



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Desarrollo precomercial de un andador asistivo, orientado
a la vida independiente de las personas mayores**

Autor:

Villadangos González, Andrea

Tutor(es):

**Viñas Nosedá, Pablo Francisco
Zalama Casanova, Eduardo**

**Ingeniería de Sistemas y
Automática**

Valladolid, Septiembre 2023



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Desarrollo precomercial de un andador asistivo, orientado
a la vida independiente de las personas mayores



Autor: Villadangos González,
Andrea

Valladolid, Septiembre 2023



RESUMEN DEL PROYECTO

El presente Trabajo Fin de Grado aborda la exploración de nuevas formas de controlar los motores de un patinete hoverboard cuando se integran en un andador y compararlo con la antigua versión del mismo. Se investigarán las prestaciones y funcionamiento de los motores, además de ver la forma más eficiente de control, se llevarán a cabo pruebas para evaluar su rendimiento y se realizará un estudio de viabilidad técnica y económica para así determinar si son adecuados para esta aplicación en particular.

PALABRAS CLAVE

- ANDADOR
- ASISTENCIA
- HOVERBOARD
- ARDUINO
- MOVILIDAD

ABSTRACT

This Final Degree Project addresses the exploration of new ways to control the hoverboard's motors when they are integrated into a walker and compare it with the old version of it. The performance and operation of the engines will be investigated, in addition to seeing the most efficient form of control, tests will be carried out to evaluate its performance and a technical and economic viability study will be carried out to determine if they are suitable for this particular application.

KEY WORDS

- WALKER
- ASSISTANCE
- HOVERBOARD
- ARDUINO
- MOBILITY



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	11
1.1 MARCO DEL PROYECTO.....	11
1.2 OBJETIVOS Y SUBOBJETIVOS.....	13
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA.....	15
CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE AYUDA A LA MOVILIDAD	17
2.1 ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y USO DE ANDADORES	17
2.2 ANDADORES CONVENCIONALES	19
2.3 ANDADORES MOTORIZADOS	21
2.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE ANDADORES CONVENCIONALES FRENTE A ANDADORES MOTORIZADOS	25
2.5 SILLAS DE RUEDAS MOTORIZADAS	27
2.6 SCOOTERS ELÉCTRICOS	29
CAPÍTULO 3: ANDIN, UN ANDADOR INTELIGENTE	31
CAPÍTULO 4: MOTORES	35
4.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....	35
4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES SIN ESCOBILLAS	41
CAPÍTULO 5: MOTORES INTEGRADOS EN EL ANDADOR	43
5.1 MOTORES RMD-L-7015 45 T	43
5.2 MOTORES RMD-L-9025.....	44
5.3 MOTORES DEL HOVERBOARD	47
CAPÍTULO 6: PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR	52
6.1 ARRANQUE DEL MOTOR MEDIANTE LA TARJETA SIMPLE FOC	52
6.2 ARRANQUE DEL MOTOR MEDIANTE LA TARJETA ODRIVE ROBOTICS	54
6.3 ARRANQUE DEL MOTOR MEDIANTE LA TARJETA KKMOON	62
6.4 FUNCIONAMIENTO DEL ANDADOR	67
6.5 MÓDULO HC06:.....	75
CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN EN EL ANDADOR	79
CAPÍTULO 8: RESULTADOS OBTENIDOS	87
8.1 DESPLAZAMIENTO DEL ANDADOR EN UNA SUPERFICIE PLANA.....	88
8.2 DESPLAZAMIENTO DEL ANDADOR EN PENDIENTE ASCENDENTE Y DE TERRENO IRREGULAR.....	90
CAPÍTULO 9: ESTUDIO ECONÓMICO	93
9.1 INTRODUCCIÓN.....	93
9.2 RECURSOS EMPLEADOS.....	93



9.3	COSTES DIRECTOS	94
9.3.1	COSTES DE PERSONAL	94
9.3.2	COSTES AMORTIZABLES DE EQUIPOS Y PROGRAMAS	96
9.3.3	COSTES DE MATERIAL	97
9.3.4	COSTES TOTALES DIRECTOS	98
9.4	COSTES INDIRECTOS	99
9.5	COSTES TOTALES	99
CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS		101
10.1	CONCLUSIONES	101
10.2	LÍNEAS FUTURAS	103
BIBLOGRAFÍA		105
ANEXOS		109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, representación de la población española por franjas de edad [1]	17
Figura 2, esperanza de vida de la población española [1].....	18
Figura 3, andador de cuatro patas de metal.....	19
Figura 4, andador de dos ruedas	20
Figura 5, andador de cuatro ruedas	20
Figura 6, diseño del andador Keepace [2]	22
Figura 7, andador Rollz Motion 2 [3]	23
Figura 8, andador UpWalker [4]	23
Figura 9, silla de ruedas motorizada.....	27
Figura 10, scooter eléctrico biplaza [5]	29
Figura 11, prueba de los andadores motorizados de CARTIF [6]	31
Figura 12, prestaciones más importantes de ANDIN [6]	34
Figura 13, estator y rotor de un motor [13].....	36
Figura 14, motor RMD- L-7015 45 T [17].....	43
Figura 15, motor RMD-L-9025 [17].....	45
Figura 16, curva de funcionamiento del motor RMD-L-9025. Verde: eficiencia, Rojo: corriente de entrada, Azul: torque de salida, Negro: tensión de salida [17]	45
Figura 17, patinete hoverboard [18]	47
Figura 18, interior del motor del hoverboard.....	48
Figura 19, peso del motor del hoverboard	49
Figura 20, motores hoverboard en robot de Hyundai	50
Figura 21, robot de reparto Hyundai [20].....	50
Figura 22, tarjeta Simple Foc	52
Figura 23, esquema del código implementado.....	53
Figura 24, conexión de la tarjeta Simple Foc al motor	53
Figura 25, tarjeta de ODrive robotics	54
Figura 26, conexión de la tarjeta ODrive robotics	55
Figura 27, código para detectar la controladora	56
Figura 28, esquema del código implementado.....	56
Figura 29, error del puerto de la controladora.....	57
Figura 30, error por ausencia de firmware	57
Figura 31, aplicación Zadig (elaboración propia).....	58
Figura 32, interruptor de la tarjeta ODrive robotics	59
Figura 33, error en la calibración del motor	59
Figura 34, calibración exitosa del motor	60
Figura 35, controlador de la tarjeta KKmoon.....	62
Figura 36, primera conexión a los motores de la tarjeta Kkmoon.....	63
Figura 37, conexión de la tarjeta KKmoon con los motores y el Arduino Mega.....	64
Figura 38, joystick de 4 ejes.....	66
Figura 39, conexión del joystick con Arduino Mega	66
Figura 40, sentido de los motores del andador en función de las zonas del joystick .	67
Figura 41, movimiento lineal del andador hacia adelante	69
Figura 42, movimiento lineal del andador hacia atrás	69
Figura 43, giro hacia adelante izquierda del andador	71
Figura 44, giro hacia atrás derecha del andador	72



Figura 45, giro hacia atrás izquierda del andador	72
Figura 46, esquema de funcionamiento de los motores	74
Figura 47, esquema global de conexiones a los motores, al joystick y al Arduino Mega	75
Figura 48, conexiones del módulo HC-06	76
Figura 49, esquema de conexión del módulo HC-06 y Arduino Mega (Adaptación de [31])	77
Figura 50, esquema de código mediante el módulo HC-06	78
Figura 51, andador R021B-ROLLATOR	79
Figura 52, anclaje de los motores al andador	80
Figura 53, caja electrónica 1	81
Figura 54, caja electrónica 2	81
Figura 55, caja electrónica 3	82
Figura 56, prototipo final de la caja	82
Figura 57, caja electrónica vista desde planta	83
Figura 58, caja electrónica vista desde perfil	83
Figura 59, interior de la caja electrónica.....	84
Figura 60, posición del joystick en el andador	84
Figura 61, prototipo final del andador, visión frontal.....	85
Figura 62, prototipo final del andador, visión lateral.....	86
Figura 63, consigna de velocidad frente a corriente en el arranque en una superficie plana	88
Figura 64, consigna de velocidad frente a corriente de funcionamiento en una superficie plana	89
Figura 65, consigna de velocidad frente a corriente en el arranque en una pendiente ascendente y de terreno irregular.....	91
Figura 66, consigna de velocidad frente a corriente de funcionamiento en una pendiente ascendente y de terreno irregular.....	91
Figura 67, aplicación Arduino Bluetooth controller	110
Figura 68, elección del modo terminal en la aplicación.....	110
Figura 69, envío y visualización de comandos en la aplicación durante el funcionamiento	111
Figura 70, batería del andador con su cargador	112
Figura 71, frenos y sistema de regulación de altura	114
Figura 72, bolsa portaobjetos	114



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, comparación entre los andadores convencionales y motorizados.....	25
Tabla 2, comparación entre las sillas de ruedas tradicionales y motorizadas.....	28
Tabla 3, comparativa entre los motores con escobillas y sin escobillas [9]	42
Tabla 4, características del motor RMD- L-7015 45 T [17].....	44
Tabla 5, características del motor RMD-L-9025.....	47
Tabla 6, características del motor hoverboard [18]	51
Tabla 7, características de la tarjeta Kkmoon.....	63
Tabla 8, corriente en el arranque y de funcionamiento del andador al variar las consignas de velocidad en una superficie plana	88
Tabla 9, corriente en el arranque y de funcionamiento del andador al variar las consignas de velocidad en una superficie con una pendiente elevada y de terreno irregular.....	90
Tabla 10, equivalencia entre consignas de velocidad y velocidad real	92
Tabla 11, coste anual del ingeniero	94
Tabla 12, días efectivos trabajados en un año	95
Tabla 13, horas invertidas en cada una de las etapas.....	96
Tabla 14, amortización del material	97
Tabla 15, costes materiales del andador con la controladora Kkmoon	98
Tabla 16, coste total indirecto	99



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 MARCO DEL PROYECTO

El presente trabajo fin de grado se ha llevado a cabo en el centro tecnológico CARTIF siendo parte de uno de sus proyectos conocido como ANDIN.

ANDIN es un conjunto de módulos que se han adaptado a un andador convencional con el objetivo de poner solución al problema de movilidad de las personas mayores, pero también puede ser empleado en aquellas con alguna discapacidad motriz o que hayan sufrido algún accidente, tanto en interiores como en exteriores.

Se han incorporado un conjunto de módulos a ANDIN para **potenciar las mejoras** de un andador convencional. Con estos módulos se pretenden mejorar las prestaciones del mismo tanto desde el punto de vista funcional como estructural para asistir de manera autónoma a los usuarios de tal forma que el desplazamiento sea más fluido.

En este andador, se han sustituido las dos ruedas traseras por dos motores para la asistencia. En su origen, se hizo uso de un motor con escobillas debido a su bajo coste. Como consecuencia del par tan bajo que tenían estos motores fue necesario el empleo de una reductora, pero su uso implica que los motores no eran reversibles, dificultando el movimiento del andador en caso de apagado. Como solución al problema se propuso la incorporación de un sistema de embrague accionado por el usuario para poder desbloquear las ruedas en caso de apagado.

Debido a la alta relación de reducción, el control de los motores en corriente era poco fiable por lo que se decidió hacer en velocidad.

Estos motores se introdujeron dentro de un sistema de engranajes capaz de transmitir el movimiento a las ruedas, pero el conjunto final resultó poco práctico y poco fiable, además de tener un elevado coste de fabricación por lo que se buscó una mejora.

Como siguiente versión del proyecto, se emplearon unos motores sin escobillas de mejores prestaciones (RMD-L9025) así como una mayor eficiencia y vida útil que los anteriores debido a la eliminación de dichas escobillas, además pueden otorgar mayor par y velocidad que un motor DC con escobillas del mismo tamaño. Dichos motores son servomotores BDLC que se pueden controlar tanto en corriente como velocidad. Para recibir los comandos cuentan con comunicación CAN BUS.



Las características de alimentación, par y velocidad superiores a la versión anterior lo hacen idóneo para su aplicación en el andador.

A continuación, se implementaron nuevos motores en el andador de mejores prestaciones, sin embargo, estos motores están sobredimensionados para su uso en andadores.

Actualmente se quieren incorporar los motores procedentes de un patinete **hoverboard** con el objetivo de mejorar las prestaciones de todos los modelos anteriormente presentados.

1.2 OBJETIVOS Y SUBOBJETIVOS

El **objetivo principal** de este proyecto es estudiar una alternativa de motorización de un andador para la asistencia a personas mayores. Este objetivo se logrará a través del reemplazo de los motores actualmente en uso por los provenientes de un dispositivo hoverboard.

Los motores RMD-L9025 funcionan en el andador mejor que las versiones anteriores pero no se obtiene el máximo rendimiento, ya que están sobredimensionados, además de tener un precio muy elevado. Por ello se ha planteado dicha sustitución, y se procederá a estudiar su funcionamiento, valorando qué controladora es mejor para estos motores y si estos tienen mejores prestaciones.

Además los motores del hoverboard tienen un coste menor y pueden ser sustituidos con mayor facilidad que los RMD-L9025, ya que al ser el motor directamente una rueda no es necesario la incorporación del motor a un neumático como ocurre con los de la versión anterior.

Dentro de este objetivo general, se llevará a cabo el estudio de diversos métodos de controlar estos nuevos motores y a su vez la selección del más apropiado.

El andador deberá seguir cumpliendo con los **subobjetivos** propuestos como pueden ser:

- Plegable:
Aunque se haya incorporado estos nuevos motores, debe ser capaz de plegarse de forma adecuada.
- Eficiente:
El andador deberá seguir siendo eficiente en términos de uso, y si es posible mejorar la eficiencia con el empleo de estos motores.
- Ergonómico y estable:
Esta nueva incorporación debe garantizar que el andador seguirá siendo seguro para el usuario.
- Ligereza:
Debe ser similar al andador tradicional, de tal forma que se va a optimizar el peso de la electrónica, batería y el sistema de incorporación de los nuevos motores.



- **Velocidad adaptada:**
Aunque se hayan incorporado los motores del *hoverboard*, la velocidad de estos debe seguir siendo la adecuada para su uso.
- **Fácil de usar:**
Sus características intuitivas y su interfaz accesible permitan que cualquier persona pueda utilizarlo sin complicaciones.
- **Enfrentar pendientes:**
Con la integración de estos nuevos motores se persigue el propósito de simplificar la tarea de enfrentar pendientes. Mediante esta característica se pretende que el andador sea capaz de mantener una velocidad controlada y constante tanto al ascender como descender pendientes, reteniendo en este último caso al usuario.
- **Operativo en caso de apagado:**
El andador también debe garantizar un funcionamiento óptimo en caso de apagado el sistema electrónico.



1.3 DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA

La descripción de la memoria se llevará a cabo de la siguiente manera:

En el capítulo 2, se realizará una comparación de los andadores convencionales frente a los motorizados y los diferentes dispositivos que actualmente existen, además de un estudio acerca del envejecimiento de la población.

En el capítulo 3, se llevará a cabo una descripción de ANDIN y proyectos relacionados.

En el capítulo 4, se tratará el tema de los motores de corriente continua con y sin escobillas, se hará una comparación entre ambos y se estudiará su funcionamiento.

En el capítulo 5, se analizarán los motores que actualmente están integrados en el andador y los motores por los que se pretenden sustituir.

En el capítulo 6, se valorarán las distintas opciones acerca de cómo hacer una primera puesta en marcha del motor, valorando las distintas controladoras disponibles en el mercado y cuál puede ser la mejor opción.

En el capítulo 7, se muestra la implementación en el andador de los motores finalmente utilizados.

En el capítulo 8, se expondrán finalmente los resultados del estudio obtenidos.

En el capítulo 9, se hará un estudio económico con los nuevos motores y la controladora empleada.

En el capítulo 10, se expondrán las conclusiones finales a las que se ha llegado, valorando así las diferentes opciones planteadas y las implicaciones que ha tenido. Se valorarán también las líneas futuras de los andadores motorizados además de la integración de los motores procedentes del hoverboard.



CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE AYUDA A LA MOVILIDAD

2.1 ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN Y USO DE ANDADORES

Hay un gran número de estudios que demuestran que el envejecimiento de la población es un fenómeno demográfico de gran relevancia en España.

Como consecuencia de este deterioro progresivo de la población se pierden capacidades, en este caso, motrices, por lo que caminar puede resultar un problema diario para numerosas personas.

Por ello se recurren a andadores que facilitan la marcha, además de disminuir el nivel de dependencia, lo cual resulta positivo en un gran número de factores como puede ser garantizar la movilidad, proporcionar seguridad y como consecuencia aumentar el bienestar emocional de las personas.

Otro tipo de usuarios que pueden requerir andadores son aquellos que presenten discapacidades motrices, luego estos pueden ser de gran apoyo a la hora de mejorar la vida de estas personas, ya que mejorarán el equilibrio, podrán ser más independientes dentro de su discapacidad y mejorará su vida.

Por último, los usuarios que han sufrido una lesión, y no pueden desarrollar su día a día como lo hacían anteriormente también pueden hacer uso de estos dispositivos. El andador en estos casos, puede usarse como una herramienta de rehabilitación intermedia en el progreso de dichos pacientes.

A medida que avanzan los años, la pirámide de la población española ha ido cambiando, con una proporción cada vez más elevada de personas mayores de 65 años.

Ésta se irá modificando a lo largo del tiempo debido a la baja tasa de natalidad o una mayor esperanza de vida como consecuencia de los avances en la medicina y la adopción de estilos de vida más saludables.

La siguiente pirámide representa la población española por franjas de edad, se puede ver en Figura 1 que en tan sólo una década la diferencia es notable.



Figura 1, representación de la población española por franjas de edad [1]

En el año 2010 predomina la población entre 20 y 40 años mientras que en el año 2020 predomina entre 30 y 50 años. Esto seguirá subiendo a lo largo del tiempo, resultando así en una sociedad envejecida. [1]

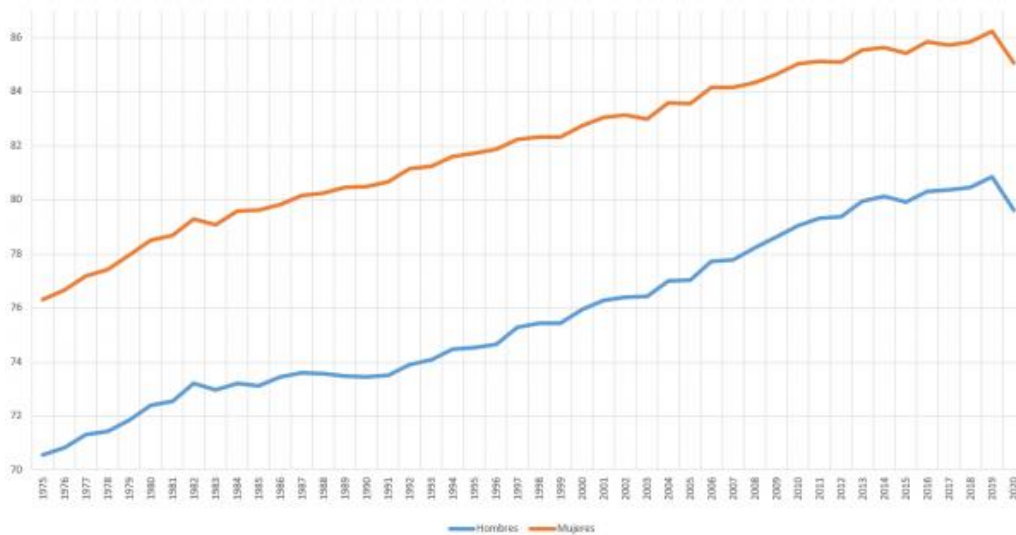


Figura 2, esperanza de vida de la población española [1]

En la Figura 2, podemos destacar la tendencia de esperanza de vida de la población española. Se puede ver un aumento a lo largo de los años paralelo entre hombres y mujeres, siendo superior en mujeres.

Destaca del gráfico el año 2020 donde se produce un pico de bajada debido a la pandemia del Covid-19.

Como consecuencia del envejecimiento de la población española, se están desarrollando andadores que faciliten la marcha. Es por ello que mediante la implantación de los motores del hoverboard en el andador se pretende mejorar las prestaciones de un andador convencional, mejorando así los niveles de asistencia al usuario y el desarrollo de otros módulos de interés.

2.2 ANDADORES CONVENCIONALES

Los andadores han sido una herramienta de gran ayuda para el ser humano, ya que ayudan a personas con problemas de movilidad, proporcionándoles apoyo y estabilidad al andar, lo que les permite moverse con mayor confianza y seguridad.

Son especialmente útiles para personas mayores también, cuyas piernas están debilitadas o para personas que se están recuperando de una lesión o cirugía.

El empleo de estos dispositivos aporta numerosas ventajas como pueden ser aumentar la movilidad y seguridad, facilitar la marcha o prevenir caídas, pero también tiene muchas ventajas en cuanto a bienestar mental, debido a que cuando una persona ve que puede ser más independiente, desarrolla una mejor autoestima.

Son tales las ventajas del empleo de estos dispositivos, que han sido motivo de estudio y mejora a lo largo de la historia.

En sus comienzos, empezaron siendo dispositivos de cuatro patas de metal, como se puede ver en la Figura 3, pero buscaron la mejora ya que eran muy pesados de mover y requerían de mayor fuerza en los brazos para levantarlo, por lo que pueden no ser aptos para todas las personas debido a que se requiere una cierta fuerza y destreza.



Figura 3, andador de cuatro patas de metal

Posteriormente, evolucionaron a andadores de dos ruedas (Figura 4). Estos constan de dos ruedas en la parte delantera y dos apoyos en la trasera. Así mejoraron la movilidad, el peso y además muchos de ellos procedieron a incorporar asientos, respaldo y freno.



Figura 4, andador de dos ruedas

Otros modelos más modernos y ligeros, son andadores con las cuatro ruedas incorporadas, siendo las delanteras ruedas locas, asiento, cesta portaobjetos además de incluir frenos (Figura 5). Estos dispositivos son aptos para usarse en exteriores.



Figura 5, andador de cuatro ruedas

Actualmente se está buscando una mejora más pronunciada en dichos dispositivos mediante la inclusión de sistemas inteligentes de forma que mejoren aun más las prestaciones.



2.3 ANDADORES MOTORIZADOS

En la actualidad se está trabajando en la incorporación de sistemas inteligentes a dispositivos tradicionales que mejoran aún más las prestaciones de estos.

La movilidad reducida a menudo puede llevar al aislamiento social. El hecho de tener un andador que tenga mejores prestaciones va a ayudar a superar este desafío, permitiendo así que las personas con movilidad reducida salgan de sus hogares y puedan relacionarse en sociedad.

Las diferencias entre los andadores convencionales y los inteligentes no sólo aparecen a nivel de electrónica, sino también a nivel de diseño, pudiendo crear dispositivos más personalizados.

La incorporación de la electrónica tiene numerosas ventajas como pueden ser:

- Reducir el esfuerzo:
Mediante la incorporación de motores también se pretende disminuir el esfuerzo que debe hacer la persona para poder desplazarse.
- Sistema de frenado inteligente:
Capaz de prever situaciones que presenten cierto riesgo, como la separación excesiva del usuario al andador.
- Sistemas de estabilidad:
Con el objetivo de prevenir y evitar caídas.
- Personalización:
Los andadores motorizados pueden ser adaptados en función de las necesidades de cada paciente de forma que aumente la comodidad y la eficacia.
- Facilitan la rehabilitación:
Mediante sistemas de mejora en la asistencia también pueden ser utilizados como parte de terapia de rehabilitación lo que se traduce en una mejora más rápida en los pacientes.

Algunos prototipos de andadores motorizados son los siguientes:

ANDADOR KEEPACE:

Ha sido desarrollado por Murata Manufacturing. Es un dispositivo de movilidad que ayuda a las personas a caminar de manera más segura y cómoda. Este nuevo dispositivo, lleva implementado una serie de sensores que son capaces de reconocer la presión que ejerce el usuario, de tal forma que a partir de estos datos pueden determinar la velocidad óptima a la vez que proporcionan una estabilidad adecuada.

Gracias a su alta tecnología para prevenir caídas, también dispone de un sensor giroscópico que calcula el ángulo de la postura óptimo para cada usuario generando un mejor equilibrio.

Destaca además su diseño, como se puede ver en la Figura 6, siendo más compacto que los andadores convencionales, por lo que es más fácil manejar en espacios reducidos.[2]



Figura 6, diseño del andador Keepace [2]

ANDADOR ROLLZ MOTION 2:

Este tipo de andador cuenta con un diseño elegante y funcional (Figura 7), que combina las funcionalidades de un andador con la comodidad de una silla de ruedas.

Permite mantener al usuario en una posición erguida y cómoda mientras camina debido a su diseño inteligente, y en caso de cansancio por parte del usuario, puede convertirlo fácilmente en una silla de ruedas para reposar.[3]



Figura 7, andador Rollz Motion 2 [3]

UPWALKER:

UPWalker es un andador inteligente que ha sido diseñado para mejorar la postura y así reducir el dolor y fatiga que pueden presentar los usuarios que emplean un andador tradicional.

Al poder permitir al usuario mantener una postura erguida como se puede comprobar en la Figura 8, evita que este sufra de presión en la espalda, cuello y hombros mejorando la salud del usuario.

Es fácil de maniobrar, son livianos y plegables para un almacenamiento y transporte convenientes. [4]



Figura 8, andador UpWalker [4]



Existen varios prototipos de andadores inteligentes en el mercado que pretenden ayudar en la movilidad de las personas. Cada uno tiene unas prestaciones distintas en función de las necesidades de cada usuario y con la introducción de los motores del hoverboard se pretende mejorar los niveles de asistencia o nuevas funcionalidades que mejoren la vida de las personas.

2.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE ANDADORES CONVENCIONALES FRENTE A ANDADORES MOTORIZADOS

Los andadores convencionales han ayudado a lo largo de la historia a miles de personas, sin embargo, en un mundo donde la tecnología y la innovación son dominantes, éstos dispositivos se pueden quedar obsoletos.

La nueva era de andadores puede llegar a tener un potencial muy elevado, cabiendo la posibilidad de adaptarse a cada persona e incluir funcionalidades de todo tipo, tanto para asistir, como para evitar riesgos. Sin embargo, ¿va a poder adaptarse toda la población a estas nuevas tecnologías?

Las personas por lo general, confían más en la tecnología en el ámbito de producción y fabricación, sin embargo, cuando se trata de temas relacionados con la salud suelen desconfiar más, es por ello por lo que numerosas personas puedan preferir los andadores convencionales frente a los inteligentes.

Si el andador va a ser usado por una persona con buenas capacidades mentales pero alguna discapacidad física, es posible que la mejora al emplear este tipo de dispositivos sea exponencial.

Por el contrario, estos dispositivos pueden no ser aptos para un uso completamente autónomo de todas las personas, especialmente las de avanzada edad, ya que pueden no llegar a comprender cómo se usan. Por ello, es posible que requieran la ayuda adicional para su puesta en marcha y uso.

En la Tabla 1 se puede ver la comparación entre ambos:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ANDADORES CONVENCIONALES	<ul style="list-style-type: none">- No precisan de mantenimiento- Fáciles de usar- Coste bajo- No necesitan carga	<ul style="list-style-type: none">- No evita tropiezos ni caídas- No es adaptable- Pueden resultar pesados- No tienen sistemas de seguridad
ANDADORES MOTORIZADOS	<ul style="list-style-type: none">- Previene caídas mediante frenado automático- Mejor estabilidad y seguridad- Adaptable según requerimientos	<ul style="list-style-type: none">- Coste elevado- Escasa validación del sistema

Tabla 1, comparación entre los andadores convencionales y motorizados



En resumen, los andadores tradicionales son más fáciles de usar, tienen un coste menor y no necesitan cargarse ni un mantenimiento especial, pero por el contrario, presentan limitaciones en cuanto a funciones y seguridad.

Sin embargo, los andadores inteligentes ofrecen más funciones y características avanzadas, proporcionando al usuario una mayor seguridad y estabilidad, además de tener la capacidad de ser adaptable. Por el contrario, tienen una escasa validación del sistema, ya que no se han hecho aún pruebas suficientes de funcionamiento, además de tener pocos modelos por el momento y tienen un coste mayor.

2.5 SILLAS DE RUEDAS MOTORIZADAS

Otro tipo de dispositivos eléctricos que pueden ayudar a las personas que tengan mayor discapacidad física son las sillas de ruedas motorizadas. Éstas sillas están equipadas mediante motores eléctricos, baterías, además de un joystick para permitir al usuario el control de la dirección y velocidad como se puede ver en la Figura 9.



Figura 9, silla de ruedas motorizada

En la Tabla 2 se puede ver una comparación entre las sillas de ruedas convencionales y las motorizadas, siendo similar al caso de los andadores:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SILLAS DE RUEDAS CONVENCIONALES	<ul style="list-style-type: none">- Menor coste- Fáciles de reparar- Más ligeras	<ul style="list-style-type: none">- Menos seguras- No incluyen funciones avanzadas
SILLAS DE RUEDAS MOTORIZADAS	<ul style="list-style-type: none">- Mayor autonomía a personas con mayor discapacidad física- Reduce la fatiga del usuario- No limitan la movilidad del usuario- Pueden alcanzar una mayor velocidad	<ul style="list-style-type: none">- Mayor coste- Requieren de técnicos para su reparación- Necesitan mantenimiento

Tabla 2, comparación entre las sillas de ruedas tradicionales y motorizadas

2.6 SCOOTERS ELÉCTRICOS

Los scooters eléctricos son otro tipo de dispositivos que también ayudan a las personas con problemas de movilidad.

Este tipo de scooter está equipado con asientos y respaldo acolchados, proporcionando mayor comodidad que con el empleo de una silla de ruedas.

Existen scooters monoplaza, pero también hay biplaza, para que así los usuarios puedan ir en compañía.

Están destinados a uso en exteriores o viajes largos, debido a su gran autonomía y estabilidad gracias a su tamaño, pero a la vez siendo maniobrables. Poseen motores de gran potencia que les permiten alcanzar velocidades de hasta 12km/h y tienen una autonomía de casi 50km, superando así las prestaciones de las sillas de ruedas motorizadas.

Aunque sean de mayor tamaño, también son plegables para facilitar su transporte de forma cómoda y sencilla.

La compra de un scooter facilita también la independencia de las personas que lo emplean. Pueden pasar más tiempo al aire libre e incluso mejorar su rutina diaria. [5]



Figura 10, scooter eléctrico biplaza [5]



CAPÍTULO 3: ANDIN, UN ANDADOR INTELIGENTE

CARTIF es la fundación en la que se está llevando a cabo el presente Trabajo Fin de Grado.

Este es un centro de investigación aplicada, horizontal, surgido de la Universidad de Valladolid, que tiene como objetivo contribuir al desarrollo de su entorno económico y social mediante la innovación tecnológica, el desarrollo y difusión de la investigación para ofrecer así soluciones innovadoras a las empresas, para mejorar su competitividad y crear nuevas oportunidades de negocio.

CARTIF desarrolla su actividad en áreas de investigación de distintos sectores como pueden ser: alimentación, energía, industria salud y medio ambiente, además de líneas tecnológicas que responden a los principales retos en cada uno de ellos como la de redes inteligentes, smart cities, eficiencia energética, patrimonio, calidad de vida, economía circular, recursos naturales y biotecnología.

CARTIF colabora con distintas organizaciones. Una de ellas es ASPRODES, cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de los pacientes de geriatría y discapacitados. En este centro, los pacientes han podido probar y evaluar los prototipos de andadores realizados, como se puede ver en la Figura 11 . [6]



Figura 11, prueba de los andadores motorizados de CARTIF [6]

ANDIN fue creado dentro de este centro tecnológico. Este andador es un conjunto de soluciones modulares para configurar un andador inteligente que ponga solución a los problemas de movilidad que sufren las personas mayores tanto en entornos exteriores como interiores.

ANDIN forma parte del proyecto **PROCURA**. Este proyecto se basa en que el envejecimiento, el aumento de la cronicidad y la dependencia llevan a una situación de insostenibilidad en los sistemas asistenciales europeos. Para ello quieren conseguir implementar un modelo integrado de atención social y de salud en el campo del envejecimiento activo mediante el desarrollo de un andador inteligente y un inodoro adaptado. [7]

A partir de un andador comercial, en este caso el escogido fue el modelo Gemino 30, se han desarrollado diversas funcionalidades en forma de módulos de tal forma que estos puedan adaptarse a otros andadores comerciales.

ANDIN presenta los siguientes módulos para así conseguir el objetivo de mejorar las prestaciones de los andadores convencionales:

1. CONTROL REMOTO: El andador contiene un sistema de control remoto con una autonomía de al menos 24 horas y un radio de alcance mínimo de 10 metros. Se ha incorporado esta funcionalidad con el objetivo de evitar las caídas que se producen cuando el usuario ha dejado el andador lejos y tiene que levantarse e ir a por el sin ningún apoyo.

El control remoto se puede hacer bien por teléfono, mediante un joystick virtual a través de una aplicación, bien mediante comandos de voz sencillos.

2. SISTEMA FRENADO INTELIGENTE: Para poder evitar caídas tropiezos y ayudar al usuario a mantener la estabilidad se ha incorporado un sistema de frenado inteligente. Para ello se ha implementado un sensor de distancia con el objetivo de monitorizar la posición del usuario y en caso de alejarse mucho del andador frenar el mismo. Se probaron en primer lugar sensores de ultrasonidos, pero su precisión no era buena ya que variaba en función de la superficie sobre la que las ondas se proyectaban. Como alternativa se ha seleccionado un sensor óptico que se conoce como LIDAR. El principio de funcionamiento de este sensor es mediante el tiempo de vuelo de una serie de pulsos infrarrojos que se emiten por el sensor, de tal forma que se mide el desfase entre los pulsos emitidos y recibidos por el sensor al reflejarse en la superficie. También se han incorporado en los asideros dos sensores de tal forma que cuando el usuario suelte el andador, este frenará. En este caso los elegidos fueron dos sensores capacitivos que se conectan a unas chapas metálicas dispuestas en los puños del andador.

3. MOTORIZACIÓN: En la primera versión de ANDIN se reemplazaron las ruedas traseras del andador por una serie de engranajes que lo hacían girar. Posteriormente, se pasó a una versión más desarrollada comprando motores

de Myactuador, en primer lugar los RMDL-7015 45 T y a continuación unos de mejores características que son los RMD-L9025. El objetivo de añadir un sistema de motorización al andador, es facilitar a las personas la marcha, de tal forma que el andador asista al usuario en mayor o menor medida adaptando la velocidad.

4. OPERATIVO EN CASO DE APAGADO: Este es un punto importante a tratar ya que el andador debe poderse usar aunque se haya agotado la batería. Por ello en las primeras versiones del andador se incluyó una reductora, pero entonces el andador no podía estar operativo en caso de apagado por lo que se procedió a buscar un motor que tenga el par suficiente como para desplazar el andador sin tener que incorporar una reductora.

5. SISTEMA DE EMERGENCIA: Para poder transmitir la información de posición del andador a un dispositivo móvil, este tiene que contar con algún tipo de sistema de telecomunicación y así notificar a otro usuario que la persona que llevaba el andador ha sufrido alguna caída.

6. CONTROL DE INCLINACIÓN DE SUPERFICIE: En función de la pendiente en la que se encuentre el usuario, el andador debe ser capaz de monitorizar la inclinación y adaptarse a cada situación.

Para el desarrollo del software del andador cuenta con un ESP32 como microcontrolador y diversos protocolos de comunicación así como I2C, UART o CAN. La disposición física de la electrónica se ha realizado mediante 3 tarjetas ubicadas en la caja electrónica: la tarjeta de power, la tarjeta "main" que es la encargada de todo el control y una tarjeta que actúa como interfaz del usuario mediante el cual se puede regular los niveles de asistencia del andador y la velocidad.

A lo largo de la historia de ANDIN se han desarrollado varias versiones, con el objetivo de mejorar las prestaciones del andador, incluir funcionalidades nuevas, además de optar por un diseño ergonómico y que se ajuste a las necesidades.

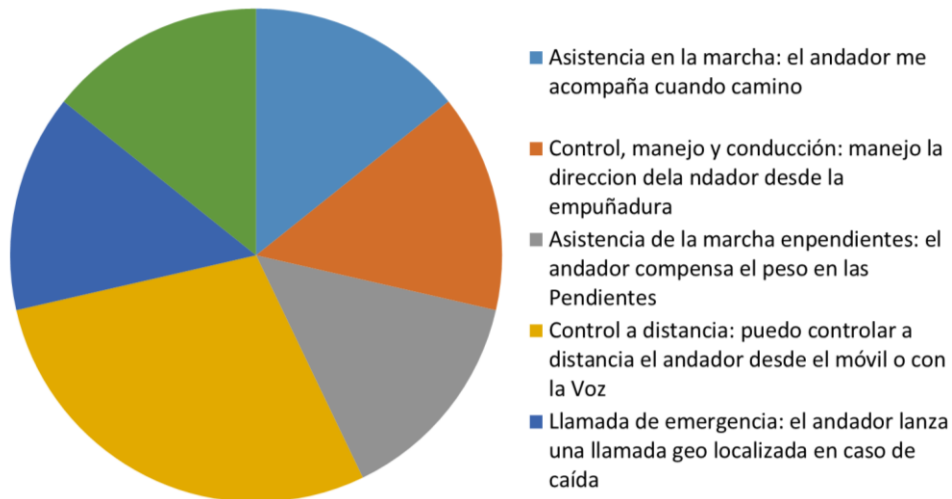


Figura 12, prestaciones más importantes de ANDIN [6]

En resumen, el uso de un andador inteligente puede hacer mucho más fácil la vida de las personas, mejorando así las carencias de los andadores convencionales. Haciendo un análisis global en cuanto a todas las prestaciones del andador, los usuarios que han probado ANDIN (Figura 12) han quedado satisfechos con sus funcionalidades, pudiendo ver una mejora de las personas con su uso. Destaca el control a distancia, ya que proporciona una mayor accesibilidad, seguridad y autonomía. [6]



CAPÍTULO 4: MOTORES

4.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Los motores implementados en el andador son motores de corriente continua (CC) sin escobillas. Éstos están formados por un armazón fijo, el estator, encargado de crear el campo magnético en cuyo interior gira un cilindro, conocido como rotor donde se crearán las fuerzas electromotrices inducidas. [12]

ESTATOR:

El estator está formado por un electroimán que crea el campo magnético fijo conocido como inductor. El inductor es de polos salientes.

Se compone de una corona de material ferromagnético denominada culata, y en su interior van dispuestos unos salientes radiales con expansión en su extremo, regularmente distribuidos y en número par, conocidos como polos. Estos van sujetos a la culata mediante unos tornillos.

Alrededor de los polos, se disponen unas bobinas de hilo encargadas de crear el campo magnético de la máquina al ser alimentadas por corriente continua, para presentar alternativamente las polaridades norte y sur.

ROTOR:

Es un cilindro en el que se enrollan bobinas de cobre y se hace girar a cierta velocidad cortando así el flujo inductor. El rotor también es conocido como inducido.

Está compuesto por una columna de material ferromagnético, a base de chapas de hierro, aisladas a través de una capa de barniz o de óxido. El devanado inducido de la máquina se aloja en el ranurado que dispone la corona de chapa magnética.

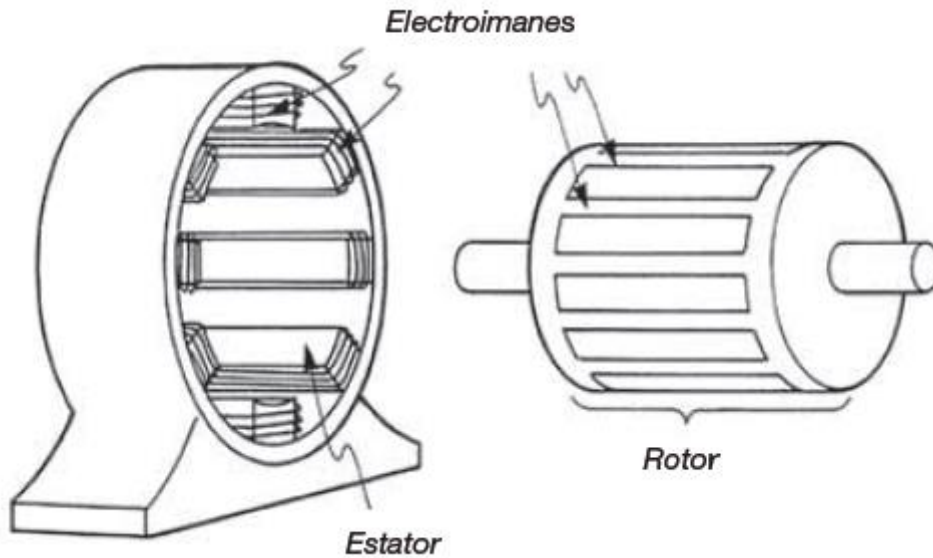


Figura 13, estator y rotor de un motor [13]

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA:

Cuando la máquina está funcionando como motor, proporciona un par que actúa en el mismo sentido que la velocidad de giro, produciendo así una fuerza contraelectromotriz que se opone a la circulación de corriente que está impuesta por la red eléctrica externa.

Las corrientes de los conductores del inducido que están frente a un polo inductor dado, deben ser del mismo sentido para que la máquina funcione como motor. De esta forma se obliga a que la corriente de un conductor se invierta cuando el movimiento del rotor lo hace pasar de la posición de enfrente de un polo a la posición de otro polo pero de polaridad contraria. Para realizar este proceso se emplea el colector de delgas. [14]

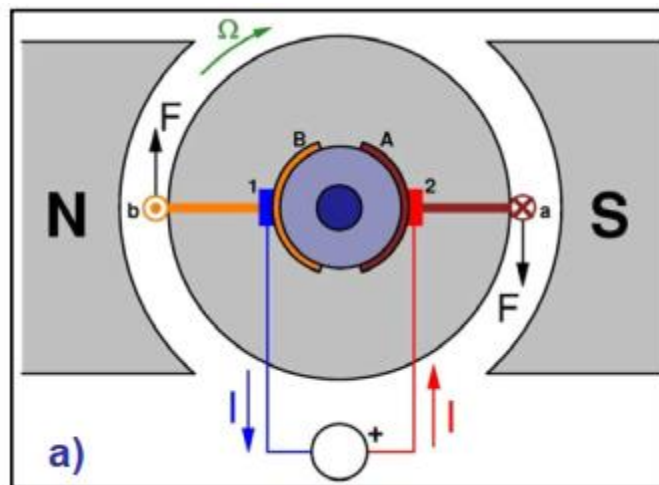


Figura 14, instante 1 del giro del motor [14]

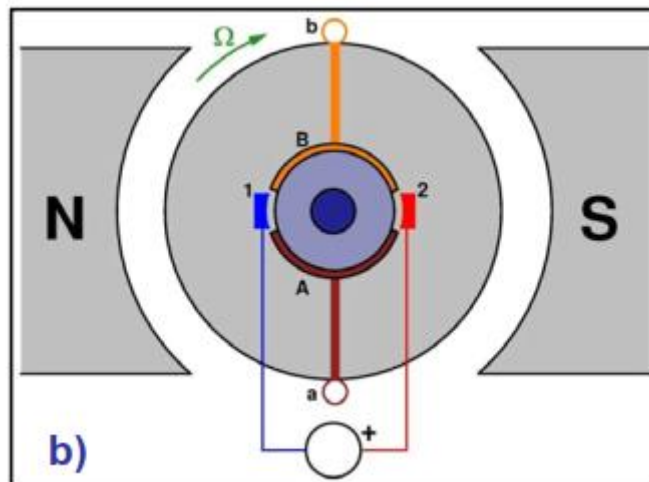


Figura 15, instante 2 del giro del motor [14]

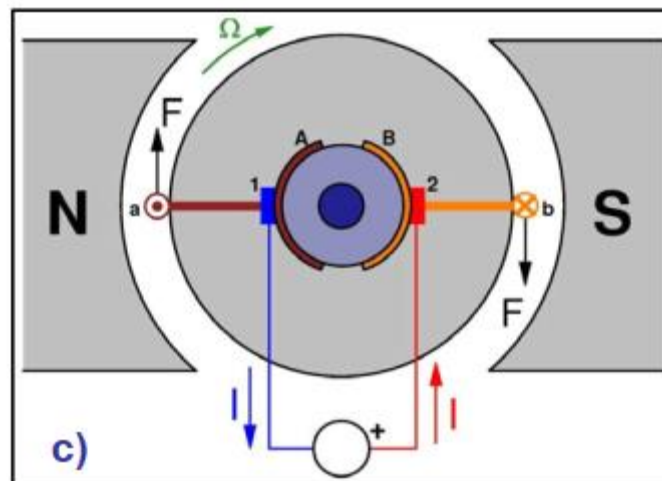


Figura 16, instante 3 del giro del motor, siendo 1,2 las escobillas; A y B delgas; a y b los lados de las bobinas unidos a las delgas A y B [14]

En las figuras anteriores se representan los tres instantes de giro del motor. En cada una de estas figuras la máquina ha girado 90° .

En los últimos años, el empleo del motor de corriente continua se ha incrementado en numerosas aplicaciones debido a su amplio rango de velocidades, su facilidad de control y flexibilidad en las características par-velocidad.

MOTORES BRUSHLESS

Los motores *brushless* (sin escobillas) son motores de corriente continua que presentan imanes permanentes. Se diferencian de los motores con escobillas en el método de conmutación. El control de estos motores se realiza de forma electrónica. Cada vez más motores de mayor potencia son fabricados con el avance de la electrónica, algunos ejemplos son patinetes eléctricos, sillas de ruedas motorizadas y en el caso que se refiere, andadores. [15]

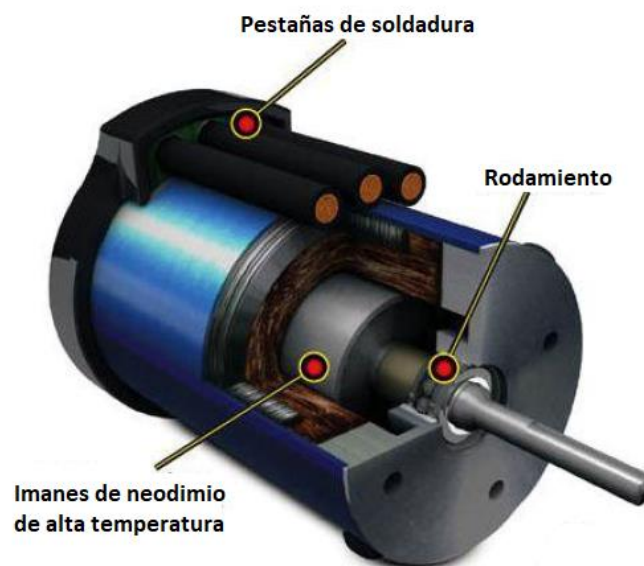


Figura 18, motor brushless, adaptación de [15]

En este tipo de motores, no son necesarias ni las escobillas ni el colector de delgas que se emplean en los motores con escobillas, debido a que la corriente eléctrica pasa directamente por los bobinados del estator produciendo un campo electromagnético que al interactuar con el campo magnético que se crea por los imanes permanentes del rotor, produce una fuerza que haga girar a este y por tanto al motor.

La posición de las bobinas se detecta electrónicamente, normalmente a través de sensores hall, viendo en qué posición está el rotor en cada momento para hacer que la corriente que reciba sea la adecuada para realizar el movimiento de rotación que en cada caso corresponda. La corriente eléctrica se conmuta también a la bobina de forma electrónica.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES BRUSHLESS:

El principio de funcionamiento de los motores *brushless* consiste en que al momento en el que energiza dos polos de las tres bobinas que contiene, induce un campo magnético en estas para así ser repelido por los imanes en el interior.

Por lo que cuando gira el rotor un paso hacia una dirección, este es repelido de forma simultánea por un imán y atraído por otro. En ese instante se induce el potencial eléctrico en otra terminal del embobinado para soltarse de una de las previamente conectadas.

Es complicado controlar la velocidad de giro de este motor debido a que es imposible hacer los cambios de conexiones entre las terminales de los embobinados a mano, por lo que normalmente se hace uso de un ESC, que es un dispositivo que controla de forma electrónica la velocidad de tal forma que se pueda variar mediante modulación por ancho de pulsos.

Por este motivo, estos motores son algo más complicados ya que la respuesta que reciben debe ser analizada y los datos del motor van variando en tiempo real, en función de la posición.

Como la dirección del rotor es variable en cada momento cuando el motor está girando, se debe conocer en tiempo real la posición de este para poder excitar las bobinas que correspondan.

Para poder distinguir la posición del rotor en cada momento existen dos tipos de motores brushless: los motores brushless sensorless y los motores brushless sensed. [13] [15]

MOTORES BRUSHLESS SENSORLESS:

Los motores *brushless sensorless*, como su propio nombre indica, no tienen sensores, por lo que debe emplearse otro método para conocer la posición del rotor.

Para ello, los variadores realizan una **monitorización** de los **impulsos** o señales que envían al motor, pero presentan inconvenientes cuando el motor gira a intensidades bajas ya que la intensidad generada por el campo magnético será inferior y esto es difícil de analizar.

Este tipo de motores son por lo general más económicos.



En los motores *sensorless* se produce un efecto de relevante importancia conocido como **deslizamiento del motor**, causante del consumo del motor.

Este deslizamiento es la diferencia de velocidad que se produce entre la velocidad que debería tener el motor según lo que reciba del variador y la velocidad real en cada instante. Por ello, este tipo de motores tardan más tiempo en compensar las diferencias, provocando mayores consumos y menor velocidad de respuesta. [15]

MOTORES BRUSHLESS SENSORED:

Este tipo de motores cuenta con sensores que se encargan de enviar señales al variador para informar de la posición del rotor en cada momento. El variador, en función de la información que reciba enviará mayor o menor tensión de alimentación a las bobinas y adaptará la secuenciación de envío. También recibe la información de la carga que tiene que soportar el motor.

En este tipo de motores ,el variador se encarga de conocer en cada momento la posición del rotor y adaptar la salida para que sea óptima. De esta forma se desaprovecha menos energía ya que el motor está recibiendo en cada instante lo que necesita.

Como este tipo de variador recibe las señales en forma de impulsos eléctricos desde el motor, da la información de la velocidad en tiempo real. Por este motivo, este aprovecha para reducir al máximo el factor de deslizamiento con el fin de optimizar el sistema, reduciendo los consumos en comparación con el motor anterior y responder de forma más precisa en velocidad y frenada.

El sensor que más se puede emplear es el de Efecto Hall. [15]

4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES SIN ESCOBILLAS

Las escobillas de los motores provocan chispas y ruido eléctrico dentro del motor, además se desgastan con el tiempo debido a la fricción, por lo que su eliminación presenta numerosas ventajas.

La duración típica de un motor sin escobillas es de aproximadamente el doble de un motor con escobillas.

Además en el caso de los motores sin escobillas, los electroimanes se sitúan en el estator, por lo cual es más fácil mantenerlos fríos a partir de técnicas como disipación del calor.

También aumenta la velocidad máxima, la potencia y permite un control más preciso.

A continuación se presenta una tabla comparativa entre los motores sin escobillas y los motores con escobillas:

	MOTOR SIN ESCOBILLAS	MOTOR CON ESCOBILLAS
CONMUTACIÓN	Por sensores de efecto hall o por monitorización de impulsos	Contacto entre las escobillas y el conmutador
MANTENIMIENTO	Mínimo	Periódico a causa de las escobillas
DURABILIDAD	Mayor debido a la ausencia de desgaste mecánico de las escobillas	Menor
EFICIENCIA	Alta	Moderada por pérdidas en las escobillas
CURVA VELOCIDAD/PAR	Plana	Moderada a altas velocidades fricción
RANGO DE VELOCIDAD	Alto	Bajo impuesto principalmente por las escobillas
INERCIA DEL ROTOR	Baja debido a los imanes permanentes del rotor	Alta, limita las características dinámicas

POTENCIA/TAMAÑO	Alta, tienen menor tamaño debido a mejores características térmicas debido a que los bobinados están en el estator, que al estar en la carcasa tienen una mejor disipación del calor	Baja, el calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura y limitando las características
RUIDO	Bajo	Alto por las escobillas
COSTE DE FABRICACIÓN	Alto debido a los imanes permanentes	Bajo
CONTROL	Caro y complejo	Barato y simple
DISPOSITIVOS DE CONTROL	Siempre se requiere controlador para mantener el motor funcionando	No se requiere control si no se pretende variar la velocidad
APLICACIONES	Aplicaciones de alta tecnología como drones, vehículos eléctricos y robótica avanzada.	Aplicaciones más simples como electrodomésticos o juguetes.

Tabla 3, comparativa entre los motores con escobillas y sin escobillas [9]

Se podría concluir que los motores sin escobillas son superiores a los motores con escobillas y por estas razones cada vez más empresas actualmente están sustituyendo motores de CC con escobillas a motores sin escobillas.

CAPÍTULO 5: MOTORES INTEGRADOS EN EL ANDADOR

Después de haber realizado la primera versión del andador con los motores EMG30, se procedió a la búsqueda de unos motores de mejores prestaciones.

Con el objetivo de seleccionar los motores que mejor se adaptaran a la aplicación requerida se hizo un estudio, y se obtuvo que como mínimo los requisitos calculados deben ser de al menos:

- Un par medio de 0.66 Nm
- Un par máximo de 1.8 Nm
- Una velocidad máxima de 141 rpm.

Por ello, haciendo un análisis del mercado se pensó que los motores RMD-L-7015 45 T podrían ser adecuados.

5.1 MOTORES RMD-L-7015 45 T

Los motores RMD- L-7015 45 T son una variedad de motores de corriente continua que se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales. Son del fabricante chino Myactuator.



Figura 14, motor RMD- L-7015 45 T [17]

Presentan las siguientes características:

TENSIÓN NOMINAL	24 V
CORRIENTE NOMINAL	1.93 A
PAR NOMINAL	0.99 Nm
VELOCIDAD NOMINAL	220 rpm
VELOCIDAD MÁXIMA	410 rpm
PAR MÁXIMO	2,42 Nm
CORRIENTE MÁXIMA INSTANTÁNEA	4,75 A
CONSTANTE VELOCIDAD	17 rpm/V
CONSTANTE PAR	0,51 NM/A
PESO	360 gr
COMUNICACIÓN	BUS RS-485/CAN
PRECIO	120 EUROS

Tabla 4, características del motor RMD- L-7015 45 T [17]

A partir de la *Tabla 4*, se puede ver que las características de este motor son superiores, sobrepasando con cierto margen de seguridad las calculadas. Se emplearon en el andador hasta que aparecieron otros motores de mejores prestaciones que son los RMD-L-9025 además de que presentaban problemas de sujección en el andador porque los tornillos con los que se anclaba al chasis se soltaban con facilidad.

5.2 MOTORES RMD-L-9025

Los motores RMD-L-9025 son una versión mejorada de los motores anteriores. Se caracterizan por su alta eficiencia, alto rendimiento y proporcionan un control preciso de la velocidad. Son adecuados para aplicaciones que requieren un control fino y una respuesta rápida.



Figura 15, motor RMD-L-9025 [17]

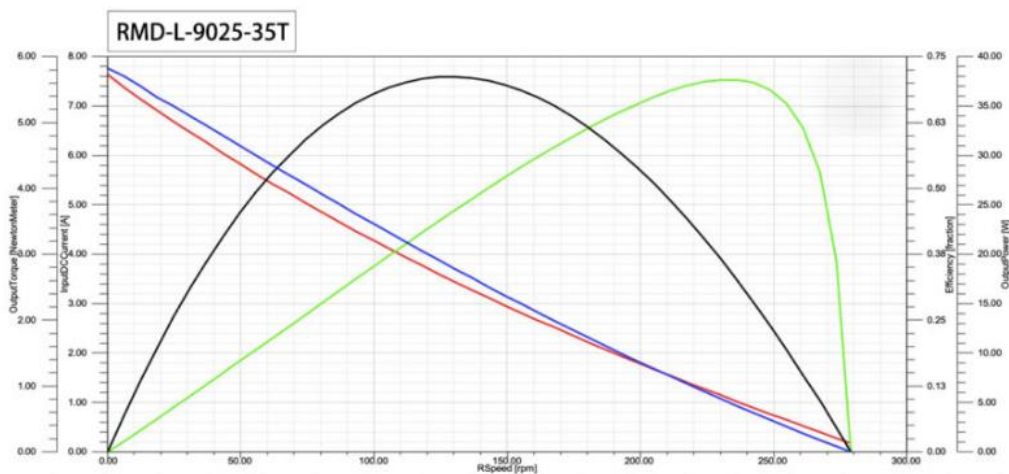


Figura 16, curva de funcionamiento del motor RMD-L-9025. Verde: eficiencia, Rojo: corriente de entrada, Azul: torque de salida, Negro: tensión de salida [17]

A través de la Figura 16, se puede ver que este motor presenta un elevado torque a velocidades muy bajas, sin embargo, la eficiencia máxima se alcanza a velocidades mayores. En lo que a los andadores respecta, la eficiencia es muy baja debido a que la velocidad del andador en su caso límite no va a ser muy elevada, luego quizá este motor no sea el más óptimo para esta aplicación.

En cuanto a torque sí que es elevado a velocidades bajas, pero si no es eficiente el uso del motor de poco sirve. Debido a este valor tan elevado, se puede concluir con que el motor está sobredimensionado y como consecuencia de ello, se han tenido que ajustar diversos parámetros para su correcto funcionamiento.



Estos motores también incluyen sistemas de protección contra sobrecargas y sobrecalentamiento lo que les ayuda a garantizar la seguridad y durabilidad.

Tiene un modo de control de circuito cerrado, en torque o en velocidad y admite múltiples métodos de comunicación como RS485 o CAN Bus.

Los RMD-L9025 son los motores que actualmente están en el andador.

Presentan las siguientes características:

TENSIÓN NOMINAL	24 V
CORRIENTE NOMINAL	3,46 A
PAR NOMINAL	2,79 Nm
VELOCIDAD NOMINAL	130 rpm
VELOCIDAD MÁXIMA	280 rpm
PAR MÁXIMO	5,8 Nm
CORRIENTE MÁXIMA INSTANTÁNEA	7,6 A
CONSTANTE VELOCIDAD	12 rpm/V
CONSTANTE PAR	0,76 NM/A
PESO	880 gr
COMUNICACIÓN	BUS RS-485/CAN
PRECIO	200 EUROS

Tabla 5, características del motor RMD-L-9025

Como se puede ver en la Tabla 5 , las características de este motor también sobrepasan con cierto margen de seguridad los requisitos calculados.

5.3 MOTORES DEL HOVERBOARD

Un *hoverboard* (Figura 17) es un dispositivo de autoequilibrio con dos ruedas que permite al usuario moverse desplazando el peso de su cuerpo.



Figura 17, patinete hoverboard [18]

Los patinetes *hoverboard* funcionan gracias a dos motores pequeños y livianos, siendo estos las ruedas del dispositivo. También son eficientes en

términos de energía ya que pueden funcionar durante varias horas sin tener la necesidad de cargarse.

Algunos modelos de estos patinetes cuentan con un sistema de seguridad que monitoriza la distancia, la velocidad y el ángulo de inclinación con el objetivo de evitar accidentes.

Otros llevan incorporados un sistema de control remoto mediante el cual el usuario puede controlar el patinete a través de su móvil.

Los motores del *hoverboard* son los elegidos para implementarse en el andador. El fabricante no proporciona mucha información acerca de ellos, sólo se conoce que cada uno tiene una potencia de **350W** y que se encuentran alimentados a una batería de **36V**. [18]

Una de las ventajas que puede tener el uso de estos motores es que no tienen un precio elevado, y en caso de cambio o desgaste puede ser fácil realizar la sustitución por otro.

Para su análisis y posterior puesta en marcha, se procedió al desmonte de los motores del *hoverboard* para la futura integración en el andador, y a continuación, se abrieron para ver su interior, en el que podemos ver que es un motor de corriente continua sin escobillas.



Figura 18, interior del motor del hoverboard

Posteriormente se pesaron los motores, para hacer una comparación con los de la versión del andador anterior.

Se debe tener en cuenta que a los motores RMD-L9025 hay que incluir el peso de la carcasa que lo recubre además de la estructura que lo sujeta. Sin embargo, en este tipo de motores no hace falta recubrimiento ya que el motor está incorporado dentro de la propia rueda.



Figura 19, peso del motor del hoverboard

Como se puede ver en la Figura 19, el peso de este motor es de casi 2 Kg, luego es un peso apto para su incorporación al andador, ya que no es necesario hacer una carcasa que lo recubra como en el motor anterior.

Existen en el mercado otros dispositivos que también emplean los motores del hoverboard debido a sus prestaciones. Es el caso de Hyundai, que presenta un robot de reparto autónomo para uso comercial y de cocina en el que realiza las funciones de posicionamiento y navegación autónomas y dispone de sensores para evitar obstáculos.

Este robot incorpora los motores del hoverboard para realizar el desplazamiento, sin embargo, el fabricante tampoco proporciona información acerca de ellos ni de las controladoras que emplea. [19] y [20]

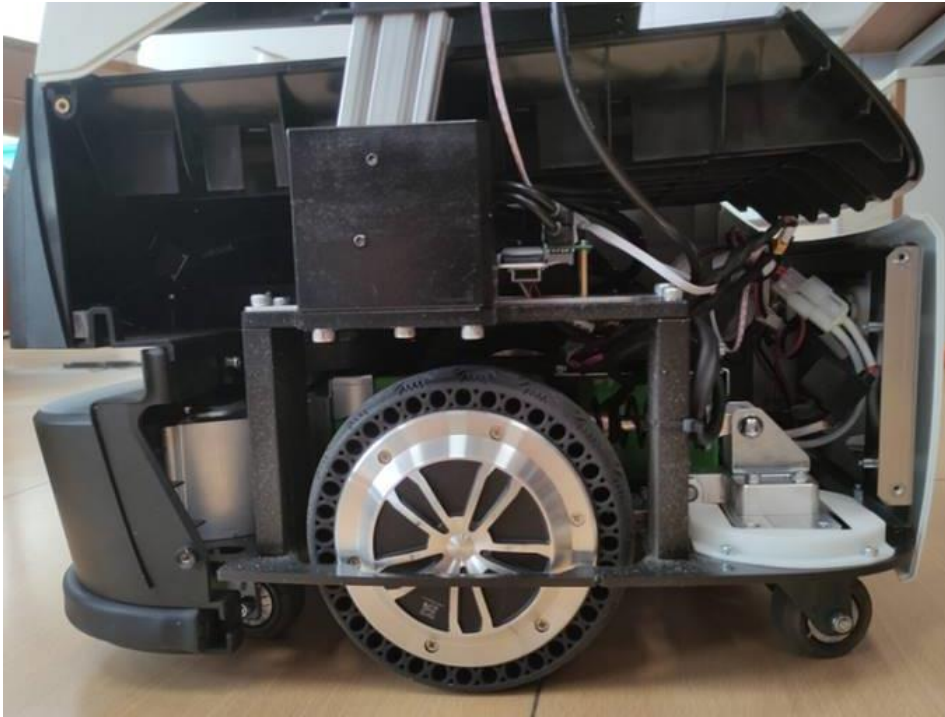


Figura 20, motores hoverboard en robot de Hyundai



Figura 21, robot de reparto Hyundai [20]

El inconveniente principal a la hora de realizar el estudio acerca de estos motores ha sido que el volumen de información acerca de las características de los motores y sus aplicaciones es actualmente limitado. A pesar del creciente interés y mayor uso de esos motores, la cantidad de datos y recursos disponibles para conocer estos motores es escasa.



Las especificaciones de los motores comprados son los siguientes:

PARÁMETROS:	MOTOR 2 BATERÍAS DE 350W
PESO DE CARGA:	20-100 Kg
VELOCIDAD:	13 km/h
AUTONOMÍA:	Hasta 12km
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO:	6.5 pulgadas 16cm
TIEMPO DE CARGA:	2-3h
PRECIO	50 EUROS

Tabla 6, características del motor hoverboard [18]

CAPÍTULO 6: PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR

Para la puesta en marcha y control de este motor se han valorado diferentes opciones.

Previamente se ha hecho un estudio de mercado, comparando las diferentes controladoras disponibles y sus características, viendo si son aptas o no para su futura aplicación.

6.1 ARRANQUE DEL MOTOR MEDIANTE LA TARJETA SIMPLE FOC

Como primera prueba de funcionamiento, se ha optado por una controladora de la marca “SIMPLE FOC”. Ésta es una tarjeta para el control de motores eléctricos de corriente continua y motores eléctricos con imanes permanentes que es capaz de controlar en velocidad y posición. Es capaz de soportar hasta 120W. [21]

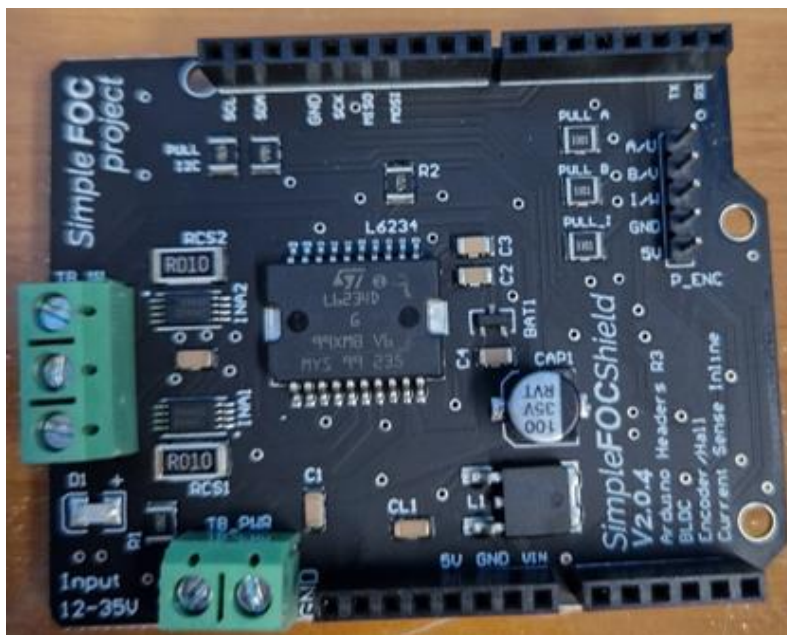


Figura 22, tarjeta Simple Foc

Se puso en funcionamiento a partir de la librería de Arduino de Simple Foc y se hizo un control en lazo abierto de velocidad mediante el código siguiente: apartado 1 del código de anexos.

Un esquema del código implementado es el que se observa en la Figura 23:

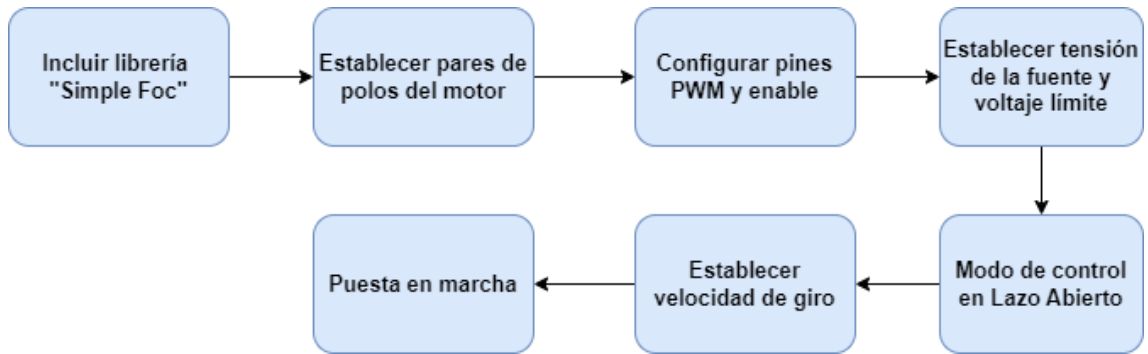


Figura 23, esquema del código implementado

La conexión de la tarjeta al motor se realizó de la siguiente forma (Figura 24):

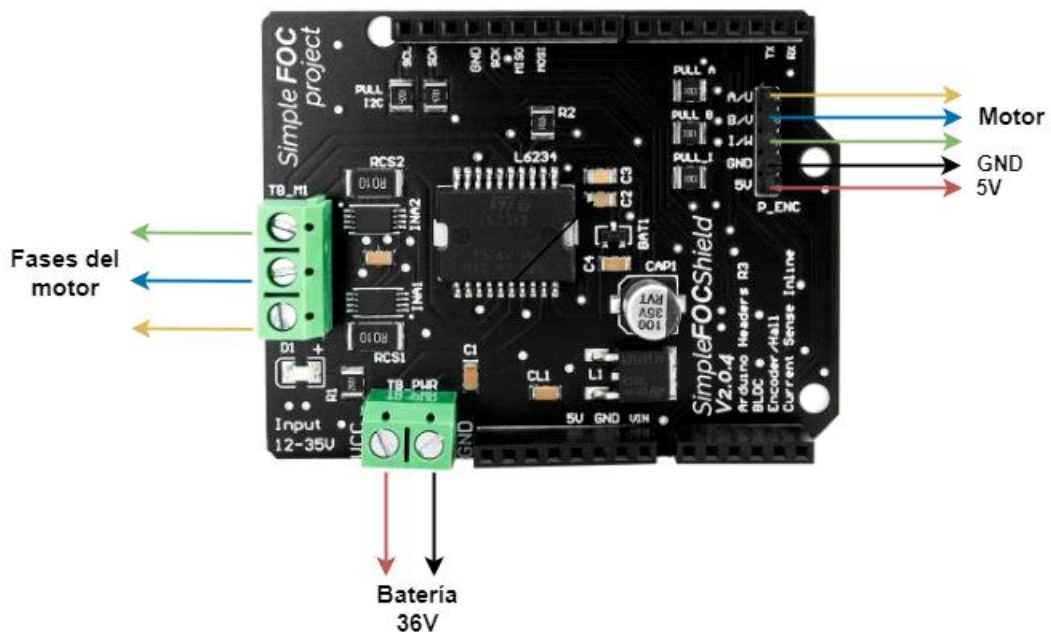


Figura 24, conexión de la tarjeta Simple Foc al motor

Los motores si que se adaptaron a los cambios de velocidad y de dirección durante un corto periodo de tiempo, sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios ya que la potencia de los motores es de 350W, mientras que la potencia de la tarjeta resultó ser de 120W lo cual no estaba recogido en sus especificaciones, reflejando estas que eran válidas para motores de elevada potencia pero no concretando un valor específico.

Posteriormente, mediante la consulta en foros se vió que la potencia era de 120W por lo que se descartó el uso definitivo de esta controladora. Actualmente se encuentra descartada por los fabricantes.

6.2 ARRANQUE DEL MOTOR MEDIANTE LA TARJETA ODRIVE ROBOTICS

A partir de un nuevo estudio de mercado, se procedió a la compra de la tarjeta Odrive robotics. Presenta mejores características que la anterior, con un rango de tensión variable entre 12V y 56V y un pico de corriente de 120A por motor. También se deben tener en cuenta que al trabajar con motores de mucha potencia hay que considerar la corriente que pueda llegar a la fuente en la deceleración y para ello esta tarjeta también incorpora una resistencia de frenado que disipe la potencia. La elegida para este proyecto ha sido de 50W y 2 ohm. [22]

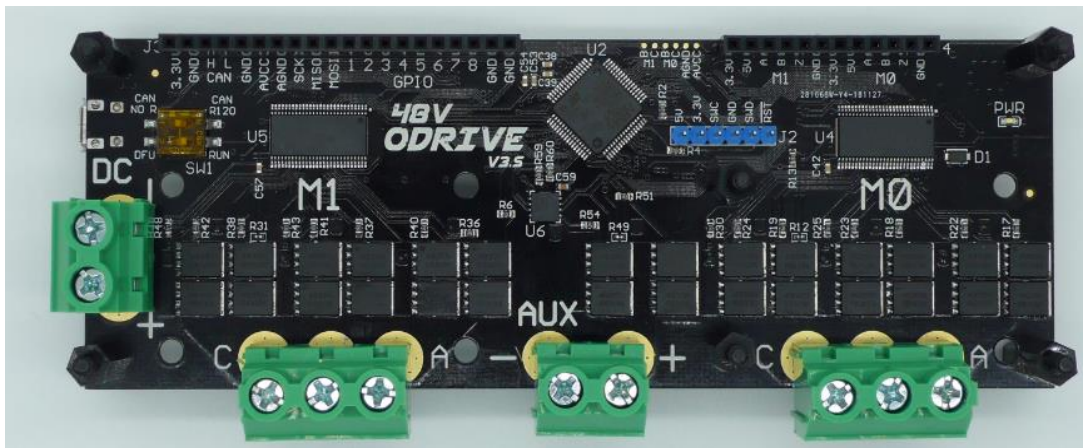


Figura 25, tarjeta de ODrive robotics

El empleo de estas **resistencias** tiene numerosas ventajas como aportar una mayor seguridad al poder detener el motor de forma rápida, especialmente si se trata de una situación de emergencia. Al hacer uso de ellas la cantidad de energía que se disipa en el motor se ve reducida y como consecuencia se puede prolongar la vida útil del motor.

Sin embargo, también tiene algún inconveniente en su empleo como puede ser la generación de calor ya que cuando se frena el motor, esa energía se convierte en calor lo que hace que aumente la temperatura del sistema pudiendo ser un problema y esto puede suponer una pérdida de eficiencia.

El **principio de funcionamiento** de estas resistencias es el siguiente: [23]

Se conectan en paralelo con el motor, que se encarga de conectarlas o desconectarlas, como un contactor. Cuando el motor se encuentra en reposo, los contactos están abiertos y no llega tensión a ningún elemento, sin embargo, cuando se cierra el contacto comienza la marcha del motor.

A continuación se tiene la situación del motor en giro libre, que es de corta duración. Se produce cuando el motor que estaba girando a velocidad nominal, se desconecta de la fuente y sigue girando por inercia hasta que se detiene, pasando a ser un generador y transformando la energía cinética en corriente eléctrica.

Poco después se pasa a la parada, en el que la carga eléctrica que está siendo generada a partir del campo magnético se consume por la resistencia convirtiéndose así en calor disipándose al aire.

La resistencia se emplea para absorber una gran cantidad de energía que genera el motor, y así el campo magnético se disipa de forma rápida y la polaridad se invierte debido a que la corriente llega en sentido contrario, lo que provoca que la inercia empuje el motor en un sentido y la corriente eléctrica en el contrario generándose campos magnéticos que se repelen y de esta forma se detiene el motor.

Esta controladora permite un modo de control de posición, velocidad y corriente. También permite una comunicación USB en tiempo real a través del programa host de Phytton, comunicación UART con una biblioteca de Arduino , generación y seguimiento de trayectorias, comandos sobre CAN además de entrada PWM.

El esquema de conexiones realizado es el siguiente:

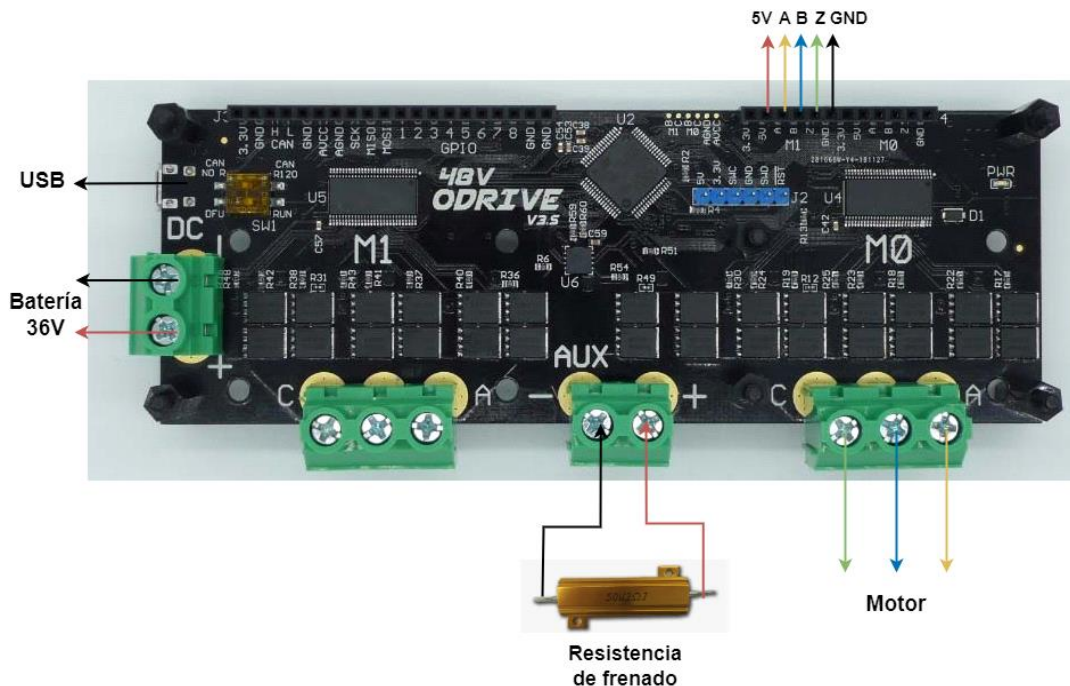


Figura 26, conexión de la tarjeta ODrive robotics

Para hacer el control de los motores con estas controladoras se debe tener en cuenta que necesitan ser calibradas previamente, ya que de lo contrario es posible que el sistema operativo no reconozca automáticamente la tarjeta.

En primer lugar, se realizó una primera prueba de contacto con este motor mediante el entorno de Powershell Prompt de Anaconda, haciendo la previa calibración del motor.

Se encontraron varios errores debido a que la tarjeta no estaba siendo reconocida de forma correcta a pesar de sí ser reconocida correctamente por el puerto USB.

Para dar con el fallo, se realizaron varios **scripts en Phyton** para ver qué es lo que estaba ocurriendo con el puerto. Dicho error que aparecía era que no podía abrirse el puerto a pesar de estar reconociéndose correctamente.

En el código realizado avanzaba correctamente hasta que tenía que buscar la controladora Odrive a la que estaba conectado a la tarjeta y era en ese momento cuando ya dejaba de funcionar.

El código implementado fue el que se puede ver en la Figura 27 y el esquema de dicho código en la Figura 28:

```
import odrive
import time
# Establecer una conexión con la Controladora ODrive
odrv0 = odrive.find_any()

#como esta conectado a m0 todo es con 0 si cambiamos al motor 1 se cambia a axis1
# Calibrar el motor
print("Calibrando el motor...")
odrv0.axis0.requested_state = 3 # Modo de calibración
while odrv0.axis0.current_state != 1:
    time.sleep(0.1)
odrv0.axis0.requested_state = 8 # Modo de bucle cerrado
print("Motor calibrado.")

# Establecer la velocidad del motor
velocidad = 10 # rpm
odrv0.axis0.controller.config.vel_limit = velocidad * 2 * 3.14 / 60 # Convertir a rad/s

# Mover el motor a la velocidad deseada
print("Moviéndose a", velocidad, "rpm...")
odrv0.axis0.controller.vel_setpoint = velocidad * 2 * 3.14 / 60 # Convertir a rad/s

plot_oscilloscope (odrv0.axis0.controller, 'vel_setpoint', 'vel_estimate', 'current_setpoint', 'current_meas')
```

Figura 27, código para detectar la controladora

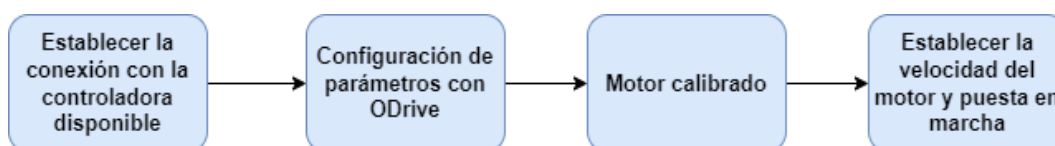


Figura 28, esquema del código implementado

Los errores que aparecían eran los siguientes:

```
(base) PS C:\Users\andvil> odrivetool
ODrive control utility v0.6.5.post2
Website: https://odriverobotics.com/
Docs: https://docs.odriverobotics.com/
Forums: https://discourse.odriverobotics.com/
Discord: https://discord.gg/k3ZZ3mS
Github: https://github.com/odriverobotics/ODrive/

Please connect your ODrive.
You can also type help() or quit().

In [1]: 08:39:19.39936400 [USB] Could not claim interface on USB device: -12
```

Figura 29, error del puerto de la controladora

```
C:\WINDOWS\System32\WindowsPowerShell\v1.0\powershell.exe
(base) PS C:\Users\andvil> odrivetool dfu
ODrive control utility v0.6.5.post2
Waiting for ODrive...
Checking online for latest unknown device firmware on channel master...
No firmware found matching the specified criteria.
```

Figura 30, error por ausencia de firmware

Por ello, después de muchas horas de investigación, se concluyó con que podía no estar reconociéndose la tarjeta debido a errores de *firmware*.

El fabricante de estas tarjetas tampoco proporciona mucha información acerca de ellas, luego de primera mano, no se conocía si la tarjeta comprada venía ya con el *firmware* previamente cargado, o si de lo contrario había que hacer un *reflash* de la tarjeta.

Finalmente, se optó por cargar el *firmware*. Para ello fue necesario instalar Zadig, un programa que instala controladores USB genéricos en un sistema operativo de Windows, en este caso, se emplean para permitir la comunicación entre la tarjeta ODrive y el sistema operativo de Windows. [24]

Dentro de la aplicación de Zadig (Figura 31) se debe configurar para instalar LIBUSB-WIN32, que se puede utilizar para desarrollar aplicaciones que se comunican con dispositivos USB.

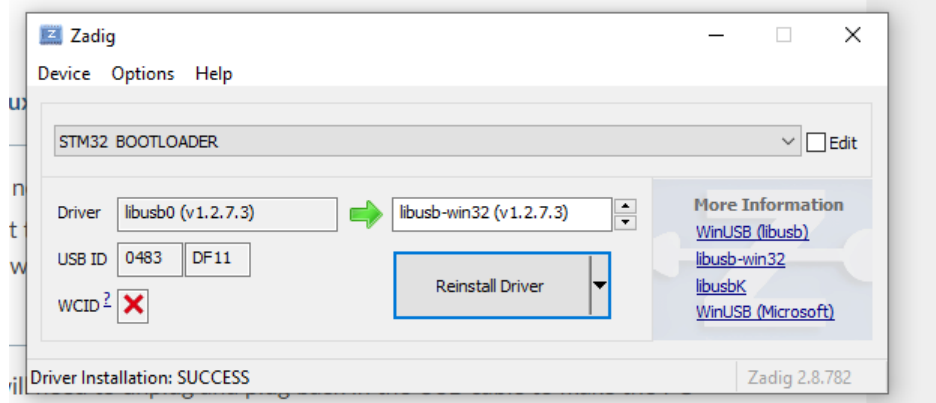


Figura 31, aplicación Zadig (elaboración propia)

Después de hacer varias pruebas y ver que no estaba siendo reconocida la tarjeta, se procedió a cargar la última versión propuesta por el fabricante.

Hubo numerosos inconvenientes, ya que investigando, se encontró disparidad acerca de cuál era la última versión disponible para cargar.

El problema que se planteaba era que este estudio de la tarjeta se está haciendo en Windows y el fichero para cargarlo necesita tener la extensión .hex, sin embargo, en la web oficial, sólo aparecía .elf. Se tuvo que hacer una búsqueda de programas que convirtieran el fichero de .elf a .hex para poder cargarlo.

Para hacer el *reflash* fue necesario la instalación del software “STM microelectronics”. Para cargarlo, la tarjeta tiene un diminuto interruptor con dos modos: el modo DFU, que servía para cargar el *firmware* y el modo RUN que se emplea para el funcionamiento, como se puede apreciar en la Figura 32. [25]

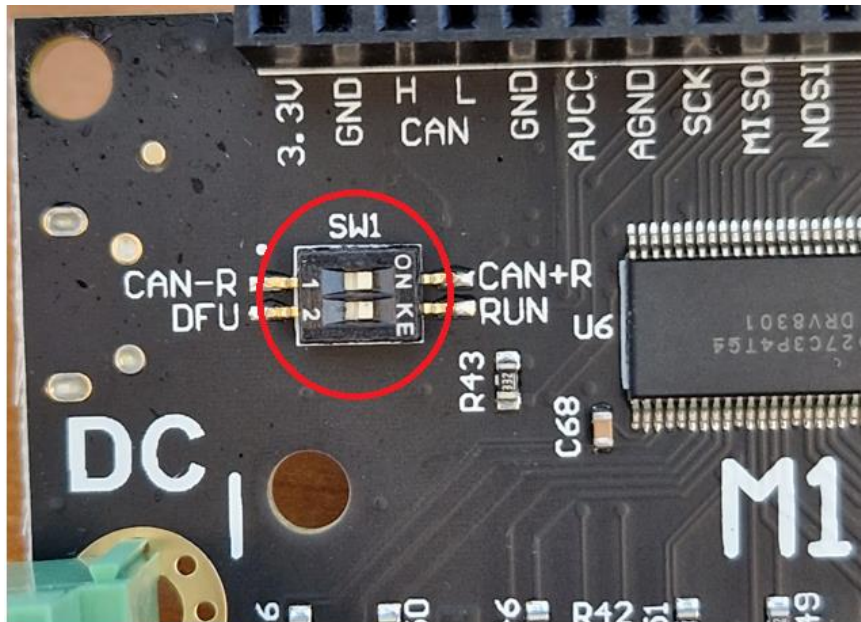


Figura 32, interruptor de la tarjeta ODrive robotics

Después de numerosos intentos para que la tarjeta se pudiera conectar y ser correctamente reconocida, procedí a realizar la primera calibración del motor. Para ello, se calibraron los parámetros correspondientes al motor, y al controlador.

En primer lugar, se procedió a realizar una **calibración del motor**, resultando esta fallida.

A partir de la figura 47 se puede ver que aparece el error en la calibración del motor, sacando por pantalla el valor “1”.

```
In [33]: dev0.axis0.motor.error
Out[33]: 0

In [34]: dev0.axis0.encoder.error
Out[34]: 0

In [35]: dev0.axis0.controller.error
Out[35]: 0

In [36]: dev0.axis0.requested_state=AXIS_STATE_MOTOR_CALIBRATION

In [37]: dev0.axis0.motor.error
Out[37]: 1

In [38]: dev0.axis0.encoder.error
Out[38]: 0

In [39]: dev0.axis0.controller.error
Out[39]: 0

In [40]: dev0.axis0.motor.error
Out[40]: 1

In [41]: dev0.axis0.motor.config.phase_inductance
Out[41]: 0.0

In [42]: dev0.axis0.motor.config.phase_resistance
Out[42]: nan
```

Figura 33, error en la calibración del motor

Se consultó en la página oficial de la tarjeta donde se dispone de un apartado de solución de errores en el que el número 1 se corresponde a error en el *hardware*, así que procedí a revisar todas las conexiones y al ver que todas ellas eran correctas se procedió a buscar otra solución. Se vió también que los valores de la resistencia de fase e inductancia de fase no estaban siendo valores adecuados.

Al buscar alternativas, se optó por aumentar un poco la tensión permitida, realizando así una calibración exitosa del motor y desapareciendo los errores correspondientes a la resistencia e inductancia de fase.

```
In [5]: dev0.axis0.motor.config.pole_pairs=15
In [6]: dev0.axis0.motor.config.resistance_calib_max_voltage=4
In [7]: dev0.axis0.motor.config.requested_current_range=25
In [8]: dev0.axis0.motor.config.current_control_bandwidth=100
In [9]: dev0.axis0.motor.config.current_control_bandwidth
Out[9]: 100.0
In [10]: dev0.axis0.motor.error
Out[10]: 0
In [11]: dev0.axis0.motor.config.torque_constant=8.27
In [12]: dev0.axis0.motor.error
Out[12]: 0
In [13]: dev0.axis0.encoder.config.mode=ENCODER_MODE_HALL
In [14]: dev0.axis0.encoder.config.cpr=90
In [15]: dev0.axis0.motor.error
Out[15]: 0
In [16]: dev0.axis0.encoder.error
Out[16]: 0
In [17]: _
```

Figura 34, calibración exitosa del motor

Después de tanto tiempo trabajando con esta tarjeta, finalmente se concluyó que no iba a ser la más óptima para el andador, ya que en un primer lugar no reconocía el ordenador la tarjeta para programarlo, cuando esto se solucionó requería de una configuración previa bastante pesada de realizar para poner en marcha el motor, luego aparecieron errores que no podían ser solucionados debido a la escasez de información de ODrive, y cuando se conseguían arreglar aparecían otros inconvenientes más. Por consecuencia, se ha descartado esta tarjeta como la opción para la futura implementación en el andador.

Posteriormente, se volvió a realizar otro estudio de mercado, barajando otras opciones posibles de controladoras.

Se pudo ver que sí que existen numerosas controladoras en el mercado para realizar el control de motores, pero siempre se encontraba algún inconveniente, bien que no suministraban la suficiente potencia como la que requiere el motor, bien su elevado precio.



Si estos andadores se quieren comercializar en un futuro, con numerosas controladoras no iba a ser posible ya que simplemente la compra de estas rondan los 200-300 euros por tarjeta, a lo que después hay que sumar costes adicionales, por lo que el precio de estos dispositivos sería demasiado elevado.

Un inconveniente más fue que muchas tarjetas no traían el *firmware* previamente cargado, por lo que no iban a ser reconocidas, además de no saber cuándo iban a estar disponibles al público, por lo que esta era otra de las limitaciones principales.

6.3 ARRANQUE DEL MOTOR MEDIANTE LA TARJETA KKMOON

Con el fin de realizar un nuevo intento de arranque y control de los motores se optó por la controladora Kkmoon.

Para la puesta en marcha del motor mediante esta controladora se han necesitado los siguientes componentes:

- Dos controladoras kkmoon
- Una batería de 36V
- Arduino Mega

Debido a que cada motor tiene una potencia de 350W, se requieren controladoras que superen esta elevada potencia, por lo que su búsqueda ha sido complicada ya que no hay gran variedad en el mercado. Se ha optado por las controladoras KKmoon 12-36V DC que presenta las características adecuadas para su aplicación.

Es una tarjeta de accionamiento de motor sin escobillas de CC que se alimenta por DC 12-36V con una corriente de trabajo límite de 15 A. Presenta una potencia de 500W siendo superior a la tarjeta anterior.

Tiene numerosas protecciones, además de control de activación, control de dirección y señales de control de velocidad. [26]

El controlador de la tarjeta es el JY01 que se puede aplicar a motores con sensor hall BDLC o sin sensor. Presenta buenas características como poco ruido, alta eficiencia, barato y buena calidad, lo hacen ideal para su aplicación en diversos campos como robots, automoción, ventiladores, espejos retrovisores... [27]

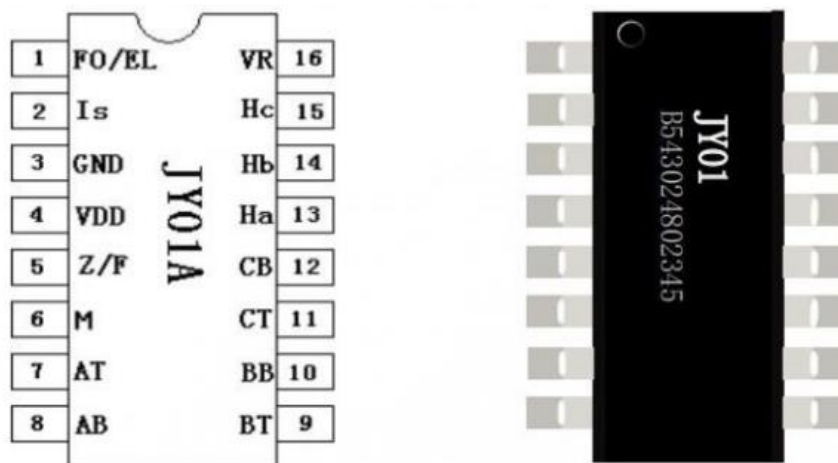


Figura 35, controlador de la tarjeta KKmoon

A continuación se observan las características del controlador:

VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO	4.5V-5.5V
TEMPERATURA DE TRABAJO	-48-85°C
CONTROL DE DIRECCIÓN	Positivo/negativa
SEÑAL DE VELOCIDAD	Sí
PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE	Sí
CONTROL EN LAZO CERRADO	Sí
BLOQUEO DE LA PROTECCIÓN	Sí

Tabla 7, características de la tarjeta Kkmoon

Debido a que los motores del hoverboard en dicho dispositivo funcionan con una batería de 36V, se ha optado por reutilizar y hacer uso de la misma para su incorporación en el andador. Para alimentar a las controladoras se han soldado los cables que provienen de la batería.

Para la implementación del software se ha empleado un Arduino Mega ya que sus características lo hacen útil para la aplicación requerida además de la sencillez de las conexiones.

La primera opción para ponerlo en marcha fue mediante el siguiente esquema (Figura 36): [28]

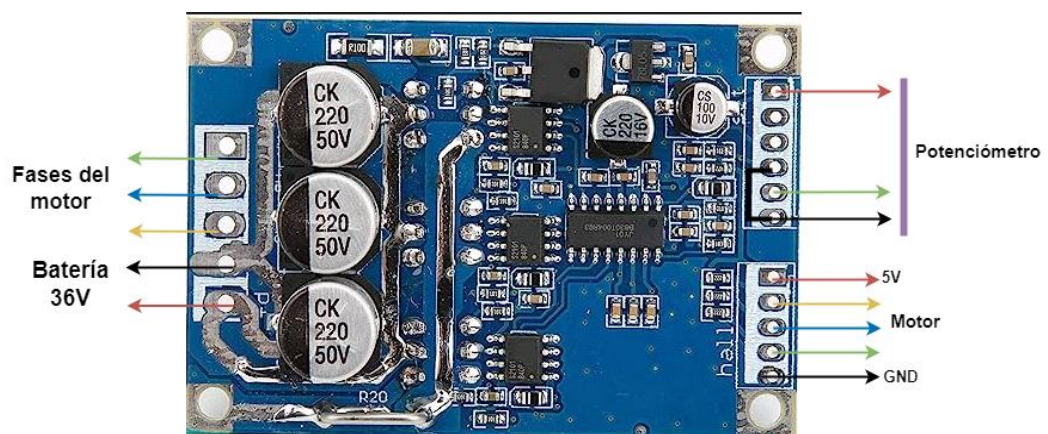


Figura 36, primera conexión a los motores de la tarjeta Kkmoon

Se hizo uso de un potenciómetro deslizante para que en función de cómo se ajustara este, poder variar la velocidad del motor. El potenciómetro elegido fue de 20 K Ω

Para ello se conectaron las fases del motor y los correspondientes pines al sensor hall según la Figura 36. Posteriormente se conectó la batería y se fue variando el valor del potenciómetro de tal forma que los motores del hoverboard giraban a mayor o menor velocidad.

En esta primera prueba, se puede ver que el motor tiene mayor torque que el RMD-L9025, sin embargo, se deberá estudiar si es óptimo para la aplicación requerida. Esta forma de arrancar los motores, como primera toma de contacto es adecuada, sin embargo, para el futuro de este proyecto no es suficiente ya que no sería práctico que el usuario tuviera que estar girando un potenciómetro para acelerar o frenar.

Una vez realizada esta prueba, se procedió a sustituir el potenciómetro por un Arduino Mega, de forma que se pudiera hacer un control de forma más eficiente.

A través del programa realizado se pueden configurar los parámetros para que los motores vayan hacia adelante y hacia atrás con una velocidad establecida.

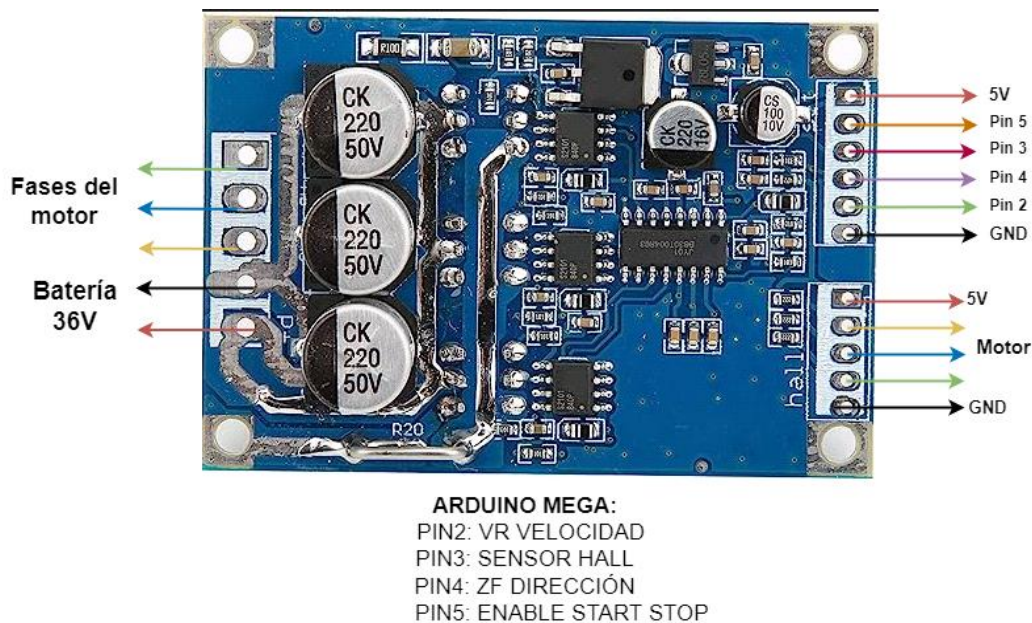


Figura 37, conexión de la tarjeta KKmoon con los motores y el Arduino Mega

De forma similar al apartado anterior, se ha realizado la conexión, sustituyendo los pines correspondientes al potenciómetro por pines que se conectan a un Arduino Mega.

Para el control adecuado es necesario establecer los siguientes pines:

- Pin 2: Velocidad.
- Pin 3: Sensor Hall.
- Pin 4: Dirección.
- Pin 5: Pin de habilitación.

Al realizar la puesta en marcha de los motores se pudo ver que la tarjeta se sobrecalentaba demasiado por lo que ha sido necesario la compra de radiadores.

Estos pueden disipar eficazmente el calor del chip del dispositivo, proporcionando así un enfriamiento adicional y reduciendo el riesgo de falla del equipo para garantizar el correcto funcionamiento.

Debido a la facilidad de hacer cortocircuitos se optó por poner más radiadores pequeños en lugar de uno más grande.

Mediante esta tarjeta se pretendía inicialmente adaptar el *software* existente del andador más antiguo para que tuviera unas funcionalidades similares, sin embargo, se va a tener que realizar otra ya que esta tarjeta no se puede controlar en corriente y en la anterior programación funcionaba así cuando se cumplían ciertas condiciones.

Por ello, se ha planteado comenzar estudiar el motor en control de velocidad para ver que cumple con las características y posteriormente, si estas son adecuadas, realizar un control más complejo.

El siguiente paso a realizar es el control mediante otro tipo de potenciómetro, de mejores prestaciones que el anterior. Se trata de un joystick de 4 ejes analógico (Figura 38) que presenta la ventaja de poder mover los motores en la misma dirección o en direcciones diferentes frente al antiguo modelo, que únicamente podía regular la velocidad pero siempre en el mismo sentido.

Estos potenciómetros se suelen usar en numerosas aplicaciones, así como mandos de consola u ordenadores, o en aplicaciones en las que se requiera un control más suave y preciso. Además, este tipo de joysticks son dispositivos baratos.



Figura 38, joystick de 4 ejes

El montaje de este tipo de dispositivos es sencillo (Figura 39):

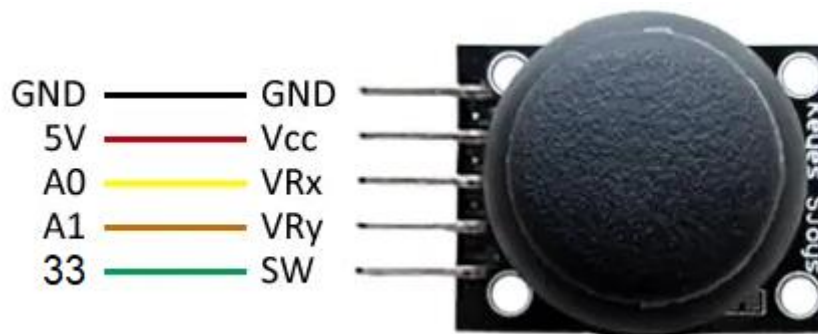


Figura 39, conexión del joystick con Arduino Mega

Presenta dos salidas analógicas (VRX Y VRY) que se conectan a dos entradas analógicas de Arduino. También dispone de un pin para conocer la señal digital del pulsador, conectando así la salida SW a una entrada digital de Arduino.

Antes de implementar el código, se debe conocer las zonas del joystick. Si el usuario desea ir hacia adelante o hacia atrás ambos motores girarán en el mismo sentido, en cambio si el usuario desea girar, los motores girarán en lados contrarios en función del lado hacia el que se desee girar (Figura 40). [29]

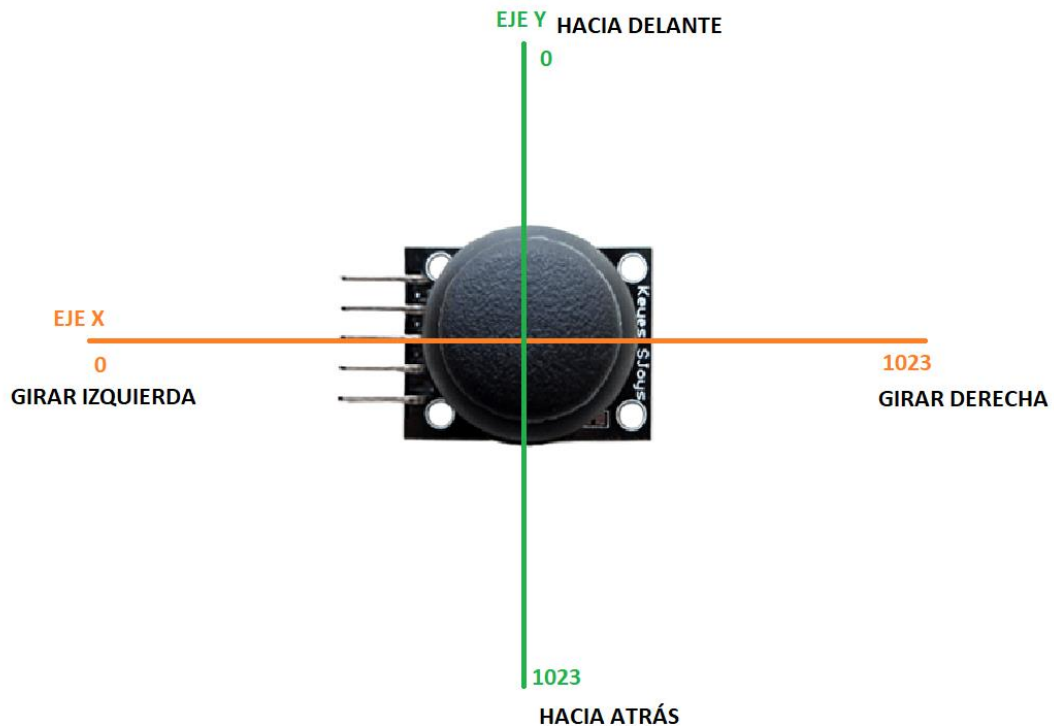


Figura 40, sentido de los motores del andador en función de las zonas del joystick

Para su funcionamiento se han empleado una serie de rangos para el control del joystick, de tal forma que se han declarado las zonas mínimas y máximas y una zona intermedia muerta para que los valores sean leídos correctamente. En función de la zona en la que se encuentre el joystick se hará un mapeo y se moverán los motores de acuerdo a lo establecido anteriormente.

6.4 FUNCIONAMIENTO DEL ANDADOR

El funcionamiento del andador se rige de la siguiente forma:

El movimiento lineal es el movimiento que realiza un objeto que se mueve de un punto a otro en una dirección específica. La velocidad lineal es la rapidez con la que cambia la posición de un objeto en una línea recta. Cuando el usuario quiere ir hacia adelante o hacia atrás, sólo involucra la velocidad lineal ya que se desplaza en una línea recta sin variar su orientación.

En cambio, el movimiento angular es la rotación de un objeto alrededor de un punto y la velocidad angular es la rapidez con la que cambia el ángulo en el que se encuentra un objeto en movimiento rotacional. Cuando el usuario quiere girar, va cambiando la orientación de un punto de pivote.

A partir de esto, se pueden definir dos ecuaciones que definen la velocidad lineal y angular:

$$V=(V1+V2)/2 \tag{6.1}$$

$$W=(V1-V2)/e \tag{6.2}$$

Donde V1 y V2 son las velocidades correspondientes al motor izquierdo y derecho respectivamente, V es la velocidad lineal a la que se desplaza el andador, W es la velocidad angular y e corresponde a la distancia dada entre las ruedas que se ha supuesto con un valor “e=1” para facilitar los cálculos.

A continuación, distinguiremos varios casos de funcionamiento:

ANDADOR HACIA ADELANTE:

Para que el andador vaya hacia delante con una consigna de velocidad determinada, las dos ruedas se deben mover a la misma velocidad, es decir, V1=V2, siendo estas positivas. En este caso sólo interviene la velocidad lineal.

Si se sustituye en las ecuaciones 6.1 y 6.2 se obtiene:

$$V=(V1+V1)/2 = 2V1/2=V1 \tag{6.3}$$

$$W= (V1-V1)/ e =0 \tag{6.4}$$

El resultado que se obtiene es el de la Figura 41:

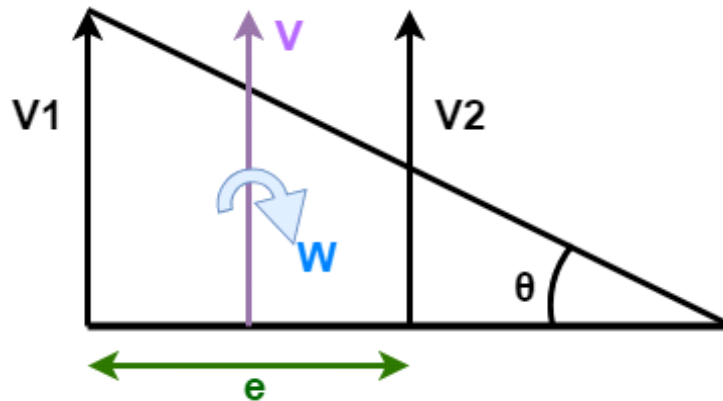


Figura 41, movimiento lineal del andador hacia adelante

ANDADOR HACIA ATRÁS:

De la misma forma, si el usuario quiere desplazarse hacia atrás, las dos ruedas deben moverse a la misma velocidad, pero esta vez negativa. Es decir $-V_1 = -V_2$. En este caso tampoco hay componente angular.

Si se sustituyen los valores en las ecuaciones 6.1 y 6.2 se obtiene:

$$V = (-V_1 + (-V_1))/2 = -2V_1/2 = -V_1 \tag{6.5}$$

$$W = (-V_1 - (-V_1))/e = 0 \tag{6.6}$$

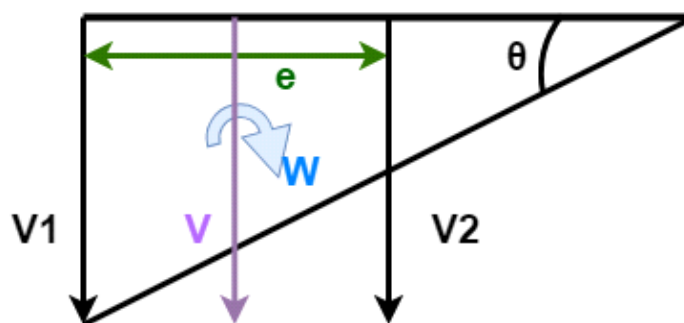


Figura 42, movimiento lineal del andador hacia atrás



El andador se moverá a una velocidad de $-V_1$, es decir, hacia atrás, siendo la velocidad angular nula (Figura 42).

GIRO HACIA ADELANTE :

GIRO A LA DERECHA:

Si el usuario desea girar intervienen tanto la velocidad lineal como la velocidad angular. En caso de querer moverse hacia la derecha, la consigna de velocidad V_1 debe ser mayor que V_2 y ambas positivas ya que se desea girar hacia adelante.

Procedemos a sustituir en las ecuaciones 6.1 y 6.2:

$$V = (V_1 + V_2)/2 > 0 \tag{6.7}$$

$$W = (V_1 - V_2)/e > 0 \tag{6.8}$$

El andador se moverá con una velocidad lineal y angular positivas.

GIRO A LA IZQUIERDA:

En caso de que el usuario desee girar a la izquierda, la consigna de velocidad V_1 debe ser menor que V_2 , pero ambas positivas.

Procedemos a sustituir en las ecuaciones 6.1 y 6.2:

$$V = (V_1 + V_2)/2 > 0 \tag{6.9}$$

$$W = (V_1 - V_2)/e < 0 \tag{6.10}$$

En este caso ahora el valor de la velocidad angular es negativo luego el sentido de movimiento será antihorario con una velocidad lineal positiva como se puede ver en la Figura 43.

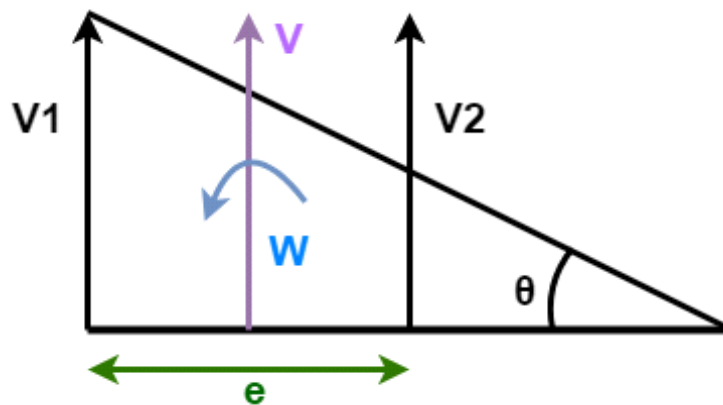


Figura 43, giro hacia adelante izquierda del andador

GIRO HACIA ATRÁS:

Para los giros hacia atrás el funcionamiento es similar al explicado anteriormente.

GIRO A LA DERECHA:

Al igual que en el giro a la derecha hacia adelante V_1 debe ser mayor que V_2 pero ahora de valores negativos.

Procedemos a sustituir en las ecuaciones 6.1 y 6.2:

$$V = (-V_1 - V_2)/2 < 0 \quad (6.9)$$

$$W = (-V_1 - (-V_2))/e < 0 \quad (6.10)$$

En este caso el andador se moverá hacia atrás con unas velocidades lineal y angular negativas (Figura 44).

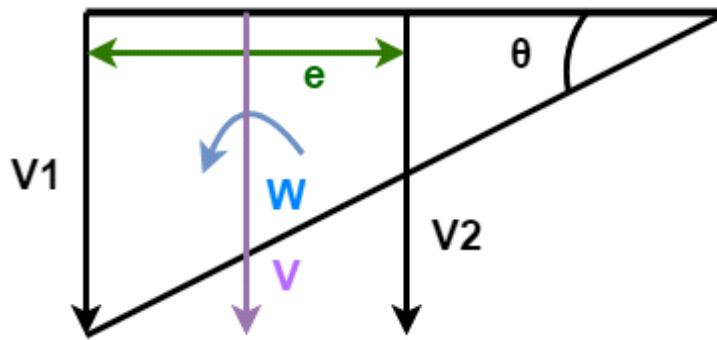


Figura 44, giro hacia atrás derecha del andador

GIRO A LA IZQUIERDA:

En este último caso, para girar a la izquierda el valor de V1 debe ser menor que el valor de V2 pero ambos negativos.

Sustituimos de nuevo en las ecuaciones 6.1 y 6.2 :

$$V = (-V1-V2)/2 < 0 \tag{6.11}$$

$$W = (-V1-(-V2))/e > 0 \tag{6.12}$$

El andador de esta forma se moverá en sentido horario con una velocidad lineal negativa y una velocidad angular positiva.

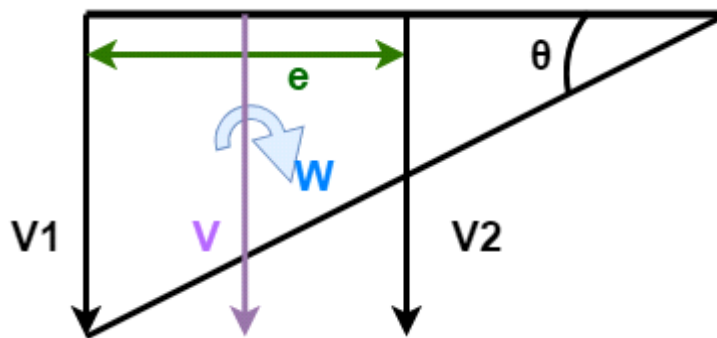


Figura 45, giro hacia atrás izquierda del andador



En el código implementado, que se puede consultar en los anexos aparecen las siguientes funciones:

MuestraMensaje: Esta función se emplea para ir viendo los valores que se van obteniendo de las posiciones y de las velocidades. Se ha tenido que hacer esta función debido a que sin ella, no se podían leer los datos de forma correcta por el monitor serie debido a la rapidez.

CalculoVelocidad: Es la función encargada de proporcionar los valores de la velocidad del motor izquierdo, del motor derecho y las velocidades lineales y angular total. Cada eje del joystick se ha dividido en tres zonas: la zona donde toma el valor mínimo que es 0, la del valor máximo que es 1023 (porque se ha programado mediante Arduino) y una zona muerta intermedia, de forma que en función del rango en el que esté hará un mapeo y devolverá la velocidad correspondiente.

EnviaVelocidad: Es la función que se encarga de establecer el sentido de los motores y escribe en los correspondientes pines la velocidad.

Loop: Se encarga de leer los valores analógicos que se reciben por los pines X e Y del potenciómetro y posteriormente llama a las funciones anteriormente comentadas.

En la Figura 46 se puede ver un esquema de lo implementado:

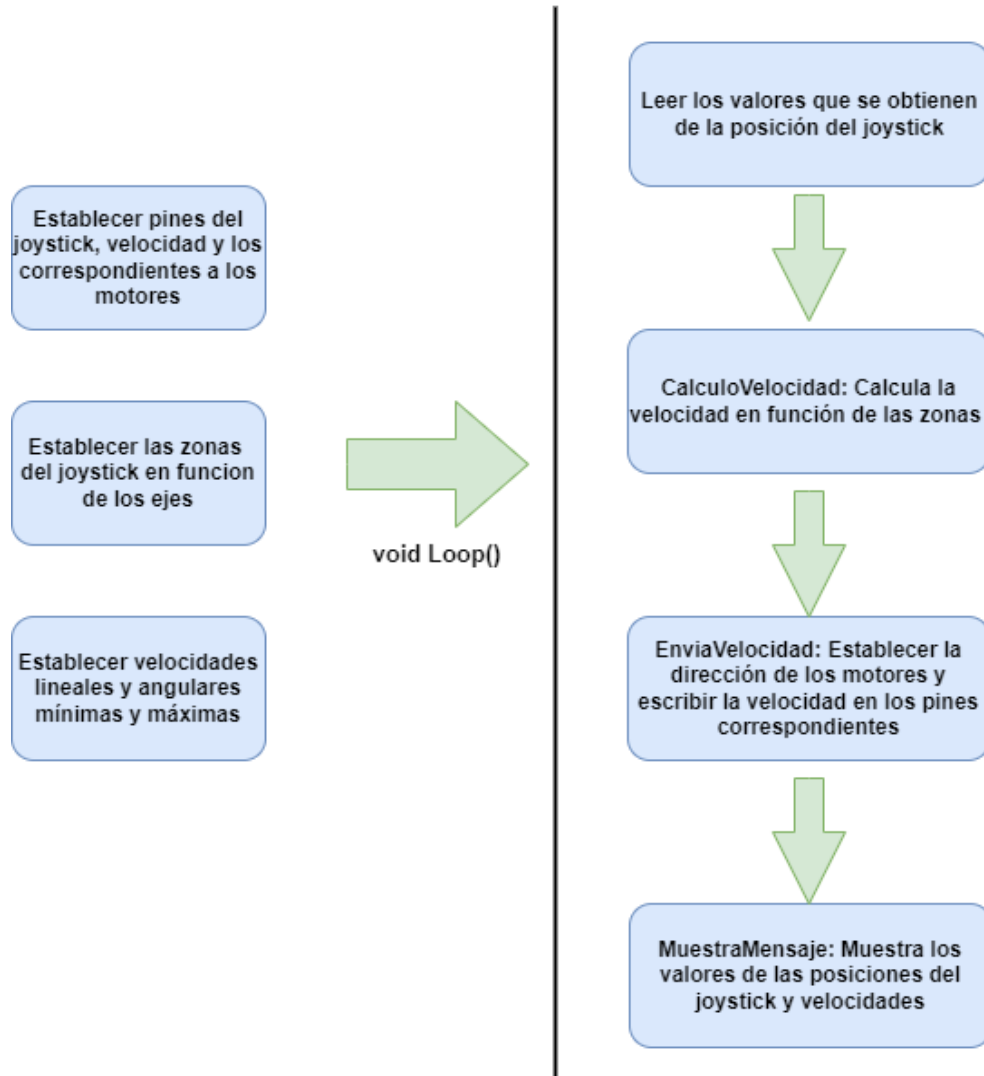


Figura 46, esquema de funcionamiento de los motores

A continuación se proporciona el esquema conjunto de conexiones (Figura 47):

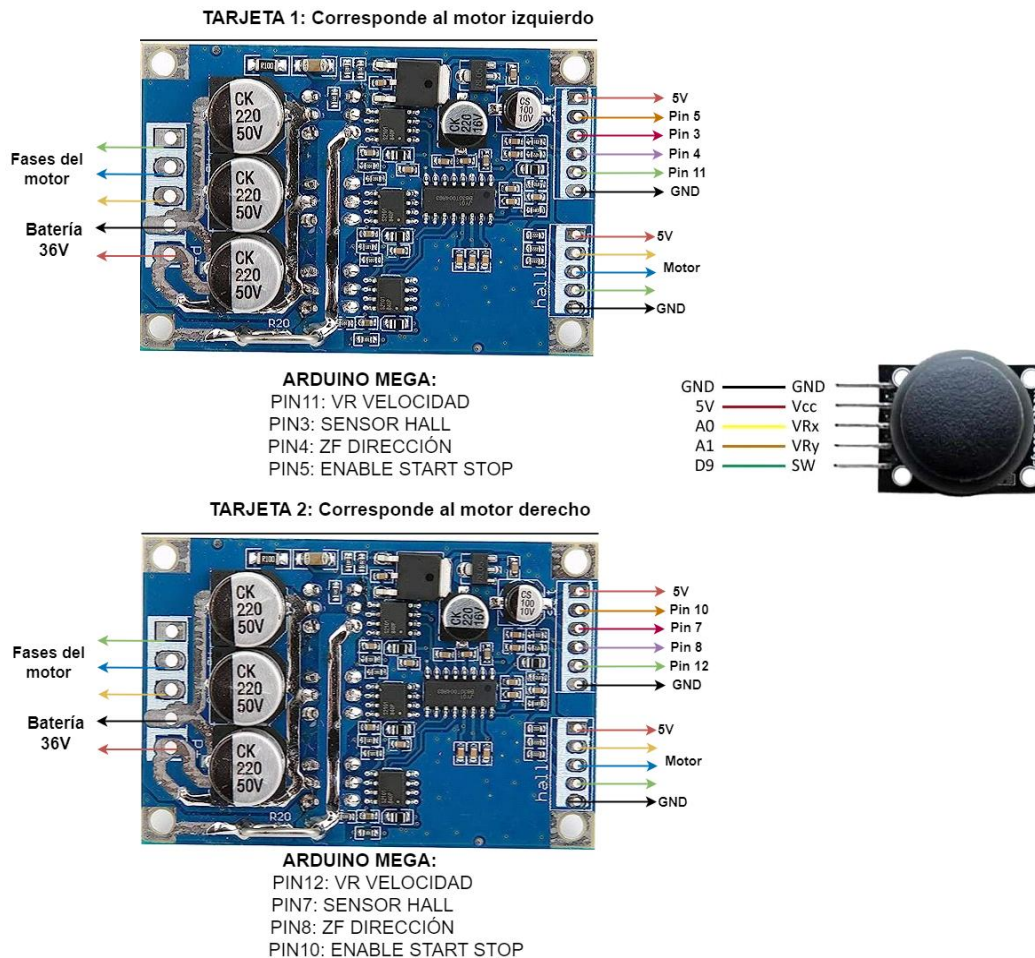


Figura 47, esquema global de conexiones a los motores, al joystick y al Arduino Mega

6.5 MÓDULO HC06:

Como continuación del estudio de mejora de este proyecto, se ha implementado el funcionamiento mediante bluetooth para poder controlar el andador de manera virtual. Esta nueva funcionalidad se consideró interesante debido a que si el usuario no ha dejado el andador a su lado, puede ordenarle ir a la posición en la que el se encuentre mediante una serie de comandos. De esta forma se evitan posibles caídas al tener que ir a por él sin ningún apoyo.

Arduino Mega no dispone de conexión bluetooth, por ello se ha tenido que buscar un módulo que permita este intercambio de datos.

Los más frecuentes en el mercado son los módulos HC-06 y HC-05 debido a que son sencillos y económicos. La diferencia entre ellos radica en el software, ya que el módulo HC-06 sólo puede actuar como esclavo y dispone de un número reducido de instrucciones mientras que el HC-05 puede actuar como maestro o como esclavo y tiene un mayor número de órdenes de configuración.[30]

Finalmente se ha escogido el módulo HC-06 debido a que es más sencillo. Tiene un alcance de 10 metros y puede ser configurado fácilmente.

Normalmente se emplea cuando se quiere comunicar el Arduino Mega con otros dispositivos como un SmartPhone, un ordenador o cualquier otro dispositivo que esté equipado con una conexión bluetooth.

Este módulo tiene 4 pines (Figura 48):

- Vcc: El módulo puede trabajar en un rango de 3.3V a 6V y en nuestro caso se optará por trabajar a 5V.
- GND: Se conectará al pin GND de Arduino Mega.
- Tx: Pin de transmisión de datos. Es por este pin por donde se transmiten los datos que le llegan desde el ordenador o móvil mediante el bluetooth. Se conecta al pin Rx de Arduino.
- Rx: Pin de recepción. A través de este pin el HC-06 recibe los datos de Arduino los cuales se transmitirán por Bluetooth. Este pin se conecta al pin Tx de Arduino.

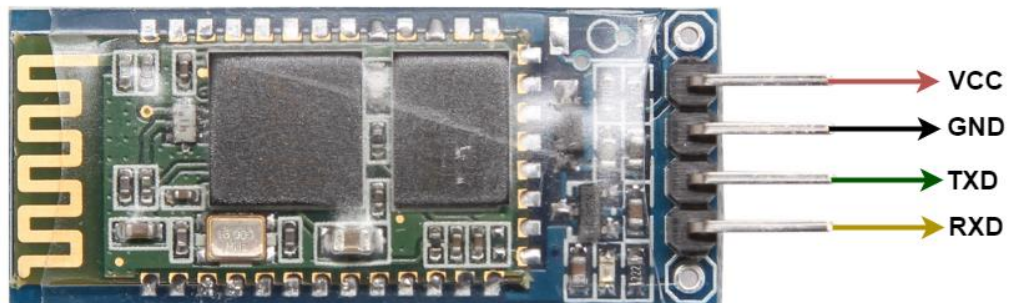


Figura 48, conexiones del módulo HC-06

Todos los pines se pueden configurar mediante comandos AT por puerto serie. Por defecto, cuando el usuario desea conectarse por primera vez a este módulo, se debe introducir la contraseña 1234. [30]

La comunicación entre el Arduino Mega y el módulo va a ser cableada por lo que el protocolo que va a regir esta comunicación es el protocolo serial asíncrono. [31]

Este protocolo es uno de los más comunes en el mundo de la electrónica y se emplea para intercambiar información entre varios dispositivos. La implementación de este protocolo se realiza con los receptores transmisores asíncronos universales UART. Cuando el dispositivo emplea este protocolo su UART transmite la información por la línea TX y recibe la información por la línea RX (Figura 49).

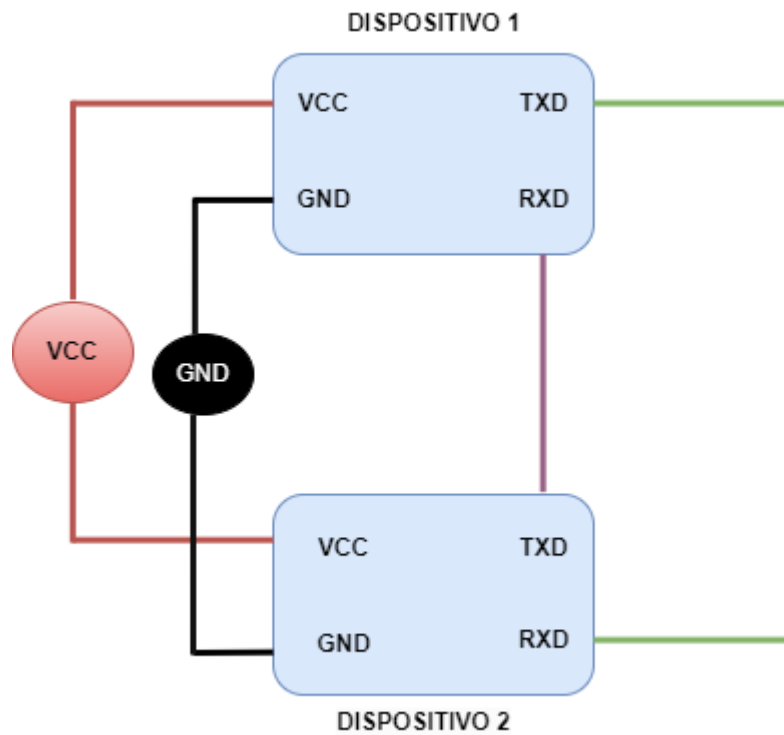


Figura 49, esquema de conexión del módulo HC-06 y Arduino Mega
(Adaptación de [31])

Para la adaptación del código realizado anteriormente con este módulo se han realizado los siguientes cambios (Figura 50):

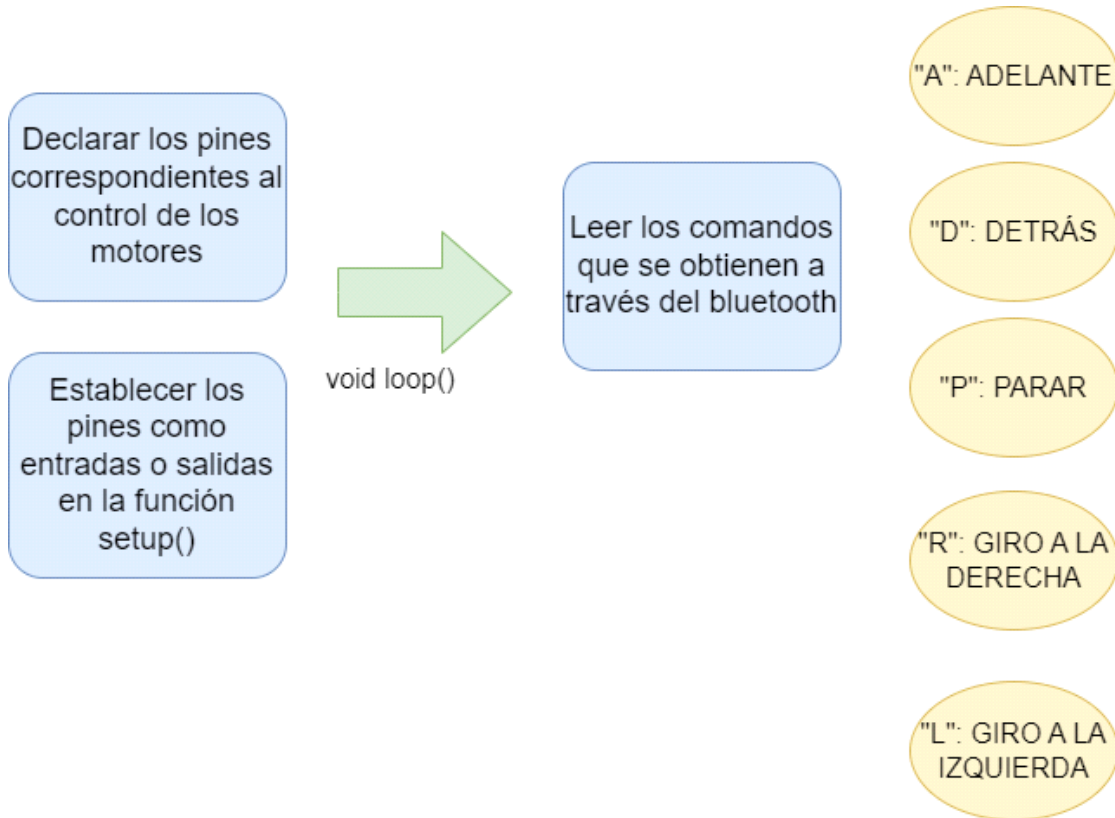


Figura 50, esquema de código mediante el módulo HC-06

Los resultados mediante esta implementación también son óptimos, sin embargo, a diferencia del anterior, aquí no se realiza un mapeo de velocidad en función de los valores del joystick sino que el andador va a una velocidad constante predefinida en función de las necesidades del usuario. Es decir, se realiza un control en base a la modificación de ciertas consignas de velocidad.

CAPÍTULO 7: IMPLEMENTACIÓN EN EL ANDADOR

Este capítulo está destinado a la implementación en el andador del sistema electrónico además de las adaptaciones que han sido necesarias para llevarlo a cabo.

El prototipo de andador comprado ha sido el R021B-ROLLATOR (Figura 51). En un principio se disponía del chasis de este andador con las ruedas que vienen incorporadas de forma previa.



Figura 51, andador R021B-ROLLATOR

Posteriormente, se desmontaron las ruedas del andador convencional para ser sustituidas por las de los motores hoverboard, siendo necesario realizar un diseño para el anclaje de esos motores al andador (Figura 52).



Figura 52, anclaje de los motores al andador

La caja donde se ubica la electrónica se ha realizado intentando optimizar el espacio y de acuerdo a la colocación de los componentes. Para su diseño, en primer lugar, se debían disponer las controladoras de forma que los MOSFET con los radiadores situados en la parte posterior de las mismas tuvieran la mayor ventilación posible ya que una vez que los motores funcionan, estos dispositivos se calientan bastante, por lo que se ha optado por situarlas en los laterales de la caja. Esta presenta rejillas de ventilación y además se ha dejado un espacio por si en un futuro fuera necesario introducir un ventilador para reforzar el enfriamiento.

El Arduino se ha situado en la parte inferior de la caja para facilitar así las conexiones con las controladoras, con el módulo HC-06 y con los cables procedentes del potenciómetro.

La batería se ha optado por dejar fuera de la caja, para así facilitar al usuario la carga de la misma y no tener que desmontar la caja.

La caja electrónica dispone de una salida para cargar o realizar modificaciones en el código para adaptarlo a cada usuario y otra salida para conectar el jack de alimentación si fuera necesario.

Para sujetar las controladoras a la caja se ha optado por poner separadores debido a la altura de los componentes. Para sujetar el Arduino se ha optado por hacerlo mediante dos tornillos situados en el medio de la tarjeta.

En una primera versión de la caja, las medidas quedaron muy justas debido a que no se respetaba la distancia entre componentes por lo que se hizo una nueva versión un poco más grande.

La versión final de la caja resulta ser la siguiente (Figura 53, Figura 54, Figura 55):

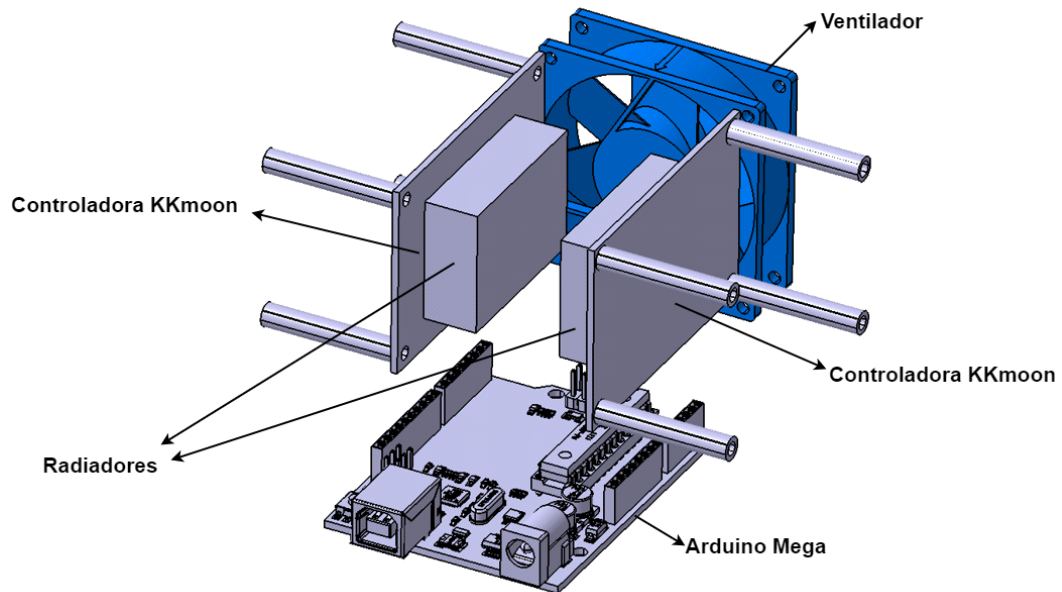


Figura 53, caja electrónica 1

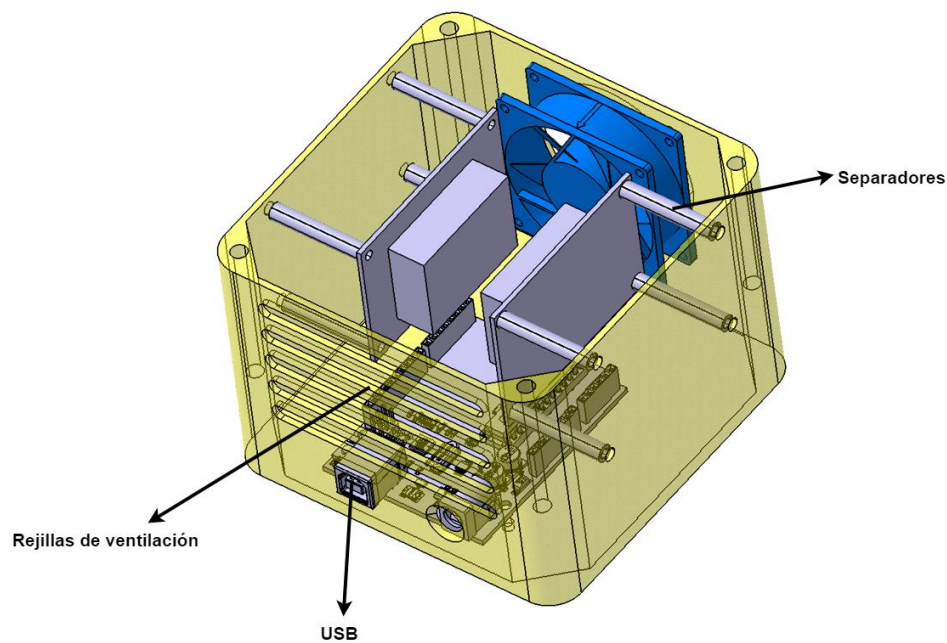


Figura 54, caja electrónica 2

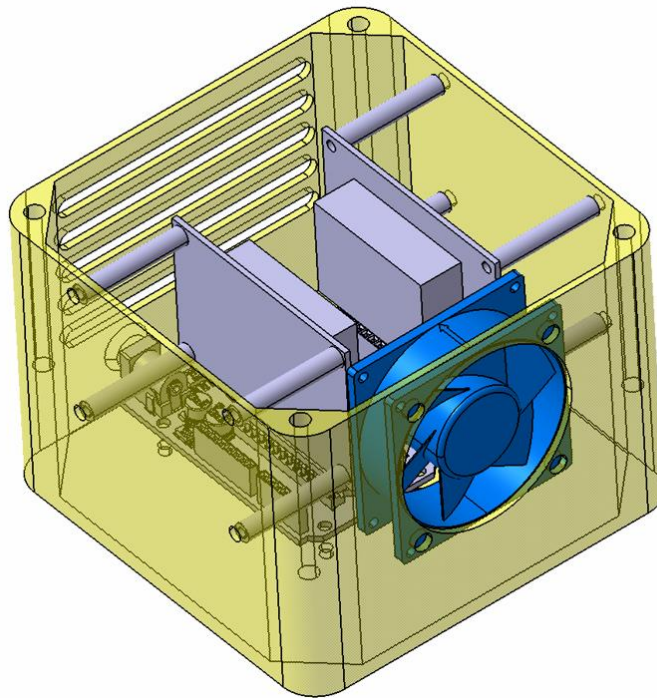


Figura 55, caja electrónica 3

El prototipo final impreso es el de las siguientes figuras (Figura 56, Figura 57, Figura 58, Figura 59):

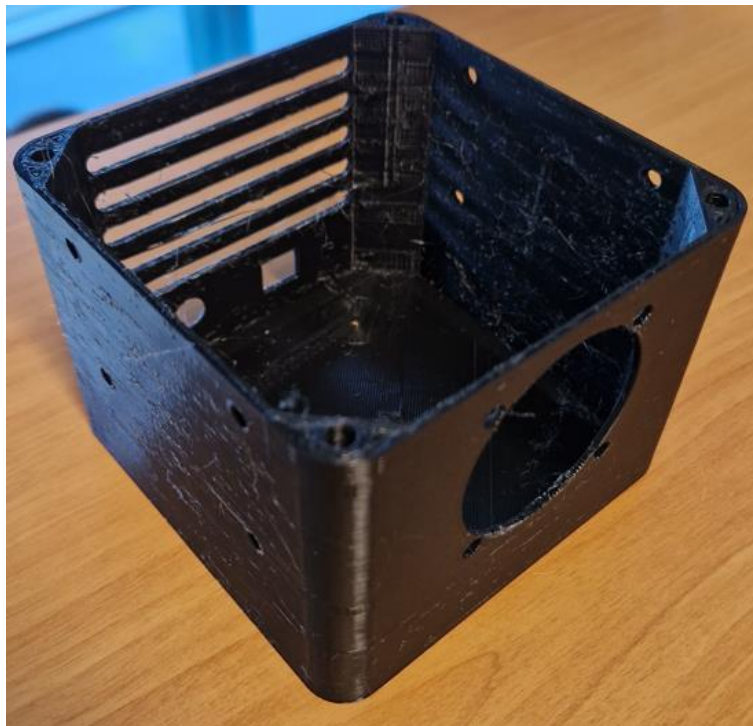


Figura 56, prototipo final de la caja

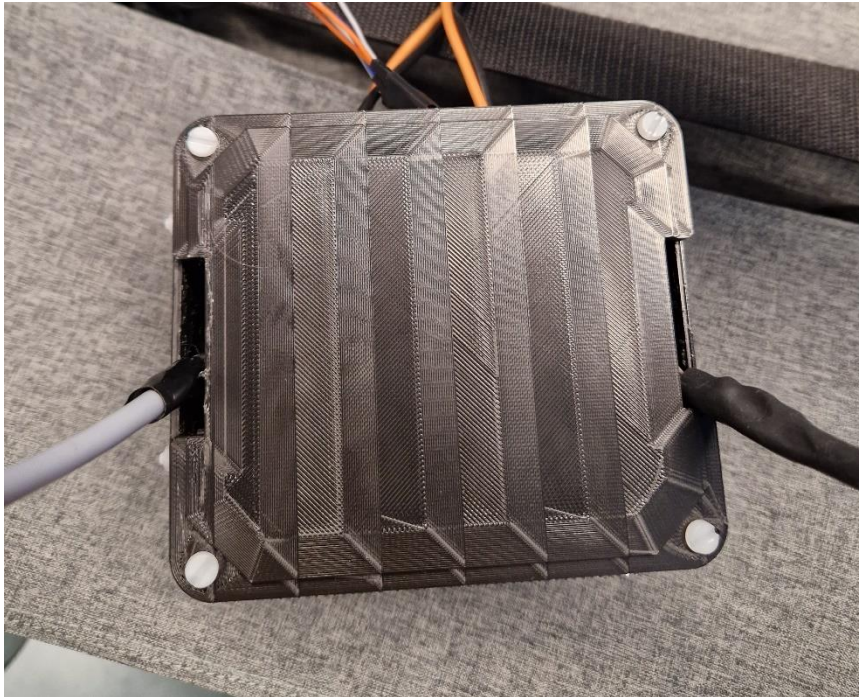


Figura 57, caja electrónica vista desde planta



Figura 58, caja electrónica vista desde perfil

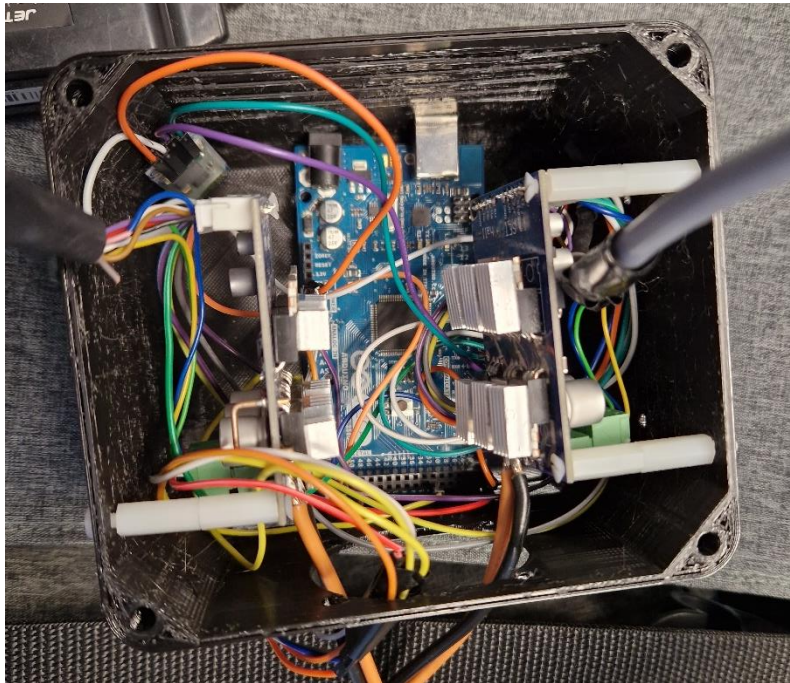


Figura 59, interior de la caja electrónica

El joystick se ha situado en el asidero derecho de forma que esté en una posición cómoda y accesible para que el usuario pueda emplearlo (Figura 60).



Figura 60, posición del joystick en el andador

Con el objetivo de facilitar el encendido y apagado del andador se ha optado por realizar un interruptor, de tal forma que el sistema se encienda de esta manera en lugar de mediante la conexión y desconexión de la batería, evitando así posibles riesgos.

Tanto la caja como la batería, temporalmente se han ubicado en la cesta portaobjetos del andador.

El prototipo final es el siguiente (Figura 61 , Figura 62):



Figura 61, prototipo final del andador, visión frontal



Figura 62, prototipo final del andador, visión lateral

CAPÍTULO 8: RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del andador con la incorporación de los nuevos motores.

La electrónica empleada ha resultado ser estable y funcional en condiciones normales de uso del andador y el diseño se ha realizado de acuerdo a la versión más óptima.

En primer lugar se configuraron los valores del joystick sin una zona muerta, lo cual fue un error ya que los motores no respondían correctamente debido a la falta de precisión por parte del joystick.

A continuación se realizaron varias calibraciones y se eligieron las zonas más adecuadas de tal forma que se minimizara el ruido y los movimientos fueran lo más precisos posibles.

En cuanto a la velocidad, primeramente, a modo de prueba se configuró a una velocidad cercana a la máxima (consigna 200), para ver el torque de los motores. En este caso el andador arrastraba al usuario, llegando a levantar las ruedas en caso de querer avanzar hacia delante debido a la fuerza que tiene.

Esta fuerza puede parecer un inconveniente pero resulta ventajosa ya que de esta forma el andador puede asistir al usuario de mejor forma a la hora de subir pendientes, ya que los motores tienen mayor par y evitan los acelerones que daban los antiguos.

Posteriormente, se configuró la velocidad del motor para un usuario con problemas de movilidad, adaptándose perfectamente al comportamiento.

Además, se ha realizado un estudio de la autonomía con el objetivo de estimar la duración de la batería y se ha considerado óptima para el empleo del andador en condiciones normales.

Otra ventaja del empleo de estos motores ha sido que incluso no estando operativo, permite a la persona andar de forma óptima con él, siendo de esta forma mejor que los RMD-L9025 debido a que emiten un ruido que puede resultar molesto.

También se ha realizado un estudio acerca del consumo de los motores. Para ello, se han realizado dos estudios:

8.1 DESPLAZAMIENTO DEL ANDADOR EN UNA SUPERFICIE PLANA

En primer lugar, se hizo una prueba de la validación del prototipo disponiendo al andador en una superficie plana y variando la consigna de velocidad para una distancia de 5 metros.

CONSIGNA DE VELOCIDAD	CORRIENTE EN EL ARRANQUE (AMPERIOS)	CORRIENTE DE FUNCIONAMIENTO (AMPERIOS)
<20	NO ES CAPAZ DE ARRANCAR	0,0015
20	0,16	0,16
25	0,2	0,17
35	0,2	0,2
45	0,25	0,22
55	0,3	0,25
65	0,4	0,27
75	0,6	0,3
85	0,6	0,3
100	0,8	0,31

Tabla 8, corriente en el arranque y de funcionamiento del andador al variar las consignas de velocidad en una superficie plana

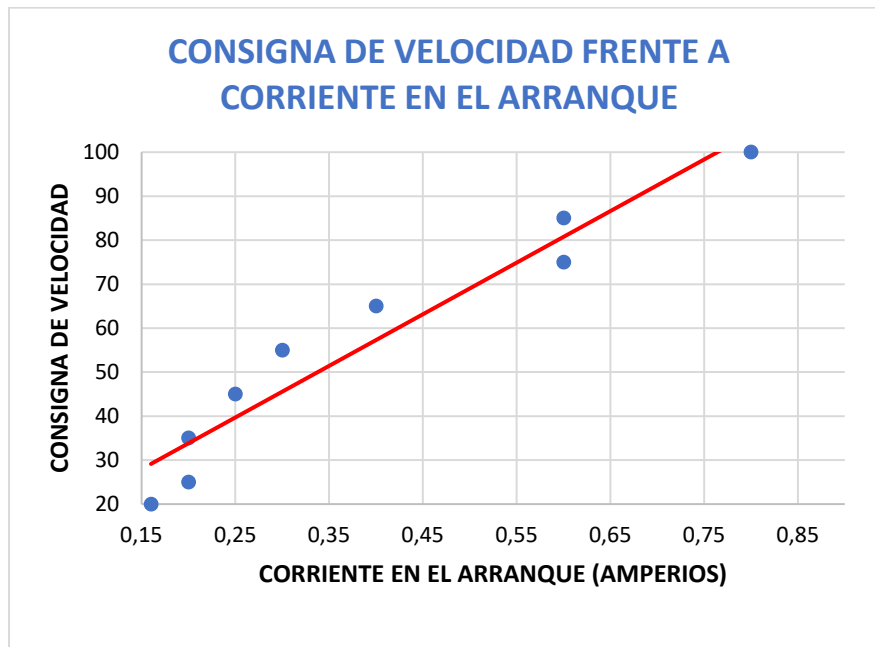


Figura 63, consigna de velocidad frente a corriente en el arranque en una superficie plana

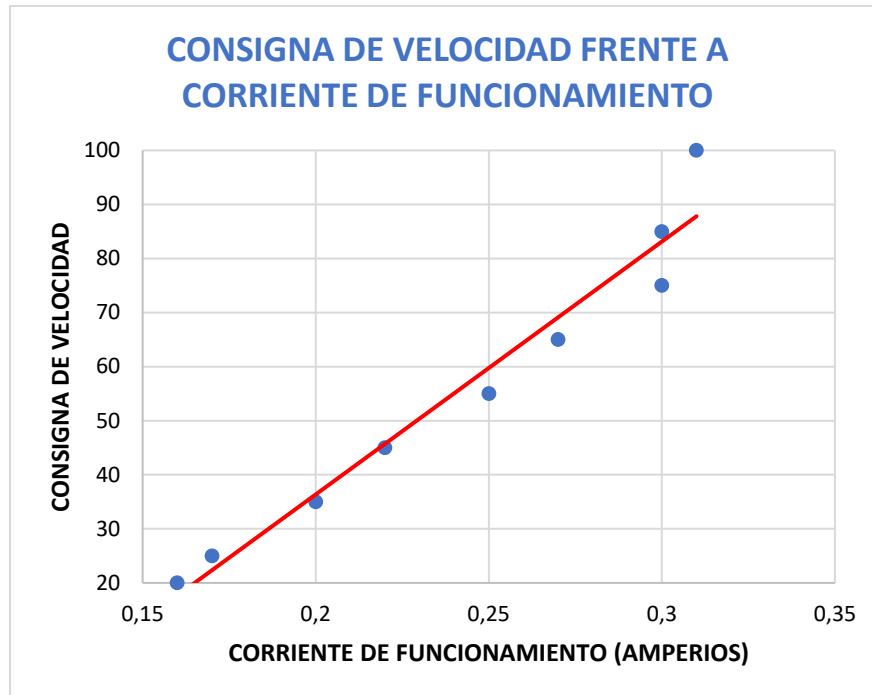


Figura 64, consigna de velocidad frente a corriente de funcionamiento en una superficie plana

Como se puede ver a partir de la Tabla 8Figura 64, en una superficie plana el andador con una consigna de velocidad menor a 20 no es capaz de arrancar, luego nos encontramos ante el caso límite.

Podemos ver que la corriente consumida es proporcional al aumento de la consigna de velocidad, sin embargo, estos valores son adecuados tanto en la corriente que consume al arrancar como la corriente de funcionamiento en condiciones óptimas, como se puede observar en la Figura 63 y la Figura 64.

8.2 DESPLAZAMIENTO DEL ANDADOR EN PENDIENTE ASCENDENTE Y DE TERRENO IRREGULAR

En un segundo estudio de la validación del andador, se dispuso al mismo en el comienzo de una pendiente de 10° y de terreno irregular, con el objetivo de medir la corriente que consume en el arranque, en funcionamiento durante 6.4 m y el tiempo que tarda en realizar dicho recorrido.

CONSIGNA DE VELOCIDAD	CORRIENTE EN EL ARRANQUE (AMPERIOS)	CORRIENTE DE FUNCIONAMIENTO (AMPERIOS)	TIEMPO EN SUBIR (SEGUNDOS)
19	NO ES CAPAZ DE ARRANCAR	0,015	0
20	0	0,16	NO SUBE
25	0	0,17	NO SUBE
35	0,3	0,2	30
45	0,55	0,25	19,2
55	0,6	0,26	16
65	0,8	0,3	12
75	0,85	0,34	8,3
85	0,88	0,35	6,5
100	0,9	0,38	5,7

Tabla 9, corriente en el arranque y de funcionamiento del andador al variar las consignas de velocidad en una superficie con una pendiente elevada y de terreno irregular.

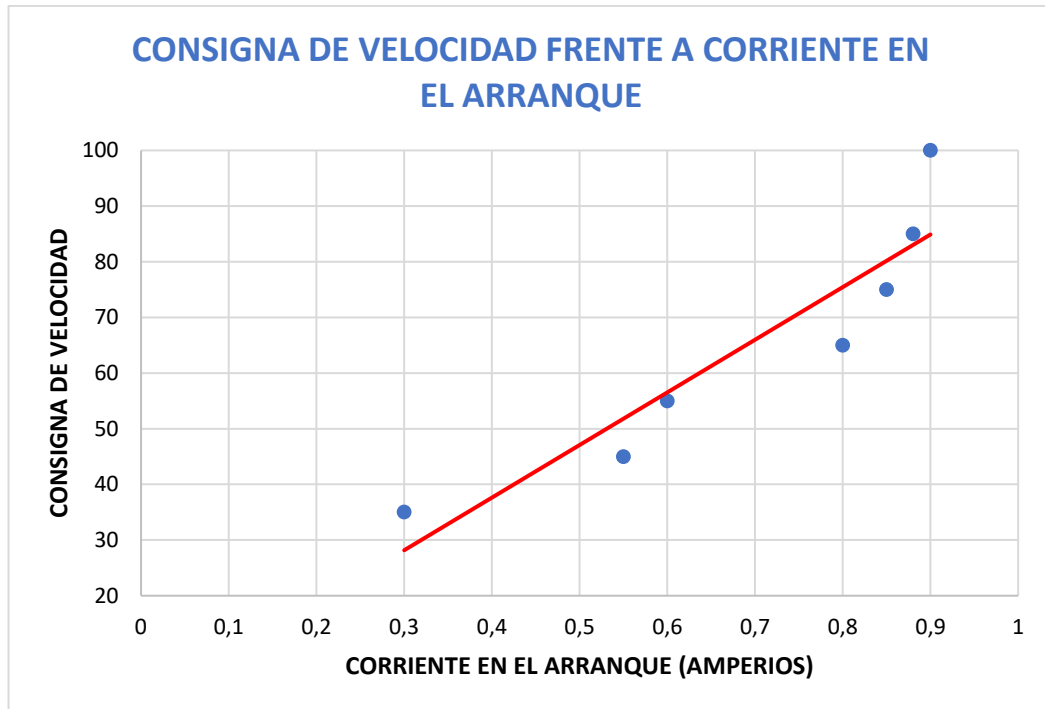


Figura 65, consigna de velocidad frente a corriente en el arranque en una pendiente ascendente y de terreno irregular

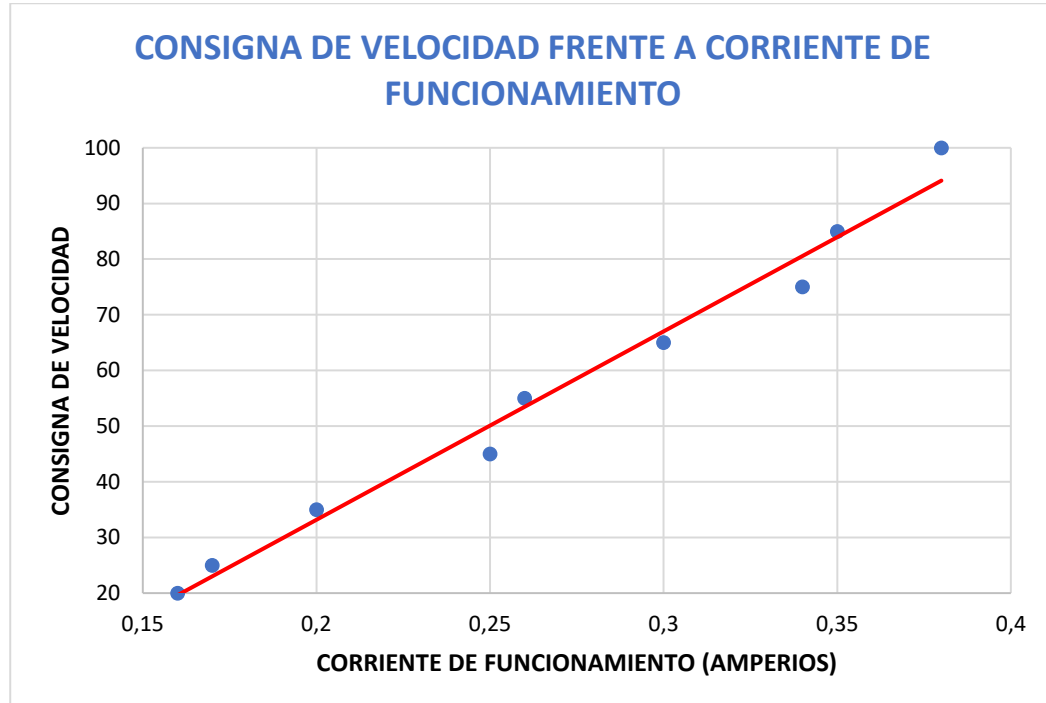


Figura 66, consigna de velocidad frente a corriente de funcionamiento en una pendiente ascendente y de terreno irregular

En este caso, a partir de la *Tabla 9*, se puede observar que la corriente demandada es algo mayor en comparación con el estudio anterior, sin embargo, los valores siguen siendo óptimos para su correcto funcionamiento. A medida que aumenta la consigna de velocidad, la corriente demandada no supera 1A tanto en el arranque como en condiciones de funcionamiento.

En la *Figura 65* y la *Figura 66* se pueden ver un resumen de los resultados obtenidos en este segundo estudio.

A partir de la distancia recorrida y el tiempo que se ha empleado en ello, se puede obtener una equivalencia entre las consignas de velocidad y la velocidad real (*Tabla 10*) ya que:

$$velocidad = \frac{distancia\ recorrida}{tiempo} \quad (8.1)$$

CONSIGNA DE VELOCIDAD	VELOCIDAD (m/s)	VELOCIDAD (Km/h)
35	0,21	0,77
45	0,33	1,2
55	0,4	1,44
65	0,53	1,9
75	0,77	2,77
85	0,98	3,54
100	1,2	4,04

Tabla 10, equivalencia entre consignas de velocidad y velocidad real

Con todo lo expuesto anteriormente, se puede concluir que los motores del hoverboard son adecuados para su aplicación en andadores, ya que son capaces de adaptarse tanto a velocidades bajas como elevadas y en superficies inclinadas responde mejor que los motores RMD-9025. Además evita esos acelerones bruscos al comienzo del movimiento y tiene una mayor potencia.

CAPÍTULO 9: ESTUDIO ECONÓMICO

9.1 INTRODUCCIÓN

El estudio económico que se va a realizar en este capítulo corresponde al coste unitario del prototipo de andador. Es importante debido a que determinará si este nuevo prototipo es viable y se podrá ver si existen diferencias económicas relevantes respecto al motor previamente utilizado. Se va a realizar un análisis entre las distintas soluciones que se han propuesto, determinando el coste final.

9.2 RECURSOS EMPLEADOS

A continuación se muestra un resumen de los recursos hardware y software empleados durante el desarrollo de este proyecto.

SOFTWARE:

- Sistema operativo: Windows 10 Pro
- Arduino Software
- Zadig
- STM microelectronics
- Diagrams

HARDWARE:

- Ordenador portátil
- Arduino Mega
- Dos motores hoverboard
- Dos controladoras kkmooon 12-36V
- Batería 36 V
- Módulo HC-06
- Joystick

MATERIAL OFIMÁTICO:

- Libros de consulta
- Materiales de oficina (libros, fotocopias, etc.)

9.3 COSTES DIRECTOS

Los costes directos de material son aquellos que están relacionados directamente con la producción de un bien o servicio y que están vinculados a la adquisición de los materiales necesarios para llevar a cabo dicha producción y envuelven a :

- Costes del personal
- Costes amortizables de programas y equipos
- Costes de materiales directos empleados

9.3.1 COSTES DE PERSONAL

En la realización de este proyecto se cuenta con un ingeniero encargado del diseño, implementación de las distintas aplicaciones además de la puesta a punto de los sistemas.

Debemos estimar cuanto será el coste promedio anual de un ingeniero, los días laborables en un año y las horas diarias trabajadas para así poder estimar el coste por hora. Una vez obtenido este dato, podemos adecuarlo a las horas invertidas en la realización del proyecto.

Teniendo en cuenta esto, el coste anual del ingeniero será (Tabla 11):

COSTE ANUAL	
Sueldo bruto más incentivos	28 500 €
Seguridad Social (35% sueldo bruto)	9 975 €
Coste total	38 475€

Tabla 11, coste anual del ingeniero

A continuación, se realizará una estimación de los días efectivos trabajados al año (Tabla 12).

DÍAS EFECTIVOS POR AÑO	
Año medio	365 días
Sábados y Domingos	-104 días
Días de vacaciones efectivos	-24 días
Días festivos reconocidos (Valladolid)	-15 días
Días perdidos estimados	-5 días
Total días efectivos estimados	217 días

Tabla 12, días efectivos trabajados en un año

El resultado obtenido es de días efectivos anualmente. Contando con jornada laboral completa de 8 horas, las horas trabajadas anualmente resultan:

$$217 \text{ días/año} \times 8 \text{ horas/día} = \mathbf{1.736 \text{ horas/año}}$$

Con las horas anuales trabajadas y el coste anual del trabajador se deduce su coste por hora.

$$\frac{\text{Coste}}{\text{hora}} = \frac{38475 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1736 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} = 22,16 \text{ €/hora}$$

Determinado el coste por hora de un ingeniero podemos continuar con la determinación de las horas invertidas en cada una de las etapas de la realización de este proyecto que se recoge en la siguiente tabla (Tabla 13).

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE TRABAJO	
Formación y documentación	200 horas
Estudio del problema	200 horas
Desarrollo de la aplicación	300 horas
Puesta a punto del sistema	200 horas
Elaboración de la documentación	150 horas
Total de horas empleadas	1 050 horas

Tabla 13, horas invertidas en cada una de las etapas

A partir de los datos calculados anteriormente se puede determinar el coste del personal directo:

$$1\ 050 \text{ horas} \times 22,16\text{€/hora} = \mathbf{23\ 268\ €}$$

El coste de personal involucrado en el proyecto resulta ser de **23 268 €**.

9.3.2 COSTES AMORTIZABLES DE EQUIPOS Y PROGRAMAS

Los costes amortizables de programas y equipos corresponden al uso de aquellos que sean necesarios para poder llevar a cabo el proyecto y que serán amortizados de una manera u otra durante su vida útil.

Para el cálculo de estos costes se debe realizar previamente la inversión total y calcular la amortización lineal correspondiente según los criterios establecidos. Se ha considerado material amortizable a todo lo utilizado en relación con equipos informáticos, incluyendo tanto hardware como software.

Se ha estimado un periodo de amortización de tres años, ya que es el considerado como vida útil de dicho material, de forma que, al calcular el coste, hay que multiplicar por un factor de 3.33 los precios mostrados (Tabla 14).

MATERIAL	IMPORTE (aprox.)	AMORTIZACIÓN 33.3 %
Sistema operativo Windows 10 Pro	259 €	87,47 €
Ordenador Philips	850 €	280,5 €
Impresoras 3D	500 € * 3uds= 1800 €	495 €
Total material	2 909 €	862.97 €

Tabla 14, amortización del material

Para la programación se ha empleado software libre como Arduino IDE que no suponen ningún coste de amortización.

El coste final por hora de utilización del material es calculado mediante la división de la amortización anual entre el número de horas de uso en dichos equipos.

$$\frac{\text{Coste final}}{\text{hora}} = \frac{862.67 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1736 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} \approx 0,49 \text{ €/hora}$$

Una vez calculado el coste por hora de amortización de cada producto, podemos multiplicarlo por el tiempo de utilización de todos estos materiales.

El **coste de amortización** resultará:

$$1\ 050 \text{ horas} \times 0,49 \text{ €/hora} = \mathbf{514,5 \text{ €}}$$

9.3.3 COSTES DE MATERIAL

En este apartado se analizarán los costes de los componentes y materiales empleados en la fabricación de una unidad del prototipo final (Tabla 15).

También se debe incluir los materiales consumibles durante el desarrollo del proyecto: libros, papel de impresora, bolígrafos, tinta, fotocopias, cables, herramientas, etc. El coste total de estos materiales varios se puede estimar aproximadamente en 180 €.

COMPONENTES	CANTIDAD	PRECIO UD	PRECIO TOTAL
ANDADOR	1	70,87 €	70,87 €
MOTORES HOVERBOARD	2	60 €	120 €
BATERÍA 36V	1	10 €	10 €
CONTROLADORA KKMoon	2	22 €	44 €
JOYSTICK	1	4 €	4 €
MÓDULO HC-06	1	10 €	10 €
RADIADORES	1	8,20 €	8,20 €
COSTE TOTAL			267,07 €

Tabla 15, costes materiales del andador con la controladora Kkmoon

Adicionando los costes materiales del andador junto con el coste de otros materiales consumibles obtenemos el coste total directo de los materiales utilizados:

$$\text{Coste de materiales} = 180 \text{ €} + 267,07 \text{ €} = 447,07 \text{ €}$$

9.3.4 COSTES TOTALES DIRECTOS

Con los costes directos calculados se obtienen los siguientes costes directos totales:

$$\text{El coste total directo resulta de } 23\,268 \text{ €} + 514,5 \text{ €} + 447,07 \text{ €} = 24\,229,57 \text{ €}$$

9.4 COSTES INDIRECTOS

Los costes indirectos son aquellos generados por la realización de actividades para la ejecución del proyecto y no pueden incluirse dentro de los costes directos.

COSTES INDIRECTOS	
Gastos administrativos	100 €
Electricidad	250 €
Desplazamiento	350 €
Coste total	700 €

Tabla 16, coste total indirecto

El coste total indirecto resulta de **700 €**.

9.5 COSTES TOTALES

El coste total del proyecto es el resultado de sumar el total de costes directos y el total de costes indirectos.

COSTES TOTALES	
Costes directos	24 229,57 €
Costes indirectos	700 €
Coste total	24 929,57 €

El coste total del proyecto resulta de **24 929,57 €**





CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

10.1 CONCLUSIONES

Este Trabajo Fin de Grado ha conseguido dar respuesta al **objetivo principal** del mismo, la motorización de bajo coste de un andador para la asistencia a personas mayores mediante el reemplazo de los motores actualmente en uso por los provenientes de un dispositivo hoverboard.

Se han estudiado las diversas formas de control de los motores, escogiendo la más adecuada además de su funcionamiento en diferentes escenarios.

Se ha dado respuesta también a los subobjetivos propuestos ya que ha resultado ser un dispositivo fácil de utilizar e intuitivo, facilita a los usuarios la subida en pendientes debido a su mayor torque sin la necesidad de dar acelerones bruscos como en el caso de los motores anteriores, además de retener al usuario al bajar cuestas.

El andador también garantiza un funcionamiento óptimo incluso en situaciones de apagado del sistema electrónico.

El **análisis de mercado** para ver qué controladora era la más adecuada, ha supuesto más tiempo del esperado. Había numerosas controladoras disponibles y que aparentemente podrían haber sido válidas para el proyecto. Sin embargo, al leer detenidamente las especificaciones, muchas de ellas no cumplían los requisitos, o no incorporaban la versión del firmware más reciente o las licencias requeridas para su instalación no estaban disponibles.

En cuanto al estudio de las diversas controladoras obtenidas, destacar especialmente la de **ODrive robotics**. En un principio parecía más sencillo de conectar y controlar, pero realizando el estudio vi que se necesitaban más programas adicionales para cargar un *firmware* que previamente no estaba incorporado. Una vez que la tarjeta había sido detectada, el proceso para realizar la previa calibración del motor ha sido muy lento, debido a errores que se iban generando continuamente, además de no haber sido ésta exitosa.

Otro de los inconvenientes que más ha dificultado este proceso ha sido la **escasa información** que se conoce acerca de los motores hoverboard. A pesar de haber intentado contactar con los proveedores de estos dispositivos, o consulta en foros o en páginas oficiales, no se ha conseguido más información aparte de la proporcionada. Esto lleva a que los primeros ensayos realizados han sido a prueba y error.

En cuanto a la tarjeta con la que finalmente ha sido desarrollado el prototipo se ha obtenido un control y funcionamiento óptimo de los motores.



Se ha podido ver que los **motores del hoverboard** pueden ser **adecuados** para su aplicación en andadores ya que a velocidades bajas funcionan de forma adecuada, tienen mayor torque que los anteriores motores pero evitan los movimientos bruscos de los antiguos. Tampoco presentan ruido alguno cuando no están operativos, pudiendo usar el andador de forma óptima.

Por último, mencionar que este trabajo me ha permitido **reforzar** los **conocimientos** académicos en **Informática, Electrónica y Máquinas**.

La realización de este Trabajo Fin de Grado ha supuesto un **aprendizaje constante**. Se ha puesto en juego la capacidad de análisis de mercado para la compra de controladoras. La etapa de estudio de los motores ha significado mejorar la capacidad de análisis de problemas y la competencia de resolverlos.

10.2 LÍNEAS FUTURAS

En un mundo cada vez más conectado y tecnológicamente avanzado, los andadores inteligentes están surgiendo como una solución innovadora para mejorar la calidad de vida de las personas mayores, es por ello, por lo que en un futuro cercano se espera que mejoren de forma exponencial.

Seguirán incorporando nuevas funcionalidades como pueden ser:

- **INTEGRACIÓN CON DISPOSITIVOS MÓVILES:**

La conexión con dispositivos móviles puede servir como un sistema de seguridad adicional, para prevenir caídas, ya que el control mediante el móvil permite que el usuario no tenga que desplazarse hasta el andador sin apoyo alguno o por ejemplo, en caso de que un usuario sufra una caída notificar a otra persona.

- **MONITOREO DE LA SALUD:**

La integración de sensores que midan el ritmo cardíaco y la presión arterial en los andadores marca un paso revolucionario en el cuidado de la salud y bienestar personal. El hecho de monitorear de manera continua los signos vitales de los usuarios, permite detectar de forma más temprana cambios en la salud permitiendo un control más rápido y preciso en los casos que sean necesarios.

- **DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA AUTÓNOMOS EN EL HOGAR:**

Debido al éxito de la implementación de estos motores en los andadores, en CARTIF se va a realizar una futura implementación de estos en dispositivos de transferencia autónomos en el hogar. Estos dispositivos son muy demandados para los traslados de pacientes, ya que se levanta y traslada al usuario sin ningún esfuerzo y sin hacerle daño y mejora la salud. Además, la implementación del bluetooth en la grúa facilitará adicionalmente su uso.





BIBLIOGRAFÍA

- [1] Equipo Singular Bank, “la población española en 4 gráficos”, 2021. Disponible en: <https://blog.selfbank.es/la-poblacion-espanola-en-4-graficos/>. [En línea]. Acceso: abril 2023.
- [2] Á. Pérez Espinosa, “KeePace, el andador del futuro”, 30 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://somosability.mx/2019/12/30/keepace-el-andador-del-futuro/>. [En línea]. Acceso: mayo 2023.
- [3] Rollzing. <https://rollzing.com/producto/rollz-motion/> (acceso: 8 de mayo de 2023)
- [4] UPWalker. <https://upwalker.com/pages/shop> (acceso: 8 de mayo de 2023)
- [5] Ortopedia para mayores, <https://probarortopediaencasa.com/scooter-electricos-para-mayores/> (Acceso: Marzo 2023)
- [6] Centro Tecnológico Cartif .<https://www.cartif.es/> (Acceso: Marzo 2023)
- [7] Junta de Castilla y León, <https://serviciosociales.icyl.es/web/es/personas-mayores/proyecto-procura.html> (Acceso: Marzo 2023)
- [8] P. MUÑOZ DE LA FUENTE, “Andin, un andador inteligente de asistencia a personas mayores”, Trabajo Fin de Grado Universidad de Valladolid, Julio 2021.
- [9] L.A. Sánchez Vázquez, “Desarrollo modular de un andador inteligente”, Trabajo Fin de Máster Universidad de Valladolid, junio 2020.
- [10] C. CLEMENTE MARTÍN, “Diseño e implementación de un sistema de captación y análisis de señal para un andador inteligente”, Trabajo Fin de Grado Universidad Politécnica de Madrid, 2021.
- [11] J. Bono Ondoño, "Fabricación y montaje de un nuevo andador ortopédico para personas con movilidad reducida", Trabajo Fin de Grado Universitat Jaume I, febrero 2017.
- [12] Marino A. Pernía, "Conceptos básicos de máquinas de corriente continua", ResearchGate, Septiembre 2011.
- [13] J.R. Vaello Sancho, “Funcionamiento motores síncronos”, Automatismo Industrial, 2014. Disponible en: <https://automatismoidustrial.com/>

- [14] M.A. Rodríguez Pozueta, *Máquinas de corriente continua*, Universidad de Cantabria, 2017.
- [15] D. Bueno, "Motor eléctrico brushless: funcionamiento y características", 2014. Disponible en: <https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/motores-brushless.pdf> , [En línea]. Acceso: 20 de agosto de 2023.
- [16] <curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/motores-sincronos/>. [En línea]. Acceso: julio 2023.
- [17] MyActuator, <https://www.myactuator.com/> ,(acceso: 20 de julio de 2023)
- [18] Megamotion, <https://www.megamotion.eu/> ,(acceso: 20 de julio de 2023)
- [19] ACCOMS. <https://www.accompanycons.com/> ,(acceso: 20 de agosto de 2023)
- [20] MOZO Robotics, <https://mozorobotics.com/es-hyundai-t5/> ,(acceso: 20 de agosto de 2023)
- [21] SIMPLE FOC, <https://simplefoc.com/> (acceso: Abril 2023)
- [22] Odrive, <https://odriverobotics.com/> ,(acceso: 16 de abril de 2023)
- [23] E. Nieto, "Resistencias de frenado, qué son y cómo funcionan", <https://fidestec.com/blog/resistencias-frenado/> ,(acceso: Mayo 2023)
- [24] Zadig, <https://zadig.akeo.ie/> ,(acceso: 16 de abril de 2023)
- [25] STMicroelectronics, https://www.st.com/content/st_com/en.html ,(acceso: 16 de abril de 2023)
- [26] Amazon, <https://www.amazon.es/aqxreight-Controlador-escobillas-12V-36V-Driver/dp/B08SWJ4DWS> ,(Acceso: Abril 2023)
- [27] JUYI TECH, <https://spanish.bldcmotor-driver.com/> ,(Acceso: abril 2023)
- [28] A. González Fuentes, "Andador motorizado", 9 de abril de 2019. Disponible en: <https://www.esaac.es/andador-motorizado/>. [En línea]. Acceso: 25 de julio de 2023.



- [29] L. Llamas, “Lectura de un potenciómetro con Arduino”, 26 de enero de 2015. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/lectura-de-un-potenciometro-con-arduino/>. [En línea]. Acceso: 23 de marzo de 2023.
- [30] Naylamp Mechatronics, “Tutorial básico de uso del módulo Bluetooth HC-06 y HC-05”, 2017. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/blog/12_tutorial-basico-de-uso-del-modulo-bluetooth-hc-06-y-hc-05.html. [En línea]. Acceso: 20 de agosto de 2023.
- [31] D. Mucientes San José, "Implementación de un entorno de comunicación Bluetooth basado en el módulo HC-06", Trabajo Fin de Grado Universidad de Valladolid, Julio 2021.





ANEXOS

PUESTA EN MARCHA DEL DISPOSITIVO:

Para ponerlo en marcha, se disponen de dos opciones:

- Mediante el uso del joystick
- Mediante el control por bluetooth

En ambos casos, se deberá activar el interruptor que está conectado a la batería.

En caso de querer hacer un uso del andador mediante el joystick, el usuario debe agarrar cada asidero y mover el joystick que está situado en uno de ellos hacia la dirección que se quiera desplazar.

En caso de querer hacer un uso mediante el control por bluetooth, como ya se ha mencionado anteriormente, el usuario debe activar el bluetooth en su dispositivo móvil. Si es la primera vez que se conecta, debe ir a los ajustes donde aparecen todos los dispositivos al alcance y seleccionar el dispositivo llamado HC-06 e introducir la contraseña 1234.

Posteriormente debe ir a la aplicación Arduino Bluetooth Controller y vincularse con el módulo HC-06. A continuación aparecerá un menú con las posibles opciones de conexión, y se seleccionará la de modo terminal. Una vez aceptada esta opción se introducirán los comandos adecuados en función de la dirección en la que el usuario desee mover el andador.

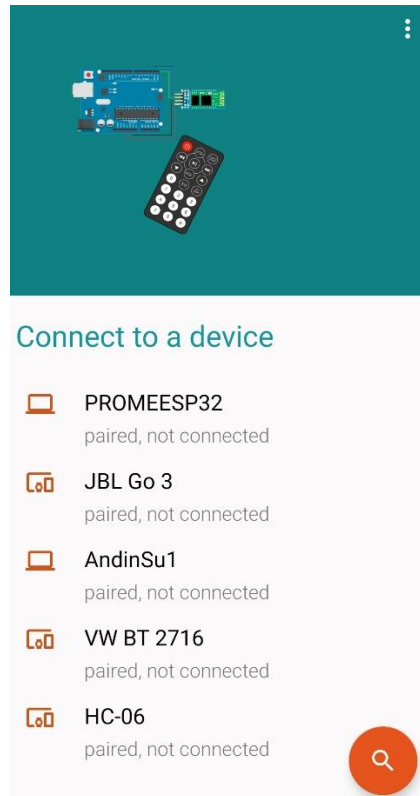


Figura 67, aplicación Arduino Bluetooth controller

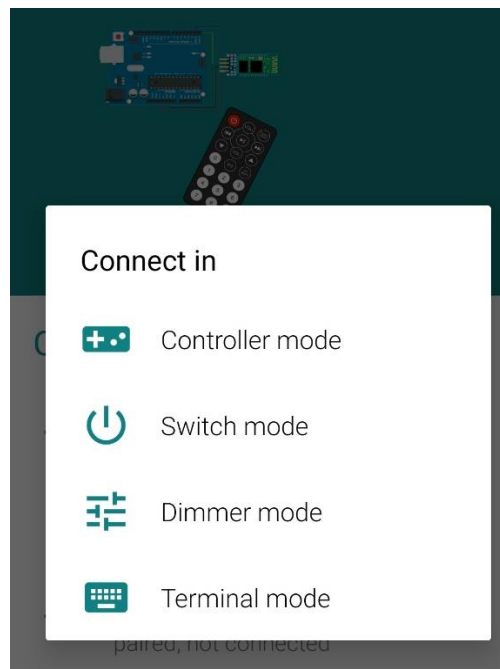


Figura 68, elección del modo terminal en la aplicación

HC-06

```
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
> P  
HC-06: Ppara  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
> A  
HC-06: Adelante  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
> P  
HC-06: Ppara  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
> R  
HC-06: Rizquierda  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
> P  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Ppara  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1  
HC-06: Activo:1
```

type in command

Figura 69, envío y visualización de comandos en la aplicación durante el funcionamiento

Una vez finalizado su uso, para el ahorro de batería y con el fin de evitar riesgos se deberá apagar el interruptor.

CARGA DEL DISPOSITIVO:

El andador cuenta con una batería de 36V y se entrega con el cargador correspondiente.

En caso de que el andador no encienda, puede ser debido a que la batería se haya descargado o esté baja (inferior a 36V). Para ello, conecte el cargador y espere a que la batería esté lo suficientemente cargada.



Figura 70, batería del andador con su cargador

FUNCIONALIDADES:

ASIENTO Y SISTEMA DE PLEGADO:

El andador incorpora un asiento para facilitar el reposo del usuario. Es importante que antes de sentarse compruebe que los frenos manuales se encuentran bloqueados y que el andador está completamente desplegado.

Incorpora un soporte lumbar para mayor comodidad del usuario y para que sólo haya una única posible forma de sentarse, siendo ésta de espaldas a la dirección del desplazamiento.

El andador se puede plegar para disminuir su anchura y poder almacenarlo en un lugar reducido.

Para ello se dispone en el asiento de un asidero, que tirando verticalmente de él permite plegar el andador.

FRENOS Y REGULACIÓN DE ALTURA:

El andador dispone de dos frenos que serán accionados manualmente por parte del usuario.

Los frenos tienen tres posibles posiciones: Desplazando la maneta hacia arriba la zapata frena al motor del *hoverboard* y soltándola, ésta regresa a la posición inicial donde la rueda se desbloquea.

Desplazando la maneta hacia abajo, la rueda queda enclavada y se desbloqueará una vez que se retorne la maneta a la posición inicial.

En caso de que el usuario quiera hacer un descanso y sentarse en la silla, deberá tener las manetas en la posición de enclavamiento, para así evitar posibles accidentes.

El chasis del andador también permite la regulación de altura para que se pueda adaptar a cada usuario.

Para regular la altura se dispone de dos sujeciones acopladas al chasis. Es importante que ambas sujeciones se encuentren al mismo nivel para así evitar la descompensación de cargas y evitar posibles accidentes.

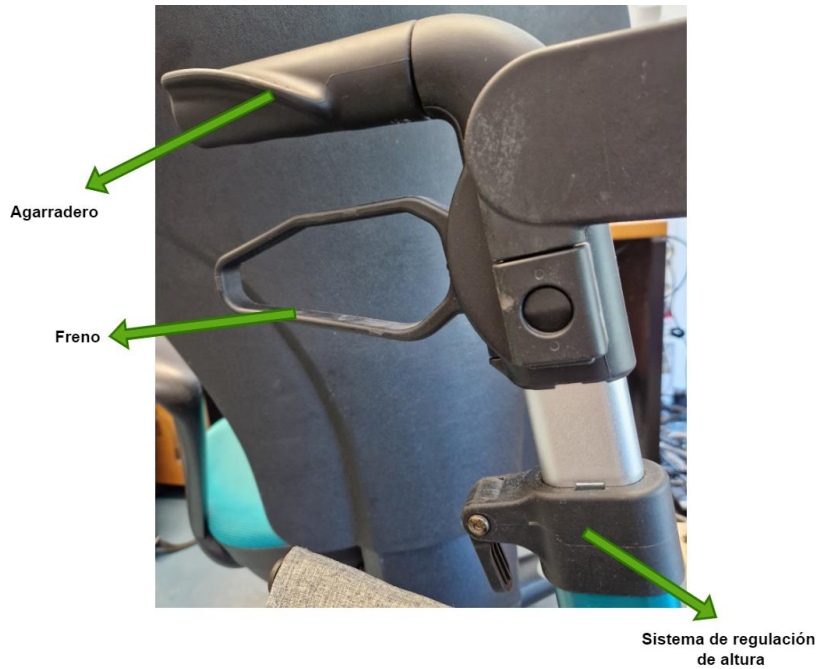


Figura 71, frenos y sistema de regulación de altura

BOLSA PORTAOBJETOS:

El andador cuenta con una bolsa portaobjetos en la parte frontal del andador, en la que para el prototipo se ha introducido la caja de la electrónica.



Figura 72, bolsa portaobjetos

CÓDIGO IMPLEMENTADO:

1. CÓDIGO PARA LA CONTROLADORA SIMPLE FOC:

```
// Control en lazo abierto de un motor
#include <SimpleFOC.h>

// Número de pares de polos del motor
BLDCMotor motor = BLDCMotor(15);
//Pines pwm y enable
BLDCDriver3PWM driver = BLDCDriver3PWM(9, 5, 6, 8);

//target variable
float target_velocity = 10;

// instanciar los comandos
Commander command = Commander(Serial);
void doTarget(char* cmd) { command.scalar(&target_velocity, cmd); }
void doLimit(char* cmd) { command.scalar(&motor.voltage_limit, cmd); }

void setup() {

    // fuente de tensión
    driver.voltage_power_supply = 36;
    //maximo voltaje dc de protección
    driver.voltage_limit = 6;
    driver.init();
    // link the motor and the driver
    motor.linkDriver(&driver);
    motor.voltage_limit = 3; // [V]

    // configuración en lazo abierto
    motor.controller = MotionControlType::velocity_openloop;

    // init motor hardware
    motor.init();

    command.add('T', doTarget, "target velocity");
    command.add('L', doLimit, "voltage limit");

    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Motor configurado!");
    Serial.println("velocidad [rad/s]");
    _delay(1000);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    motor.move(target_velocity);
```

```
    command.run();
```

```
}
```

2. CÓDIGO MANUAL VELOCIDAD:

```
#include <ArduinoJson.h>
```

```
int startstop=5; //EL
```

```
int senhall=3; // Signal - Hall sensor
```

```
int direccion=4; // ZF
```

```
int vel=11; //VR
```

```
int pos=0;int steps=0;int speed1=0;
```

```
String direction1;
```

```
//Pin del sensor
```

```
const int sensorPin=A0;
```

```
// Umbral para la detección de presencia
```

```
const int umbralPresencia = 1000;
```

```
void contador() {
```

```
    pos++; //contador de pasos
```

```
    Serial.println(pos);
```

```
    if(pos>=steps){
```

```
        wheelStop();
```

```
        pos=0;
```

```
    }
```

```
}
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    pinMode(startstop, OUTPUT); //stop/start - EL
```

```
    pinMode(senhall, INPUT); //plus - Signal
```

```
    pinMode(direccion, OUTPUT); //direction - ZF
```

```
    //Función para contar los pasos
```



```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(senhall), contador, CHANGE);  
}
```

```
void drive(){  
  int lecturaSensor = analogRead(sensorPin);  
  // {"direction":"forward","steps":"30","speed":"50"}  
  // {"direction":"backward","steps":"30","speed":"50"}  
  // {"direction":"stop","steps":"0","speed":"0"}--  
  if( lecturaSensor > umbralPresencia) {  
    if(direction1=="forward" && pos<steps)  
    {  
      wheelMoveForward();  
      Serial.println("Motor encendido adelante");  
    }else if (direction1=="backward" && pos<steps){  
      wheelMoveBackward();  
      Serial.println("Motor encendido hacia atras");  
    }  
  }  
}
```

```
else{  
  Serial.println("Parar el motor");  
  wheelStop();  
  pos=0;  
}  
}
```

```
void wheelStop(){  
  digitalWrite(startstop,LOW);  
}
```

```
void wheelMoveForward(){  
  analogWrite(vel, speed1);  
  digitalWrite(startstop,LOW);  
  delay(1000);  
  digitalWrite(direccion,HIGH);  
  delay(1000);  
  digitalWrite(startstop,HIGH);  
}
```

```
void wheelMoveBackward(){  
  analogWrite(vel, speed1);  
  digitalWrite(startstop,LOW);  
  delay(1000);  
  digitalWrite(direccion,LOW);  
  delay(1000);  
  digitalWrite(startstop,HIGH);  
}
```




```
}  
  
void loop() {  
  
  if (Serial.available()>0) {  
    String command=Serial.readString();  
  
    DynamicJsonBuffer jsonBuffer;  
    JsonObject& root= jsonBuffer.parseObject(command);  
  
    if (root.success()) {  
      direction1 = root["direction"].asString();  
      Serial.println(direction1);  
      steps = atoi(root["steps"]);  
      Serial.println(steps);  
      speed1 = atoi(root["speed"]);  
      Serial.println(speed1);  
      drive();  
    }  
  }  
}  
  
}
```

3. CODIGO ARDUINO Y CONTROLADORA KKMOON:

```
#include <ArduinoJson.h>  
  
//Pines para el motor derecho  
int startstop1=5; //EL  
int senhall1=3; // Signal - Hall sensor  
int direccion1=4; // ZF  
int vel1=11; //VR  
  
//Pines para el motor izquierdo  
int startstop2=10; //EL  
int senhall2=7; // Signal - Hall sensor  
int direccion2=8; // ZF  
int vel2=12; //VR  
  
int pos=0;int steps=0;int speed1=0;  
String direction1;  
String direction2;
```




```
void contador() {
  pos++;
  Serial.println(pos);
  if(pos>=steps){
    wheelStop();
    pos=0;
  }
}

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  pinMode(startstop1, OUTPUT); //stop/start - EL
  pinMode(senhall1, INPUT); //plus - Signal
  pinMode(direccion1, OUTPUT); //direction - ZF
  pinMode(startstop2, OUTPUT); //stop/start - EL
  pinMode(senhall2, INPUT); //plus - Signal
  pinMode(direccion2, OUTPUT); //direction - ZF

  //Detector del sensor Hall
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(senhall1), contador, CHANGE);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(senhall2), contador, CHANGE);
}

void loop(){

  int recogida=digitalRead(33);
  steps=100;
  direction1=="forward";
  direction2=="forward";

  if( recogida==1) {
    if(direction1=="forward" && direction2=="forward" && pos<steps)
    {
      wheelMoveForward();
      Serial.println("Motor encendido adelante");
    }else if (direction1=="backward"&& direction2=="forward" && pos<steps){
      wheelMoveBackward();
      Serial.println("Motor encendido hacia atras");
    }
  }
}
else{
```



```
Serial.println("Parar el motor");
wheelStop();
pos=0;

}
}

void wheelStop(){
digitalWrite(startstop1,LOW);
digitalWrite(startstop2,LOW);
}

void wheelMoveForward(){
analogWrite(vel1, 50);
analogWrite(vel2, 50);
digitalWrite(startstop1,LOW);
digitalWrite(startstop2,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(direccion1,HIGH);
digitalWrite(direccion2,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(startstop1,HIGH);
digitalWrite(startstop2,HIGH);
}

void wheelMoveBackward(){
analogWrite(vel1, 50);
analogWrite(vel2, 50);
digitalWrite(startstop1,LOW);
digitalWrite(startstop2,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(direccion1,LOW);
digitalWrite(direccion2,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(startstop1,HIGH);
digitalWrite(startstop2,HIGH);
}
```



3. CÓDIGO IMPLEMENTADO CON BLUETOOTH:

```
#include <SoftwareSerial.h>

#include <Arduino.h>
// #include <analogWrite.h>

// Variable para depuración mostrar mensajes
bool mostrar = true;
char myChar;

// Potenciómetro conectado a GPIO 35
const int portPinX = A0;
const int portPinY = A1;
// Almacenamiento del valor de puerto (Rango de 0-4095)
int potValorX = 0;
int potValorY = 0;

// PINES PARA EL MOTOR IZQUEIRDO
const int startstop1 = 5; // EL
const int senhall1 = 3; // Signal - Hall sensor
const int direccion1 = 4; // ZF

// PINES PARA EL MOTOR DERECHO
const int startstop2 = 10; // EL
const int senhall2 = 7; // Signal - Hall sensor
const int direccion2 = 8; // ZF

// PINES UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD
const int pinV1 = 11;
const int pinV2 = 12;

// Pin del boton del joystick
const int pinJoyButton = 33;

// PINES PARA RECOGER LA LECTURA DE TENSIÓN
int k = 5;
int T1x = 0; // Giro derecha
int T2x = 509 - k;
int T3x = 509 + k;
int T4x = 1023; // Giro izda
int T1y = 0; // Dirección de marcha hacia adelante
int T2y = 522 - k;
int T3y = 522 + k;
int T4y = 1023; // Dirección marcha hacia adelante
int Vmax = 25;
```



```
int Vmin = 0;  
int Wmax = 50;  
int Wmin = 0;  
int Vm_max = 25;
```

```
int V=0, W=0; // Velocidad lineal y angular
```

```
int e = 1; // Distancia entre ruedas, para velocidad angular de ajuste  
bool activo = 0;
```

```
void MuestraMensaje(bool mostrar, long int tiempo, String Mensaje){  
    static long int temporizador = millis()+tiempo;
```

```
    if(mostrar && millis() > temporizador){  
        Serial.println(Mensaje);  
        temporizador = millis()+tiempo;  
    }  
}
```

```
void EnviaVelocidad(int V1, int V2){
```

```
    if(V1 > 0){  
        digitalWrite(direccion1, HIGH);  
        analogWrite(pinV1, V1);  
    }
```

```
    else{  
        digitalWrite(direccion1, LOW);  
        analogWrite(pinV1, -V1);  
    }
```

```
    if(V2 > 0){  
        digitalWrite(direccion2, LOW);  
        analogWrite(pinV2, V2);  
    }
```

```
    else{  
        digitalWrite(direccion2, HIGH);  
        analogWrite(pinV2, -V2);  
    }
```

```
}
```



```
void setup() {
  pinMode(pinJoyButton , INPUT_PULLUP); //activar resistencia pull up
  pinMode(pinV1,OUTPUT);
  pinMode(pinV2,OUTPUT);
  pinMode(startstop1, OUTPUT);//stop/start - EL
  pinMode(senhall1, INPUT); //plus - Signal
  pinMode(direccion1, OUTPUT); //direction - ZF

  pinMode(startstop2, OUTPUT);//stop/start - EL
  pinMode(senhall2, INPUT); //plus - Signal
  pinMode(direccion2, OUTPUT); //direction - ZF

  digitalWrite(startstop1, 1);
  digitalWrite(startstop2, 1);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("conexion exitosa");
  delay(1000);
}
void loop() {

  int V1, V2;
  // Lectura del valor en cada vuelta del bucle
  potValorX = analogRead(portPinX);
  // Serial.println("=====");
  //Serial.println(potValorX);
  potValorY = analogRead(portPinY);
  // Serial.println("=====");
  //Serial.println(potValorY);

  //CalculoVelocidad(potValorX, potValorY, V1, V2);

  //EnviaVelocidad(V1,V2);

  activo=digitalRead(pinJoyButton);
  MuestraMensaje(mostrar, 1000, "Activo:" + String(activo));

  while (Serial.available())
  { myChar=Serial.read();
    Serial.print(myChar);
    char A='A';
    char P='P';
    char R='R';
    char L='L';
    char D='D';
```



```
if(myChar=='A')
{
    V=20;
    W=0;
//CalculoVelocidad(potValorX, potValorY, V1, V2);
    V1= V + (W*e)/2;
    V2 = V - (W*e)/2;
```

```
    EnviaVelocidad(V1,V2);
    Serial.println("adelante");
```

```

}
else if (myChar=='P')
{
    V=0;
    W=0;
//CalculoVelocidad(potValorX, potValorY, V1, V2);
    V1= V + (W*e)/2;
    V2 = V - (W*e)/2;
```

```
    EnviaVelocidad(V1,V2);
    Serial.println("para ");
```

```

}
else if (myChar=='D')
```

```

{
    V=-20;
    W=0;
//CalculoVelocidad(potValorX, potValorY, V1, V2);
    V1= V + (W*e)/2;
    V2 = V - (W*e)/2;
```

```
    EnviaVelocidad(V1,V2);
    Serial.println("hacia atras");
```

```

}
else if (myChar=='R')
```

```

{
    V=25;
    W=5;
    V1= V + (W*e)/2;
    V2 = V - (W*e)/2;
    EnviaVelocidad(V1,V2);
    Serial.println("izquierda");
```

```

}
else if (myChar=='L')
```



```
{
  V=25;
  W=5;
  V1= V - (W*e)/2;
  V2 = V + (W*e)/2;

  EnviaVelocidad(V1,V2);
  Serial.println("izquierda");
}

else

{
  Serial.println("no hago nada ");
}

}

}
```

4. CÓDIGO IMPLEMENTADO CON EL JOYSTICK:

```
#include <Arduino.h>

// Variable para poder mostrar mensajes
bool mostrar =true;

const int portPinX = A0;
const int portPinY = A1;
int potValorX = 0;
int potValorY = 0;

//PINES PARA EL MOTOR IZQUEIRDO
const int startstop1=5; //EL
const int senhall1=3; // Signal - Hall sensor
const int direccion1=4; // ZF

//PINES PARA EL MOTOR DERECHO
const int startstop2=10; //EL
```




```
const int senhall2=7; // Signal - Hall sensor
const int direccion2=8; // ZF

// PINES UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD
const int pinV1=11;
const int pinV2=12;

// Pin del boton del joystick
const int pinJoyButton = 33;

//PINES PARA RECOGER LA LECTURA DE TENSIÓN
int k = 5;
int T1x =0; // Giro derecha
int T2x = 509 - k;
int T3x = 509+ k;
int T4x =1023; // Giro izda
int T1y =0; // Dirección de marcha hacia adelante
int T2y = 522 -k;
int T3y = 522 +k;
int T4y =1023; // Dirección marcha hacia adelante
int Vmax = 50;
int Vmin = 0;
int Wmax = 50;
int Wmin =0;
int Vm_max =50;

int V=0, W=0; // Velocidad lineal y angular

int e = 1; // Distancia entre ruedas, para velocidad angular de ajuste
bool activo =0;

void MuestraMensaje(bool mostrar, long int tiempo, String Mensaje){
    static long int temporizador = millis()+tiempo;

    if(mostrar && millis() > temporizador){
        Serial.println(Mensaje);
        temporizador = millis()+tiempo;
    }
}

void CalculoVelocidad(int potValorX, int potValorY, int &V1, int &V2){

    // Calculamos las velocidad Lineal
```



```
if (potValorY > T3y){
    V = map(potValorY,T3y,T4y,Vmin,Vmax);
}
else if (potValorY < T2y){
    V = -map(potValorY,T1y,T2y,Vmax,Vmin);
}
else V=0;
// Calculamos las velocidad angular
if (potValorX > T3x){
    W = map(potValorX,T3x,T4x,Wmin,Wmax);
}
else if (potValorX < T2x){
    W = -map(potValorX,T1x,T2x,Wmax,Wmin);
}
else W=0;

// Calculamos velocidades de los motores

V1= V + (W*e)/2;
V2 = V - (W*e)/2;

    MuestraMensaje(mostrar, 1000, "X:" + String(potValorX)+"\nY:" +
String(potValorY)+"\nV:" + String(V)+"\nW:" + String(W)+"\nV1:" + String(V1)+"\nV2:"
+ String(V2));
}

void EnviaVelocidad(int V1, int V2){
    if(V1 > 0){
        digitalWrite(direccion1, HIGH);
        analogWrite(pinV1,V1);
    }
    else{
        digitalWrite(direccion1, LOW);
        analogWrite(pinV1,-V1);
    }
    if(V2 > 0){
        digitalWrite(direccion2, LOW);
        analogWrite(pinV2,V2);
    }
    else{
        digitalWrite(direccion2, HIGH);
    }
}
```



```
        analogWrite(pinV2,-V2);
    }

}

void setup() {
    pinMode(pinJoyButton , INPUT_PULLUP); //activar resistencia pull up
    pinMode(pinV1,OUTPUT);
    pinMode(pinV2,OUTPUT);
    pinMode(startstop1, OUTPUT);//stop/start - EL
    pinMode(senhall1, INPUT); //plus - Signal
    pinMode(direccion1, OUTPUT); //direction - ZF

    pinMode(startstop2, OUTPUT);//stop/start - EL
    pinMode(senhall2, INPUT); //plus - Signal
    pinMode(direccion2, OUTPUT); //direction - ZF

    digitalWrite(startstop1, 1);
    digitalWrite(startstop2, 1);
    Serial.begin(9600);
    delay(1000);
}
void loop() {

    int V1, V2;

    potValorX = analogRead(portPinX);
    potValorY = analogRead(portPinY);

    CalculoVelocidad(potValorX, potValorY, V1, V2);

    EnviaVelocidad(V1,V2);

    activo=digitalRead(pinJoyButton);
    MuestraMensaje(mostrar, 1000, "Activo:" + String(activo));

}
```



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**