras = 10;           // Número de muestras para promediar
    uint32_t suma = 0;                     // Acumulador sin signo para el promedio(más eficiente en ESP32)

    for (int i = 0; i < muestras; i++) {
        suma += analogRead(pinADC);        // Leer el valor del ADC ESP32 sensor de ángulo del servo
        delay(2);                          // Esperar un retardo entre lecturas para estabilizar
    }

    uint16_t promedioADC = suma / muestras; // calcular promedio del ADC ESP32 (0-4095)

    // Si el valor del ADC está fuera del rango de la tabla, retorna el ángulo mínimo o máximo
    if (promedioADC <= tablaADC[0]) return tablaAngulo[0];           // Por debajo del mínimo
    if (promedioADC >= tablaADC[tamano - 1]) return tablaAngulo[tamano - 1]; // Por encima del máximo

    // Busca el intervalo correspondiente entre los dos puntos de la tabla donde se encuentra el
    promedioADC
    for (uint8_t i = 0; i < tamano - 1; i++) {
        uint16_t adc1 = tablaADC[i];
        uint16_t adc2 = tablaADC[i + 1];
        int16_t ang1 = tablaAngulo[i];
        int16_t ang2 = tablaAngulo[i + 1];

        // Verifica si el promedioADC está entre adc1 y adc2 para realizar la interpolación
        if (promedioADC >= adc1 && promedioADC <= adc2) { //
            float facInterpolacion = (float)(promedioADC - adc1) / (adc2 - adc1); // Factor de interpolación
            int anguloInterpolado = ang1 + (ang2 - ang1) * facInterpolacion; // Interpolación lineal
            anguloInterpolado = constrain(anguloInterpolado, 0, 360); // Limitar entre 0 y 360 grados
            return anguloInterpolado; // Devuelve el ángulo interpolado
        }
    }
    return 0; // Si no se encuentra el valor devuelve 0 (error)
}
```

FUNCIÓN: presionADS1115

```
//-----
// FUNCIÓN: presionADS1115()
// Lee el valor del sensor ADS1115 de flexión o extensión y aplica el offset correspondiente.
// Parámetro: sensor (0 para flexión, 1 para extensión)
// Devuelve: el valor de presión ajustado con el offset correspondiente
//-----
```

```
int16_t presionADS1115(uint8_t sensor) {

    switch (sensor) {

        case sensorFlexion:
            return ads.readADC_Differential_0_1() - zeroOffsetFlexion;
        case sensorExtension:
            return ads.readADC_Differential_2_3() - zeroOffsetExtension;
        default:
            return 0; // Sensor no válido
    }
}
```

FUNCIÓN: moverGradualmente

```
//-----
// FUNCIÓN: moverGradualmente()
// Mueve el servo desde un ángulo inicial hasta un ángulo final, en Modo Asistido se controla
// por los sensores de presión, en Modo Asistido Libre se mueve con una velocidad adaptativa
// según los sensores de presión
// Parámetros:
// - desde: ángulo inicial (grados)
// - hasta: ángulo final (grados)
// - ignorarCambiosSensorContrario: si es true, ignora cambios en el sensor contrario durante el
// movimiento
// Devuelve: true si el movimiento se completó sin interrupciones, false si se interrumpió desde la App
//-----
bool moverGradualmente(int desde, int hasta, bool ignorarCambiosSensorContrario, bool ignorarEstado) {

    int diferencia = hasta - desde;
    int pasos = abs(diferencia);
    if (pasos == 0) pasos = 1;
    int paso = diferencia / pasos;

    if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) Velocidad = 1; // Velocidad del servo baja al comenzar Modo Asistido
    Libre

    unsigned long tiempoPorGrado = map(Velocidad, 1, 9, 100, 5); // Tiempo por grado según la velocidad (1
    a 9)
    unsigned long ultimoEnvio = 0;

    int16_t umbralPresion = map(Velocidad, 1, 9, umbralMinimo, umbralMaximo);
    Serial.print(F("Umbral de presión: ")); Serial.println(umbralPresion);
    int anguloActual = desde;

    // Determinar dirección del movimiento
    if (Modo == MODO_ASISTIDO || Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
        mostrarPresionFlexionExtension = (desde < hasta); // true = flexión, false = extensión
    }
}
```



```
// Bucle para mover el servo paso a paso
for (int i = 0; i <= pasos; i++) {

    anguloActual = desde + paso * i; // Calcular el ángulo actual en cada paso
    // Si se recibe interrupción desde la App, salir del movimiento
    if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, anguloActual)) return false;
    Serial.print(F("Mover servo a ángulo: ")); Serial.print(anguloActual);

    // ----- Modo Asistido y Libre -----
    if (Modo == MODO_ASISTIDO || Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
        if (desde < hasta) {
            // Flexión
            int16_t presionFlexion = presionADS1115(sensorFlexion);
            while (presionFlexion < umbralPresion) {
                if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, anguloActual)) return false;
                delay(5);
                presionFlexion = presionADS1115(sensorFlexion);

                // En Modo Asistido Libre, si se detecta presión en el sensor contrario, salir del movimiento
                if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE && !ignorarCambiosSensorContrario &&
                    presionADS1115(sensorExtension) > umbralPresion) {
                    Serial.println(F(" ")); Serial.println(F("⚡ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión"));
                    return true;
                }
            }
        } else {
            // Extensión
            int16_t presionExtension = presionADS1115(sensorExtension);
            while (presionExtension < umbralPresion) {
                if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, anguloActual)) return false;
                delay(5);
                presionExtension = presionADS1115(sensorExtension);

                if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE && !ignorarCambiosSensorContrario &&
                    presionADS1115(sensorFlexion) > umbralPresion) {
                    Serial.println(F(" ")); Serial.println(F("⚡ ----- Cambio detectado, saliendo de
extensión"));
                    return true;
                }
            }
        }
    }

    // ----- Mover Servo -----
    // Si el estado es 0 (ON), se ignora el estado o no se ha hecho la extensión inicial
    // mover el servo al ángulo actual
}
```

```

if (Estado == 0 || ignorarEstado || !extensionInicialHecha) {
    moverServoPWM(anguloActual);
    ledcWrite(canalPWMvibrador, 0);    // Apagar el PWM del motor vibrador
    Serial.print(F(" | Moviendo servo a ángulo: ")); Serial.println(anguloActual);
    digitalWrite(pinLedVerde, LOW);    // Apagar LED verde
} else {
    Serial.println(F("⊖ ----- No se mueve el servo"));
    digitalWrite(pinLedVerde, LOW);    // Apagar LED verde
    digitalWrite(pinLedRojo, HIGH);    // Encender LED rojo
}

// ----- Envío a App -----
// Enviar datos periódicamente a la App durante el movimiento
unsigned long ahora = millis();
if (ahora - ultimoEnvio >= tiempoEnvio) {
    if (Estado == 0) {
        int anguloLeido = leerAnguloReal(); // Leer el ángulo real del servo
        enviarDatosDuranteMovimiento(anguloLeido);
    }
    ultimoEnvio = ahora;
}

// ----- Modo Asistido Libre velocidad adaptada en tiempo real a la presión -----
if (Modo == MODULO_ASISTIDO_LIBRE) {
    // Calcular la velocidad adaptativa según la presión del sensor
    int16_t presion = (desde < hasta) ? presionADS1115(sensorFlexion) :
presionADS1115(sensorExtension);
    presion = constrain(presion, umbralMinimo, umbralMaximo);
    Velocidad = map(presion, umbralMinimo, umbralMaximo, 1, 9); // Velocidad entre 1 y 9 segun mapeo
de presión
    tiempoPorGrado = map(Velocidad, 1, 9, 100, 5); // Tiempo por grado entre 100 ms (velocidad 1) y 5
ms (velocidad 9)

    Serial.print(F("Presión: ")); Serial.print(presion);
    Serial.print(F(" | Velocidad:")); Serial.print(Velocidad);
    Serial.print(F(" | TiempoPorGrado: | ")); Serial.print(tiempoPorGrado);
}

// ----- Tiempo de pausa entre grados durante el movimiento -----
digitalWrite(pinLedVerde, HIGH);    // Encender LED verde
delay(tiempoPorGrado); // Esperar el tiempo correspondiente a la velocidad
}
// ----- Final del movimiento -----
if (Estado == 0) {
    enviarDatosDuranteMovimiento(hasta); // Enviar ángulo final a la App
}

// ----- Mensajes Finales y control de los sensores de presión -----

```

```
// En Modo Asistido o Asistido Libre, se muestra un mensaje de finalización
// Solo si se ha hecho la extensión inicial y no se ignora el estado
if ((Modo == MODO_ASISTIDO || Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) && extensionInicialHecha && !ignorarEstado)
{
    // Mostrar mensaje de finalización
    String mensaje = (desde < hasta) ? "Flexión Alcanzada" : "Extensión Alcanzada";
    mostrarMensajeTemporal(mensaje.c_str());
    Serial.println(F(" ")); Serial.print(F("● ----- ")); Serial.println(mensaje.c_str());

    ledcWrite(canalPWMvibrador, nivelVibradorPWM);
    DFPlayerMini.play((desde < hasta) ? sonidoFlexAlc : sonidoExtAlc);

    uint8_t sensorActual = (desde < hasta) ? sensorFlexion : sensorExtension;
    uint8_t sensorContrario = (desde < hasta) ? sensorExtension : sensorFlexion;
    uint8_t sensorEsperado = (desde < hasta) ? sensorExtension : sensorFlexion;

    // Esperar a que la presión del sensor actual se pulse y alcance el umbral
    while (presionADS1115(sensorActual) > umbralPresion) {
        if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, anguloActual)) return false;
        delay(5);
    }
    // Esperar a que la presión del sensor contrario se pulse y alcance el umbral
    while (presionADS1115(sensorContrario) < umbralPresion) {
        if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, anguloActual)) return false;
        delay(5);
    }
    // Esperar a que el sensor esperado se pulse y alcance el umbral
    while (presionADS1115(sensorEsperado) < umbralPresion) {
        if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, anguloActual)) return false;
        delay(5);
    }
    // Mostrar ángulo final alcanzado en pantalla
    int anguloFinal = (desde < hasta) ? AnguloFlexion : AnguloExtension;
    mostrarEnPantalla(anguloFinal, Modo, Estado, repActual, true);
}
return true; // Movimiento completado sin interrupciones
}
```

FUNCIÓN: enviarDatosDuranteMovimiento

```
//-----
// FUNCIÓN: enviarDatosDuranteMovimiento()
// Envía los datos del movimiento actual a la App a través de Bluetooth
// Formato enviado: "Ángulo Extensión;Ángulo Flexión;Velocidad;Modo;Estado;Repeticion;"
// Parametro: anguloActual (ángulo actual del servo en grados)
//-----
void enviarDatosDuranteMovimiento(int anguloActual) {
```

```
String respuesta = String(anguloActual) + ";";
respuesta += String(anguloActual) + ";";
respuesta += String(Velocidad) + ";";
respuesta += String(Modo) + ";";
respuesta += String(Estado) + ";";
respuesta += String(repActual) + ";";

SerialBT.print(respuesta); // Enviar datos a la App
Serial.println(respuesta); // Mostrar en consola para depuración

// Mostrar datos en pantalla si el estado es ON
if (Estado == 0) {
    bool mostrarPresion = (Modo != MODO_AUTOMATICO);
    mostrarEnPantalla(anguloActual, Modo, Estado, repActual, mostrarPresion);
}
}
```

FUNCIÓN: procesarDatos

```
//-----
// FUNCIÓN: procesarDatos()
// Procesa la cadena de datos recibidos desde la App a través de Bluetooth
// Formato esperado: "Ángulo Extensión;Ángulo Flexión;Velocidad;Modo;Estado;Repetición;Conectado;"
// Separa los valores por punto y coma y los asigna a las variables globales
// Actualiza las variables globales y reinicia el estado del dispositivo
// Parametro: mensaje (cadena de texto con los datos recibidos)
//-----
bool procesarDatos(String mensaje) {

    int valores[7];           // Array para almacenar los valores separados
    int lastIndex = 0;        // Índice del último punto y coma encontrado
    int index, count = 0;     // Contador de valores encontrados

    // Separa los valores por punto y coma y los convierte a enteros
    while ((index = mensaje.indexOf(';', lastIndex)) != -1 && count < 6) {
        valores[count++] = mensaje.substring(lastIndex, index).toInt(); // Convertir a entero
        lastIndex = index + 1;
    }
    if (count < 7 && lastIndex < mensaje.length()) {
        valores[count++] = mensaje.substring(lastIndex).toInt(); // Agregar el último valor si existe
    }
    // Si se recibieron 7 valores, asignarlos a las variables globales
    if (count >= 7) {
        int estadoAnterior = Estado;

        AnguloExtension = valores[0]; // Asignar ángulo de extensión
        AnguloFlexion    = valores[1]; // Asignar ángulo de flexión
        Velocidad         = valores[2]; // Asignar velocidad del servo
        Modo              = valores[3]; // Modo de operación (0: Automático, 1: Asistido, 2: Asistido Libre)
```

```

Estado      = valores[4]; // Asignar estado del dispositivo (0: ON, 1: OFF)
Repeticion   = valores[5]; // Asignar número de repeticiones
Conectado    = valores[6]; // Asignar estado de conexión (0: Conectado, 1: No conectado)

// Reiniciar variables de control
repActual = 0;
extensionInicialHecha = false;
extensionDeReposoHecha = false;

Serial.println(F("● ----- Datos aplicados.));
Serial.println(mensaje);

// Sólo si el estado ha cambiado a 1 (OFF), interrumpir
if (Estado == 1 && estadoAnterior != 1) {
    Serial.println(F("⊖ ----- Interrupción solicitada por la App"));
    intApp = true;          // Indicar que se recibió una interrupción desde la App
    return true;           // Indicar que hubo una interrupción
}
} else {
    Serial.println(F("⚠ ----- Datos incompletos));
    Conectado = 1;          // Reiniciar conexión a 1 (no conectado)
}

return false; // No hubo interrupción, se procesaron los datos correctamente
}

```

FUNCIÓN: verificarEntradaBluetooth

```

//-----
// FUNCIÓN: verificarEntradaBluetooth()
// Verifica si hay datos disponibles en la entrada Bluetooth
// Si recibe un salto de línea ('\n'), procesa los datos acumulados en la variable "datos" y
// la reinicia para recibir nuevos datos. Devuelve true si se procesaron datos, false si no hay datos
//-----
bool verificarEntradaBluetooth() {

    if (SerialBT.available()) {
        char c = SerialBT.read();
        if (c == '\n') {
            bool interrumpir = procesarDatos(datos); // Procesar los datos acumulados
            datos = "";
            return interrumpir; // Devuelve true si Estado cambió a 1;
        } else datos += c;
    }

    return false;
}

```

FUNCIÓN: interrupcionUsuario

```

//-----
// FUNCIÓN: interrupcionUsuario()

```

```
// Verifica si se ha recibido una interrupción por Bluetooth o si el estado es 1 (OFF)
// Si se recibe una interrupción, envía el ángulo actual y Estado OFF a la App
// Devuelve true si se interrumpió el movimiento, false si no hay interrupción
// Parámetros: ignorarEstado (si es true, no verifica el estado del dispositivo)
//              anguloActual (ángulo actual del servo)
//-----
bool interrupcionUsuario(bool ignorarEstado, int anguloActual) {

    // Variable estática para conservar el estado del mensaje enviado entre llamadas
    static bool mensajeEnviado = false; // Indica si ya se ha enviado un mensaje de interrupción

    // Verificar si hay una interrupción por Bluetooth o si el estado es 1 (OFF)
    if (verificarEntradaBluetooth() || (!ignorarEstado && Estado == 1)) {
        if (!mensajeEnviado) {
            if (!extensionDeReposoHecha) {
                Serial.println(F("⊖ ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32"));
            }
            mensajeEnviado = true;
            if (intApp) {
                // Si se recibe una interrupción desde la App, enviar datos
                enviarDatosDuranteMovimiento(anguloActual); // Enviar el ángulo actual y Estado OFF a la App
                DFPlayerMini.play(sonidoInicio);           // Reproducir archivo Inicio mp3
                intApp = false;                             // Reiniciar interrupción de la App
            }
        }
        return true;
    }
    mensajeEnviado = false; // reset si no hay interrupción
    return false;
}
```

FUNCIÓN: pausa

```
//-----
// FUNCIÓN: pausa()
// Realiza una pausa durante el tiempo especificado en milisegundos.
// cancela la pausa y devuelve false, si no devuelve true.
// Parámetros: tiempoMs (tiempo de pausa en milisegundos)
//-----
bool pausa(unsigned long tiempoMs, bool ignorarEstado) {

    unsigned long inicio = millis(); // Tiempo de inicio de la pausa
    // Bucle que se ejecuta mientras no haya pasado el tiempo deseado
    while (millis() - inicio < tiempoMs) {
        // Verificar si hay una interrupción por Bluetooth (desde la App)
        if (interrupcionUsuario(ignorarEstado, leerAnguloReal())) {
            return false;
        }
    }
}
```

```

    delay(10); // Pequeño retraso para no sobrecargar el procesador
}
return true; // Devuelve true si se completó la pausa sin interrupciones
}

```

FUNCIÓN: prepararExtensionInicial

```

//-----
// FUNCIÓN: prepararExtensionInicial()
// Prepara la extensión inicial del servo al ángulo especificado
// Mueve el servo desde el ángulo actual hasta el inicial de extensión y espera 2 segundos
// Parámetros: AnguloInicial (ángulo inicial de extensión)
//-----
void prepararExtensionInicial(int AnguloInicial) {

    Serial.println(F("⊙ ----- Preparación posición inicial..."));
    mostrarMensajeTemporal("Preparar Extensión");
    ledcWrite(canalPWMvibrador, nivelVibradorPWM); // Activar el PWM del motor vibrador
    DFPlayerMini.play(sonidoPreIni);                // Reproducir archivo Preparación Inicial mp3
    int anguloActual = leerAnguloReal(); // Leer el ángulo actual del servo

    // Intentar mover. Si se interrumpe, no continuar
    bool exito = moverGradualmente(AnguloInicial, AnguloExtension, true, false);
    if (!exito) {
        Serial.println(F("⊖ ----- Preparación interrumpida en sistema ESP32"));
        enviarDatosDuranteMovimiento(anguloActual); // Enviar el ángulo actual y Estado OFF a la App
        extensionInicialHecha = false;
        return;
    }

    if (!pausa(1000, true)) {
        Serial.println(F("⊖ ----- Pausa interrumpida"));
        enviarDatosDuranteMovimiento(anguloActual); // Enviar el ángulo actual y Estado OFF a la App
        extensionInicialHecha = false;
        return;
    }

    ledcWrite(canalPWMvibrador, nivelVibradorPWM); // Activar el PWM del motor vibrador
    mostrarMensajeTemporal("Preparación completa");
    DFPlayerMini.play(sonidoPreFin);                // Reproducir archivo Preparación Final mp3
    extensionInicialHecha = true;
    Serial.println(F(" ")); Serial.println(F("⊙ ----- Preparación inicial completa"));
    if (!pausa(1000)) return; // Esperar 1 segundo para mostrar el mensaje
}

```


FUNCIÓN: calibrarSensoresPresion

```
//-----
// FUNCIÓN: calibrarSensoresPresion()
// Calibra los sensores de presión para flexión y extensión en Modo Asistido y Asistido Libre
// Espera a que ambos sensores estén en un rango válido durante 2 segundos
// Si ambos sensores están en rango, muestra un mensaje de calibración exitosa
// y devuelve true. Si se recibe una interrupción por Bluetooth, devuelve false.
//-----
bool calibrarSensoresPresion() {

    DFPlayerMini.play(sonidoCalInicio); // Reproducir sonido de inicio de calibración
    digitalWrite(pinLedVerde, LOW); // Apagar LED verde

    Serial.println(F("☐ ----- Verificando sensores de presión (ADS1115)..."));

    // Parpadeo LED verde 5 veces
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        if (!pausa(150)) return false;
        digitalWrite(pinLedVerde, (i % 2 == 0) ? LOW : HIGH);
    }
    // Mostrar mensaje OLED mientras se verifica
    u8g2.clearBuffer();
    u8g2.drawUTF8(0, 28, "Verificando Sensores...");
    u8g2.sendBuffer();
    if (!pausa(1000)) return false;
    digitalWrite(pinLedVerde, HIGH); // Encender LED verde

    // Comprobamos si el ADS1115 está devolviendo valores válidos (no saturados)
    while (true) {
        int16_t rawFlexion = ads.readADC_Differential_0_1();
        int16_t rawExtension = ads.readADC_Differential_2_3();

        // Parpadeo LED verde 5 veces
        for (int i = 0; i < 5; i++) {
            if (!pausa(150)) return false;
            digitalWrite(pinLedVerde, (i % 2 == 0) ? LOW : HIGH);
        }

        bool flexionOk = abs(rawFlexion) < 1000;
        bool extensionOk = abs(rawExtension) < 1000;

        if (flexionOk && extensionOk) {
            Serial.println(F("⊙ ----- ADS1115 responde correctamente."));
            break;
        }
    }

    if (!flexionOk) Serial.println(F("✗ ----- Problema en A0-A1 (Flexión). Verificar conexiones."));
}
```

```

    if (!extensionOk) Serial.println(F("✗ ----- Problema en A2-A3 (Extensión). Verificar
conexiones."));

    // Mostrar mensaje OLED de fallo
    u8g2.clearBuffer();
    u8g2.drawUTF8(0, 28, "Fallo Verif. Sensores");
    u8g2.drawUTF8(0, 40, "Reintentando en 1s...");
    u8g2.sendBuffer();

    // Parpadeo LED verde 5 veces
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        if (!pausa(150)) return false;
        digitalWrite(pinLedVerde, (i % 2 == 0) ? LOW : HIGH);
    }
    Serial.println(F("🔄 ----- Reintentando detección en 1 segundo..."));
    if (!pausa(1000)) return false;
}

// Mostrar pantalla de calibración
u8g2.clearBuffer();
if (Modo == MODO_ASISTIDO) {
    u8g2.drawUTF8(0, 16, "Modo: Asistido");
} else if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
    u8g2.drawUTF8(0, 16, "Modo: Asistido Libre");
}
u8g2.drawUTF8(0, 28, "Calibrando sensores...");
u8g2.sendBuffer();

Serial.println(F("Calibrando Sensores..."));

// Calcular offset promedio con múltiples lecturas
long sumaFlex = 0;
long sumaExt = 0;
const int lecturas = 50;
for (int i = 0; i < lecturas; i++) {
    sumaFlex += ads.readADC_Differential_0_1();
    sumaExt += ads.readADC_Differential_2_3();
    delay(5); // Tiempo entre lecturas
}

zeroOffsetFlexion = sumaFlex / lecturas;
zeroOffsetExtension = sumaExt / lecturas;

// Mostrar offsets
u8g2.setCursor(0, 44);
u8g2.print("Offset Flexion: "); u8g2.print(zeroOffsetFlexion);
u8g2.setCursor(0, 56);
u8g2.print("Offset Extension: "); u8g2.print(zeroOffsetExtension);

```

```

u8g2.sendBuffer();

Serial.print(F("Offset Flexión: ")); Serial.println(zeroOffsetFlexion);
Serial.print(F("Offset Extensión: ")); Serial.println(zeroOffsetExtension);

// Parpadeo LED verde 10 veces
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    if (!pausa(150)) return false;
    digitalWrite(pinLedVerde, (i % 2 == 0) ? LOW : HIGH); // Parpadeo LED verde
}

// Mostrar lecturas normalizadas
int16_t rawFlexion = ads.readADC_Differential_0_1();
int16_t rawExtension = ads.readADC_Differential_2_3();
int16_t rawFlexionNormalizado = rawFlexion - zeroOffsetFlexion;
int16_t rawExtensionNormalizado = rawExtension - zeroOffsetExtension;

Serial.print(F("RAW Flexión:  ")); Serial.print(rawFlexion);
Serial.print(F(" | Normalizado: ")); Serial.println(rawFlexionNormalizado);
Serial.print(F("RAW Extensión: ")); Serial.print(rawExtension);
Serial.print(F(" | Normalizado: ")); Serial.println(rawExtensionNormalizado);

// Mensaje final de calibración correcta
// Parpadeo LED verde 15 veces
for (int i = 0; i < 15; i++) {
    if (!pausa(150)) return false;
    digitalWrite(pinLedVerde, (i % 2 == 0) ? LOW : HIGH);
}

u8g2.clearBuffer();
u8g2.drawUTF8(0, 28, "Calibracion Correcta");
if (Modo == MODO_ASISTIDO) {
    u8g2.drawUTF8(0, 50, "Inicio Asistido...");
} else if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
    u8g2.drawUTF8(0, 50, "Inicio Asistido Libre...");
}
u8g2.sendBuffer();
DFPlayerMini.play(sonidoCalFin); // Reproducir archivo Calibración Final mp3
Serial.println(F("☑ ----- Calibración correcta."));

// Si se recibe una interrupción por Bluetooth o el estado es 1, salir
if (verificarEntradaBluetooth() || Estado == 1) return false;

digitalWrite(pinLedVerde, HIGH);
return true; // Calibración con éxito, devuelve true
}

```

FUNCIÓN: ExtensionDeReposo

```
//-----
// FUNCIÓN: ExtensionDeReposo()
// Realiza la extensión de reposo del servo desde el ángulo especificado a 0° y espera 2 segundos
// Parámetros: AnguloFinalReposo (ángulo final de reposo)
//-----
void ExtensionDeReposo(int AnguloFinalReposo) {

    mostrarMensajeTemporal("Mover a reposo");
    DFPlayerMini.play(sonidoReposoIni);           // Reproducir archivo Reposo Inicio mp3
    Serial.println(F("○ ----- Preparación posición de reposo..."));
    delay(2000);                                   // Esperar 2 segundo para mostrar el mensaje

    // Mover servo al ángulo de reposo, ignora interrupción sensor contrario en Modo Asistido Libre (true)
    if (!moverGradualmente(AnguloFinalReposo, 0, true, true)) return; // Mover servo al ángulo de reposo
    0°

    extensionDeReposoHecha = true;                 // Marcar que la extensión de reposo se ha hecho

    ledcWrite(canalPWMvibrador, nivelVibradorPWM); // Activar el PWM del motor vibrador
    mostrarMensajeTemporal("Reposo Completado");
    DFPlayerMini.play(sonidoReposoComp);           // Reproducir archivo Reposo Completo mp3
    delay(2000);                                   // Esperar 2 segundo para mostrar el mensaje

    Serial.println(F(" ")); Serial.println(F("● ----- Extensión de reposo completa."));
}
}
```

FUNCIÓN: ejecutarRepeticiones

```
//-----
// FUNCIÓN: ejecutarRepeticiones()
// Ejecuta las repeticiones del ejercicio, moviendo el servo entre los ángulos de flexión y extensión
// con pausas de 1 segundo entre cada repetición.
//-----
void ejecutarRepeticiones() {
    Serial.println("▶ ----- Repetición " + String(repActual + 1)); // Mostrar nº de repetición actual

    if (Modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
        // --- Movimiento adaptativo al ángulo real y presión ---
        // Mover servo a ángulo de flexión
        int anguloInicio = constrain(LeerAnguloReal(), AnguloExtension, AnguloFlexion);
        if (!moverGradualmente(anguloInicio, AnguloFlexion)) return;
        if (Estado == 1) return;
        if (!pausa(1000)) return;
        if (Estado == 1) return; // Si se ha interrumpido el movimiento, salir de la función

        // Mover servo a ángulo de extensión
        int anguloFlex = constrain(LeerAnguloReal(), AnguloExtension, AnguloFlexion);
        if (!moverGradualmente(anguloFlex, AnguloExtension)) return;
        if (Estado == 1) return;
    }
}
```

```

    if (!pausa(1000)) return;

} else {
    // --- Movimiento fijo entre ángulos definidos ---
    if (!moverGradualmente(AnguloExtension, AnguloFlexion)) return; // Mover servo a ángulo de flexión
    if (Estado == 1) return;
    if (!pausa(1000)) return;
    if (Estado == 1) return; // Si se ha interrumpido el movimiento, salir de la función

    if (!moverGradualmente(AnguloFlexion, AnguloExtension)) return; // Mover servo a ángulo de extensión
    if (Estado == 1) return;
    if (!pausa(1000)) return;
}
Serial.println(F("")); Serial.println(F("☑ ----- Repetición completada"));
}

```

FUNCIÓN: ejecutarModo

```

//-----
// FUNCIÓN: ejecutarModo()
// Ejecuta el modo de operación seleccionado (Automático, Asistido o Asistido Libre)
//-----
void ejecutarModo(int modo) {

    if (movimientoEnCurso) return;
    movimientoEnCurso = true;

    // Calibrar si es asistido o asistido libre
    if (!extensionInicialHecha) {
        if (modo == MODO_ASISTIDO || modo == MODO_ASISTIDO_LIBRE) {
            calibrarSensoresPresion();
        }
        prepararExtensionInicial(LeerAnguloReal());

        // Solo en automático: pausa después de extensión inicial
        if (modo == MODO_AUTOMATICO && !pausa(2000)) {
            movimientoEnCurso = false;
            return;
        }
    }

    switch (modo) {
        case MODO_AUTOMATICO:
            Serial.println(F("🌀 ----- Empieza Modo Automático..."));
            break;
        case MODO_ASISTIDO:
            Serial.println(F("🌀 ----- Empieza Modo Asistido..."));
            break;
        case MODO_ASISTIDO_LIBRE:

```

```

        Serial.println(F("⦿ ----- Empieza Modo Asistido Libre..."));
        break;
    }

    // Ejecutar repeticiones
    if (repActual < Repeticion) {
        ejecutarRepeticiones();
        repActual++;

        if (repActual >= Repeticion) {
            Estado = 1;
            enviarDatosDuranteMovimiento(LeerAnguloReal());

            if (!extensionDeReposoHecha) {
                ExtensionDeReposo(LeerAnguloReal());
            }

            switch (modo) {
                case MODO_AUTOMATICO:
                    Serial.println(F("⦿ ----- Automático finalizado."));
                    break;
                case MODO_ASISTIDO:
                    Serial.println(F("⦿ ----- Asistido finalizado."));
                    break;
                case MODO_ASISTIDO_LIBRE:
                    Serial.println(F("⦿ ----- Asistido libre finalizado."));
                    break;
            }

            mostrarMensajeTemporal("Ejercicio Terminado");
            DFPlayerMini.play(sonidoFin);
            ledcWrite(canalPWMvibrador, 0);
            delay(4000);
            flagMensajeInicio = true;
        }
    }

    movimientoEnCurso = false;
}

```

```

//-----
// FIN DEL CÓDIGO
//-----

```

6.4. Guía de Usuario

En este apartado se muestra una guía de usuario, para conocer cómo utilizar y configurar la órtesis robótica ORActive desde la App y la visualización de mensajes: LED bicolor, pantalla OLED de la órtesis, sonido MP3 y sensor háptico (motor vibrador).

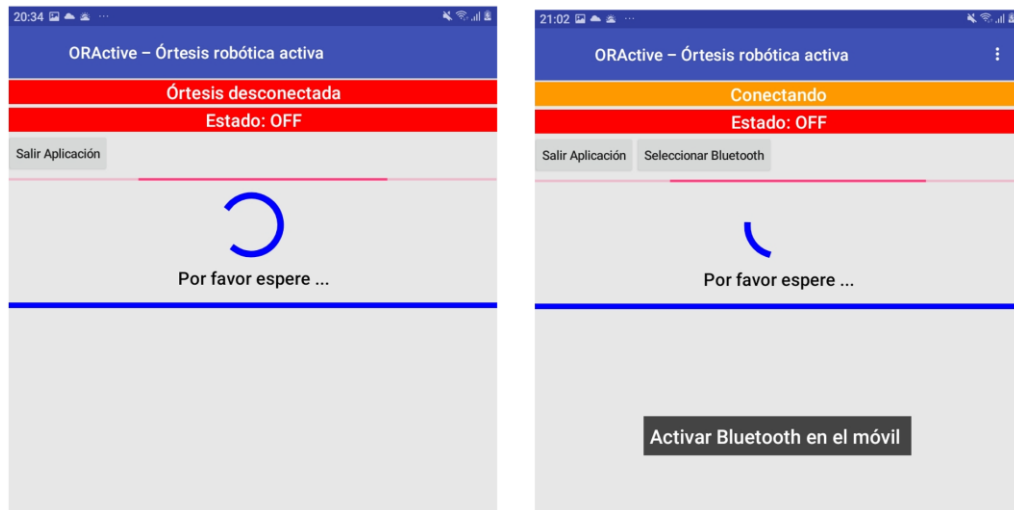
- En esta foto se muestra como es el icono de la App ORActive, para empezar se pulsa sobre él.



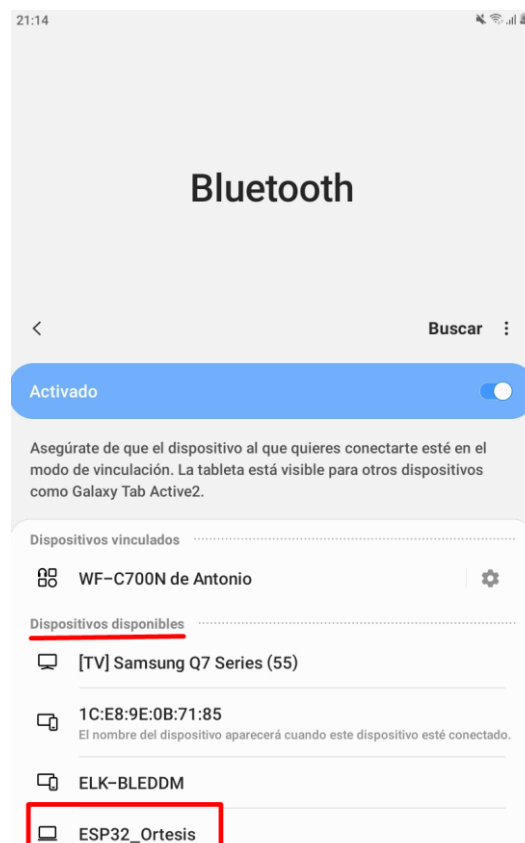
- Al iniciar el ESP32 se muestra el LED de estado en rojo mientras se inicializan todos los elementos, enviando el sonido MP3 “Órtesis robótica activa ORActive inicializando”, que al completarlo con éxito cambia el LED a verde y en la pantalla OLED se muestra el logotipo de ORActive.



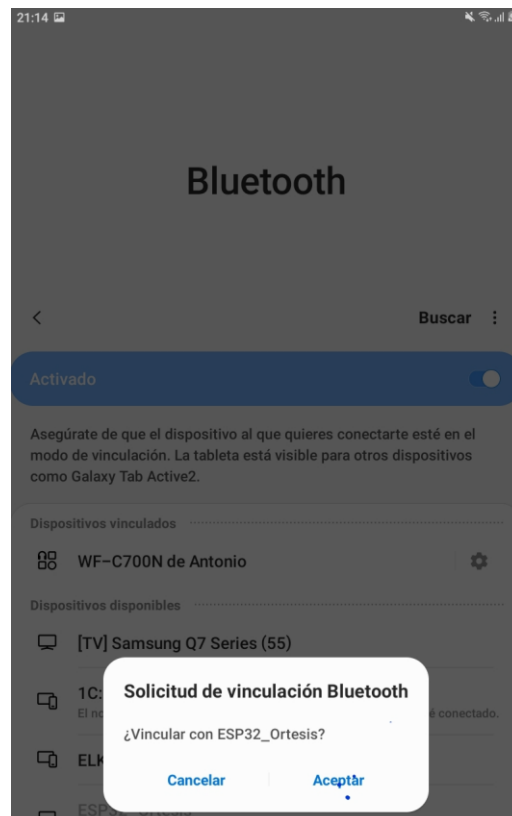
- Al iniciar la App comprueba si el *Bluetooth* del móvil está habilitado y si no lo está envía un mensaje para activarlo.



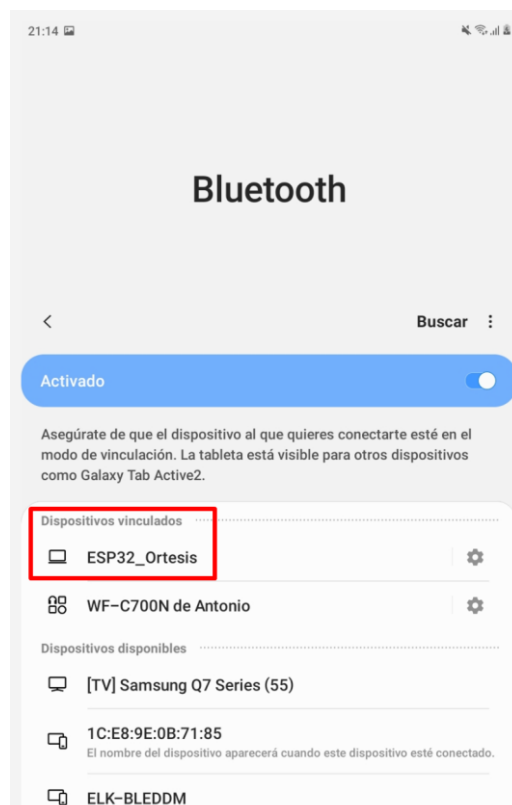
- Al activar el *Bluetooth* del móvil, sale el dispositivo *ESP32* de ORActive como disponible para vincular.



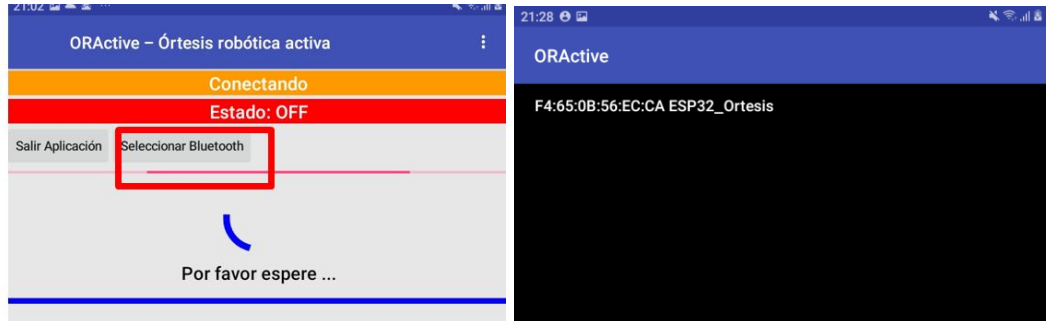
- Solicita permiso para vincular.



- Al aceptar el dispositivo del *ESP32* de ORActive queda vinculado.



- También está la opción de seleccionar otro dispositivo *Bluetooth ESP32* que tenga guardado en la base de datos del ESP32. En este caso solo está guardado un solo dispositivo ESP32.



- Al seleccionar el dispositivo del *ESP32* de ORActive queda vinculado y guardado en la base de datos del ESP32.

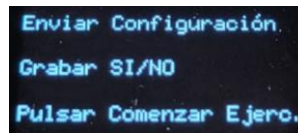
A continuación la App muestra una pantalla para introducir el nombre del usuario y aceptarlo.



- Al aceptar el usuario, presenta las opciones de **Configurar**, **Borrar la Base de Datos** del usuario o **Cargar un Ejercicio guardado** del usuario.

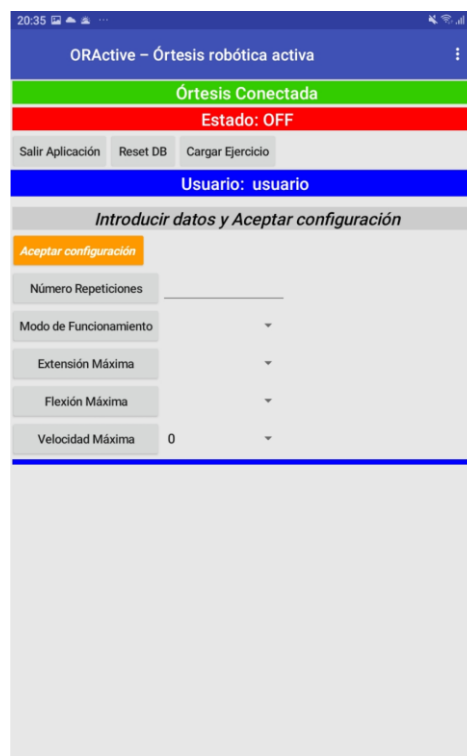


En ese momento en la pantalla OLED de la órtesis se envía el mensaje:



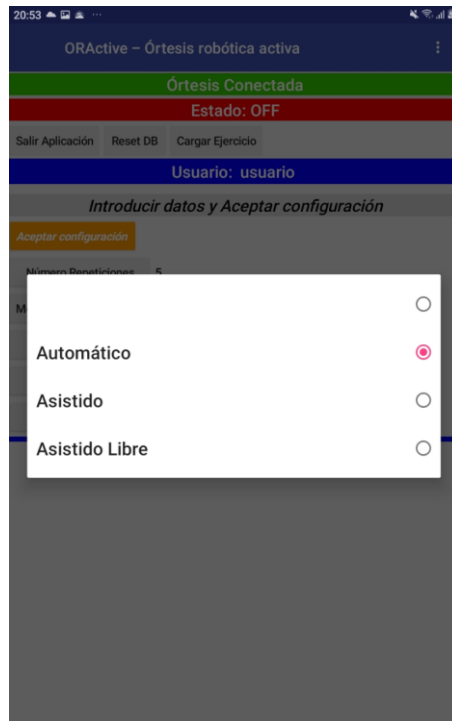
Y al reproductor MP3 el sonido “Para comenzar configura el ejercicio y enviar. Poner opción de grabar SI o NO y pulsar comenzar”.

- Al seleccionar **Configurar**, se presentan los distintos parámetros de configuración.

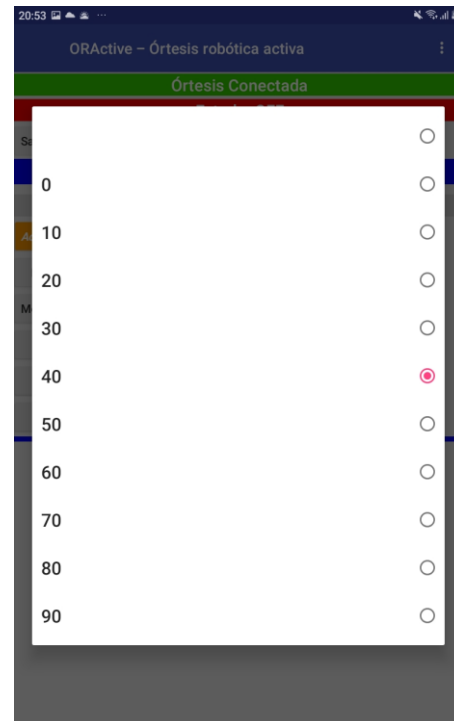


Además de introducir el número repeticiones, mediante desplegables se pueden asignar los valores de cada parámetro:

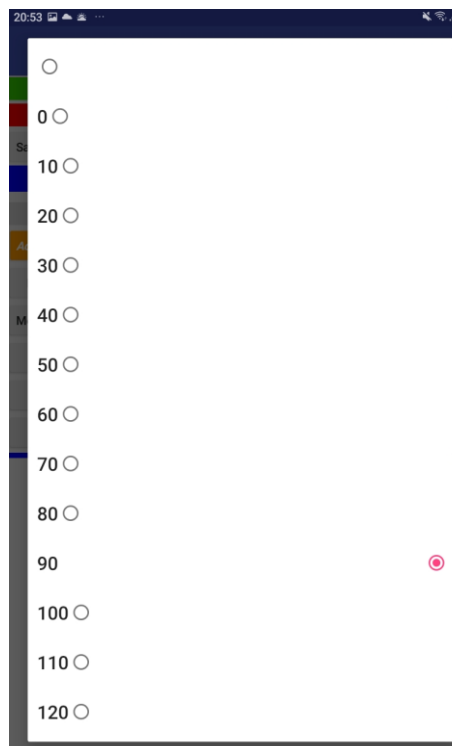
Modo de Funcionamiento:



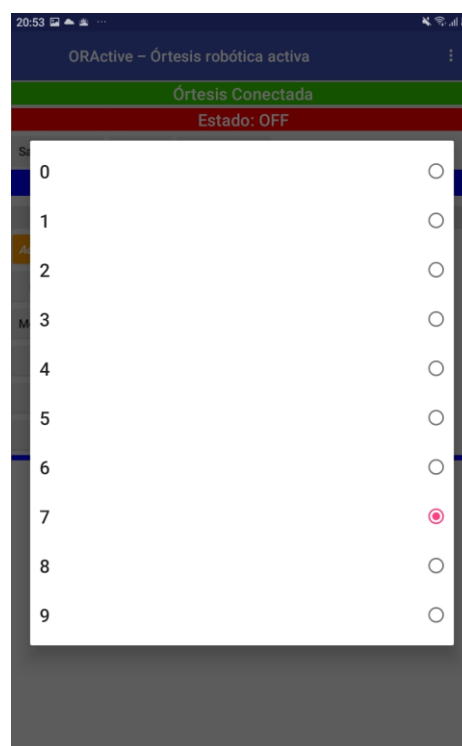
Extensión Máxima:



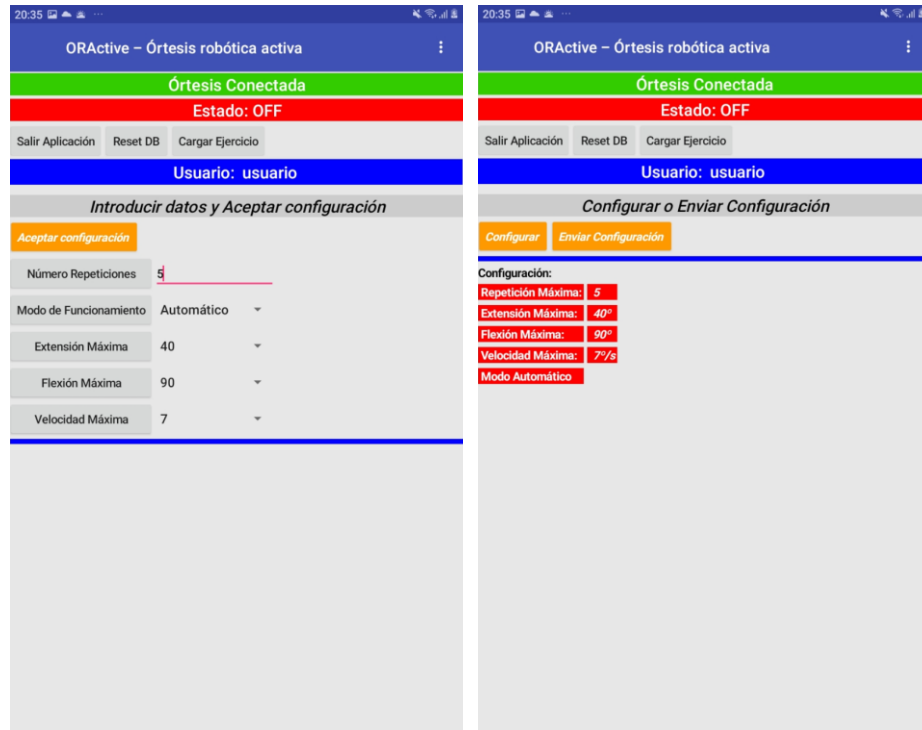
Flexión Máxima:



Velocidad Máxima:



- Una vez se han configurado los parámetros, quedan preparados para **aceptar la configuración**, una vez aceptados se muestran y se puede volver a configurar o enviarla al ESP32 de la órtesis ORActive.



- Al seleccionar **Enviar Configuración**, se envían los parámetros al ESP32 y se muestran los datos que tiene la órtesis enviados por el ESP32. Se muestra el botón de **Comenzar Ejercicio** y el interruptor de “Grabar Ejercicio SI/No”.



- Al seleccionar **Comenzar Ejercicio** se muestran los datos que envía el ESP32 durante la ejecución del ejercicio y parpadea el LED Verde, tiene dos formas: con grabación (gráfica de seguimiento) o sin grabación.

SIN Grabación:

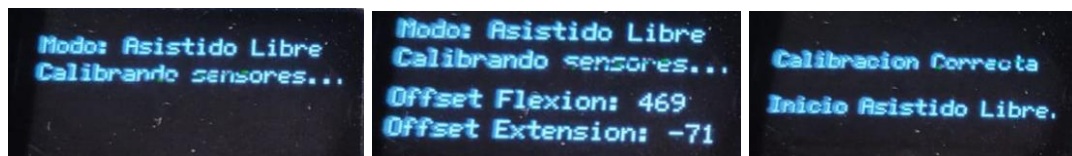


CON Grabación:

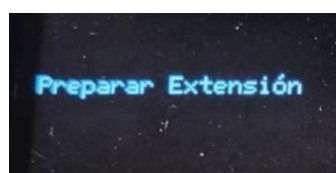


Al comenzar, en la pantalla de la órtesis se muestra:

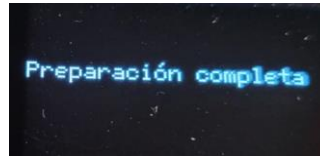
- En caso de funcionamiento en modo Asistido o Asistido Libre: primero se calibran los sensores de presión, mostrándose el proceso por la pantalla OLED, enviando al comenzar el sonido MP3 "Calibrando sensores" y al finalizar "Calibración correcta". Parpadea el LED Verde.



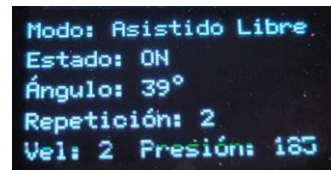
- A continuación se muestra el mensaje en la pantalla OLED de Preparar Extensión y el sonido MP3 "Preparar la extensión inicial", que es el ángulo de partida del ejercicio. Además se activa el sensor háptico.



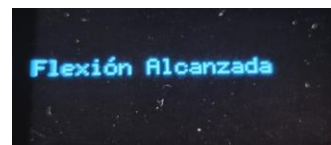
Una vez terminada la preparación se muestra con mensaje en la OLED y el sonido MP3 “Preparación inicial completada”. Además se activa el sensor háptico.



- Cuando comienza la ejecución del ejercicio, los datos se muestran en la pantalla OLED a la vez que en la App y el LED Verde parpadea.



Al alcanzar la extensión o flexión programada se muestra por mensaje y por sonido MP3 “Extensión máxima alcanzada” y “Flexión máxima alcanzada”. Además se activa el sensor háptico.

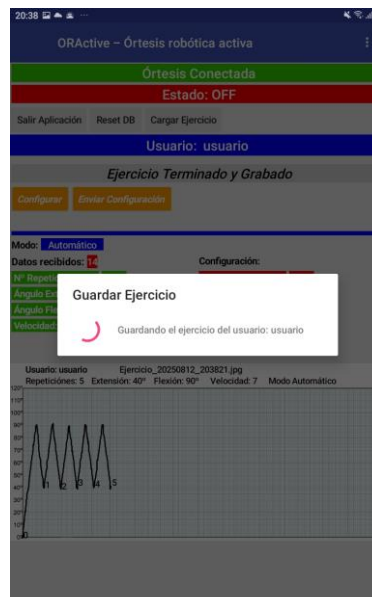


- Al terminar el ejercicio se notifica, si es con grabación se guarda en base de datos de la App y en la nube. Se prepara la App para configurar otro ejercicio o enviar el mismo ejercicio terminado.

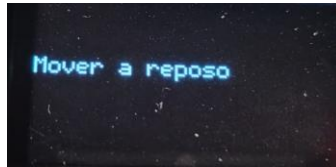
SIN Grabación:



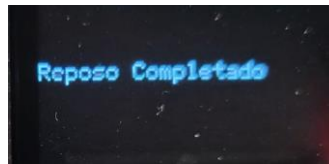
CON Grabación:



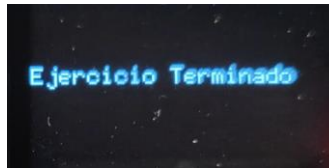
Mientras tanto se envía mensaje a la pantalla OLED de mover a reposo y el sonido MP3 “Mover a reposo inicial”, para terminar en el ángulo de preparación de inicio.



Al finalizar el reposo también se envía mensaje a la pantalla OLED y el sonido MP3 “Reposo completado”. Además se activa el sensor háptico.



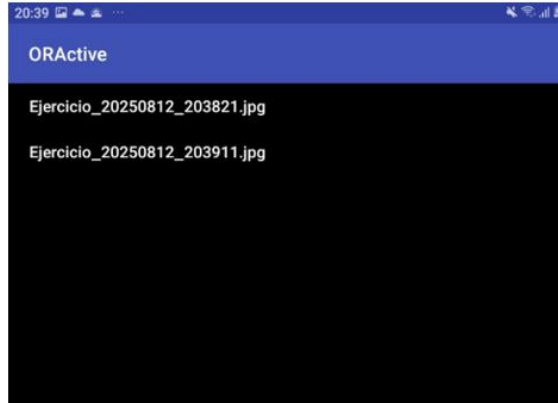
Para mostrar finalmente el mensaje de ejercicio terminado y el sonido MP3 “Ejercicio terminado”.



- Durante la ejecución del ejercicio se muestra el botón de **Terminar Ejercicio**, al activarlo se envía la orden de detener el ejercicio al ESP32 de la órtesis y se notifica por pantalla que se ha interrumpido, se guarda o no dependiendo de la opción que tenía configurada el ejercicio.



- Cuando está activo el botón de **Cargar Ejercicio**, se puede buscar y cargar desde la base de datos local de la App, un ejercicio que ha sido grabado anteriormente. Al activarlo se muestran un listado para seleccionar.



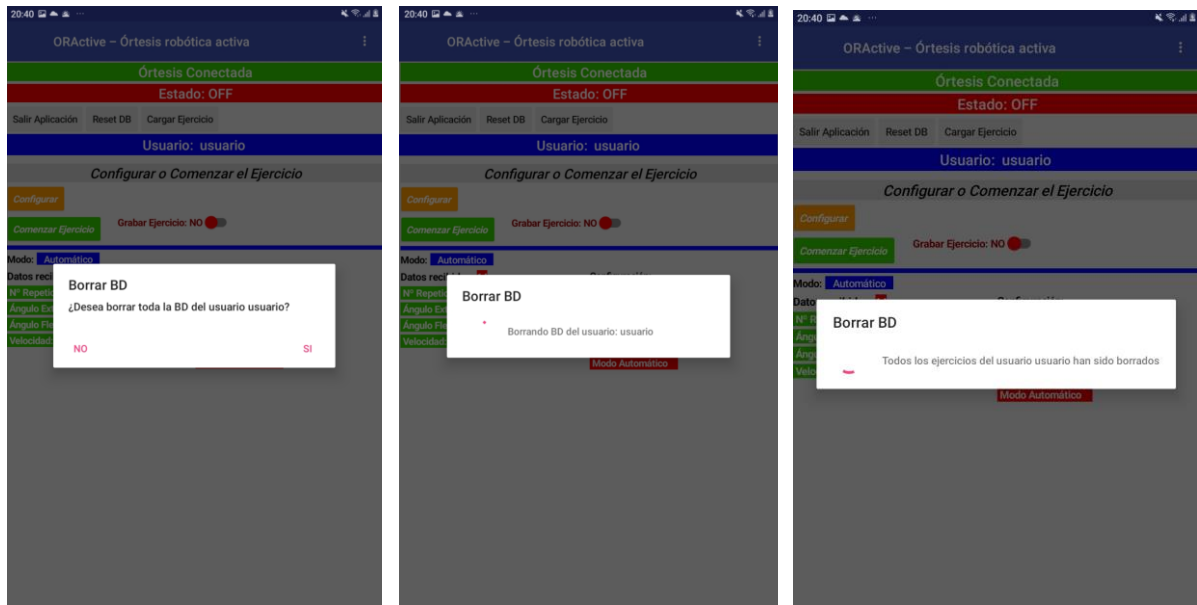
Seleccionando un ejercicio (por ejemplo el primero), se carga la imagen del ejercicio y sus parámetros de configuración para poder enviarlos al ESP32 de la órtesis o guardarlos en la nube. En este caso Ejercicio_20250812_203821.jpg:



- Repeticiones máximas: 5
- Extensión Máxima: 40°
- Flexión Máxima: 90°
- Velocidad Máxima: 7
- Modo: Automático



- Cuando está activo el botón de **Reset BD**, al pulsarlo se pueden borrar todos los ejercicios de la base de datos del usuario, con confirmación.



- Si se pierde la conexión de *Bluetooth* del ESP32, tanto si se ha introducido el usuario como sí no o se está en cualquier fase del programa, se reintentamente la recuperación de la conexión.



6.5. Montaje del sistema ORActive

En esta sección se expone todo el montaje del sistema ORActive, donde se compone del montaje de la órtesis, servomotor, alimentación y todo el hardware con sus respectivas cajas.

6.5.1. Montaje mecánico de la órtesis ORActive

La órtesis robótica de rodilla se compone de un modelo comercial de una órtesis mecánica de rodilla, a la que se modifica añadiendo el soporte fijo de madera en la parte lateral sobre el muslo al que se fija el servomotor, cuyo eje se centra con el eje de rotación de la rótula y se acopla a la biela de aluminio que se fija a la zona tibial de la órtesis, transfiriendo el par de giro directamente sobre la articulación y desplazando la pierna según el ángulo de movimiento del servomotor (figura 68).

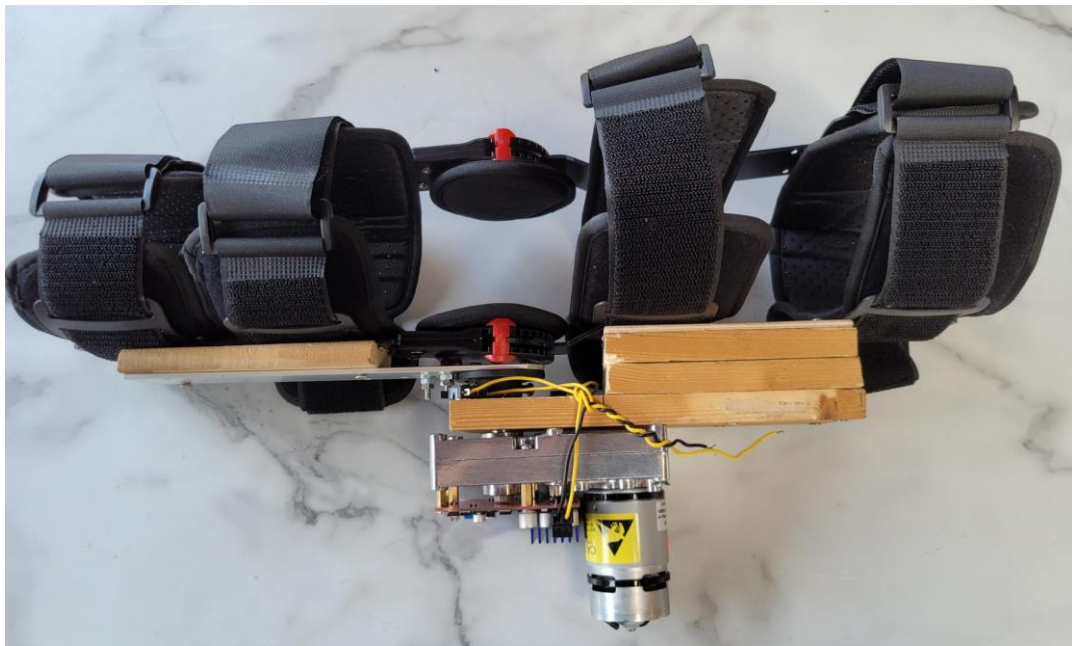


Figura 68. Órtesis robótica de rodilla ORActive. Foto propia.

En la figura 69 se muestra el detalle de la unión de la biela con el eje del servomotor y la parte fija del muslo, se observa el switch de final de carrera de Extensión, como seguridad se respeta el rango angular funcional de la

rodilla (Extensión 0° a 90° y Flexión 0° a 120°) para evitar hiperextensión o flexión excesiva.

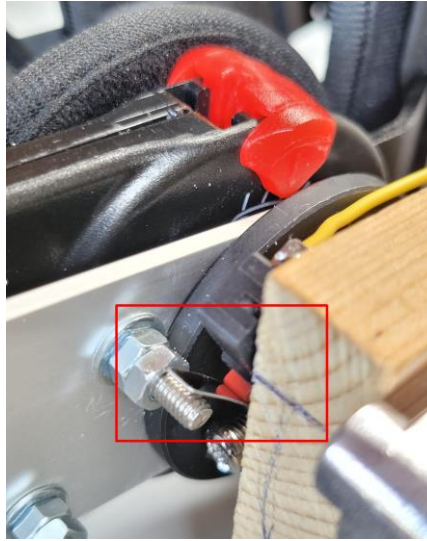


Figura 69. Detalle del final de carrera Extensión. Foto propia.

En la figura 70 se muestra en detalle la biela que se acopla a la parte tibial de la órtesis, se puede observar el detalle de los topes de los finales de carrera para dar seguridad a la órtesis en los ángulos máximos permitidos.

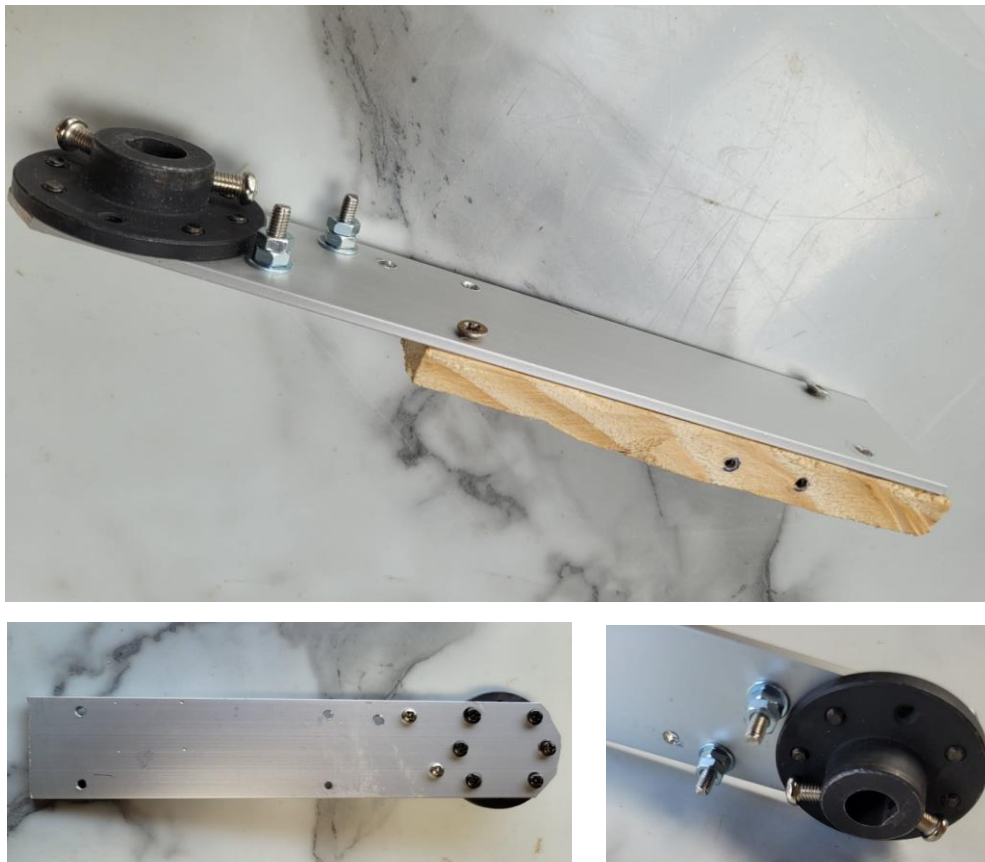


Figura 70. Biela de la órtesis robótica. Foto propia.

En la figura 71 se muestra el detalle de la parte fija del muslo de la órtesis robótica que soporta el servomotor, donde se muestran los finales de carrera de Extensión (superior) y Flexión (inferior).

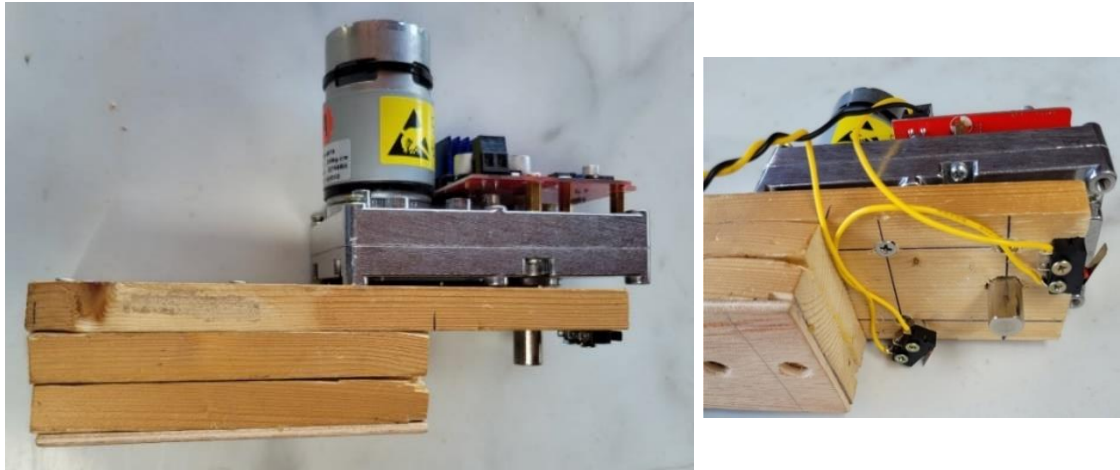


Figura 71. Parte fija del muslo de la órtesis robótica. Foto propia.

Para mejorar la rigidez estructural y la consistencia mecánica de la órtesis, como se muestra en las figuras 72 y 73 las piezas se unen mediante un medio tubo de PVC en forma de “C” (media caña) en el muslo y la espinilla: donde parte posterior es fija y la anterior se une con bisagra y cierre de palometa para poder colocar la pierna.

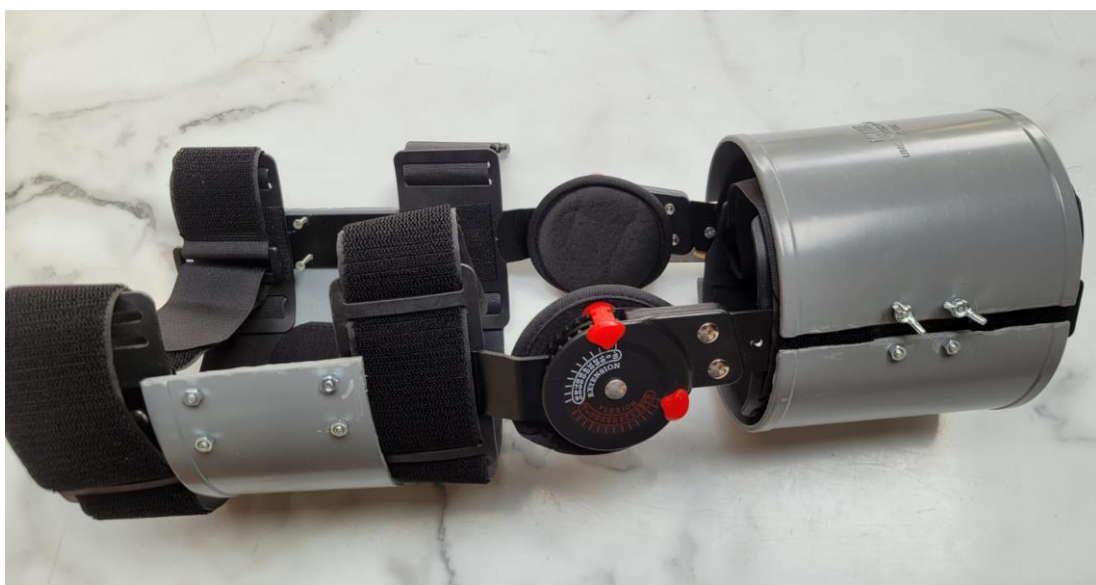


Figura 72. Unión de las piezas del muslo y espinilla de la órtesis cerrada. Foto propia.



Figura 73. Unión de las piezas del muslo y espinilla de la órtesis abierta. Foto propia.

En la parte anterior de la zona tibial se coloca el sensor de presión de Extensión y en la parte posterior el sensor de Flexión, de modo que se detecte la intención de movimiento cuando el usuario ejerza presión para extender o flexionar la pierna. En la zona posterior del muslo se coloca el actuador háptico (motor vibrador) para avisar al usuario de forma táctil de ciertas fases del movimiento. En la figura 74 se muestra la instalación de estos sensores.

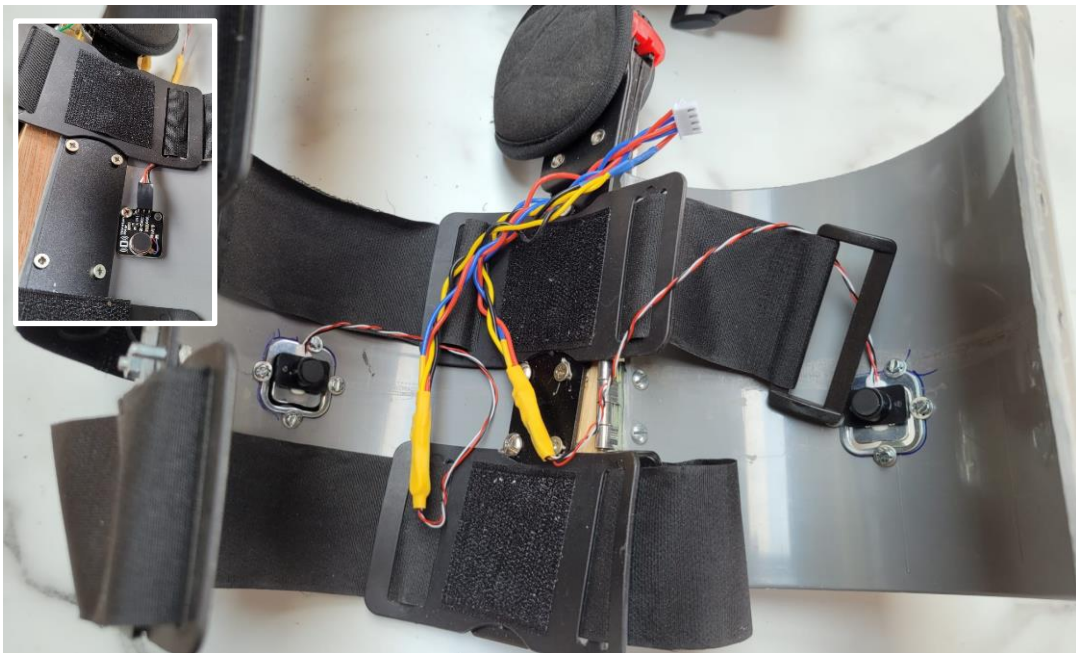


Figura 74. Instalación de sensores de presión Extensión y Flexión en la zona tibial. Sensor háptico en zona posterior del muslo. Foto propia.

6.5.2. Montaje del hardware del sistema

Primeramente se muestra como está todo el hardware conectado entre sí, en la figura 75 se muestra un detalle de las conexiones de alimentación.



Figura 75. Detalle de las conexiones de alimentación. Foto propia.

En la figura 76 se muestra todas las conexiones eléctricas del sistema ORActive.

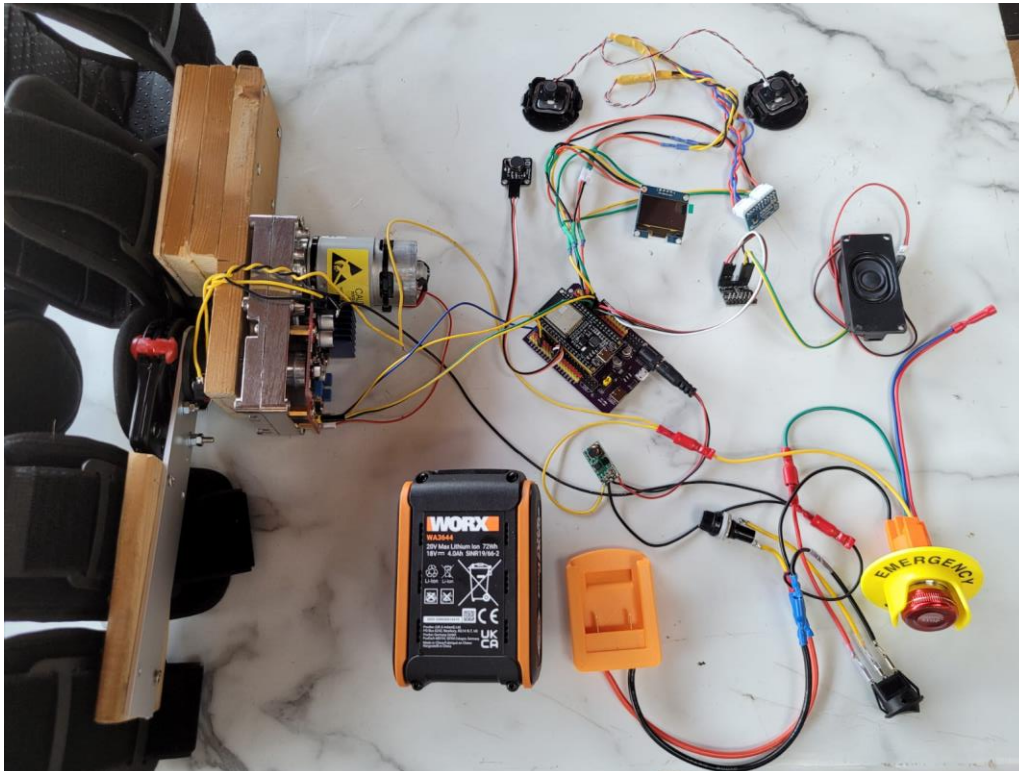


Figura 76. Conexiones eléctricas del sistema ORActive. Foto propia.

El montaje del hardware del sistema ORActive se va a dividir en la caja del soporte fijo servo y la caja del cinturón de batería, junto a los cables de conexión entre ellas y los sensores de presión.

- Caja del cinturón de batería.

En esta caja se instalarán los elementos

- Pantalla OLED.
- Convertidor de tensión (regulador *DD7212SA*) con velcro.
- Interruptor ON/OFF.
- Fusible.
- Botón de emergencia con enclavamiento.
- Batería con su soporte y conexión.
- Altavoz.

De esta caja salen hacia la caja del soporte fijo servo:

- Dos cables (rojo, negro) de conexión del altavoz al reproductor MP3 *DFPlayer Mini*.
- Conector de 3 hilos, dos que sacan +12 V (rojo), *GND* (negro) (conector *Jack* de alimentación a placa de expansión ESP32), además del hilo de ida de los +20 V a los interruptores de final de carrera (amarillo).
- Conector de 6 hilos de los cuales 4 son del bus *I²C* (+5 V rojo, *GND* negro, *SDA* verde, *SCL* amarillo), el hilo blanco es el retorno de los +20 V de los interruptores de final de carrera y el azul *GND*.

En la figura 77 se muestra un detalle de los conectores de salida y de la tapa de la caja.

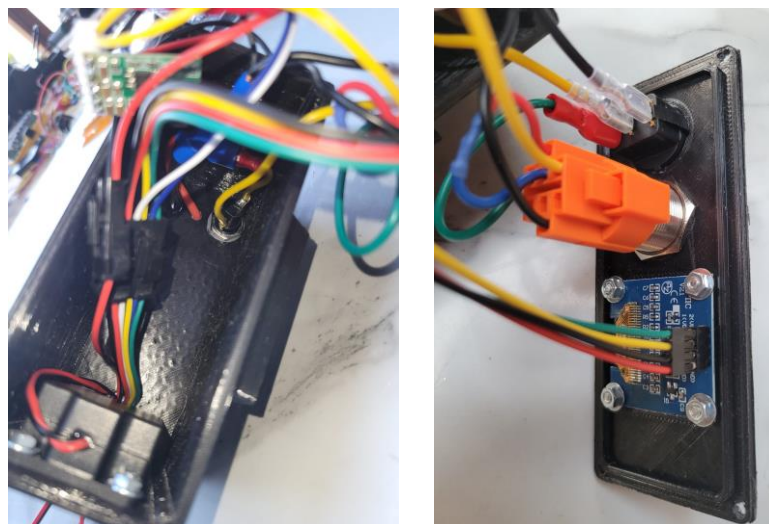


Figura 77. Detalle de los conectores de salida y de la tapa de la caja del cinturón de batería.
Foto propia.

En la figura 78 se ve una vista general de la instalación y en la figura 79 el resultado final.

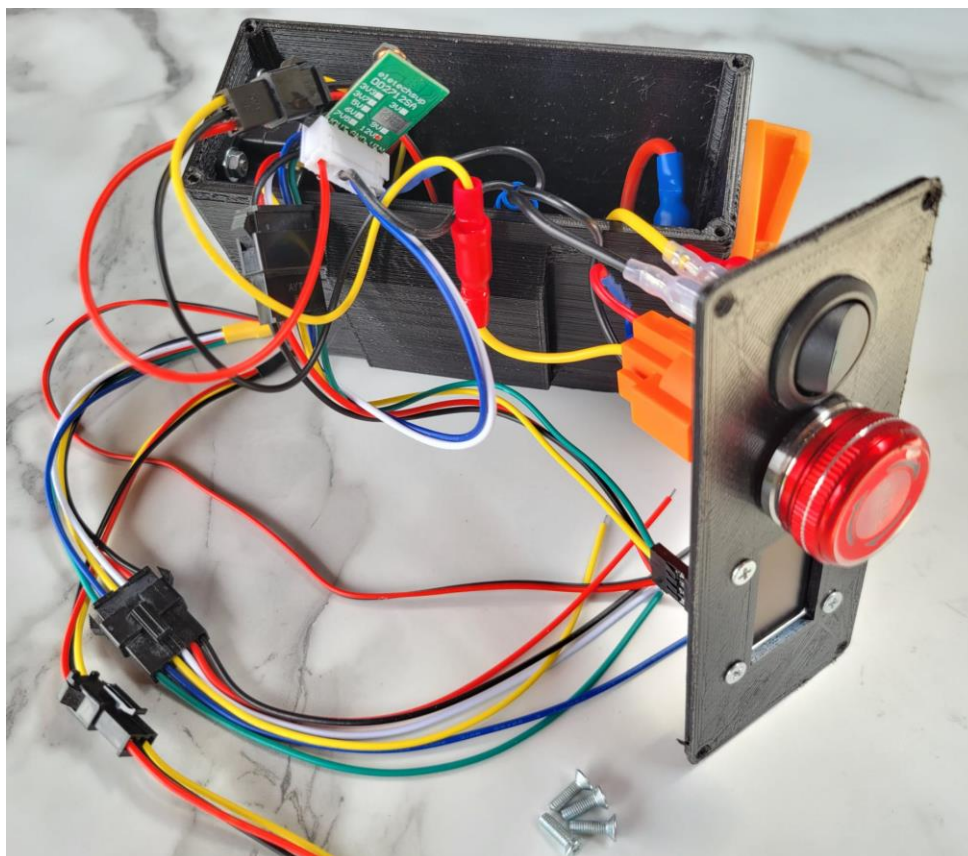


Figura 78. Vista general de la instalación en la caja del cinturón de batería. Foto propia.



Figura 79. Montaje caja del cinturón de batería Foto propia.

- Caja del soporte fijo servo.

En esta caja se instalarán los elementos

- Módulo microcontrolador *AZDelivery ESP32 Dev Kit C V4* (38 pines).
- reproductor *MP3 DFPlayer Mini*.
- *ADS 1115*, convertidor ADC de alta precisión con 4 canales de entrada y PGA.
- Led bicolor (rojo, verde).

De esta caja salen hacia el servomotor:

- Tres cables de alimentación (azul *GND*, amarillo ida de los +20V a los interruptores de final de carrera y verde el retorno de los +20 V).
- Dos cables (amarillo + negro) para la señal PWM del control de posición del servo, que conecta ESP32 pin *GPIO 18* con el Servo posición 1 pin "S" (amarillo), ESP32 pin *GND* con el Servo posición 3 pin "-" (negro).
- Dos cables (amarillo + verde) de la lectura del ángulo del servo (el *encoder* magnético), que conecta ESP32 pin *GPIO 34* con el Servo posición 4 pin "S" (amarillo), ESP32 pin *GND* con el Servo posición 4 pin "G" (azul).
- Un conector de 6 hilos y otro de 3 hilos que va a la caja del cinturón de batería, que se ha descrito antes la función de cada cable.
- Dos conectores del *ADS 1115* a los sensores de presión:
 - Conector de 4 hilos (2 rojos y 2 negros) que unen las *salidas diferenciales* de los sensores de presión con el *ADS 1115*.
 - Conector de 2 hilos de alimentación a los sensores de presión +3,3 V rojo y *GND* negro.
- Cable de 3 hilos del sensor háptico, que conecta ESP32 pin *GPIO 26* con sensor háptico pin entrada "IN" (blanco), +3,3 V hilo rojo y *GND* hilo negro.
- Conector *Jack* de alimentación de +12 V a la placa de expansión del *ESP32 Dev Kit C V4* (38 pines), que conecta con los pines del

conector de 3 hilos que viene de la caja del cinturón de batería (+12 V rojo, GND negro).

- Dentro de la caja hay un conector *USB tipo C* para conectar un puerto de ordenador y poder cargar el software del ESP32, también se utiliza para entrar en “*Modo Ingeniería*” para realizar labores de mantenimiento y depuración en averías.

En la figura 80 se muestra las conexiones de los elementos de la caja.

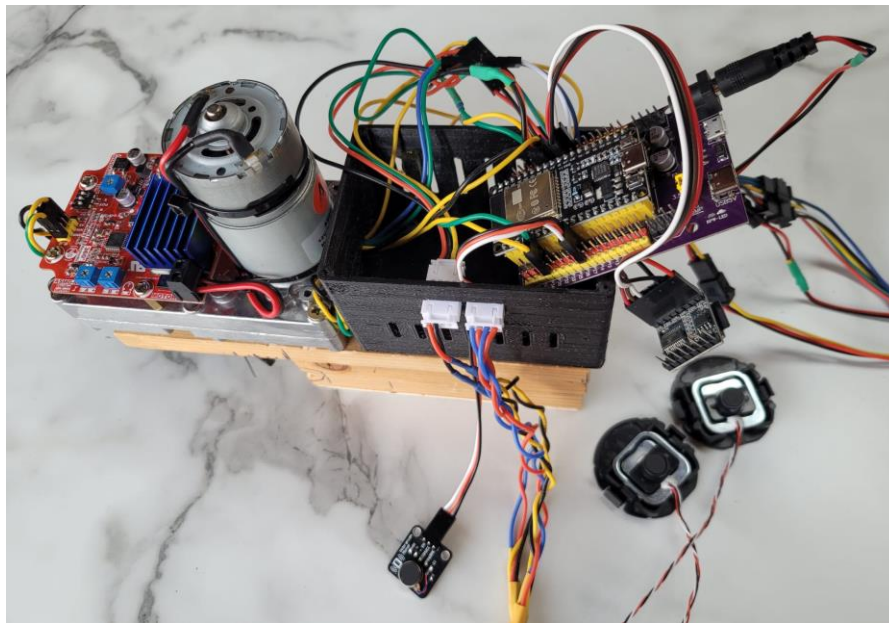


Figura 80. Elementos de la caja del soporte fijo servo. Foto propia.

Y en la figura 81 se muestra un detalle de la disposición de cada uno.

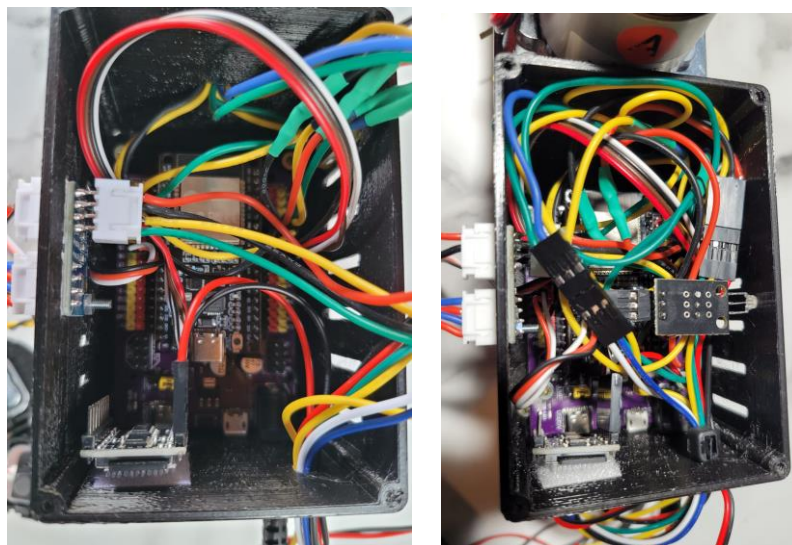


Figura 81. Disposición de los componentes en la caja del soporte fijo servo. Foto propia.

Una vez montado todo el hardware del sistema se muestra en la figura 82 el resultado del montaje de la caja del soporte fijo servo y cinturón de batería.

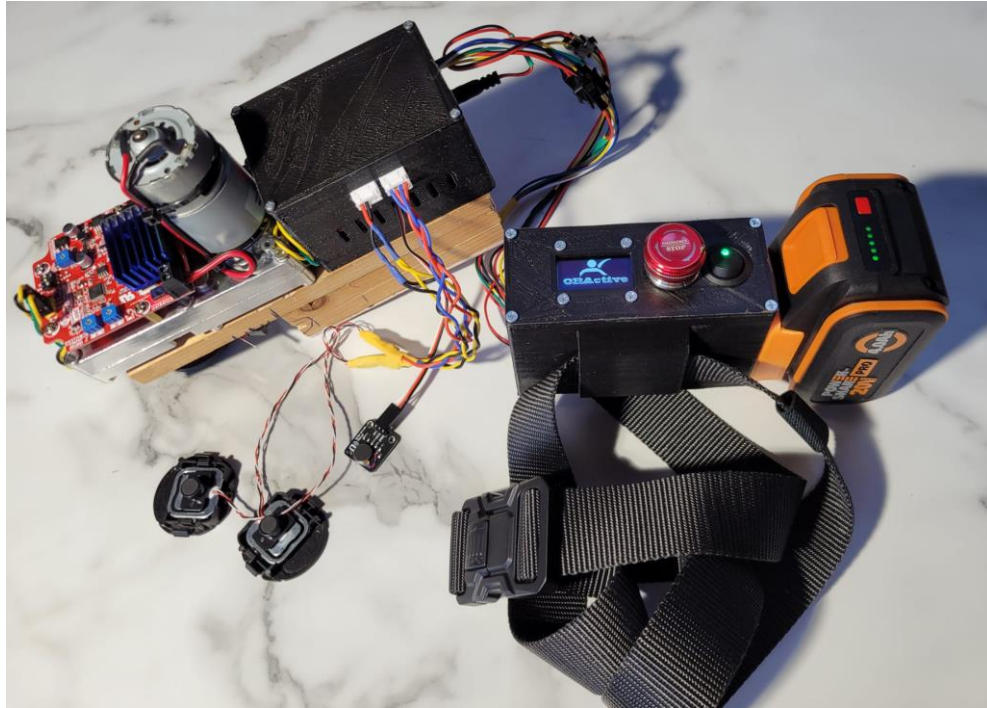


Figura 82. Montaje final de las dos cajas del sistema. Foto propia.

En la figura 83 se muestra la Órtesis Robótica Activa de rodilla ORActive totalmente terminada.



Figura 83. Órtesis Robótica Activa de rodilla ORActive totalmente terminada. Foto propia.

Se comprueba que el peso del prototipo ORActive es de 4,020 kg:

- Parte órtesis de la pierna: 2,470 kg
- Parte cintura sin batería: 0,440 kg
- Batería: 0,670 kg

En la figura 84 se muestra la Órtesis Robótica Activa de rodilla ORActive montada en el usuario.



Figura 84. Órtesis Robótica Activa de rodilla ORActive, montaje en usuario. Foto propia.

6.6. Presupuesto prototipo sistema ORActive

Para la construcción del prototipo ORActive se ha elaborado un presupuesto total detallado. En la Tabla 1 se detallan todos los materiales, componentes electrónicos y mecánicos empleados, con las cantidades utilizadas, coste por unidad y subtotal correspondiente, así como el total del proyecto. En el desglose se incluyen los módulos electrónicos:

- Microcontrolador ESP32.
- Pantalla OLED.
- Convertidor ADC *ADS1115*.
- Reproductor MP3 *DFPlayer Mini*.
- Módulo háptico de motor vibrador.
- Convertidor DC-DC.
- Diodo LED bicolor.
- Sensores de fuerza (celdas de carga de 5 kg).
- Actuador principal servomotor ASMG-MTA.

Además, se muestran los consumibles y accesorios necesarios para el montaje de la órtesis robótica activa, como pueden ser: cables, conectores, kit de tubos termorretráctiles, tornillería, ferretería y material de impresión 3D. También se incluyen los elementos de energía:

- Componentes de alimentación: batería de litio recargable *WORK 20 V y 4000 mAh*, adaptador de batería.
- Elementos de seguridad: portafusibles, fusibles de protección, interruptor de emergencia y microinterruptores de final de carrera.

Otros costes asociados son: el soporte ortopédico estabilizador de rodilla, cinturón militar, *Tablet Samsung Galaxy Tab Active 2 LTE* y software libre.

El **coste total** estimado del prototipo ORActive asciende a **264,62 €**, **garantizando la viabilidad económica** del diseño y finalidad del TFM.

Presupuesto prototipo ORActive			
Cantidad	Concepto	Precio Ud.	Subtotal
1	Ud. Soporte ortopédico estabilizador con bisagras de articulación de rodilla	21.39 €	21.39 €
1	Ud. ASMG-MTA-Servo Digital de alto Torque	88.69 €	88.69 €
1	Ud. AZDelivery ESP32 Dev Kit C V4	13.99 €	13.99 €
1	Ud. AZDelivery 1,3 Pulgadas OLED Display I2C SSH1106 Chip 128 x 64 Píxeles	10.99 €	10.99 €
1	Ud. AZDelivery Mini MP3 DFPlayer	6.99 €	6.99 €
1	Ud. LuluDa Altavoz Multimedia Estéreo	2.50 €	2.50 €
1	Ud. AZDelivery modulo Compatible con ADS1115 ADC 16bit 4 Canales	7.99 €	7.99 €
1	Ud. Diodo Led bicolor + resistencia	0.03 €	0.03 €
1	Ud. Placa de desarrollo de ESP32-DevKitC con regulador de voltaje	2.59 €	2.59 €
1	Ud. Conector de alimentación macho de 2,1 x 5,5 mm	0.56 €	0.56 €
1	Ud. Interruptor parada de emergencia con enclavamiento con LED 24V	13.66 €	13.66 €
2	Ud. Micro interruptor de límite No NC 2/3 Pin varilla	1.30 €	2.60 €
1	Ud. Adaptador para batería de litio Worx de 4 pines 14AWG	4.39 €	4.39 €
1	Ud. Batería de litio recargable WORK 20V 4000 mAh	36.79 €	36.79 €
1	Ud. Motor de vibración PWM	0.52 €	0.52 €
1	Ud. Módulo convertidor de DC-DC 3A Placa reguladora de voltaje reductor 4,5 V-27V a 12V	2.59 €	2.59 €
1	Ud. Portafusibles de tubo de vidrio con fusible 5 A	0.22 €	0.22 €
1	Ud. Interruptor basculante redondo de 4 piezas, 12 V, 20a, CC, iluminado, 3 pines, 2 vías	0.55 €	0.55 €
1	Ud. Kit de tubos termorretráctiles	1.44 €	1.44 €
2	Ud. Celda de carga 5kg	0.82 €	1.64 €
1	Ud. Cables y conectores	2.50 €	2.50 €
1	Ud. Adaptador USB C de 90 Grados	3.50 €	3.50 €
1	Ud. Tornillería varia, ferretería y material 3D	25.50 €	25.50 €
1	Ud. Cinturón militar	13.00 €	13.00 €
1	Ud. Software Libre	0.00 €	0.00 €
1	Ud. Tablet Samsung Galaxy Tab Active 2 LTE (propiedad)	0.00 €	0.00 €
		TOTAL	264.62 €

Tabla 1. Presupuesto del prototipo ORActive. Elaboración propia.

7. Ajustes y comprobaciones del sistema ORActive

Es importante realizar una serie de comprobaciones y ajustes importantes para garantizar el correcto funcionamiento y seguridad (eléctrica y mecánica) del sistema ORActive.

7.1. Consumo energético.

Un aspecto importante en el diseño de ORActive, es el análisis del consumo energético y la autonomía de la batería para determinar la viabilidad del dispositivo en sesiones de rehabilitación. Para ello se han realizado pruebas de consumo eléctrico utilizando la fuente de alimentación de laboratorio programable *RIDEN RD6030-W* (figura 85), ya que muestra con precisión los valores de corriente, tensión y potencia suministrada. [42]

La fuente es capaz de entregar a su salida un rango de 0 hasta 60 V y 30 A (hasta 1800 W). Dispone de funciones avanzadas como: control digital,

pantalla gráfica, protección contra sobrecorriente y sobretensión, así como una ondulación de salida típica de entre 50 mV a 90 mV, además de conexión y software para PC.



Figura 85. Fuente de alimentación RIDEN RD6030-W. Fuente:[42]

Durante la prueba se observó el siguiente comportamiento del sistema ORActive:

- En reposo: El consumo con el servomotor inactivo era de entre 150 mA y 200 mA, que corresponde a una potencia de entre 3 W y 4 W a 20 V.
- En funcionamiento (Modo Automático, velocidad 8): El consumo con el servomotor actuando variaba entre 450 mA y 1120 mA, si la media aproximada es de 800 mA, la potencia es de unos 16 W.

Con estos datos se puede hacer el cálculo de la autonomía de la batería de 20 V y 4000 mAh (4 Ah), así su energía aproximada será de:

$$E = V \cdot C = 20V \cdot 4Ah = 80Wh$$

En reposo, la autonomía t es de:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{80}{4} \approx 20 \text{ horas}$$

En funcionamiento, la autonomía t será de:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{80}{16} \approx 5 \text{ horas}$$

Con estos datos de autonomía se garantiza que el prototipo ORActive se puede usar durante sesiones prolongadas, sin necesidad de recargar la batería con frecuencia, lo cual puede ayudar a mejorar la aceptación del usuario.

7.2. Señales PWM.

En los servomotores, para realizar el control de la posición se varía la anchura del pulso en microsegundos, manteniéndose constante la frecuencia de la señal. Para el servomotor *ASMG-MTA* utilizado la frecuencia $f = 50 \text{ Hz}$, el periodo es:

$$T = \frac{1}{f} = 20000 \mu s$$

Para posicionar el servo se utiliza T_{ON} (ancho del pulso en nivel alto dentro de cada ciclo). Por otra parte se define el *Duty cycle* D (%) como:

$$D = \frac{T_{ON}}{T} \cdot 100 (\%)$$

En el caso del servomotor *ASMG-MTA* se utiliza un T_{ON} de $1000 \mu s$ para 0° ($T_{ON_{min}}$) y de $2000 \mu s$ para 360° ($T_{ON_{max}}$) o una D entre 5% y 10%.

El servo no interpreta directamente el *Duty cycle* en porcentaje, sino mediante la anchura del pulso (μs). Para realizar el cálculo del pulso correspondiente a un ángulo T_{ON_θ} con respecto al pulso máximo y mínimo, se sigue la fórmula de interpolación lineal:

$$T_{ON_\theta} = T_{ON_{min}} + \frac{\theta}{\theta_{max}} \cdot (T_{ON_{max}} - T_{ON_{min}})$$

Para el caso del ESP32 el PWM se configura mediante la función propia `ledcSetup(canal, frecuencia, resolucionBits)` y para asignar el pin `ledcAttachPin(pinServo, canalPWMServo)`. Para crear una señal PWM es `ledcWrite(canal, duty)` que necesita el número de *canal PWM* configurado y un valor numérico entero de *Duty cycle* con una resolución de N bits (si resolución 12 *bits* = 4096), mediante:

$$Duty = \frac{T_{ON_\theta}}{T} \cdot 2^N$$

Así el cálculo teórico para 0° , 90° y 120° es de:

Ángulo	$T_{ON} (\mu s)$	Duty (<code>ledcWrite</code>)	Duty cycle (%)
0°	$1000 \mu s$	205	5.0 %

Ángulo	T_{ON} (μs)	Duty (ledcWrite)	Duty cycle (%)
90°	1250 μs	256	6.25 %
120°	1333 μs	273	6.67 %

Para comprobar la correcta configuración realizada en el ESP32 de las dos señales PWM generadas se utiliza un osciloscopio digital *Fosc21C1* (figura 86) de 2 canales con frecuencia de muestreo a 1 *Mhz*, que se conecta a PC por el puerto USB y permite la captura de datos y registro de las señales mediante un software propio, con funciones de medición de ancho de pulso, periodo, frecuencia, tensión pico a pico y valores medios. [43]



Figura 86. Osciloscopio digital *Fosc21C1*. Fuente: [43]

Se mide la señal en el pin *GPIO 18* del ESP32 la señal PWM de posicionamiento del servo.

En la figura 87 se muestra el correcto funcionamiento para un ángulo de 0°.

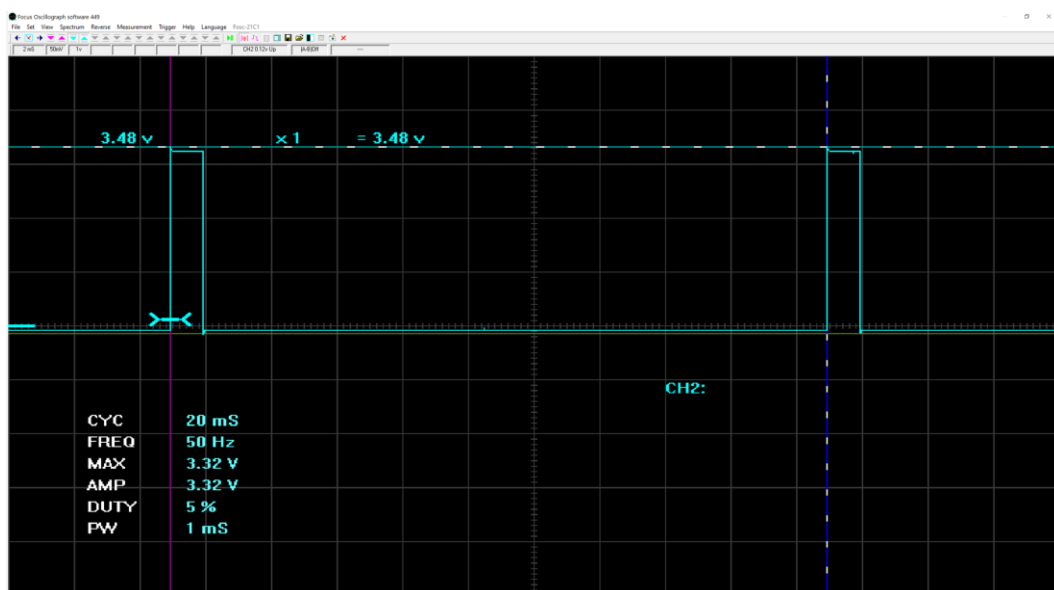


Figura 87. Señal PWM servomotor medida para 0°. Elaboración propia.

En la figura 88 se muestra el correcto funcionamiento para un ángulo de 90° .

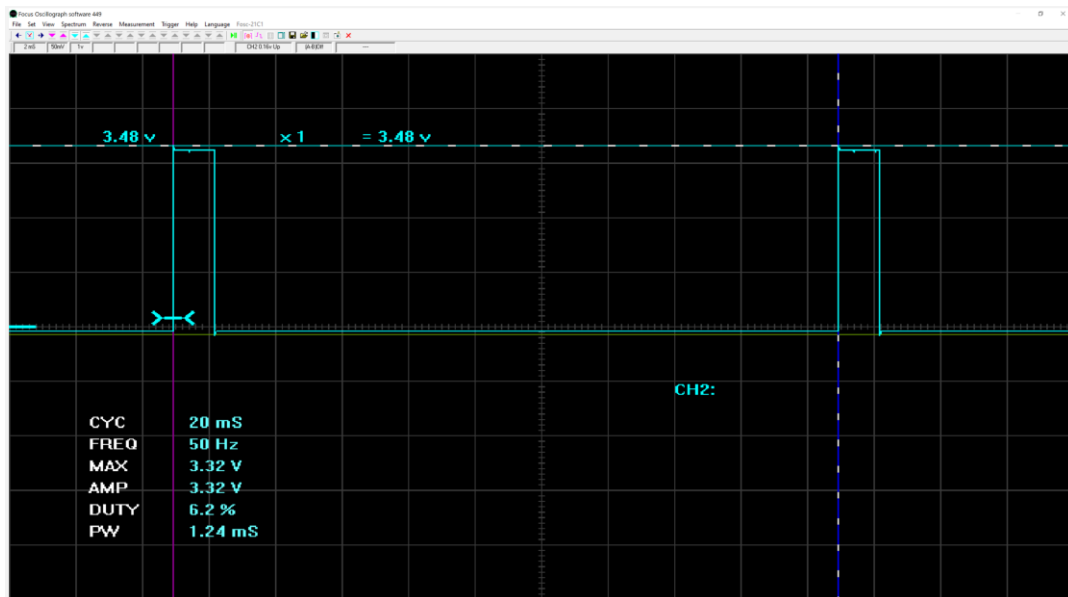


Figura 88. Señal PWM servomotor medida para 90° . Elaboración propia.

En la figura 89 se muestra el correcto funcionamiento para un ángulo de 120° .

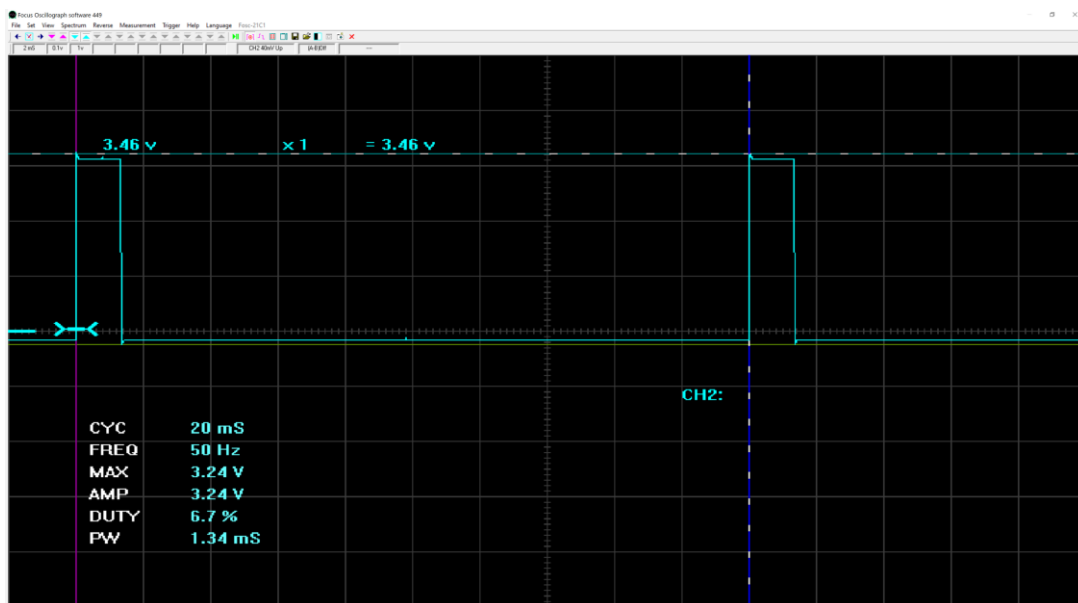


Figura 89. Señal PWM servomotor medida para 120° . Elaboración propia.

En el caso de PWM del sensor háptico motor vibrador que está configurado en el *GPIO* 26 del ESP32 y se le asigna el *canal* 10 con una frecuencia de 5 kHz y un *Duty* (`ledcWrite`) de 240, ya que se ha probado con diferentes valores, siendo el que mejor se siente la vibración y adapta con el dispositivo háptico utilizado. Así el cálculo teórico es:

Frecuencia PWM	T_{ON} (μs)	Duty (ledcWrite)	Duty cycle (%)
5,00 kHz ($T=200 \mu s$)	187.5 μs	240	94.1 %

En la figura 90 se muestra el correcto funcionamiento del PWM del motor vibrador (aunque muy aproximado, pero totalmente funcional).

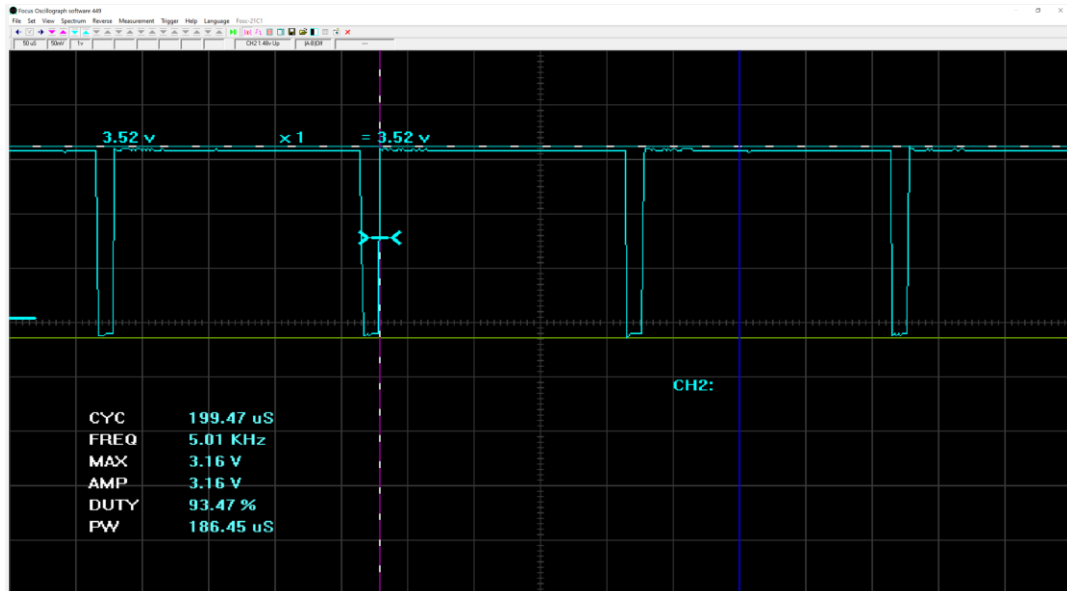


Figura 90. Señal PWM servomotor medida para el motor vibrador. Elaboración propia.

7.3. Calibración entrada ADC del ESP32

El servomotor ASMG-MTA dispone un sensor interno de posición (*encoder* magnético) que proporciona una salida analógica (entre 0 y 3,3 V) en el pin “S” de la posición 4, que es proporcional al ángulo mecánico de giro (entre 0° y 360°). Esta señal es leída por el ESP32 mediante el convertidor analógico-digital (ADC) del pin 34 con una resolución de 12 bits (2^{12} , de 0 a 4095).

Para obtener una relación precisa entre la lectura del ADC y el ángulo real del servo, se realiza un proceso de calibración mediante un código en el ESP32 con los siguientes pasos más destacados:

- Utilizando la señal PWM mediante la función `moverServo()` se posiciona el servo a diferentes ángulos de referencia (de 0° hasta 360° con paso de

10°). Entre cada posición se espera un tiempo a que el servo se estabilice antes de realizar la lectura.

- Para reducir el ruido que se pueda generar en el ADC y en el *encoder* magnético del servo, se realiza un promedio de 100 lecturas por posición:

```
const uint8_t muestras = 100;
uint32_t suma = 0;
for (int i=0;i<muestras;i++){
    suma += analogRead(pinADC); delay(2); }
uint16_t promedioADC = suma / muestras;
```

- Con los valores promedios de ADC (`promedioADC`) obtenidos se elaboran las tablas de correspondencias entre valores del ADC (`tablaADC[]`) y ángulos (`tablaAngulo[]`).

Las tablas obtenidas se utilizan para la función `leerAnguloReal()` del código utilizado en el sistema ORActive y contiene 37 puntos de referencia distribuidos uniformemente cada 10° (0° a 360°):

```
// Tabla de valores del ADC del sensor de ángulo del servo
const int tablaADC[] = {
    0, 8, 89, 188, 296, 404, 510, 626, 737, 835,
    953, 1069, 1167, 1284, 1402, 1492, 1620, 1734, 1847, 1944,
    2062, 2182, 2275, 2397, 2507, 2610, 2727, 2846, 2947, 3068,
    3207, 3350, 3475, 3644, 3850, 4021, 4093
};
// Tabla de ángulos correspondientes a los valores del ADC
// Esta tabla se usa para convertir los valores del ADC a ángulos en
// grados.
const int tablaAngulo[] = {
    0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90,
    100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190,
    200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270, 280, 290,
    300, 310, 320, 330, 340, 350, 360
};
const int tablaSize = sizeof(tablaADC) / sizeof(tablaADC[0]); //
// Tamaño de la tabla
```

- En ejecución de la función `leerAnguloReal()` cuando se utiliza un ángulo que no está en la tabla, se busca el tramo de la tabla en el que está y se hace una interpolación lineal para estimar el valor del ADC del ángulo, corrigiendo de esta forma las posibles no linealidades del sensor de posición del servo.

7.4. Alineación mecánica y puesta a cero con el servo

El paso más importante y crítico es la unión de la parte mecánica de la órtesis con el servomotor, para así evitar problemas de eficacia y anatómicos (molestias físicas del usuario). Hay dos ajustes fundamentales:

- Alineación mecánica: hay que comprobar la correcta alineación del eje del servo con el eje de rotación de la órtesis y el anatómico de la rodilla, comprobando que los ejes coincidan y que la órtesis se adapte bien a la pierna, al moverse de flexo-extensión hay que comprobar que sigan alineados.
- Puesta a cero del sistema (calibración mecánica y electrónica): es importante que coincidan los ángulos de la parte mecánica de la órtesis y del servomotor, para ello:
 - Se lleva al servomotor a su posición angular mínima de referencia de 0° mediante un pulso PWM de $1000 \mu s$.
 - Se posiciona la órtesis con el ángulo 0° de extensión y se conecta al eje del servo, si no quedan alineados los ejes, se activa el pulsador de ajuste a cero del servo como se ve en la figura 91.

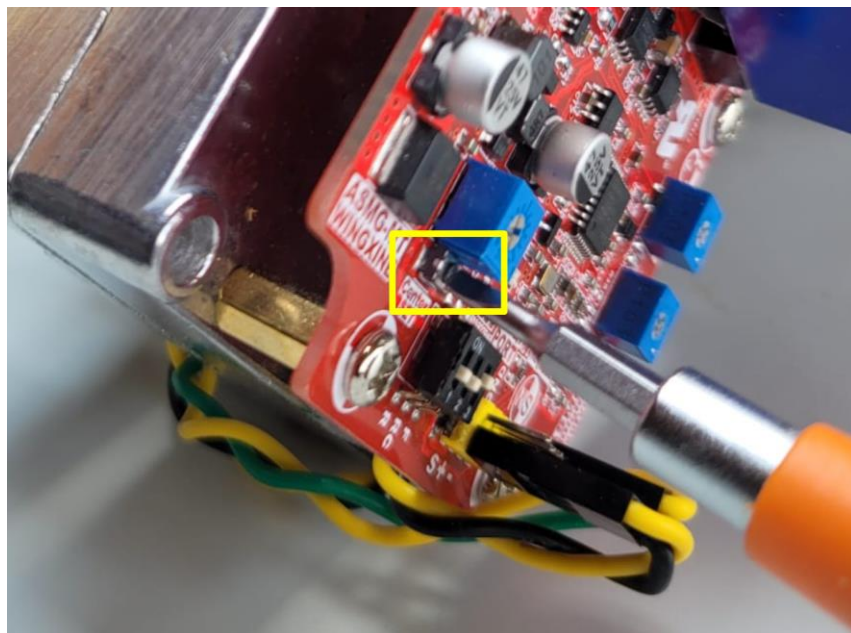


Figura 91. Pulsador de ajuste a cero del servo. Foto propia.

Con el potenciómetro de la figura 92 se hacen coincidir los ejes con 0° .

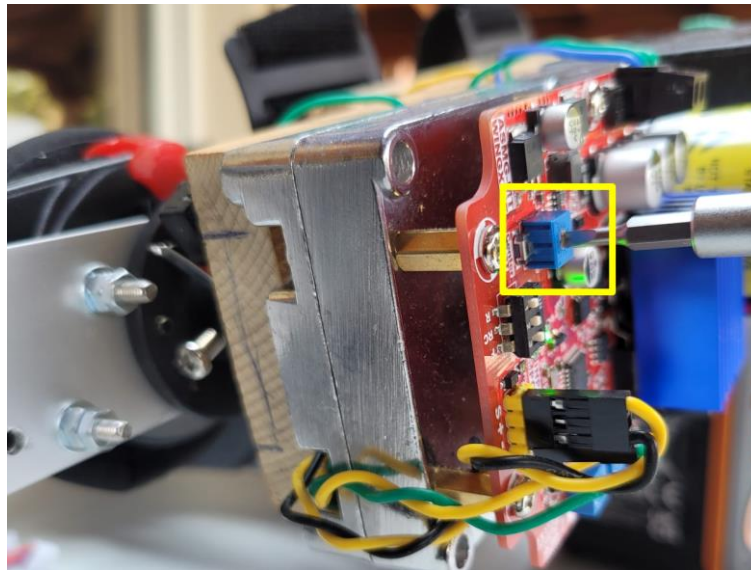


Figura 92. Potenciómetro ajuste a cero del servo. Foto propia.

Una vez coinciden es **importante desacoplar** (figura 93) **los ejes del servo y órtesis**, antes de memorizar en el servo el 0° activando el pulsador de ajuste a cero (por seguridad, ya que al memorizar el cero, el servo **suele dar un giro** y puede dañar la estructura mecánica). Después se unen los ejes que ya estarían alineados y se fija el soporte del servo con tornillería.

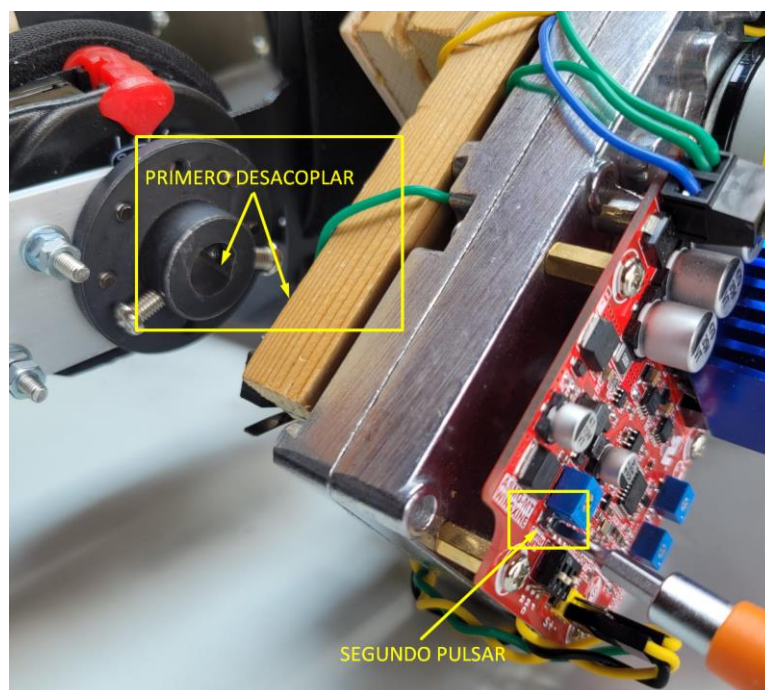


Figura 93. desacoplación de ejes en ajuste cero. Foto propia.

7.5. Pruebas de seguridad

El sistema ORActive, es una órtesis robótica activa que interactúa físicamente con el usuario, por eso hay unos requerimientos de pruebas de seguridad desde el punto de vista eléctrico, mecánico y funcional a realizar.

Estas pruebas no solo sirven para verificar el correcto funcionamiento de los elementos de protección, sino que también hay que garantizar que ante una situación de peligro, el sistema de seguridad es capaz de reaccionar de manera controlada y segura, para minimizar los riesgos físicos al usuario.

Las pruebas y validación de seguridad a realizar son las siguientes:

- Fusible de 5 A:
 - Objetivo: Confirmar la protección eléctrica ante sobrecorrientes.
 - Procedimiento: Forzar una sobrecarga mayor de 5 A con una carga simulada.
 - Criterios de aceptación: El fusible abre el circuito evitando daños eléctricos. Al sustituir el fusible el sistema vuelve a tener alimentación de +20 V.
- Interruptor ON/OFF:
 - Objetivo: Verificar el corte y conexión segura de la alimentación del sistema.
 - Procedimiento: Con la batería conectada, accionar el interruptor ON/OFF varias veces y observar, que el sistema se enciende y apaga correctamente.
 - Criterios de aceptación: Tensión de 0 V a la salida del interruptor en posición de OFF, todos los sistemas de +20 V, +12 V y 3,3 V están sin alimentación. En posición ON tensión de salida +20 V y todo alimentado.

- Botón de emergencia (enclavamiento):
 - Objetivo: Realizar el corte de la alimentación del sistema de forma manual, para evitar el movimiento del servomotor ante cualquier incidencia. Por seguridad en el rearme se corta a todo el sistema y no solo al servomotor.
 - Procedimiento: Con el servomotor en movimiento, se accionar el botón y se comprueba el corte de alimentación de todo el sistema.
 - Criterios de aceptación. Parada inmediata (menor a 200 ms) del servo y el corte de alimentación de todo el sistema hasta rearme.
- *Switches* de final de carrera de Extensión y Flexión:
 - Objetivo: Evitar la sobreextensión y sobreflexión mecánica de la órtesis.
 - Procedimiento: Enviar mover al servo hacia el ángulo de cada límite y comprobar que cada uno de los *microswitch* actúan justo antes del tope físico o leva de la órtesis.
 - Criterios de aceptación: Los mismos que los elementos anteriores (Interruptor ON/OFF y botón del de emergencia).
- Parada por comando software desde App:
 - Objetivo: Detener el servomotor y finalizar el ejercicio por una orden software desde la App.
 - Procedimiento. Durante la ejecución de un ejercicio y moviéndose el servomotor, desde la App se pulsa el botón **Terminar** Ejercicio.
 - Criterios de aceptación: Ver desde el modo ingeniería el comando de parar (**Estado = 1**) y detención inmediata del servomotor.
- Arranque seguro:
 - Objetivo: Evitar movimientos bruscos de la órtesis al encender la alimentación.
 - Procedimiento: Desde apagado alimentar al sistema mediante el interruptor ON/OFF en posición ON, realizando la operación con distintas posiciones previas de la órtesis

- Criterios de aceptación: Observar el comportamiento en la inicialización, esta debe hacerse sin movimientos bruscos mientras el servo se posiciona en el ángulo de inicio (0°).
- Ajustar el umbral de presión (celdas de carga + ADS1115):
 - Objetivo: Verificar ajustes de los límites de fuerza que se aplican a los sensores en tibia (anterior/posterior) para que no sean molestos para el usuario.
 - Procedimiento: Con la órtesis puesta y configurada en modo Asistido, se hace presión en extensión y flexión ajustándose los valores de los niveles mínimo (`umbralMinimo`) y máximo (`umbralMaximo`).
 - Criterios de aceptación: Observar el comportamiento para mover la órtesis en la velocidad mínima (1) y máxima (9).

7.6. Comprobaciones del sistema

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema y que está listo para empezar, se puede observar que el LED de estado está verde. También se puede entrar en “Modo Ingeniería” conectando un PC al USB-C del ESP32 mediante consola serie a 115200 bits/s (por ejemplo la de *Visual Studio Code*).

Al inicial el sistema ORActive se ejecuta una rutina de comprobación automática del funcionamiento de todos los módulos electrónicos y de control. Durante este proceso, se verifica de forma secuencial el estado de cada subsistema, en “Modo Ingeniería” se muestran los mensajes de diagnóstico en la consola serie, permitiendo de esta forma identificar el éxito o posibles fallos en la inicialización. A continuación se muestran los mensajes que salen por consola cuando todo está correcto y los subsistemas que comprueba:

```

--- Terminal on COM4 | 115200 8-N-1
--- Available filters and text transformations: colorize, debug, default,
direct, esp32_exception_decoder, hexlify, log2file, nocontrol, printable,
send_on_enter, time
--- More details at https://bit.ly/pio-monitor-filters
--- Quit: Ctrl+C | Menu: Ctrl+T | Help: Ctrl+T followed by Ctrl+H
● ----- Iniciando consola serial...
● ---- -- Consola serial lista.
```

```

● ----- Iniciando Bluetooth...
● ----- Bluetooth listo.
Ángulo inicial leído: 12
● ----- Iniciando bus I2C...
● ----- Bus I2C inicializado.
● ----- Iniciando pantalla OLED...
● ----- Pantalla OLED lista.
● ----- Iniciando DFPlayer Mini MP3...
● ----- DFPlayer Mini MP3 listo.
Ángulo inicial leído: 12
Umbral de presión: 142
Mover servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
Mover servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
Mover servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
Mover servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
Mover servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8
Mover servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
● ----- Iniciando ADS1115...
● ----- ADS1115 listo.
✓ ----- Sistema ORActive listo. Esperando configuración...

```

- Inicialización de la consola serie.
- Inicialización de la comunicación *Bluetooth*.
- Lectura inicial del ángulo del servomotor (*encoder* magnético).
- Inicialización del bus I^2C .
- Inicialización de la pantalla OLED.
- Inicialización del reproductor de audio MP3 *DFPlayer Mini*.
- Configuración del umbral de presión inicial.
- Mueve el servomotor al ángulo de inicialización.
- Inicialización del ADC *ADS1115*.
- Confirmación de sistema listo para empezar.

8. Pruebas y resultados del sistema ORActive

En este apartado se muestran las distintas pruebas con sus resultados de los distintos modos de funcionamiento, que confirmen todas las funcionalidades

especificadas del sistema, en la Órtesis Robótica Activa de rodilla con control dual ORActive.

8.1. Modo Automático

En el *Modo Automático* la órtesis permite ejecutar el ejercicio de forma autónoma con un número determinado de repeticiones de flexión-extensión de rodilla, sin necesidad de intervención manual por parte del usuario.

Para configurar el ejercicio, el usuario mediante la App ORActive establece las condiciones iniciales. Para realizar y analizar una prueba real se configura:

- Modo: *Automático*
- Número de repeticiones: 3
- Límite de Extensión de la rodilla: 20°
- Límite de flexión de la rodilla: 90°
- Velocidad de ejecución: 8

Una vez iniciado el ejercicio, el ESP32 toma el control para realizar las repeticiones mediante la activación del servomotor, lectura del *encoder* magnético y envío a la App ORActive de los ángulos, número de repeticiones y estado. La App solamente tiene el control para terminar anticipadamente el ejercicio de forma manual.

En la Figura 94 se muestra el resultado de la evolución del ejercicio y las posiciones angulares de la rodilla durante las repeticiones. Se observa en todas las repeticiones un patrón regular y estable, donde se alcanzan los ángulos configurados sin observar desviaciones significativas entre repeticiones.

Se puede confirmar que el *Modo Automático* cumple con los parámetros definidos y permite ejecutar los ejercicios de manera controlada, reflejando un comportamiento adecuado para programas de rehabilitación funcional pasiva, donde la repetición precisa del movimiento es un aspecto clave.



Figura 94. Resultado ejercicio real en Modo Automático. Elaboración propia.

Entrando en el *Modo Ingeniería* se puede ver el “log” del ejercicio en tiempo real. A continuación se muestra las partes interesantes de este “log”:

```

● ----- Datos aplicados.
20;90;5;0;1;5;0
● ----- Datos aplicados.
20;90;8;0;1;3;0
● ----- Datos aplicados.
20;90;8;0;0;3;0
● ----- Preparación posición inicial...
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
0;0;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
0;0;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
0;0;8;0;0;0;
...
Mover servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
Mover servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
Mover servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
14;14;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;0;
● ----- Preparación inicial completa
● ----- Empieza Modo Automático...
▶ ----- Repetición 1
Umbral de presión: 877

```

```

Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
21;21;8;0;0;0;
...

Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
91;91;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
90;90;8;0;0;0;
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
91;91;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;8;0;0;0;
...

Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
29;29;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
25;25;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;0;

✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Automático...
▶ ----- Repetición 2
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
21;21;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
25;25;8;0;0;1;
...

Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51

```

```

Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
52;52;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
56;56;8;0;0;1;
...

Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
93;93;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
94;94;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
90;90;8;0;0;1;
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
95;95;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;8;0;0;1;
...

Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
24;24;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;1;

✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Automático...
▶ ----- Repetición 3
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
22;22;8;0;0;2;
...

81;81;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
86;86;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
91;91;8;0;0;2;

```

```

Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
90;90;8;0;0;2;
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;8;0;0;2;

...

Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
28;28;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
23;23;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;2;

✅ ----- Repetición completada
20;20;8;0;1;3;
❌ ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
🟡 ----- Preparación posición de reposo...
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
Mover servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
Mover servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
Mover servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
Mover servo a ángulo: 15 | Moviendo servo a ángulo: 15
Mover servo a ángulo: 14 | Moviendo servo a ángulo: 14
Mover servo a ángulo: 13 | Moviendo servo a ángulo: 13
Mover servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
Mover servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
Mover servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
Mover servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
Mover servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8
Mover servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0

🟢 ----- Extensión de reposo completa.
🔴 ----- Automático finalizado.

```

En caso de interrumpir el ejercicio desde la App (para todos los Modos), se envía comando de `Estado=1` al ESP32 para la interrupción, se puede ver un fragmento del “log”:

```
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
52;52;5;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
54;54;5;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
57;57;5;0;0;0;
● ----- Datos aplicados.
20;90;5;0;1;2;0
● ----- Interrupción solicitada por la App
● ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
56;56;5;0;1;0;
```

8.2. Modo Asistido

El *Modo Asistido* permite que el sistema ORActive asista en el ejercicio al usuario durante el movimiento de la pierna, aportando un nivel de ayuda proporcional al umbral de fuerza (velocidad) y alcanzando los ángulos configurados (es como un ejercicio de mover la pierna con peso). A diferencia del *Modo Automático*, en el cual la órtesis ejecuta el ejercicio de manera autónoma el número de repeticiones configuradas, en el *Modo Asistido* la iniciativa del movimiento la tiene el usuario, que tiene que superar el umbral de presión en la extensión y flexión para que el sistema detecte la intención de movimiento para asistir.

Para configurar el ejercicio, el usuario mediante la App ORActive establece las condiciones iniciales. Para realizar y analizar una prueba real se configura:

- Modo: *Asistido*
- Número de repeticiones: 3
- Límite de Extensión de la rodilla: 20°
- Límite de flexión de la rodilla: 90°
- Velocidad de ejecución: 1

Una vez iniciado el ejercicio, el ESP32 toma el control para realizar las repeticiones, mediante la activación del servomotor en función de los valores de presión tomados por los sensores de extensión y flexión, amplificados y

digitalizados mediante el módulo *ADS1115*, lo que permite al ESP32 estimar la fuerza ejercida por el usuario y modular la asistencia del servomotor.

También hace la lectura del *encoder* magnético y envía a la App ORActive de los ángulos, número de repeticiones y estado. La App solamente tiene el control para terminar anticipadamente el ejercicio de forma manual.

En la Figura 95 se muestra el resultado de la evolución del ejercicio y las posiciones angulares de la rodilla durante las repeticiones.

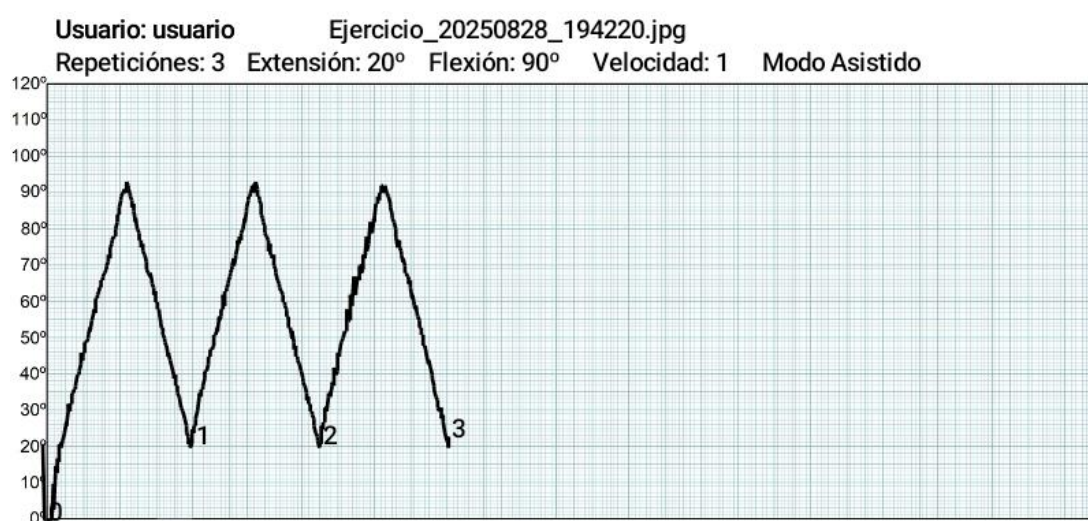


Figura 95. Resultado del ejercicio real en Modo Asistido. Elaboración propia.

En la curva del resultado se observa cómo el usuario inicia el movimiento al superar el umbral del sensor de extensión correspondiente a la velocidad 1 (nivel de menor fuerza aplicada), alcanzando la posición inicial del ejercicio de 20° y continuando con el ejercicio de 20° a 90° en cada repetición, mientras la órtesis robótica proporciona soporte durante el movimiento para mantener la trayectoria angular configurada. Se observa que aunque las repeticiones son bastante regulares, existe una ligera irregularidad en alguna de las curvas, lo que puede reflejar el esfuerzo del usuario durante la ejecución del ejercicio.

Se puede confirmar que el *Modo Asistido* cumple con los parámetros definidos y permite ejecutar los ejercicios de manera controlada, reflejando un comportamiento adecuado para fases de rehabilitación activa progresiva,

donde se busca conseguir la participación de forma activa del usuario sin dejar de dar soporte asistido, para mejorar el control motor, la fuerza muscular y evitar la fatiga prematura.

Entrando en el *Modo Ingeniería* se puede ver el “log” del ejercicio en tiempo real. A continuación se muestra las partes interesantes de este “log”:

```

● ----- Datos aplicados.
20;90;1;1;1;3;0
● ----- Datos aplicados.
20;90;1;1;0;3;0
🔄 ----- Verificando sensores de presión (ADS1115)...
● ----- ADS1115 responde correctamente.
Calibrando Sensores...
Offset Flexión: 570
Offset Extensión: 33
RAW Flexión: 569 | Normalizado: -1
RAW Extensión: 36 | Normalizado: 3
✅ ----- Calibración correcta.
● ----- Preparación posición inicial...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
0;0;1;1;0;0;
...
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
21;21;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : 20;20;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 :
● ----- Preparación inicial completa
● ----- Empieza Modo Asistido...
▶ ----- Repetición 1
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
22;22;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
27;27;1;1;0;0;

```

```

...

Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
91;91;1;1;0;0;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
91;91;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : 90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 32 :
● ----- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 24 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
93;93;1;1;0;0;
Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;0;
Presión ADS: 6 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
91;91;1;1;0;0;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;1;0;0;
...

Presión ADS: 38 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
23;23;1;1;0;0;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
21;21;1;1;0;0;
Presión ADS: 47 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
22;22;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : 20;20;1;1;0;0;
Presión ADS: 14 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 33 :
✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido...
▶ ----- Repetición 2
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;1;1;0;1;
Presión ADS: 14 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;1;0;1;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
25;25;1;1;0;1;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;1;
...

Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;1;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
91;91;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90

```

```

92;92;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : 90;90;1;1;0;1;
Presión ADS: 38 :
● ----- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 27 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
93;93;1;1;0;1;
Presión ADS: 9 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
93;93;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
92;92;1;1;0;1;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;1;1;0;1;
...

Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
23;23;1;1;0;1;
Presión ADS: 37 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
22;22;1;1;0;1;
Presión ADS: 46 : 20;20;1;1;0;1;
Presión ADS: 45 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 28 :
✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido...
▶ ----- Repetición 3
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;1;1;0;2;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
21;21;1;1;0;2;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
26;26;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
25;25;1;1;0;2;
...

Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 49 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;2;
Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;1;1;0;2;
Presión ADS: 55 : 90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 59 :
● ----- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 27 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
91;91;1;1;0;2;
Presión ADS: 160 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;2;
Presión ADS: 140 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;1;0;2;

```

```
...
Presión ADS: 247 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;1;0;2;
Presión ADS: 248 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;1;0;2;
Presión ADS: 247 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
23;23;1;1;0;2;
Presión ADS: 247 : 20;20;1;1;0;2;
Presión ADS: 235 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 29 :
✓ ----- Repetición completada
23;23;1;1;1;3;
- ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
● ----- Preparación posición de reposo...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
...
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
● ----- Extensión de reposo completa.
● ----- Asistido finalizado.
```

8.3. Modo Asistido Libre

El *Modo Asistido Libre* permite al sistema ORActive asistir al usuario durante el ejercicio con el movimiento de la pierna, aportando un nivel de ayuda proporcional al umbral de fuerza (velocidad) detectada (a mayor presión mayor velocidad de movimiento). A diferencia del *Modo Asistido*, en el cual la órtesis ejecuta el ejercicio con la iniciativa del usuario al superar un umbral de presión (velocidad) y alcanzando los ángulos configurados, en el *Modo Asistido Libre* el usuario mantiene el máximo control en la ejecución del movimiento, ya que el ESP32 analiza en tiempo real la interacción *usuario-órtesis*, detectando la intención de movimiento y el nivel de presión (velocidad) ejercida sobre los sensores de extensión y flexión, amplificados y digitalizados mediante el módulo *ADS1115*, lo que permite al ESP32 asistir al movimiento

de forma adaptativa a cada nivel detectado.

Así, el ejercicio en el *Modo Asistido Libre* no sigue un patrón de movimiento preprogramado, sino que se adapta en tiempo real a la iniciativa y esfuerzo del usuario, siempre dentro de los límites que se configuran de repeticiones y ángulos máximos (extensión y flexión), es decir puede cambiar el sentido a cualquier velocidad, sin llegar a los límites máximos.

También hace la lectura del *encoder* magnético y envía a la App ORActive de los ángulos, número de repeticiones y estado. La App solamente tiene el control para terminar anticipadamente el ejercicio de forma manual.

Para configurar el ejercicio, el usuario mediante la App ORActive establece las condiciones iniciales. Para realizar y analizar una prueba real se configura:

- Modo: *Asistido Libre*
- Número de repeticiones: 5
- Límite de Extensión de la rodilla: 20°
- Límite de flexión de la rodilla: 90°
- Velocidad de ejecución: 1 (*Da igual el nivel, lo detecta el sistema*)

En la Figura 96 se muestra el resultado de la evolución del ejercicio y las posiciones angulares de la rodilla durante las repeticiones.

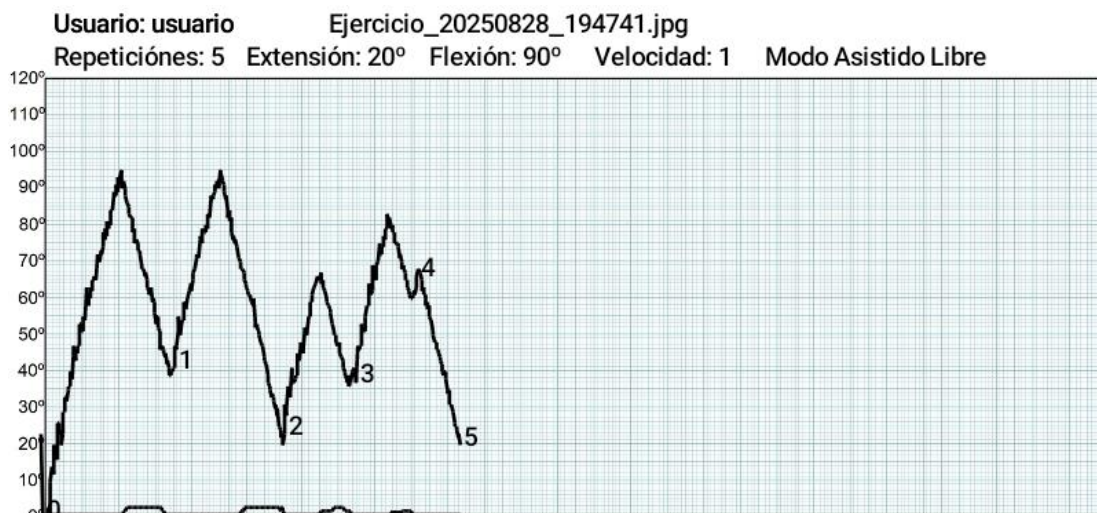


Figura 96. Resultado del ejercicio real en Modo Asistido Libre. Elaboración propia.

En la curva del resultado se observa cómo el usuario inicia el movimiento al superar el umbral del sensor de extensión correspondiente a la velocidad 1 (nivel de menor fuerza aplicada), alcanzando la posición inicial del ejercicio de 20° y continuando con el ejercicio de forma irregular (comparado con los otros modos):

- Primera repetición: se llega a 90° de *flexión máxima* para cambiar el sentido a extensión hasta 32° a una velocidad variable entre 1 y 3.
- Segunda repetición: empieza en los 32° anteriores y llega a 90° de *flexión* para continuar hasta los 20° de *extensión máxima* con una velocidad variable entre 1 y 3.
- Tercera repetición: comienza a *flexionar* desde los 20° hasta el valor de 65° a velocidad 1, para a continuación *extender* hasta los 38° a velocidad variable entre 1 y 3.
- Cuarta y quinta repetición: son más variables con un rango de movimiento pequeño, con velocidad mayormente a 1 terminando en la *extensión máxima* de 20°, posiblemente por fatiga del usuario.

Se puede confirmar que el *Modo Asistido Libre* cumple con los parámetros definidos y permite ejecutar los ejercicios de manera controlada, reflejando un comportamiento adecuado para fases avanzadas de rehabilitación activa, se busca fomentar la máxima participación activa e iniciativa motora del usuario en los ejercicios, para trasladar las mejoras conseguidas en la rehabilitación a los movimientos cotidianos, como pueden ser levantarse o caminar.

Entrando en el *Modo Ingeniería* se puede ver el “log” del ejercicio en tiempo real. A continuación se muestra las partes interesantes de este “log”:

```

● ----- Datos aplicados.
20;90;1;2;1;5;0
● -- ---- Datos aplicados.
20;90;1;2;0;5;0
🔄 ----- Verificando sensores de presión (ADS1115)...
● ----- ADS1115 responde correctamente.
Calibrando Sensores...
Offset Flexión: 574

```

```

Offset Extensión: 51
RAW Flexión: 567 | Normalizado: -7
RAW Extensión: 35 | Normalizado: -16
✓ ----- Calibración correcta.
● ----- Preparación posición inicial...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 17 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 21 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 16 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
0;0;1;2;0;0;
...

Presión ADS: 39 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
23;23;1;2;0;0;
Presión ADS: 39 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
24;24;1;2;0;0;
Presión ADS: 37 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10020;20;1;2;0;0;
Presión ADS: 36 :
● ----- Preparación inicial completa
● ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 1
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
23;23;1;2;0;0;
Presión ADS: 13 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
29;29;1;2;0;0;
Presión ADS: 21 : Presión: 26 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
29;29;1;2;0;0;
Presión ADS: 27 : Presión: 22 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
...

Presión ADS: 54 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
91;91;1;2;0;0;
Presión ADS: 48 : Presión: 51 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
93;93;1;2;0;0;
Presión ADS: 49 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
95;95;1;2;0;0;
Presión ADS: 53 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10090;90;1;2;0;0;
Presión ADS: 56 :
● --- --- Flexión Alcanzada

```



```

Presión ADS: 21 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;1;2;0;0;
Presión ADS: 201 : Presión: 190 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;2;2;0;0;
Presión ADS: 172 : Presión: 144 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;2;2;0;0;
...

Presión ADS: 44 : Presión: 54 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
40;40;1;2;0;0;
Presión ADS: 90 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
40;40;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
41;41;1;2;0;0;
Presión ADS: 61 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 32
⚡ ----- Cambio detectado, saliendo de extensión

✅ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 2
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
41;41;1;2;0;1;
Presión ADS: 34 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
47;47;1;2;0;1;
Presión ADS: 28 : Presión: 26 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
46;46;1;2;0;1;
...

Presión ADS: 34 : Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;2;0;1;
Presión ADS: 32 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;1;2;0;1;
Presión ADS: 33 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10090;90;1;2;0;1;
Presión ADS: 31 :
● ----- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 19 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
95;95;1;2;0;1;
Presión ADS: 12 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
94;94;1;2;0;1;
Presión ADS: 25 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
93;93;1;2;0;1;

```

```

...
Presión ADS: 276 : Presión: 272 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
25;25;3;2;0;1;
Presión ADS: 283 : Presión: 260 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;2;2;0;1;
Presión ADS: 285 : Presión: 286 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;3;2;0;1;
Presión ADS: 301 : Presión: 286 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
23;23;3;2;0;1;
Presión ADS: 284 : Presión: 259 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: |
8920;20;2;2;0;1;
Presión ADS: 264 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 21 :
✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 3
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
23;23;1;2;0;2;
Presión ADS: 36 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
31;31;1;2;0;2;
...
Presión ADS: 39 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
66;66;1;2;0;2;
Presión ADS: 26 : Presión: 25 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;1;2;0;2;
Presión ADS: 17 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 64
↻ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
65;65;1;2;0;2;
Presión ADS: 167 : Presión: 199 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
67;67;2;2;0;2;
Presión ADS: 192 : Presión: 210 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
...
Presión ADS: 266 : Presión: 282 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;3;2;0;2;
Presión ADS: 273 : Presión: 279 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
48;48;3;2;0;2;

```

```

Presión ADS: 266 : Presión: 276 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
47;47;3;2;0;2;

...

Presión ADS: 45 : Presión: 53 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
40;40;1;2;0;2;
Presión ADS: 42 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
38;38;1;2;0;2;
Presión ADS: 36 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 25
↻ ----- Cambio detectado, saliendo de extensión

✅ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 4
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
37;37;1;2;0;3;
Presión ADS: 44 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
47;47;1;2;0;3;
Presión ADS: 30 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
46;46;1;2;0;3;

...

Presión ADS: 78 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
82;82;1;2;0;3;
Presión ADS: 70 : Presión: 75 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;1;2;0;3;
Presión ADS: 53 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 79
↻ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
79;79;1;2;0;3;
Presión ADS: 137 : Presión: 149 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;2;2;0;3;
Presión ADS: 124 : Presión: 153 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;2;2;0;3;

...

Presión ADS: 23 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
61;61;1;2;0;3;
Presión ADS: 42 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
63;63;1;2;0;3;

```

```

Presión ADS: 22 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51
⇨ ----- Cambio detectado, saliendo de extensión

✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 5
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
62;62;1;2;0;4;
Presión ADS: 25 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63
⇨ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
66;66;1;2;0;4;
Presión ADS: 63 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;1;2;0;4;

...

Presión ADS: 39 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;2;0;4;
Presión ADS: 47 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;2;0;4;
Presión ADS: 32 : Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
23;23;1;2;0;4;
Presión ADS: 50 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10020;20;1;2;0;4;
Presión ADS: 24 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 54 :
✓ ----- Repetición completada
20;20;1;2;1;5;
➖ ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
● ----- Preparación posición de reposo...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 19
| Moviendo servo a ángulo: 19
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 18
| Moviendo servo a ángulo: 18

...

Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 1
| Moviendo servo a ángulo: 1
Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 0
| Moviendo servo a ángulo: 0
Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100
● ----- Extensión de reposo completa.
● ----- Asistido libre finalizado.

```

9. Estudio Objetivos de Desarrollo Sostenible

El 25 de septiembre de 2015 la Organización de Naciones Unidas (ONU) con el compromiso de 193 países, se aprobó la *Agenda 2030* sobre el Desarrollo Sostenible, persiguiendo dar la oportunidad de mejorar la vida de todos sin dejar a nadie atrás, en la figura 97 se muestran los 17 objetivos: [2]



Figura 97. Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: [2]

En España se crea el Plan de Acción para la Implementación de la *Agenda 2030*, aprobado en Consejo de ministros el 28 de junio de 2018 y que se presentó en julio de 2018, en el marco del Foro Político de Alto Nivel de las Naciones Unidas, un primer paso para ir hacia la Estrategia de Desarrollo Sostenible 2030. [44]

Con respecto a la evolución en España de la tasa de cobertura de los indicadores de *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (figura 98), hasta diciembre de 2023 se ha conseguido alcanzar el 77% del total, mientras en diciembre de 2018 apenas fue del 20%.

Porcentaje de cobertura por años (diciembre)

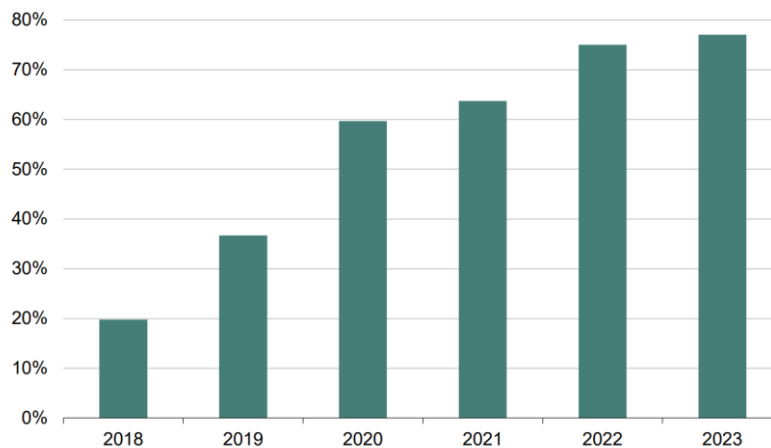


Figura 98. Evolución de la tasa de cobertura de los indicadores de los ODS. Fuente: [45]

Como se observa en la figura 99, se ha llegado al 100% en los ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), ODS 13 (Acción por el clima) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), mientras que en el otro extremo están los ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) con un 64%, ODS 10 (Reducción de las desigualdades) con el 57% y en último lugar el ODS 14 (Vida submarina) con sólo el 30%. [45]

Cobertura por objetivo

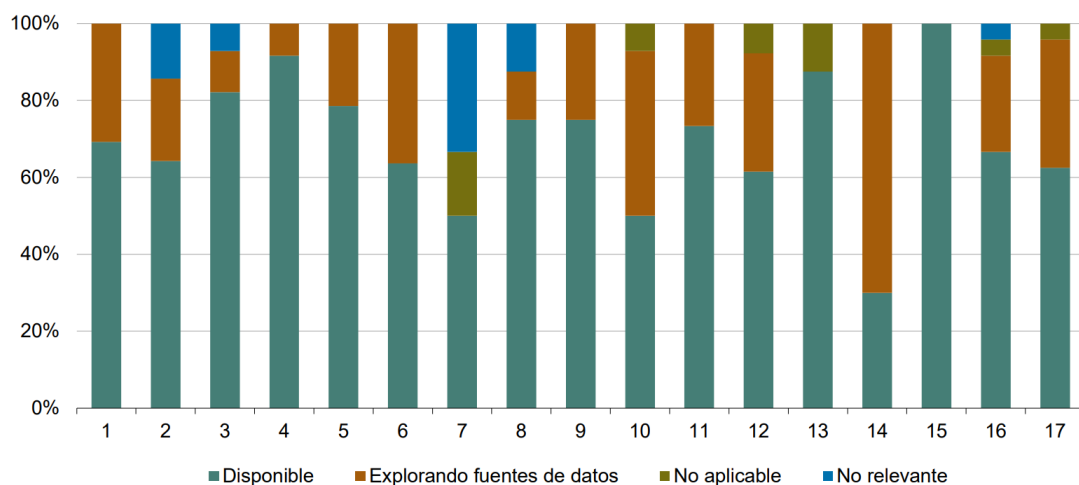


Figura 99. Cobertura de los indicadores por objetivo. diciembre 2023. Fuente: [45]

En la implantación del proyecto “Diseño de una órtesis robótica activa de rodilla con control dual para rehabilitación biomédica”, este se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), impactando en las mejoras de los siguientes ODS:

- **ODS 3: Salud y bienestar**

El dispositivo de este proyecto favorece la mejora de la calidad de vida de personas con movilidad reducida, creando una herramienta de rehabilitación personalizada, adaptable y segura. La asistencia activa mediante un control automático y la detección de intención de movimiento, permiten una metodología más eficaz en las terapias de rehabilitación, aportando autonomía al usuario y una reducción en los tiempos de recuperación.

- **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura**

El desarrollo del sistema con componentes electrónicos de bajo coste, controladores programables (ESP32) y servomotores, la programación con tecnologías en código abierto, que promueven la innovación en el diseño de tecnologías médicas de fácil acceso, fomenta la creación de soluciones sostenibles y accesibles tanto en el entorno clínico como en el domiciliario.

- **ODS 10: Reducción de las desigualdades**

Las órtesis robóticas activas comerciales suelen tener costes elevados, lo que limita su uso a entornos clínicos y hospitalarios avanzados. En este proyecto, en cambio, se ofrece una alternativa de bajo coste que puede adaptarse a diferentes tipos de clientes, incluyendo comunidades con menos recursos o sistemas de salud con difícil acceso a las herramientas tecnológicas, contribuyendo a reducir las barreras de acceso para una rehabilitación de calidad.

Opcionalmente, si esta herramienta se aplica en centros académicos o de formación técnica, se puede considerar:

- **ODS 4: Educación de calidad**

El prototipo diseñado en este proyecto se puede utilizar como plataforma formativa en estudios de Ingeniería Biomédica, Electrónica, Mecánica o fisioterapia, facilitando el aprendizaje de tecnologías aplicadas a la salud, reforzando las capacidades prácticas de los alumnos y fomentando la transferencia del conocimiento interdisciplinar.

10. Impacto medioambiental

Aunque el alcance principal de este proyecto es del ámbito biomédico y tecnológico, también se debe considerar su potencial impacto medioambiental en las distintas fases del ciclo de vida de la órtesis robótica activa:

- **Fase de diseño y desarrollo**

Durante el diseño, se utilizan componentes electrónicos de bajo consumo, como el microcontrolador *ESP32*, así como servomotores eficientes con una buena relación entre el par de fuerza y su consumo. Se ha pensado también utilizar piezas estructurales ligeras y materiales comunes (madera, PVC, aluminio) que no requieren procesos industriales que tengan una alta huella de carbono en la fabricación o mecanizado.

- **Fase de uso**

El diseño del sistema está preparado para funcionar con alimentación de bajo voltaje (12–24 V DC) con un consumo de energía moderado, permitiendo el uso de fuentes de energía reutilizables (baterías recargables o incluso disponer de sistemas solares portátiles para entornos remotos), para que sea un dispositivo de eficiencia energética en un uso clínico o domiciliario.

- **Fase de mantenimiento y reutilización**

El diseño modular del dispositivo permite reemplazar o actualizar los componentes como servomotores, sensores, *driver* o controladores, prolongando así su vida útil y reduciendo la generación de residuos electrónicos. Además, con el uso de plataformas abiertas se facilita la reutilización o mejora del software y hardware en versiones mejoradas u otros proyectos.

- **Fase de fin de vida**

Aunque los residuos electrónicos tienen un impacto ambiental importante, la cantidad de materiales implicados en este tipo de órtesis es relativamente baja. Sin embargo, se recomienda que los componentes sean gestionados

mediante canales del reciclaje electrónico adecuados, ya que están sujetos a la Directiva 2012/19/UE (RAEE2) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre la gestión de los Residuos de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos, para conseguir la optimización del uso de recursos, potenciando el reciclaje y considerando la importancia de recuperar las materias primas críticas presentes en los desechos de este sector. Además de cumplir con la Directiva 2011/65/UE (ROHS2) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en Aparatos Eléctricos y Electrónicos, orientada a la prevención.[46]

11. Discusión y conclusiones

Este Trabajo Fin de Máster ha desarrollado la herramienta ORActive, una órtesis robótica activa de rodilla de bajo coste con control dual (*Automático, Asistido y Asistido Libre*), que está orientada a la rehabilitación tanto en entornos clínicos como en domiciliarios.

Se han conseguido los objetivos de:

- Diseño mecánico y electrónico.
- Integración del hardware y software.
- Implementación de App para entorno de móviles.
- Implementación de protocolos de seguridad.
- Pruebas y validación de los tres modos de operación definidos.

El grado de cumplimiento de requisitos de los objetivos son:

- Alcanzados los requisitos biomecánicos, como son el rango de 90° a 0° (aumentando a de 120° a 0°), la velocidades de $5-15^\circ/s$ (de 1 a 9) y el par estimado de trabajo de $5-15\text{ Nm}$ con un actuador de alto par (34.3 Nm).
- Implementado un control basado en ESP32 y sensores de presión en puente de *Wheatstone* con el ADC *ADS1115*. Aunque en la fase de diseño se planteó la posibilidad de incorporar sensores EMG (no se han incluido en el prototipo validado, quedando como línea de trabajo futura).

- La arquitectura diseñada es modular y escalable, lo que favorece la futura evolución del sistema ORActive.

Validación funcional:

Se han realizado pruebas en los tres modos de control de la órtesis robótica (*Automático, Asistido y Asistido Libre*):

- *Modo Automático*: se comprobó la ejecución correcta y estable de las repeticiones de flexión-extensión, con seguimiento en la pantalla OLED y App móvil de los ángulos configurados.
- *Modo Asistido*: el sistema detectó correctamente la intención de movimiento por la aplicación de fuerza del usuario, mostrando la colaboración efectiva en la relación órtesis-usuario.
- *Modo Asistido Libre*: se validó que la órtesis no ofrece resistencia significativa al movimiento voluntario, adaptando la velocidad a la presión del usuario, asegurando comodidad y naturalidad en el movimiento.

Validación de seguridad y autonomía:

Se han validado todos los mecanismos de seguridad (botón de parada de emergencia, interruptor *ON/OFF*, *micros Switches* de finales de carrera, fusible, parada por App y arranque seguro) y la alineación mecánica de los ejes, siendo fundamental para conseguir un uso seguro del sistema. Autonomía de 5 h.

Robustez del sistema y de las comunicaciones:

Al arranque del sistema se realiza una autocomprobación de módulos importantes (I2C, OLED, reproductor MP3, ADC, BLE, *encoder*) que puede seguirse entrando en *Modo Ingeniería*, quedando listo para la configuración de sesión (LED verde). También se han validado la ejecución de las funciones importantes en el microcontrolador, sin depender de la App móvil ni de la conexión *Bluetooth*, realizado la reconexión automática de esta en caso de pérdida de enlace aportando robustez a la comunicación con la App.

Gestión de datos y seguimiento del ejercicio:

Se ha comprobado que el sistema no solo es capaz de ejecutar los modos de control de manera autónoma, sino también de guardar la información. La App Android ORActive guarda los parámetros de configuración de los ejercicios y el histórico en su base de datos local. Además guarda cada ejercicio en la nube (*Google Drive*) mediante los gráficos de la actividad realizada, permitiendo el seguimiento remoto, lo que aporta un valor añadido al proceso de rehabilitación y abre la puerta a la telerehabilitación, que puede ser supervisada por un terapeuta.

Viabilidad técnica y económica:

Se ha confirmado la viabilidad técnica y económica de la órtesis robótica activa de rodilla, que con un coste total estimado de 264,62 €, la hace accesible para replicarla en entornos clínicos, de formación o investigación, convirtiéndose en una solución de bajo coste.

Alineación e impacto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

El proyecto se alinea con los *ODS 3, 9 y 10*, al favorecer la mejora de la calidad de vida, promover la innovación tecnológica y contribuir a reducir las desigualdades de acceso para una rehabilitación de calidad. También se puede utilizar como plataforma formativa (*ODS 4*).

Limitaciones del proyecto:

El prototipo ha validado los modos de funcionamiento con un número limitado de pruebas y usuarios en entorno controlado, siendo necesario ampliar las pruebas y hacer una evaluación clínica con usuarios reales de distintas patologías, para confirmar su eficacia y usabilidad en entornos reales de rehabilitación.

Aunque en el diseño inicial se contemplaba el uso de señales del tipo EMG para la detección de intención de movimiento, finalmente no se implementó en esta versión.

En ciertos casos (como rigidez elevada), el par disponible entregado por el servomotor puede ser insuficiente, así como el desplazamiento “a saltitos” o discreto por el incremento angular grado a grado durante el movimiento, puede producir un movimiento menos redondo de lo deseable para rehabilitación. Para solucionarlo se puede pensar en otro tipo de motores (tipo BLDC) o estrategias de diseño (aumentar a ángulos decimales).

La alineación entre los ejes anatómicos y mecánicos es necesaria una verificación previa a cada uso, para poder garantizar la seguridad y el confort del usuario. Al ser un prototipo, es poco flexible a cambios de usuarios y es difícil realizar una alineación correcta.

Líneas futuras de investigación:

ORActive se ha planteado como un prototipo, puede tomarse como base para explorar líneas futuras de investigación y desarrollo, que permitirán mejorar sus capacidades y conseguir un producto que pueda acercarlo a un uso clínico real, entre estas líneas están:

- Implementación de señales EMG: con el fin de mejorar la detección de intención de movimiento en los modos asistidos, se pueden incorporar sensores de electromiografía.
- Validación clínica: aumentar el número de pruebas y realizarlas con diferentes perfiles de usuarios y fases de rehabilitación, para poder evaluar la eficacia terapéutica, así como el uso y la seguridad de ORActive en entornos clínicos, analizando si existen mejoras en la reducción de costes y tiempos de recuperación.
- Implementación en espacios clínicos: estudiar la posible introducción del prototipo mejorado en espacios clínicos y de rehabilitación, su integración con las terapias existentes y conseguir la aceptación por parte de profesionales y usuarios.
- Mejorar el control del actuador: sustituir el control discreto por PWM del servomotor, por métodos más avanzados: control del par, velocidad o trayectoria continua, para conseguir movimientos más naturales.

- Ergonomía y comodidad: rediseñar la estructura de la órtesis para conseguir un mejor confort, facilitar la colocación de manera autónoma por el usuario y la alineación de los ejes anatómico-mecánico.
- Mejoras en bases de datos: incorporar el “log” del ejercicio del *Modo Ingeniería* en la base de datos local y en la nube.
- Nuevas funcionalidades:
 - Implementar la posibilidad de cargar un ejercicio predefinido por el terapeuta sin tener que rellenar los datos de configuración en la App.
 - Selección de un usuario desde una lista desplegable.
 - *Modo ingeniería* y configuración de parámetros de sistema (variables) ESP32 desde la App.
- Mejoras en el firmware del ESP32 con el uso de código *freeRTOS* para usar los dos núcleos del microcontrolador.
- Eficiencia energética: investigar cómo reducir el consumo y fuentes de alimentación que incrementen la autonomía del prototipo en sesiones de ejercicios más prolongadas.
- Reducción de peso: estudiar cómo aligerar los 4,020 kg de la órtesis robótica, con el uso de componentes y materiales más ligeros.

Estas líneas de investigación representan la continuidad natural del trabajo desarrollado, con el fin de transformar el prototipo en una solución madura, eficaz y aplicable en contextos clínicos y domiciliarios.

Conclusiones:

ORActive demuestra que es posible y viable desarrollar una órtesis robótica activa de rodilla con control dual funcional, segura y de bajo coste, capaz de trabajar en *Modo Automático*, *Asistido* y *Asistido Libre*. La arquitectura modular, los resultados de las pruebas y los costes reducidos refuerzan el potencial de impacto en rehabilitación accesible.

Ampliar la validación clínica y mejorar los modos de asistencia, consolidará al sistema como una herramienta útil en la recuperación funcional de la rodilla.

12. Referencias

- [1] R. López, H. Aguilar, S. Salazar, R. Lozano, y J. A. Torres, «Modelado y control de un exoesqueleto para la rehabilitación de extremidad inferior con dos grados de libertad», *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 11, n.º 3, pp. 304-314, 2014, doi: 10.1016/J.RIAI.2014.02.008.
- [2] «Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible». Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [3] «ChatGPT». Accedido: 29 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://chatgpt.com/>
- [4] «GitHub Copilot · Tu programador de IA». Accedido: 29 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/features/copilot>
- [5] «Visual Studio Code - Code Editing. Redefined». Accedido: 12 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://code.visualstudio.com/>
- [6] «DeepL Translate - El mejor traductor del mundo». Accedido: 29 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.deepl.com/es/translator>
- [7] B. Chen, B. Zi, Z. Wang, L. Qin, y W. H. Liao, «Knee exoskeletons for gait rehabilitation and human performance augmentation: A state-of-the-art», *Mech Mach Theory*, vol. 134, pp. 499-511, abr. 2019, doi: 10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2019.01.016.
- [8] G. Puyuelo-Quintana *et al.*, «A new lower limb portable exoskeleton for gait assistance in neurological patients: A proof of concept study», *J Neuroeng Rehabil*, vol. 17, n.º 1, pp. 1-16, may 2020, doi: 10.1186/S12984-020-00690-6/TABLES/6.
- [9] H. Rifai, S. Mohammed, W. Hassani, y Y. Amirat, «Nested saturation based control of an actuated knee joint orthosis», *Mechatronics*, vol. 23, n.º 8, pp. 1141-1149, dic. 2013, doi: 10.1016/J.MECHATRONICS.2013.09.007.
- [10] «KNEXO, exoesqueleto de rodilla motorizado». Accedido: 7 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://mech.vub.ac.be/multibody/topics/knexo.htm>
- [11] J. de Miguel Fernández *et al.*, «Adapted Assistance and Resistance Training With a Knee Exoskeleton After Stroke», *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, vol. 31, p. 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3303777.
- [12] R. W. Horst, «A Bio-Robotic Leg Orthosis for Rehabilitation and Mobility Enhancement», 2009.
- [13] T. Yoshioka *et al.*, «Feasibility and efficacy of knee extension training using a single-joint hybrid assistive limb, versus conventional rehabilitation during the early postoperative period after total knee arthroplasty», *Journal of Rural Medicine*, vol. 16, n.º 1, pp. 22-28, 2021, doi: 10.2185/JRM.2020-024.
- [14] «Dnsys Z1 Knee Exoskeleton: Defy Gravity, Go Beyond by Dnsys — Kickstarter». Accedido: 6 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.kickstarter.com/projects/dnsys/dnsys-z1-knee-exoskeleton-defy-gravity-go-beyond?>
- [15] J. E. Pratt, B. T. Krupp, C. J. Morse, y S. H. Collins, «The RoboKnee: An exoskeleton for enhancing strength and endurance during walking», *Proc IEEE Int Conf Robot Autom*, vol. 2004, n.º 3, pp. 2430-2435, 2004, doi: 10.1109/ROBOT.2004.1307425.
- [16] N. Karavas, A. Ajoudani, N. Tsagarakis, J. Saglia, A. Bicchi, y D. Caldwell, «Tele-Impedance based stiffness and motion augmentation for a knee exoskeleton

- device», *Proc IEEE Int Conf Robot Autom*, pp. 2194-2200, 2013, doi: 10.1109/ICRA.2013.6630872.
- [17] U. Trivedi y A. Y. Joshi, «Advances in active knee brace technology: A review of gait analysis, actuation, and control applications», *Heliyon*, vol. 10, n.º 4, p. e26060, feb. 2024, doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E26060.
- [18] A. R. Pal y D. K. Pratihari, «Estimation of Joint Torque and Power Consumption During Sit-to-Stand Motion of Human-being Using a Genetic Algorithm», *Procedia Comput Sci*, vol. 96, pp. 1497-1506, ene. 2016, doi: 10.1016/J.PROCS.2016.08.196.
- [19] E. Guzmán Muñoz y G. Méndez Rebolledo, «Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación», *Salud Uninorte*, ISSN-e 2011-7531, ISSN 0120-5552, Vol. 34, N.º 3, 2018, págs. 753-765, vol. 34, n.º 3, pp. 753-765, 2018, Accedido: 14 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10158278&info=resumen&idioma=SPA>
- [20] «ASMG-MTA-Servo Digital de alto Torque, dispositivo de codificación magnética de 350kg.cm, con brazo de disco, manipulador robótico grande para coche Robot - AliExpress 44». Accedido: 29 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005005382841670.html?spm=a2g0o.detail.1000023.16.2452fH8afH8aE8&_gl=1*rr3my3*_gcl_aw*R0NMLjE3NTYyMDk0OTAuQ2p3S0NBand0clhGQmhCaUVpd0FFS2VuMTcxMmRVY2VTNlhwNVdBTUVVQmRPTXVDdkNhTXNVSVpYNGxWVnd0amIyS0NHejNuZU1QRXhCb0NmRFVRQXZEX0J3RQ..*_gcl_dc*R0NMLjE3NTYyMDk0OTAuQ2p3S0NBand0clhGQmhCaUVpd0FFS2VuMTcxMmRVY2VTNlhwNVdBTUVVQmRPTXVDdkNhTXNVSVpYNGxWVnd0amIyS0NHejNuZU1QRXhCb0NmRFVRQXZEX0J3RQ..*_gcl_au*MTIxMzEyMzYzNC4xNzUyMjU3Mzc4*_ga*MjEwNTU3MzY5MjY4xNzUyMjU3Mzc4*_ga_VED1YSGNC7*czE3NTY0NjYyNTAkbczyJGcxJHQxNzU2NDY2NTE2JGo2MCRsMCRoMA..&gatewayAdapt=glo2esp
- [21] AZ-Delivery, «Kit de desarrollo ESP-32 C V4». Accedido: 17 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.az-delivery.de/en/products/esp-32-dev-kit-c-v4-1>
- [22] «Célula de carga de 50 kg Sensor de pesaje de 50 kg Medidor de tensión de medio puente con HX711 AD + soporte de montaje Sensor de peso humano para Arduino - AliExpress 502». Accedido: 6 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005009248839147.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.29.76f6194dZfcsIr&gatewayAdapt=glo2esp
- [23] AZ-Delivery, «Conversor Analógico - Digital AZDelivery ADS1115», Accedido: 22 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1509/1638/files/AZ051_A_9-4_ES_B07PXF3BH_d2eda411-5828-4d05-8dcf-a792cf2be32a.pdf?v=1721113740
- [24] «Getting Started with the MyoWare® 2.0 Muscle Sensor Ecosystem - SparkFun Learn». Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-the-myoware-20-muscle-sensor-ecosystem/all#introduction>
- [25] Y. Xu *et al.*, «Development of intelligent and integrated technology for pattern recognition in EMG signals for robotic prosthesis command», *Expert Syst*, vol. 40, n.º 5, jun. 2023, doi: 10.1111/EXSY.13109.
- [26] «Pantalla OLED I2C - 1.3 pulgadas». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea].

- Disponible en: <https://www.az-delivery.de/es/products/1-3zoll-i2c-oled-display>
- [27] «Interruptor de Motor de vibración PWM, módulo de Sensor de juguete, vibrador de teléfono móvil CC para Arduino UNO MEGA2560 R3, Kit de bricolaje - AliExpress 502». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005006781074905.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.97.2fa1194dqJVnKh&gatewayAdapt=glo2esp
- [28] «Mini reproductor MP3 DFPlayer Master Module». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.az-delivery.de/es/products/mp3-player-modul?_pos=1&_sid=b6c8cf230&_ss=r
- [29] «Batería Pro 20V 4.0 Ah de alta capacidad con indicador | WORX WA3014». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://eu.worx.com/es-es/producto/bateria-pro-de-20v-y-4-0-ah-de-alta-capacidad-con-indicador-wa3014/>
- [30] «Portafusible 5x20 | Portafusible de tubo de vidrio | Portafusible 6x30 Panel - 5 piezas 5 20mm 6 - Aliexpress». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/4001144562333.html?spm=a2g0o.detail.0.0.b66cnldtnldt6f&mp=1&pdp_npi=5%40dis%21EUR%21EUR%201.60%21EUR%201.50%21%21EUR%201.50%21%21%21%40211b61a417547462205273276e469f%2112000035631363858%21ct%21ES%211890927837%21%211%210&_gl=1*xfcvn4*_gcl_a_w*R0NMLjE3NTQ1MDE0NDQuRUJFYUIRb2JDaE1JMzRPyM05cjJqZ01WQIVVZENSME1wVGNRUFFWUFTQURFZ0pEOFBEX0J3RQ..*_gcl_dc*R0NMLjE3NTQ1MDE0NDQuRUJFYUIRb2JDaE1JMzRPyM05cjJqZ01WQIVVZENSME1wVGNRUFFWUFTQURFZ0pEOFBEX0J3RQ..*_gcl_au*MTIxMzEyMzYzNC4xNzUyMjU3Mzc4*_ga*MjEwNTU3MzY5My4xNzUyMjU3Mzc4*_ga_VED1YSGNC7*czE3NTQ3NDQ3NzkkbzU1JGcxJHQxNzU0NzQ2MjJwJGozMSRsMCRoMA..&gatewayAdapt=glo2esp
- [31] «DaierTek-interruptor basculante redondo de 4 piezas, 12 V, 20a, 12 voltios, CC, iluminado, 3 pines, 2 vías, SPST para coche y barco - AliExpress 34». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005006111033390.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.55.1699194dlm1mZN&gatewayAdapt=glo2esp
- [32] «HUSA Push Button Switch official Store - Las pequeñas órdenes Tienda Online, venta caliente y más en AliExpress». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/store/1100225719?spm=a2g0o.detail.0.0.393dFhW7FhW7tW>
- [33] «Microinterruptor contacto de cobre 5A 125/250V Mini interruptor de límite No NC 2/3Pin varilla de arco de rodillo interruptor de botón rápido - AliExpress 13». Accedido: 9 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005003536527857.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.141.1699194dlm1mZN&gatewayAdapt=glo2esp
- [34] «MIT App Inventor». Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://appinventor.mit.edu/>
- [35] «Autodesk Fusion | Software de CAD, CAM, CAE y PCB 3D basado en la nube | Autodesk». Accedido: 29 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/es/products/fusion-360/overview>
- [36] «Bienvenido a Fritzing». Accedido: 29 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible

- en: <https://fritzing.org/>
- [37] «Apps Script | Google for Developers». Accedido: 12 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://developers.google.com/apps-script?hl=es-419>
 - [38] «Página principal - Google Drive». Accedido: 12 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://drive.google.com/drive/home>
 - [39] «“platformio.ini” (Archivo de configuración del proyecto) – Última documentación de PlatformIO». Accedido: 12 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://docs.platformio.org/en/latest/projectconf/index.html>
 - [40] «VaidrollTeam: CÓMO ENVIAR UNA IMAGEN A GOOGLE DRIVE DESDE MIT APP INVENTOR». Accedido: 11 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://vaidrollteam.blogspot.com/2025/05/como-enviar-una-imagen-google-drive.html#google_vignette
 - [41] «imagen2cpp». Accedido: 12 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://javl.github.io/image2cpp/>
 - [42] «RD RIDEN RD6030 módulo de fuente de alimentación de laboratorio estabilizado, convertidor ajustable, carga de batería, 60V, 30A, CC - AliExpress 1420». Accedido: 5 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/1005007044109564.html>
 - [43] «Fosc21C1 Osciloscopio de PC USB de 2 canales Frecuencia de muestreo de 1 Mhz Osciloscopio portátil Desarrollo MCU - AliExpress 1420». Accedido: 22 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005006631704677.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.91.5668194dnacs67&gatewayAdapt=glo2esp
 - [44] «Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible», 2030, Accedido: 6 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.dsca.gob.es/sites/default/files/derechos-sociales/plan-accion-implementacion-a2030.pdf>
 - [45] «Indicadores de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible Abril de 2024 Instituto Nacional de Estadística», Accedido: 6 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ine.es/ods/publicacion_ods_2024.pdf
 - [46] «Aparatos eléctricos y electrónicos». Accedido: 6 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/aparatos-electr.html>

13. Anexo

LOG MODO AUTOMÁTICO:

```

● -- ---- Datos aplicados.
20;90;5;0;1;5;0
● -- ---- Datos aplicados.
20;90;8;0;1;3;0
● ----- Da tos aplicados.
20;90;8;0;0;3;0
● ----- Preparación posición inicial...
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
0;0;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
0;0;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
0;0;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
Mover servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8
Mover servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
0;0;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
Mover servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
Mover servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
7;7;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 13 | Moviendo servo a ángulo: 13
Mover servo a ángulo: 14 | Moviendo servo a ángulo: 14
Mover servo a ángulo: 15 | Moviendo servo a ángulo: 15
12;12;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
Mover servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
Mover servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
14;14;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;0;

● - ----- Preparación inicial completa
● ----- Empieza Modo Automático...
▶ ----- Repetición 1
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
21;21;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
25;25;8;0;0;0;

```

```

Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
29;29;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
33;33;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
34;34;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
37;37;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
42;42;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
45;45;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
47;47;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
49;49;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
52;52;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
58;58;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
60;60;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
63;63;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
67;67;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
67;67;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71

```



```

71;71;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
76;76;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
77;77;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
78;78;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
84;84;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
88;88;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
91;91;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
90;90;8;0;0;0;
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
91;91;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
87;87;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
82;82;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
80;80;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
77;77;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
72;72;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68

```

```

Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
70;70;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
67;67;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
65;65;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
61;61;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
58;58;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
56;56;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
52;52;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
49;49;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
46;46;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
44;44;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
40;40;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
37;37;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
35;35;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
33;33;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
29;29;8;0;0;0;

```



```

Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
25;25;8;0;0;0;
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;0;

✓ ----- Repetición completada
● -- ---- Empieza Modo Automático...
▶ ----- Repetición 2
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
21;21;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
25;25;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
28;28;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
31;31;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
34;34;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
37;37;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
39;39;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
42;42;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
48;48;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
48;48;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
52;52;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54

```

```

Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
56;56;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
59;59;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
62;62;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
65;65;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
67;67;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
70;70;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
75;75;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
77;77;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
79;79;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
84;84;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
93;93;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
94;94;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
90;90;8;0;0;1;
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
95;95;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85

```

```

Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
87;87;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
85;85;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
81;81;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
79;79;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
76;76;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
73;73;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
67;67;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
66;66;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
61;61;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
57;57;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
56;56;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
52;52;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
45;45;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41

```

```

Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
42;42;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
40;40;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
37;37;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
34;34;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
31;31;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
29;29;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
24;24;8;0;0;1;
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;1;

✅ ----- Repetición completada
● - ----- Empieza Modo Automático...
▶ ----- Repetición 3
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
22;22;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
24;24;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
28;28;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
31;31;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
33;33;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37

```

```

Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
37;37;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
40;40;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
43;43;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
46;46;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
49;49;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
53;53;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
56;56;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
58;58;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
63;63;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
67;67;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
67;67;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
71;71;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
74;74;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
77;77;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
80;80;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81

```

```

Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
81;81;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
86;86;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
91;91;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
90;90;8;0;0;2;
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
86;86;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
83;83;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
80;80;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
76;76;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
73;73;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
71;71;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
67;67;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
66;66;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57

```

```

61;61;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
60;60;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
55;55;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
52;52;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
46;46;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
44;44;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
38;38;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
37;37;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
34;34;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
32;32;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
28;28;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
23;23;8;0;0;2;
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
20;20;8;0;0;2;

✅ ----- Repetición completada
20;20;8;0;1;3;
🛑 ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
🟡 ----- Preparación posición de reposo...
Umbral de presión: 877
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20

```



```

Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
Mover servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
Mover servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
Mover servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
Mover servo a ángulo: 15 | Moviendo servo a ángulo: 15
Mover servo a ángulo: 14 | Moviendo servo a ángulo: 14
Mover servo a ángulo: 13 | Moviendo servo a ángulo: 13
Mover servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
Mover servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
Mover servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
Mover servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
Mover servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8
Mover servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0

● ----- Extensión de reposo completa.
● ----- Automático finalizado.

```

LOG MODO ASISTIDO:

```

● -- ---- Datos aplicados.
20;90;1;1;1;3;0
● ----- - Datos aplicados.
20;90;1;1;0;3;0
🔄 ----- Verificando sensores de presión (ADS1115)...
● ----- ADS1115 responde correctamente.
Calibrando Sensores...
Offset Flexión: 570
Offset Extensión: 33
RAW Flexión: 569 | Normalizado: -1
RAW Extensión: 36 | Normalizado: 3
✅ ----- Calibración correcta.
● --- --- Preparación posición inicial...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8

```

```

0;0;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
1;1;1;1;0;0;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
10;10;1;1;0;0;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
3;3;1;1;0;0;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
13;13;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 13 | Moviendo servo a ángulo: 13
15;15;1;1;0;0;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 14 | Moviendo servo a ángulo: 14
13;13;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 15 | Moviendo servo a ángulo: 15
17;17;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
16;16;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
20;20;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
19;19;1;1;0;0;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
21;21;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : 20;20;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 :
● ---- -- Preparación inicial completa
● ----- Empieza Modo Asistido...
▶ ----- Repetición 1
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
22;22;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
27;27;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
26;26;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
30;30;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
32;32;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
32;32;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
32;32;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
35;35;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
35;35;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33

```

```

36;36;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
36;36;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;1;1;0;0;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
40;40;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
40;40;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
40;40;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
41;41;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
46;46;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
44;44;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
46;46;1;1;0;0;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
46;46;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
49;49;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
49;49;1;1;0;0;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
49;49;1;1;0;0;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
51;51;1;1;0;0;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
53;53;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
52;52;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
55;55;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
55;55;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
57;57;1;1;0;0;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
58;58;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
57;57;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
61;61;1;1;0;0;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
61;61;1;1;0;0;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
62;62;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
63;63;1;1;0;0;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
64;64;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
64;64;1;1;0;0;

```

```

Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
66;66;1;1;0;0;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
66;66;1;1;0;0;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
67;67;1;1;0;0;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;1;1;0;0;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
68;68;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
69;69;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
70;70;1;1;0;0;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
71;71;1;1;0;0;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
73;73;1;1;0;0;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
72;72;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
75;75;1;1;0;0;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
76;76;1;1;0;0;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
77;77;1;1;0;0;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
78;78;1;1;0;0;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
78;78;1;1;0;0;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
80;80;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
82;82;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
84;84;1;1;0;0;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
84;84;1;1;0;0;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
86;86;1;1;0;0;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
88;88;1;1;0;0;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;1;0;0;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
91;91;1;1;0;0;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
91;91;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : 90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 32 :
● ----- - Flexión Alcanzada

```

```

Presión ADS: 24 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
93;93;1;1;0;0;
Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;0;
Presión ADS: 6 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
91;91;1;1;0;0;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;1;0;0;
Presión ADS: 10 : Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
88;88;1;1;0;0;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
86;86;1;1;0;0;
Presión ADS: 11 : Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
87;87;1;1;0;0;
Presión ADS: 8 : Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
85;85;1;1;0;0;
Presión ADS: -16 : Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;1;1;0;0;
Presión ADS: 8 : Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
83;83;1;1;0;0;
Presión ADS: 11 : Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
80;80;1;1;0;0;
Presión ADS: 8 : Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;1;1;0;0;
Presión ADS: 11 : Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
79;79;1;1;0;0;
Presión ADS: 0 : Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
77;77;1;1;0;0;
Presión ADS: -5 : Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
77;77;1;1;0;0;
Presión ADS: 11 : Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
75;75;1;1;0;0;
Presión ADS: 6 : Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
76;76;1;1;0;0;
Presión ADS: -2 : Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
74;74;1;1;0;0;
Presión ADS: 8 : Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
73;73;1;1;0;0;
Presión ADS: 9 : Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
73;73;1;1;0;0;
Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
71;71;1;1;0;0;
Presión ADS: 9 : Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
69;69;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
68;68;1;1;0;0;
Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;1;1;0;0;
Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
67;67;1;1;0;0;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
68;68;1;1;0;0;
Presión ADS: 8 : Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
66;66;1;1;0;0;
Presión ADS: 4 : Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;1;1;0;0;

```

```

Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
64;64;1;1;0;0;
Presión ADS: 12 : Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;1;1;0;0;
Presión ADS: 13 : Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
63;63;1;1;0;0;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
60;60;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
60;60;1;1;0;0;
Presión ADS: 7 : Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
58;58;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
58;58;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
57;57;1;1;0;0;
Presión ADS: 6 : Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
56;56;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
54;54;1;1;0;0;
Presión ADS: 10 : Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
53;53;1;1;0;0;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
53;53;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
51;51;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;1;1;0;0;
Presión ADS: 9 : Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
49;49;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
48;48;1;1;0;0;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;1;1;0;0;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
45;45;1;1;0;0;
Presión ADS: 14 : Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
46;46;1;1;0;0;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
44;44;1;1;0;0;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
44;44;1;1;0;0;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
42;42;1;1;0;0;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
42;42;1;1;0;0;
Presión ADS: 39 : Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
40;40;1;1;0;0;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
39;39;1;1;0;0;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
40;40;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
37;37;1;1;0;0;
Presión ADS: 13 : Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
35;35;1;1;0;0;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32

```

```

34;34;1;1;0;0;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
34;34;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
31;31;1;1;0;0;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
31;31;1;1;0;0;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;1;1;0;0;
Presión ADS: 11 : Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
30;30;1;1;0;0;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
28;28;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
28;28;1;1;0;0;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
26;26;1;1;0;0;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;0;
Presión ADS: 38 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
23;23;1;1;0;0;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
21;21;1;1;0;0;
Presión ADS: 47 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
22;22;1;1;0;0;
Presión ADS: 30 : 20;20;1;1;0;0;
Presión ADS: 14 :
● -- ---- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 33 :
✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido...
▶ ----- Repetición 2
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;1;1;0;1;
Presión ADS: 14 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;1;0;1;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
25;25;1;1;0;1;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;1;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
26;26;1;1;0;1;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
26;26;1;1;0;1;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
28;28;1;1;0;1;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
30;30;1;1;0;1;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;1;1;0;1;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
34;34;1;1;0;1;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
33;33;1;1;0;1;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
35;35;1;1;0;1;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32

```



```

34;34;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
36;36;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
36;36;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;1;1;0;1;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
39;39;1;1;0;1;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
41;41;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
41;41;1;1;0;1;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
41;41;1;1;0;1;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;1;1;0;1;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
45;45;1;1;0;1;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
45;45;1;1;0;1;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
47;47;1;1;0;1;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
47;47;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
47;47;1;1;0;1;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
48;48;1;1;0;1;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
51;51;1;1;0;1;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
51;51;1;1;0;1;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
51;51;1;1;0;1;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
53;53;1;1;0;1;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
52;52;1;1;0;1;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
56;56;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
55;55;1;1;0;1;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
56;56;1;1;0;1;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
58;58;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
58;58;1;1;0;1;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
62;62;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
59;59;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
63;63;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
63;63;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
64;64;1;1;0;1;

```

```

Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;1;1;0;1;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
66;66;1;1;0;1;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
67;67;1;1;0;1;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
69;69;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
70;70;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
72;72;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
70;70;1;1;0;1;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
72;72;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
73;73;1;1;0;1;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
75;75;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
77;77;1;1;0;1;
Presión ADS: 38 : Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
76;76;1;1;0;1;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
78;78;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
77;77;1;1;0;1;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
79;79;1;1;0;1;
Presión ADS: 39 : Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;1;1;0;1;
Presión ADS: 39 : Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
80;80;1;1;0;1;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
83;83;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
85;85;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
86;86;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;1;1;0;1;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
89;89;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;1;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
91;91;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : 90;90;1;1;0;1;

```

```

Presión ADS: 38 :
● ---- -- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 27 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
93;93;1;1;0;1;
Presión ADS: 9 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
93;93;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
92;92;1;1;0;1;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;1;0;1;
Presión ADS: 5 : Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
89;89;1;1;0;1;
Presión ADS: 15 : Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
87;87;1;1;0;1;
Presión ADS: 16 : Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
84;84;1;1;0;1;
Presión ADS: 10 : Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
83;83;1;1;0;1;
Presión ADS: 13 : Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
82;82;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
81;81;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
79;79;1;1;0;1;
Presión ADS: 5 : Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;1;1;0;1;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
78;78;1;1;0;1;
Presión ADS: 2 : Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
77;77;1;1;0;1;
Presión ADS: 14 : Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
74;74;1;1;0;1;
Presión ADS: 6 : Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
76;76;1;1;0;1;
Presión ADS: 3 : Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
73;73;1;1;0;1;
Presión ADS: 34 : Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
73;73;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
72;72;1;1;0;1;
Presión ADS: 6 : Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
73;73;1;1;0;1;
Presión ADS: 17 : Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
70;70;1;1;0;1;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
69;69;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;1;1;0;1;
Presión ADS: 8 : Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
66;66;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
66;66;1;1;0;1;
Presión ADS: 36 : Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;1;1;0;1;

```

```

Presión ADS: 11 : Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
64;64;1;1;0;1;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
63;63;1;1;0;1;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
63;63;1;1;0;1;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
62;62;1;1;0;1;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
60;60;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
60;60;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
59;59;1;1;0;1;
Presión ADS: 13 : Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
58;58;1;1;0;1;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
56;56;1;1;0;1;
Presión ADS: 30 : Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
56;56;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
53;53;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
53;53;1;1;0;1;
Presión ADS: 40 : Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
53;53;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
50;50;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
52;52;1;1;0;1;
Presión ADS: 49 : Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
49;49;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
47;47;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
45;45;1;1;0;1;
Presión ADS: 45 : Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
45;45;1;1;0;1;
Presión ADS: 46 : Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
44;44;1;1;0;1;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
43;43;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
41;41;1;1;0;1;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
41;41;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
39;39;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
38;38;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
37;37;1;1;0;1;
Presión ADS: 35 : Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33

```

```

35;35;1;1;0;1;
Presión ADS: 28 : Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
33;33;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
34;34;1;1;0;1;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
32;32;1;1;0;1;
Presión ADS: 31 : Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
32;32;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;1;1;0;1;
Presión ADS: 43 : Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
30;30;1;1;0;1;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
29;29;1;1;0;1;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
28;28;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
26;26;1;1;0;1;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;1;
Presión ADS: 27 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;1;0;1;
Presión ADS: 32 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
23;23;1;1;0;1;
Presión ADS: 37 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
22;22;1;1;0;1;
Presión ADS: 46 : 20;20;1;1;0;1;
Presión ADS: 45 :
● -- ---- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 28 :
✓ ----- Repetición completada
● - ----- Empieza Modo Asistido...
▶ ----- Repetición 3
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
21;21;1;1;0;2;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
21;21;1;1;0;2;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
26;26;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
25;25;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
27;27;1;1;0;2;
Presión ADS: 21 : Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
27;27;1;1;0;2;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
31;31;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
31;31;1;1;0;2;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
34;34;1;1;0;2;
Presión ADS: 18 : Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
35;35;1;1;0;2;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31

```

```

35;35;1;1;0;2;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
34;34;1;1;0;2;
Presión ADS: 20 : Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
37;37;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
38;38;1;1;0;2;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;1;1;0;2;
Presión ADS: 19 : Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
42;42;1;1;0;2;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
40;40;1;1;0;2;
Presión ADS: 23 : Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
40;40;1;1;0;2;
Presión ADS: 25 : Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
41;41;1;1;0;2;
Presión ADS: 22 : Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
46;46;1;1;0;2;
Presión ADS: 24 : Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
45;45;1;1;0;2;
Presión ADS: 33 : Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
46;46;1;1;0;2;
Presión ADS: 29 : Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
49;49;1;1;0;2;
Presión ADS: 26 : Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
49;49;1;1;0;2;
Presión ADS: 40 : Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
50;50;1;1;0;2;
Presión ADS: 64 : Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
50;50;1;1;0;2;
Presión ADS: 71 : Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
52;52;1;1;0;2;
Presión ADS: 68 : Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
52;52;1;1;0;2;
Presión ADS: 74 : Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
52;52;1;1;0;2;
Presión ADS: 72 : Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
58;58;1;1;0;2;
Presión ADS: 73 : Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
56;56;1;1;0;2;
Presión ADS: 77 : Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
55;55;1;1;0;2;
Presión ADS: 81 : Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
55;55;1;1;0;2;
Presión ADS: 80 : Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
62;62;1;1;0;2;
Presión ADS: 67 : Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
59;59;1;1;0;2;
Presión ADS: 79 : Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
60;60;1;1;0;2;
Presión ADS: 77 : Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
67;67;1;1;0;2;
Presión ADS: 71 : Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
63;63;1;1;0;2;
Presión ADS: 71 : Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
62;62;1;1;0;2;
Presión ADS: 76 : Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
63;63;1;1;0;2;

```

```

Presión ADS: 65 : Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
67;67;1;1;0;2;
Presión ADS: 64 : Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
67;67;1;1;0;2;
Presión ADS: 66 : Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
66;66;1;1;0;2;
Presión ADS: 60 : Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
70;70;1;1;0;2;
Presión ADS: 56 : Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
70;70;1;1;0;2;
Presión ADS: 55 : Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;1;1;0;2;
Presión ADS: 55 : Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
69;69;1;1;0;2;
Presión ADS: 57 : Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
73;73;1;1;0;2;
Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
72;72;1;1;0;2;
Presión ADS: 57 : Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
72;72;1;1;0;2;
Presión ADS: 46 : Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
78;78;1;1;0;2;
Presión ADS: 51 : Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
74;74;1;1;0;2;
Presión ADS: 55 : Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
76;76;1;1;0;2;
Presión ADS: 60 : Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
76;76;1;1;0;2;
Presión ADS: 52 : Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
82;82;1;1;0;2;
Presión ADS: 47 : Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
80;80;1;1;0;2;
Presión ADS: 59 : Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
79;79;1;1;0;2;
Presión ADS: 63 : Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
79;79;1;1;0;2;
Presión ADS: 56 : Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
83;83;1;1;0;2;
Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
83;83;1;1;0;2;
Presión ADS: 63 : Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;1;1;0;2;
Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
87;87;1;1;0;2;
Presión ADS: 59 : Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
87;87;1;1;0;2;
Presión ADS: 49 : Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
87;87;1;1;0;2;
Presión ADS: 44 : Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
89;89;1;1;0;2;
Presión ADS: 49 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
88;88;1;1;0;2;
Presión ADS: 51 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 49 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;2;
Presión ADS: 54 : Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90

```



```

92;92;1;1;0;2;
Presión ADS: 55 : 90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 59 :
● ----- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 27 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
91;91;1;1;0;2;
Presión ADS: 160 : Mover servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;1;0;2;
Presión ADS: 140 : Mover servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 151 : Mover servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;1;1;0;2;
Presión ADS: 137 : Mover servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;1;0;2;
Presión ADS: 133 : Mover servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
89;89;1;1;0;2;
Presión ADS: 119 : Mover servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
87;87;1;1;0;2;
Presión ADS: 127 : Mover servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
86;86;1;1;0;2;
Presión ADS: 113 : Mover servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
84;84;1;1;0;2;
Presión ADS: 111 : Mover servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
83;83;1;1;0;2;
Presión ADS: 144 : Mover servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
82;82;1;1;0;2;
Presión ADS: 144 : Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
82;82;1;1;0;2;
Presión ADS: 140 : Mover servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;1;1;0;2;
Presión ADS: 131 : Mover servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;1;1;0;2;
Presión ADS: 134 : Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
75;75;1;1;0;2;
Presión ADS: 132 : Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
76;76;1;1;0;2;
Presión ADS: 140 : Mover servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
77;77;1;1;0;2;
Presión ADS: 135 : Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
75;75;1;1;0;2;
Presión ADS: 129 : Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
74;74;1;1;0;2;
Presión ADS: 138 : Mover servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
73;73;1;1;0;2;
Presión ADS: 129 : Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
71;71;1;1;0;2;
Presión ADS: 121 : Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
72;72;1;1;0;2;
Presión ADS: 138 : Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
70;70;1;1;0;2;
Presión ADS: 136 : Mover servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
68;68;1;1;0;2;
Presión ADS: 133 : Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;1;1;0;2;
Presión ADS: 137 : Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
67;67;1;1;0;2;
Presión ADS: 129 : Mover servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
67;67;1;1;0;2;

```

```

Presión ADS: 130 : Mover servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;1;1;0;2;
Presión ADS: 143 : Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
66;66;1;1;0;2;
Presión ADS: 134 : Mover servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
64;64;1;1;0;2;
Presión ADS: 130 : Mover servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
61;61;1;1;0;2;
Presión ADS: 145 : Mover servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
62;62;1;1;0;2;
Presión ADS: 140 : Mover servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
60;60;1;1;0;2;
Presión ADS: 126 : Mover servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
59;59;1;1;0;2;
Presión ADS: 142 : Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
58;58;1;1;0;2;
Presión ADS: 154 : Mover servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
59;59;1;1;0;2;
Presión ADS: 148 : Mover servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
56;56;1;1;0;2;
Presión ADS: 131 : Mover servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
56;56;1;1;0;2;
Presión ADS: 147 : Mover servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
55;55;1;1;0;2;
Presión ADS: 148 : Mover servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
53;53;1;1;0;2;
Presión ADS: 162 : Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
53;53;1;1;0;2;
Presión ADS: 162 : Mover servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
51;51;1;1;0;2;
Presión ADS: 147 : Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
51;51;1;1;0;2;
Presión ADS: 147 : Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
48;48;1;1;0;2;
Presión ADS: 157 : Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
48;48;1;1;0;2;
Presión ADS: 156 : Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;1;1;0;2;
Presión ADS: 154 : Mover servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
45;45;1;1;0;2;
Presión ADS: 160 : Mover servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
45;45;1;1;0;2;
Presión ADS: 154 : Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
43;43;1;1;0;2;
Presión ADS: 150 : Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
44;44;1;1;0;2;
Presión ADS: 152 : Mover servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
42;42;1;1;0;2;
Presión ADS: 165 : Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
42;42;1;1;0;2;
Presión ADS: 169 : Mover servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
39;39;1;1;0;2;
Presión ADS: 159 : Mover servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
40;40;1;1;0;2;
Presión ADS: 169 : Mover servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
39;39;1;1;0;2;
Presión ADS: 176 : Mover servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;1;1;0;2;
Presión ADS: 178 : Mover servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34

```

```

36;36;1;1;0;2;
Presión ADS: 187 : Mover servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
34;34;1;1;0;2;
Presión ADS: 186 : Mover servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
34;34;1;1;0;2;
Presión ADS: 195 : Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
33;33;1;1;0;2;
Presión ADS: 200 : Mover servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
31;31;1;1;0;2;
Presión ADS: 211 : Mover servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
30;30;1;1;0;2;
Presión ADS: 220 : Mover servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;1;1;0;2;
Presión ADS: 226 : Mover servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
31;31;1;1;0;2;
Presión ADS: 236 : Mover servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
28;28;1;1;0;2;
Presión ADS: 238 : Mover servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
29;29;1;1;0;2;
Presión ADS: 242 : Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
27;27;1;1;0;2;
Presión ADS: 250 : Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
24;24;1;1;0;2;
Presión ADS: 247 : Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;1;0;2;
Presión ADS: 248 : Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;1;0;2;
Presión ADS: 247 : Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
23;23;1;1;0;2;
Presión ADS: 247 : 20;20;1;1;0;2;
Presión ADS: 235 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 29 :
✅ ----- Repetición completada
23;23;1;1;1;3;
🛑 ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
● -- ---- Preparación posición de reposo...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
Mover servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
Mover servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
Mover servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
Mover servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
Mover servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
Mover servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
Mover servo a ángulo: 15 | Moviendo servo a ángulo: 15
Mover servo a ángulo: 14 | Moviendo servo a ángulo: 14
Mover servo a ángulo: 13 | Moviendo servo a ángulo: 13
Mover servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
Mover servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
Mover servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
Mover servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
Mover servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8
Mover servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
Mover servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
Mover servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
Mover servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4

```

```
Mover servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
Mover servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
Mover servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
```

```
● ----- - Extensión de reposo completa.
● ----- Asistido finalizado.
```

LOG MODO ASISTIDO LIBRE:

```
● ----- Iniciando DFPlayer Mini MP3...
● ----- DFPlayer Mini MP3 listo.
Ángulo inicial leído: 12
Umbral de presión: 142

● -- ---- Datos aplicados.
20;90;1;2;1;5;0
● -- ---- Datos aplicados.
20;90;1;2;0;5;0
🔄 ----- Verificando sensores de presión (ADS1115)...
● ---- -- ADS1115 responde correctamente.
Calibrando Sensores...
Offset Flexión: 574
Offset Extensión: 51
RAW Flexión: 567 | Normalizado: -7
RAW Extensión: 35 | Normalizado: -16
✅ ----- Calibración correcta.
● ----- Preparación posición inicial...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 0 | Moviendo servo a ángulo: 0
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 17 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 1 | Moviendo servo a ángulo: 1
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 21 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 2 | Moviendo servo a ángulo: 2
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 16 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 3 | Moviendo servo a ángulo: 3
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 15 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 4 | Moviendo servo a ángulo: 4
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 19 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 5 | Moviendo servo a ángulo: 5
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 18 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 6 | Moviendo servo a ángulo: 6
0;0;1;2;0;0;
Presión ADS: 17 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 7 | Moviendo servo a ángulo: 7
```

```

3;3;1;2;0;0;
Presión ADS: 19 : Presión: 21 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 8 | Moviendo servo a ángulo: 8
1;1;1;2;0;0;
Presión ADS: 21 : Presión: 23 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 9 | Moviendo servo a ángulo: 9
10;10;1;2;0;0;
Presión ADS: 23 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 10 | Moviendo servo a ángulo: 10
14;14;1;2;0;0;
Presión ADS: 20 : Presión: 21 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 11 | Moviendo servo a ángulo: 11
14;14;1;2;0;0;
Presión ADS: 30 : Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 12 | Moviendo servo a ángulo: 12
12;12;1;2;0;0;
Presión ADS: 29 : Presión: 23 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 13 | Moviendo servo a ángulo: 13
20;20;1;2;0;0;
Presión ADS: 29 : Presión: 24 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 14 | Moviendo servo a ángulo: 14
18;18;1;2;0;0;
Presión ADS: 33 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 15 | Moviendo servo a ángulo: 15
17;17;1;2;0;0;
Presión ADS: 33 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 16 | Moviendo servo a ángulo: 16
16;16;1;2;0;0;
Presión ADS: 33 : Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 17 | Moviendo servo a ángulo: 17
26;26;1;2;0;0;
Presión ADS: 31 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 18 | Moviendo servo a ángulo: 18
26;26;1;2;0;0;
Presión ADS: 39 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 19 | Moviendo servo a ángulo: 19
23;23;1;2;0;0;
Presión ADS: 39 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
24;24;1;2;0;0;
Presión ADS: 37 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10020;20;1;2;0;0;
Presión ADS: 36 :
● ----- Preparación inicial completa
● ----- E mpieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 1
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
23;23;1;2;0;0;
Presión ADS: 13 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
29;29;1;2;0;0;
Presión ADS: 21 : Presión: 26 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
29;29;1;2;0;0;
Presión ADS: 27 : Presión: 22 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
33;33;1;2;0;0;

```

```

Presión ADS: 27 : Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
33;33;1;2;0;0;
Presión ADS: 33 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
32;32;1;2;0;0;
Presión ADS: 45 : Presión: 44 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
33;33;1;2;0;0;
Presión ADS: 49 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
37;37;1;2;0;0;
Presión ADS: 42 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
35;35;1;2;0;0;
Presión ADS: 52 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
36;36;1;2;0;0;
Presión ADS: 68 : Presión: 73 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
36;36;1;2;0;0;
Presión ADS: 74 : Presión: 64 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
40;40;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
39;39;1;2;0;0;
Presión ADS: 83 : Presión: 82 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
38;38;1;2;0;0;
Presión ADS: 89 : Presión: 69 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
47;47;1;2;0;0;
Presión ADS: 80 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
45;45;1;2;0;0;
Presión ADS: 83 : Presión: 82 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;1;2;0;0;
Presión ADS: 81 : Presión: 82 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
46;46;1;2;0;0;
Presión ADS: 86 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
45;45;1;2;0;0;
Presión ADS: 84 : Presión: 86 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
47;47;1;2;0;0;
Presión ADS: 89 : Presión: 88 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
47;47;1;2;0;0;
Presión ADS: 83 : Presión: 77 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
53;53;1;2;0;0;
Presión ADS: 83 : Presión: 80 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
53;53;1;2;0;0;
Presión ADS: 88 : Presión: 91 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47

```

```

51;51;1;2;0;0;
Presión ADS: 92 : Presión: 95 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
51;51;1;2;0;0;
Presión ADS: 84 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
55;55;1;2;0;0;
Presión ADS: 78 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
54;54;1;2;0;0;
Presión ADS: 85 : Presión: 83 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
54;54;1;2;0;0;
Presión ADS: 72 : Presión: 65 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
63;63;1;2;0;0;
Presión ADS: 77 : Presión: 74 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
62;62;1;2;0;0;
Presión ADS: 78 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
58;58;1;2;0;0;
Presión ADS: 74 : Presión: 69 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
61;61;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
60;60;1;2;0;0;
Presión ADS: 77 : Presión: 68 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
63;63;1;2;0;0;
Presión ADS: 72 : Presión: 75 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
62;62;1;2;0;0;
Presión ADS: 66 : Presión: 66 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
65;65;1;2;0;0;
Presión ADS: 74 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
65;65;1;2;0;0;
Presión ADS: 74 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
66;66;1;2;0;0;
Presión ADS: 71 : Presión: 69 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;1;2;0;0;
Presión ADS: 66 : Presión: 67 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;1;2;0;0;
Presión ADS: 59 : Presión: 54 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
72;72;1;2;0;0;
Presión ADS: 66 : Presión: 62 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
70;70;1;2;0;0;
Presión ADS: 62 : Presión: 63 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
71;71;1;2;0;0;
Presión ADS: 67 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover

```



```

servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
70;70;1;2;0;0;
Presión ADS: 64 : Presión: 63 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
73;73;1;2;0;0;
Presión ADS: 69 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
72;72;1;2;0;0;
Presión ADS: 72 : Presión: 67 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
74;74;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
78;78;1;2;0;0;
Presión ADS: 72 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
76;76;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 66 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
79;79;1;2;0;0;
Presión ADS: 71 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
77;77;1;2;0;0;
Presión ADS: 73 : Presión: 60 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
81;81;1;2;0;0;
Presión ADS: 68 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
79;79;1;2;0;0;
Presión ADS: 64 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
81;81;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 68 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;1;2;0;0;
Presión ADS: 77 : Presión: 53 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
84;84;1;2;0;0;
Presión ADS: 67 : Presión: 66 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
84;84;1;2;0;0;
Presión ADS: 73 : Presión: 72 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
84;84;1;2;0;0;
Presión ADS: 68 : Presión: 55 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
89;89;1;2;0;0;
Presión ADS: 71 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
88;88;1;2;0;0;
Presión ADS: 67 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
88;88;1;2;0;0;
Presión ADS: 62 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
91;91;1;2;0;0;
Presión ADS: 63 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;2;0;0;

```

```

Presión ADS: 52 : Presión: 55 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
93;93;1;2;0;0;
Presión ADS: 54 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
91;91;1;2;0;0;
Presión ADS: 48 : Presión: 51 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
93;93;1;2;0;0;
Presión ADS: 49 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
95;95;1;2;0;0;
Presión ADS: 53 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10090;90;1;2;0;0;
Presión ADS: 56 :
● --- --- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 21 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;1;2;0;0;
Presión ADS: 201 : Presión: 190 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;2;2;0;0;
Presión ADS: 172 : Presión: 144 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;2;2;0;0;
Presión ADS: 190 : Presión: 178 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
90;90;2;2;0;0;
Presión ADS: 214 : Presión: 201 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
90;90;2;2;0;0;
Presión ADS: 252 : Presión: 237 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
88;88;2;2;0;0;
Presión ADS: 288 : Presión: 280 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
86;86;3;2;0;0;
Presión ADS: 342 : Presión: 327 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
86;86;3;2;0;0;
Presión ADS: 323 : Presión: 306 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
85;85;3;2;0;0;
Presión ADS: 309 : Presión: 315 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
83;83;3;2;0;0;
Presión ADS: 312 : Presión: 311 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
82;82;3;2;0;0;
Presión ADS: 341 : Presión: 324 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
82;82;3;2;0;0;
Presión ADS: 323 : Presión: 323 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
82;82;3;2;0;0;
Presión ADS: 315 : Presión: 310 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;3;2;0;0;
Presión ADS: 329 : Presión: 314 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover

```

```

servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
79;79;3;2;0;0;
Presión ADS: 325 : Presión: 315 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
75;75;3;2;0;0;
Presión ADS: 323 : Presión: 320 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
76;76;3;2;0;0;
Presión ADS: 322 : Presión: 316 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
76;76;3;2;0;0;
Presión ADS: 323 : Presión: 317 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
75;75;3;2;0;0;
Presión ADS: 322 : Presión: 282 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
73;73;3;2;0;0;
Presión ADS: 288 : Presión: 285 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
73;73;3;2;0;0;
Presión ADS: 276 : Presión: 288 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
72;72;3;2;0;0;
Presión ADS: 292 : Presión: 303 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
69;69;3;2;0;0;
Presión ADS: 303 : Presión: 296 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
68;68;3;2;0;0;
Presión ADS: 295 : Presión: 305 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;3;2;0;0;
Presión ADS: 295 : Presión: 309 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;3;2;0;0;
Presión ADS: 320 : Presión: 318 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
66;66;3;2;0;0;
Presión ADS: 332 : Presión: 347 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
67;67;3;2;0;0;
Presión ADS: 326 : Presión: 316 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;3;2;0;0;
Presión ADS: 325 : Presión: 326 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
63;63;3;2;0;0;
Presión ADS: 341 : Presión: 362 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;3;2;0;0;
Presión ADS: 365 : Presión: 373 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
61;61;3;2;0;0;
Presión ADS: 376 : Presión: 383 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
62;62;3;2;0;0;
Presión ADS: 371 : Presión: 374 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
63;63;3;2;0;0;

```

```

Presión ADS: 398 : Presión: 369 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
59;59;3;2;0;0;
Presión ADS: 389 : Presión: 372 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
60;60;3;2;0;0;
Presión ADS: 391 : Presión: 375 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
59;59;3;2;0;0;
Presión ADS: 371 : Presión: 379 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
56;56;3;2;0;0;
Presión ADS: 353 : Presión: 387 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
53;53;3;2;0;0;
Presión ADS: 383 : Presión: 372 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
55;55;3;2;0;0;
Presión ADS: 377 : Presión: 375 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
55;55;3;2;0;0;
Presión ADS: 380 : Presión: 377 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
52;52;3;2;0;0;
Presión ADS: 371 : Presión: 350 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
51;51;3;2;0;0;
Presión ADS: 321 : Presión: 294 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
46;46;3;2;0;0;
Presión ADS: 279 : Presión: 283 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
47;47;3;2;0;0;
Presión ADS: 237 : Presión: 251 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
47;47;2;2;0;0;
Presión ADS: 225 : Presión: 220 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
46;46;2;2;0;0;
Presión ADS: 166 : Presión: 161 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
45;45;2;2;0;0;
Presión ADS: 134 : Presión: 113 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
44;44;1;2;0;0;
Presión ADS: 48 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
45;45;1;2;0;0;
Presión ADS: 10 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
42;42;1;2;0;0;
Presión ADS: 12 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
43;43;1;2;0;0;
Presión ADS: 7 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
41;41;1;2;0;0;
Presión ADS: -3 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37

```

```

39;39;1;2;0;0;
Presión ADS: 12 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
39;39;1;2;0;0;
Presión ADS: 44 : Presión: 54 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
40;40;1;2;0;0;
Presión ADS: 90 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
40;40;1;2;0;0;
Presión ADS: 70 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
41;41;1;2;0;0;
Presión ADS: 61 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 32
↔ ----- Cambio detectado, saliendo de extensión

✅ ----- Repetición completada
● - ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 2
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
41;41;1;2;0;1;
Presión ADS: 34 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
47;47;1;2;0;1;
Presión ADS: 28 : Presión: 26 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
46;46;1;2;0;1;
Presión ADS: 37 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
47;47;1;2;0;1;
Presión ADS: 31 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
51;51;1;2;0;1;
Presión ADS: 38 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
55;55;1;2;0;1;
Presión ADS: 37 : Presión: 38 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
50;50;1;2;0;1;
Presión ADS: 41 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;1;2;0;1;
Presión ADS: 39 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
54;54;1;2;0;1;
Presión ADS: 43 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
54;54;1;2;0;1;
Presión ADS: 48 : Presión: 45 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
54;54;1;2;0;1;
Presión ADS: 45 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
59;59;1;2;0;1;
Presión ADS: 43 : Presión: 38 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53

```

```

58;58;1;2;0;1;
Presión ADS: 45 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
57;57;1;2;0;1;
Presión ADS: 44 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
60;60;1;2;0;1;
Presión ADS: 43 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
60;60;1;2;0;1;
Presión ADS: 42 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
62;62;1;2;0;1;
Presión ADS: 36 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
62;62;1;2;0;1;
Presión ADS: 36 : Presión: 30 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
64;64;1;2;0;1;
Presión ADS: 29 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;1;2;0;1;
Presión ADS: 34 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
65;65;1;2;0;1;
Presión ADS: 31 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
64;64;1;2;0;1;
Presión ADS: 30 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
67;67;1;2;0;1;
Presión ADS: 35 : Presión: 27 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
68;68;1;2;0;1;
Presión ADS: 33 : Presión: 27 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;1;2;0;1;
Presión ADS: 27 : Presión: 21 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
71;71;1;2;0;1;
Presión ADS: 25 : Presión: 21 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
72;72;1;2;0;1;
Presión ADS: 23 : Presión: 21 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
71;71;1;2;0;1;
Presión ADS: 26 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
71;71;1;2;0;1;
Presión ADS: 36 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
76;76;1;2;0;1;
Presión ADS: 34 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
77;77;1;2;0;1;
Presión ADS: 35 : Presión: 38 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
75;75;1;2;0;1;
Presión ADS: 42 : Presión: 27 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover

```



```

servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
79;79;1;2;0;1;
Presión ADS: 32 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
78;78;1;2;0;1;
Presión ADS: 40 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
78;78;1;2;0;1;
Presión ADS: 40 : Presión: 39 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
78;78;1;2;0;1;
Presión ADS: 37 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
80;80;1;2;0;1;
Presión ADS: 40 : Presión: 38 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
79;79;1;2;0;1;
Presión ADS: 38 : Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
83;83;1;2;0;1;
Presión ADS: 33 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
82;82;1;2;0;1;
Presión ADS: 42 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;1;2;0;1;
Presión ADS: 37 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
88;88;1;2;0;1;
Presión ADS: 37 : Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
87;87;1;2;0;1;
Presión ADS: 34 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
87;87;1;2;0;1;
Presión ADS: 26 : Presión: 30 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
88;88;1;2;0;1;
Presión ADS: 32 : Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
89;89;1;2;0;1;
Presión ADS: 32 : Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
91;91;1;2;0;1;
Presión ADS: 31 : Presión: 30 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
90;90;1;2;0;1;
Presión ADS: 34 : Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
92;92;1;2;0;1;
Presión ADS: 32 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90
92;92;1;2;0;1;
Presión ADS: 33 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10090;90;1;2;0;1;
Presión ADS: 31 :
● ----- Flexión Alcanzada
Presión ADS: 19 : Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 90 | Moviendo servo a ángulo: 90

```



```

95;95;1;2;0;1;
Presión ADS: 12 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 89 | Moviendo servo a ángulo: 89
94;94;1;2;0;1;
Presión ADS: 25 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 88 | Moviendo servo a ángulo: 88
93;93;1;2;0;1;
Presión ADS: 35 : Presión: 24 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 87 | Moviendo servo a ángulo: 87
92;92;1;2;0;1;
Presión ADS: 55 : Presión: 41 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 86 | Moviendo servo a ángulo: 86
91;91;1;2;0;1;
Presión ADS: 49 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 85 | Moviendo servo a ángulo: 85
89;89;1;2;0;1;
Presión ADS: 23 : Presión: 22 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 84 | Moviendo servo a ángulo: 84
87;87;1;2;0;1;
Presión ADS: 54 : Presión: 30 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 83 | Moviendo servo a ángulo: 83
88;88;1;2;0;1;
Presión ADS: 31 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 82 | Moviendo servo a ángulo: 82
84;84;1;2;0;1;
Presión ADS: 21 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 81 | Moviendo servo a ángulo: 81
82;82;1;2;0;1;
Presión ADS: 24 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 80 | Moviendo servo a ángulo: 80
84;84;1;2;0;1;
Presión ADS: 26 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
81;81;1;2;0;1;
Presión ADS: 30 : Presión: 27 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
82;82;1;2;0;1;
Presión ADS: 15 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;1;2;0;1;
Presión ADS: 28 : Presión: 24 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
76;76;1;2;0;1;
Presión ADS: 16 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
77;77;1;2;0;1;
Presión ADS: 39 : Presión: 27 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
75;75;1;2;0;1;
Presión ADS: 29 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
76;76;1;2;0;1;
Presión ADS: 29 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
74;74;1;2;0;1;
Presión ADS: 74 : Presión: 83 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
74;74;1;2;0;1;
Presión ADS: 115 : Presión: 138 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |

```

```

100Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
71;71;1;2;0;1;
Presión ADS: 142 : Presión: 140 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
71;71;1;2;0;1;
Presión ADS: 140 : Presión: 142 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
70;70;1;2;0;1;
Presión ADS: 182 : Presión: 186 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
68;68;2;2;0;1;
Presión ADS: 194 : Presión: 220 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
68;68;2;2;0;1;
Presión ADS: 235 : Presión: 238 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;2;2;0;1;
Presión ADS: 257 : Presión: 236 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
67;67;2;2;0;1;
Presión ADS: 257 : Presión: 271 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;3;2;0;1;
Presión ADS: 275 : Presión: 269 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
64;64;3;2;0;1;
Presión ADS: 292 : Presión: 296 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
63;63;3;2;0;1;
Presión ADS: 305 : Presión: 292 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;3;2;0;1;
Presión ADS: 333 : Presión: 322 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
61;61;3;2;0;1;
Presión ADS: 337 : Presión: 334 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
61;61;3;2;0;1;
Presión ADS: 331 : Presión: 318 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
61;61;3;2;0;1;
Presión ADS: 337 : Presión: 369 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
59;59;3;2;0;1;
Presión ADS: 345 : Presión: 336 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
59;59;3;2;0;1;
Presión ADS: 332 : Presión: 345 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
58;58;3;2;0;1;
Presión ADS: 327 : Presión: 316 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
60;60;3;2;0;1;
Presión ADS: 331 : Presión: 340 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
54;54;3;2;0;1;
Presión ADS: 331 : Presión: 340 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
52;52;3;2;0;1;

```

```

Presión ADS: 339 : Presión: 334 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
53;53;3;2;0;1;
Presión ADS: 339 : Presión: 333 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
52;52;3;2;0;1;
Presión ADS: 316 : Presión: 319 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
51;51;3;2;0;1;
Presión ADS: 320 : Presión: 325 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
50;50;3;2;0;1;
Presión ADS: 332 : Presión: 309 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
48;48;3;2;0;1;
Presión ADS: 328 : Presión: 316 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;3;2;0;1;
Presión ADS: 318 : Presión: 323 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
47;47;3;2;0;1;
Presión ADS: 317 : Presión: 336 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
47;47;3;2;0;1;
Presión ADS: 323 : Presión: 329 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
44;44;3;2;0;1;
Presión ADS: 317 : Presión: 322 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
43;43;3;2;0;1;
Presión ADS: 320 : Presión: 333 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
42;42;3;2;0;1;
Presión ADS: 305 : Presión: 300 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
42;42;3;2;0;1;
Presión ADS: 308 : Presión: 309 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
39;39;3;2;0;1;
Presión ADS: 317 : Presión: 315 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
37;37;3;2;0;1;
Presión ADS: 326 : Presión: 304 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
38;38;3;2;0;1;
Presión ADS: 323 : Presión: 310 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;3;2;0;1;
Presión ADS: 330 : Presión: 317 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
36;36;3;2;0;1;
Presión ADS: 316 : Presión: 313 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
35;35;3;2;0;1;
Presión ADS: 302 : Presión: 302 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
33;33;3;2;0;1;
Presión ADS: 309 : Presión: 299 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31

```

```

34;34;3;2;0;1;
Presión ADS: 308 : Presión: 304 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
33;33;3;2;0;1;
Presión ADS: 287 : Presión: 288 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
32;32;3;2;0;1;
Presión ADS: 287 : Presión: 294 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
30;30;3;2;0;1;
Presión ADS: 308 : Presión: 284 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
31;31;3;2;0;1;
Presión ADS: 312 : Presión: 312 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
28;28;3;2;0;1;
Presión ADS: 284 : Presión: 286 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
30;30;3;2;0;1;
Presión ADS: 282 : Presión: 293 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
25;25;3;2;0;1;
Presión ADS: 276 : Presión: 272 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
25;25;3;2;0;1;
Presión ADS: 283 : Presión: 260 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;2;2;0;1;
Presión ADS: 285 : Presión: 286 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;3;2;0;1;
Presión ADS: 301 : Presión: 286 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
23;23;3;2;0;1;
Presión ADS: 284 : Presión: 259 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: |
8920;20;2;2;0;1;
Presión ADS: 264 :
● ----- E xtensión Alcanzada
Presión ADS: 21 :
✓ ----- Repetición completada
● ----- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 3
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
23;23;1;2;0;2;
Presión ADS: 36 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
31;31;1;2;0;2;
Presión ADS: 40 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
28;28;1;2;0;2;
Presión ADS: 48 : Presión: 51 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
30;30;1;2;0;2;
Presión ADS: 52 : Presión: 45 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
36;36;1;2;0;2;
Presión ADS: 50 : Presión: 45 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover

```

```

servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
36;36;1;2;0;2;
Presión ADS: 49 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
33;33;1;2;0;2;
Presión ADS: 55 : Presión: 57 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
33;33;1;2;0;2;
Presión ADS: 50 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
41;41;1;2;0;2;
Presión ADS: 49 : Presión: 44 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
37;37;1;2;0;2;
Presión ADS: 49 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
37;37;1;2;0;2;
Presión ADS: 47 : Presión: 53 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
37;37;1;2;0;2;
Presión ADS: 48 : Presión: 45 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
38;38;1;2;0;2;
Presión ADS: 40 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
39;39;1;2;0;2;
Presión ADS: 42 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
39;39;1;2;0;2;
Presión ADS: 41 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
45;45;1;2;0;2;
Presión ADS: 38 : Presión: 39 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
43;43;1;2;0;2;
Presión ADS: 40 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;1;2;0;2;
Presión ADS: 36 : Presión: 32 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
48;48;1;2;0;2;
Presión ADS: 33 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
47;47;1;2;0;2;
Presión ADS: 37 : Presión: 38 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
46;46;1;2;0;2;
Presión ADS: 38 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
45;45;1;2;0;2;
Presión ADS: 34 : Presión: 26 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
51;51;1;2;0;2;
Presión ADS: 33 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
52;52;1;2;0;2;
Presión ADS: 26 : Presión: 30 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
51;51;1;2;0;2;

```

```

Presión ADS: 34 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;1;2;0;2;
Presión ADS: 38 : Presión: 39 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
54;54;1;2;0;2;
Presión ADS: 53 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
55;55;1;2;0;2;
Presión ADS: 75 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
55;55;1;2;0;2;
Presión ADS: 83 : Presión: 80 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
59;59;1;2;0;2;
Presión ADS: 82 : Presión: 82 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
59;59;1;2;0;2;
Presión ADS: 82 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
59;59;1;2;0;2;
Presión ADS: 76 : Presión: 68 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
61;61;1;2;0;2;
Presión ADS: 73 : Presión: 73 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
61;61;1;2;0;2;
Presión ADS: 67 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
63;63;1;2;0;2;
Presión ADS: 44 : Presión: 44 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
63;63;1;2;0;2;
Presión ADS: 55 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
64;64;1;2;0;2;
Presión ADS: 60 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
64;64;1;2;0;2;
Presión ADS: 56 : Presión: 49 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
66;66;1;2;0;2;
Presión ADS: 39 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
66;66;1;2;0;2;
Presión ADS: 26 : Presión: 25 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;1;2;0;2;
Presión ADS: 17 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 64
⇨ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
65;65;1;2;0;2;
Presión ADS: 167 : Presión: 199 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
67;67;2;2;0;2;
Presión ADS: 192 : Presión: 210 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63

```



```

64;64;2;2;0;2;
Presión ADS: 202 : Presión: 201 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;2;2;0;2;
Presión ADS: 181 : Presión: 176 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
63;63;2;2;0;2;
Presión ADS: 183 : Presión: 187 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;2;2;0;2;
Presión ADS: 177 : Presión: 180 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
62;62;2;2;0;2;
Presión ADS: 188 : Presión: 181 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
60;60;2;2;0;2;
Presión ADS: 187 : Presión: 185 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
59;59;2;2;0;2;
Presión ADS: 184 : Presión: 217 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
58;58;2;2;0;2;
Presión ADS: 203 : Presión: 212 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
58;58;2;2;0;2;
Presión ADS: 195 : Presión: 196 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
57;57;2;2;0;2;
Presión ADS: 205 : Presión: 206 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
56;56;2;2;0;2;
Presión ADS: 212 : Presión: 242 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
53;53;2;2;0;2;
Presión ADS: 265 : Presión: 254 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
53;53;2;2;0;2;
Presión ADS: 259 : Presión: 281 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
51;51;3;2;0;2;
Presión ADS: 257 : Presión: 265 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
50;50;3;2;0;2;
Presión ADS: 266 : Presión: 282 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;3;2;0;2;
Presión ADS: 273 : Presión: 279 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
48;48;3;2;0;2;
Presión ADS: 266 : Presión: 276 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
47;47;3;2;0;2;
Presión ADS: 280 : Presión: 277 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
47;47;3;2;0;2;
Presión ADS: 280 : Presión: 277 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
48;48;3;2;0;2;
Presión ADS: 284 : Presión: 276 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover

```



```

servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
45;45;3;2;0;2;
Presión ADS: 280 : Presión: 289 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
44;44;3;2;0;2;
Presión ADS: 268 : Presión: 270 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
44;44;3;2;0;2;
Presión ADS: 277 : Presión: 285 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;3;2;0;2;
Presión ADS: 299 : Presión: 284 | Velocidad: 3 | TiempoPorGrado: | 77Mover
servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
41;41;3;2;0;2;
Presión ADS: 278 : Presión: 255 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
40;40;2;2;0;2;
Presión ADS: 272 : Presión: 264 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
39;39;2;2;0;2;
Presión ADS: 270 : Presión: 239 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
38;38;2;2;0;2;
Presión ADS: 250 : Presión: 246 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
37;37;2;2;0;2;
Presión ADS: 199 : Presión: 205 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
39;39;2;2;0;2;
Presión ADS: 195 : Presión: 188 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
36;36;2;2;0;2;
Presión ADS: 192 : Presión: 171 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
37;37;2;2;0;2;
Presión ADS: 141 : Presión: 116 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
37;37;1;2;0;2;
Presión ADS: 82 : Presión: 85 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
40;40;1;2;0;2;
Presión ADS: 76 : Presión: 72 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
40;40;1;2;0;2;
Presión ADS: 57 : Presión: 66 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
41;41;1;2;0;2;
Presión ADS: 45 : Presión: 53 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
40;40;1;2;0;2;
Presión ADS: 42 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
38;38;1;2;0;2;
Presión ADS: 36 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 25
↻ ----- Cambio detectado, saliendo de extensión

✅ ----- Repetición completada

```

```

● ----- - Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 4
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
37;37;1;2;0;3;
Presión ADS: 44 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
47;47;1;2;0;3;
Presión ADS: 30 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
46;46;1;2;0;3;
Presión ADS: 39 : Presión: 40 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
46;46;1;2;0;3;
Presión ADS: 50 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43
47;47;1;2;0;3;
Presión ADS: 54 : Presión: 57 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
47;47;1;2;0;3;
Presión ADS: 60 : Presión: 45 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
53;53;1;2;0;3;
Presión ADS: 53 : Presión: 66 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
51;51;1;2;0;3;
Presión ADS: 69 : Presión: 72 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
51;51;1;2;0;3;
Presión ADS: 74 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
51;51;1;2;0;3;
Presión ADS: 66 : Presión: 62 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
57;57;1;2;0;3;
Presión ADS: 58 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
54;54;1;2;0;3;
Presión ADS: 65 : Presión: 62 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
55;55;1;2;0;3;
Presión ADS: 64 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
58;58;1;2;0;3;
Presión ADS: 70 : Presión: 62 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
58;58;1;2;0;3;
Presión ADS: 71 : Presión: 69 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
58;58;1;2;0;3;
Presión ADS: 66 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
64;64;1;2;0;3;
Presión ADS: 63 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
63;63;1;2;0;3;
Presión ADS: 61 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57

```

```

61;61;1;2;0;3;
Presión ADS: 66 : Presión: 63 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
62;62;1;2;0;3;
Presión ADS: 58 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
69;69;1;2;0;3;
Presión ADS: 58 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
68;68;1;2;0;3;
Presión ADS: 76 : Presión: 73 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
66;66;1;2;0;3;
Presión ADS: 82 : Presión: 79 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;1;2;0;3;
Presión ADS: 73 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
69;69;1;2;0;3;
Presión ADS: 67 : Presión: 59 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
70;70;1;2;0;3;
Presión ADS: 85 : Presión: 89 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
70;70;1;2;0;3;
Presión ADS: 89 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
75;75;1;2;0;3;
Presión ADS: 85 : Presión: 78 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
72;72;1;2;0;3;
Presión ADS: 83 : Presión: 84 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
72;72;1;2;0;3;
Presión ADS: 83 : Presión: 79 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
74;74;1;2;0;3;
Presión ADS: 71 : Presión: 60 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
74;74;1;2;0;3;
Presión ADS: 64 : Presión: 60 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
77;77;1;2;0;3;
Presión ADS: 74 : Presión: 69 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
76;76;1;2;0;3;
Presión ADS: 72 : Presión: 61 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
79;79;1;2;0;3;
Presión ADS: 65 : Presión: 83 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
79;79;1;2;0;3;
Presión ADS: 67 : Presión: 72 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
83;83;1;2;0;3;
Presión ADS: 66 : Presión: 63 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
80;80;1;2;0;3;
Presión ADS: 78 : Presión: 71 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover

```

```

servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
82;82;1;2;0;3;
Presión ADS: 70 : Presión: 75 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;1;2;0;3;
Presión ADS: 53 : Presión: 34 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 79
↔ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 79 | Moviendo servo a ángulo: 79
79;79;1;2;0;3;
Presión ADS: 137 : Presión: 149 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 78 | Moviendo servo a ángulo: 78
80;80;2;2;0;3;
Presión ADS: 124 : Presión: 153 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 77 | Moviendo servo a ángulo: 77
78;78;2;2;0;3;
Presión ADS: 144 : Presión: 127 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 76 | Moviendo servo a ángulo: 76
78;78;1;2;0;3;
Presión ADS: 146 : Presión: 129 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 75 | Moviendo servo a ángulo: 75
75;75;1;2;0;3;
Presión ADS: 134 : Presión: 161 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 74 | Moviendo servo a ángulo: 74
75;75;2;2;0;3;
Presión ADS: 133 : Presión: 130 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 73 | Moviendo servo a ángulo: 73
75;75;1;2;0;3;
Presión ADS: 134 : Presión: 141 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 72 | Moviendo servo a ángulo: 72
75;75;1;2;0;3;
Presión ADS: 151 : Presión: 166 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 71 | Moviendo servo a ángulo: 71
74;74;2;2;0;3;
Presión ADS: 153 : Presión: 126 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 70 | Moviendo servo a ángulo: 70
71;71;1;2;0;3;
Presión ADS: 157 : Presión: 139 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 69 | Moviendo servo a ángulo: 69
72;72;1;2;0;3;
Presión ADS: 152 : Presión: 147 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 68 | Moviendo servo a ángulo: 68
70;70;2;2;0;3;
Presión ADS: 141 : Presión: 145 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 67 | Moviendo servo a ángulo: 67
68;68;2;2;0;3;
Presión ADS: 156 : Presión: 175 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
69;69;2;2;0;3;
Presión ADS: 161 : Presión: 158 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;2;2;0;3;
Presión ADS: 168 : Presión: 161 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
67;67;2;2;0;3;
Presión ADS: 156 : Presión: 153 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
65;65;2;2;0;3;

```

```

Presión ADS: 152 : Presión: 154 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
65;65;2;2;0;3;
Presión ADS: 157 : Presión: 170 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
63;63;2;2;0;3;
Presión ADS: 184 : Presión: 168 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;2;2;0;3;
Presión ADS: 197 : Presión: 196 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
61;61;2;2;0;3;
Presión ADS: 199 : Presión: 212 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
60;60;2;2;0;3;
Presión ADS: 196 : Presión: 186 | Velocidad: 2 | TiempoPorGrado: | 89Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
60;60;2;2;0;3;
Presión ADS: 109 : Presión: 118 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
60;60;1;2;0;3;
Presión ADS: 113 : Presión: 82 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
61;61;1;2;0;3;
Presión ADS: 47 : Presión: 44 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
62;62;1;2;0;3;
Presión ADS: 23 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
61;61;1;2;0;3;
Presión ADS: 42 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
63;63;1;2;0;3;
Presión ADS: 22 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51
↔ ----- Cambio detectado, saliendo de extensión

✅ ----- Repetición completada
🟢 -- ---- Empieza Modo Asistido Libre...
▶ ----- Repetición 5
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
62;62;1;2;0;4;
Presión ADS: 25 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63
↔ ----- Cambio detectado, saliendo de flexión
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 66 | Moviendo servo a ángulo: 66
66;66;1;2;0;4;
Presión ADS: 63 : Presión: 70 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 65 | Moviendo servo a ángulo: 65
68;68;1;2;0;4;
Presión ADS: 62 : Presión: 61 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 64 | Moviendo servo a ángulo: 64
68;68;1;2;0;4;
Presión ADS: 57 : Presión: 65 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 63 | Moviendo servo a ángulo: 63
67;67;1;2;0;4;

```

```

Presión ADS: 56 : Presión: 55 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 62 | Moviendo servo a ángulo: 62
67;67;1;2;0;4;
Presión ADS: 53 : Presión: 24 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 61 | Moviendo servo a ángulo: 61
65;65;1;2;0;4;
Presión ADS: 38 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 60 | Moviendo servo a ángulo: 60
62;62;1;2;0;4;
Presión ADS: 29 : Presión: 22 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 59 | Moviendo servo a ángulo: 59
63;63;1;2;0;4;
Presión ADS: -7 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 58 | Moviendo servo a ángulo: 58
61;61;1;2;0;4;
Presión ADS: 15 : Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 57 | Moviendo servo a ángulo: 57
61;61;1;2;0;4;
Presión ADS: 29 : Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 56 | Moviendo servo a ángulo: 56
58;58;1;2;0;4;
Presión ADS: 48 : Presión: 24 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 55 | Moviendo servo a ángulo: 55
59;59;1;2;0;4;
Presión ADS: 42 : Presión: 45 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 54 | Moviendo servo a ángulo: 54
57;57;1;2;0;4;
Presión ADS: 63 : Presión: 58 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 53 | Moviendo servo a ángulo: 53
58;58;1;2;0;4;
Presión ADS: 86 : Presión: 101 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 52 | Moviendo servo a ángulo: 52
55;55;1;2;0;4;
Presión ADS: 96 : Presión: 106 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 51 | Moviendo servo a ángulo: 51
54;54;1;2;0;4;
Presión ADS: 118 : Presión: 108 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 50 | Moviendo servo a ángulo: 50
54;54;1;2;0;4;
Presión ADS: 99 : Presión: 95 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 49 | Moviendo servo a ángulo: 49
51;51;1;2;0;4;
Presión ADS: 112 : Presión: 109 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 48 | Moviendo servo a ángulo: 48
50;50;1;2;0;4;
Presión ADS: 116 : Presión: 101 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 47 | Moviendo servo a ángulo: 47
48;48;1;2;0;4;
Presión ADS: 134 : Presión: 102 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 46 | Moviendo servo a ángulo: 46
48;48;1;2;0;4;
Presión ADS: 129 : Presión: 114 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
100Mover servo a ángulo: 45 | Moviendo servo a ángulo: 45
48;48;1;2;0;4;
Presión ADS: 105 : Presión: 94 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 44 | Moviendo servo a ángulo: 44
46;46;1;2;0;4;
Presión ADS: 93 : Presión: 92 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 43 | Moviendo servo a ángulo: 43

```



```

46;46;1;2;0;4;
Presión ADS: 64 : Presión: 67 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 42 | Moviendo servo a ángulo: 42
45;45;1;2;0;4;
Presión ADS: 67 : Presión: 53 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 41 | Moviendo servo a ángulo: 41
44;44;1;2;0;4;
Presión ADS: 44 : Presión: 55 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 40 | Moviendo servo a ángulo: 40
43;43;1;2;0;4;
Presión ADS: 56 : Presión: 37 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 39 | Moviendo servo a ángulo: 39
42;42;1;2;0;4;
Presión ADS: 54 : Presión: 46 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 38 | Moviendo servo a ángulo: 38
40;40;1;2;0;4;
Presión ADS: 51 : Presión: 48 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 37 | Moviendo servo a ángulo: 37
39;39;1;2;0;4;
Presión ADS: 50 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 36 | Moviendo servo a ángulo: 36
40;40;1;2;0;4;
Presión ADS: 54 : Presión: 33 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 35 | Moviendo servo a ángulo: 35
40;40;1;2;0;4;
Presión ADS: 52 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 34 | Moviendo servo a ángulo: 34
38;38;1;2;0;4;
Presión ADS: 51 : Presión: 58 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 33 | Moviendo servo a ángulo: 33
35;35;1;2;0;4;
Presión ADS: 49 : Presión: 56 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 32 | Moviendo servo a ángulo: 32
34;34;1;2;0;4;
Presión ADS: 40 : Presión: 66 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 31 | Moviendo servo a ángulo: 31
35;35;1;2;0;4;
Presión ADS: 61 : Presión: 72 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 30 | Moviendo servo a ángulo: 30
31;31;1;2;0;4;
Presión ADS: 66 : Presión: 82 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 29 | Moviendo servo a ángulo: 29
31;31;1;2;0;4;
Presión ADS: 51 : Presión: 54 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 28 | Moviendo servo a ángulo: 28
31;31;1;2;0;4;
Presión ADS: 42 : Presión: 35 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 27 | Moviendo servo a ángulo: 27
29;29;1;2;0;4;
Presión ADS: 47 : Presión: 49 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 26 | Moviendo servo a ángulo: 26
29;29;1;2;0;4;
Presión ADS: 36 : Presión: 43 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 25 | Moviendo servo a ángulo: 25
26;26;1;2;0;4;
Presión ADS: 45 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 24 | Moviendo servo a ángulo: 24
25;25;1;2;0;4;
Presión ADS: 42 : Presión: 47 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover

```



```

servo a ángulo: 23 | Moviendo servo a ángulo: 23
25;25;1;2;0;4;
Presión ADS: 39 : Presión: 36 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 22 | Moviendo servo a ángulo: 22
24;24;1;2;0;4;
Presión ADS: 47 : Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 21 | Moviendo servo a ángulo: 21
22;22;1;2;0;4;
Presión ADS: 32 : Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover
servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
23;23;1;2;0;4;
Presión ADS: 50 : Presión: 50 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: |
10020;20;1;2;0;4;
Presión ADS: 24 :
● ----- Extensión Alcanzada
Presión ADS: 54 :
✅ ----- Repetición completada
20;20;1;2;1;5;
🛑 ----- Movimiento interrumpido en sistema ESP32
● ----- Preparación posición de reposo...
Umbral de presión: 20
Mover servo a ángulo: 20 | Moviendo servo a ángulo: 20
Presión: 29 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 19
| Moviendo servo a ángulo: 19
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 18
| Moviendo servo a ángulo: 18
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 17
| Moviendo servo a ángulo: 17
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 16
| Moviendo servo a ángulo: 16
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 15
| Moviendo servo a ángulo: 15
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 14
| Moviendo servo a ángulo: 14
Presión: 26 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 13
| Moviendo servo a ángulo: 13
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 12
| Moviendo servo a ángulo: 12
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 11
| Moviendo servo a ángulo: 11
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 10
| Moviendo servo a ángulo: 10
Presión: 25 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 9
| Moviendo servo a ángulo: 9
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 8
| Moviendo servo a ángulo: 8
Presión: 28 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 7
| Moviendo servo a ángulo: 7
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 6
| Moviendo servo a ángulo: 6
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 5
| Moviendo servo a ángulo: 5
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 4
| Moviendo servo a ángulo: 4
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 3
| Moviendo servo a ángulo: 3
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 2
| Moviendo servo a ángulo: 2

```

```
Presión: 20 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 1
| Moviendo servo a ángulo: 1
Presión: 31 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100Mover servo a ángulo: 0
| Moviendo servo a ángulo: 0
Presión: 42 | Velocidad: 1 | TiempoPorGrado: | 100
● ----- Ex tensión de reposo completa.
● ----- Asistido libre finalizado.
```