

Universidad ORT Uruguay

Facultad de Ingeniería

Robotic Climber System

Autores:

Joaquín Aldado - 251524

Elías Marichal - 207361

Felipe Santisteban - 290594

Tutores:

André Luiz Fonseca

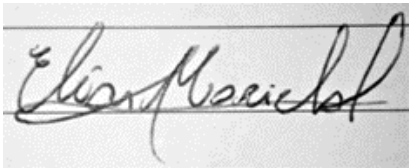
Ilan Cohn

2023

Declaración de autoría

Nosotros, Elias Marichal, Joaquin Aldado y Felipe Santisteban, declaramos que el trabajo que se presenta en esa obra es de nuestra propia mano. Podemos asegurar que:

- La obra fue producida en su totalidad mientras realizamos el proyecto comprendido dentro de la materia “Proyecto Integrador 1”;
- Cuando hemos consultado el trabajo publicado por otros, lo hemos atribuido con claridad;
- Cuando hemos citado obras de otros, hemos indicado las fuentes. Con excepción de estas citas, la obra es enteramente nuestra;
- En la obra, hemos acusado recibo de las ayudas recibidas;
- Cuando la obra se basa en trabajo realizado conjuntamente con otros, hemos explicado claramente qué fue contribuido por otros, y qué fue contribuido por nosotros;
- Ninguna parte de este trabajo ha sido publicada previamente a su entrega, excepto donde se han realizado las aclaraciones correspondientes.



Elias Marichal



Joaquin Aldado



Felipe Santisteban

Abstract

En este documento se detalla el diseño y construcción de un robot autónomo capaz de subir un escalón. El documento se estructura en secciones que desglosan minuciosamente cada etapa del proyecto, explicando lo realizado en cada una y respaldando cada elección con fundamentos físicos y matemáticos.

La construcción de este dispositivo es el requerimiento principal del proyecto de la materia “Proyecto Integrador 1” dictada durante la segunda mitad del año 2023.

Palabras claves

Se deja a continuación una lista de palabras clave que son utilizadas a lo largo del informe:

- 1) Robot
- 2) Dispositivo
- 3) Escalón
- 4) Diseño
- 5) Construcción
- 6) Proyecto Integrador
- 7) Ingeniería
- 8) Torque
- 9) Fricción
- 10) Motores
- 11) Electrónica

Índice

Introducción.....	6
Objetivos.....	6
Descripción.....	7
1. Análisis y diseño preliminar.....	8
2. Diseño y validación del prototipo.....	8
3. Pruebas y refinamiento.....	8
4. Optimización del diseño.....	8
5. Adquisición de componentes y construcción.....	9
6. Pruebas finales y ajustes.....	9
7. Entrega del producto final.....	9
Descripción de la solución planteada.....	9
1. Diseño físico-mecánico.....	9
Selección de la Estructura Final:.....	10
Selección de Material para el Chasis:.....	11
Selección de Ruedas:.....	11
2. Diseño eléctrico y electrónico.....	15
3. Código.....	16
Funcionamiento.....	17
Conclusión.....	18
Cronograma.....	20
Anexo 1. Descripción del presupuesto.....	23
Anexo 2. Diagrama del circuito.....	24
Anexo 3. Descripción del código.....	26
Anexo 4. Cálculo del peso del robot.....	28

Introducción

Este proyecto se centra en la concepción y construcción de un dispositivo robótico con la habilidad de superar obstáculos, específicamente la capacidad de ascender escalones de forma autónoma.

Para satisfacer este requisito, se ha presentado el diseño de un robot de tipo vehicular equipado con cuatro ruedas, cuyo chasis adopta una configuración en forma de "L" con un ángulo predeterminado. El movimiento del mismo consta con diferentes velocidades, cada una de ellas correspondiente a una etapa diferente del movimiento en la escalera. Estas etapas se dividen en subida y bajada de la escalera.

A lo largo de este documento se detalla toda la información relevante en cuanto al funcionamiento del robot, y cómo fueron resueltos los inconvenientes presentados a lo largo de todas las etapas.

Objetivos

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

1. **Estudio de los componentes y diseño del dispositivo robótico:** Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los componentes necesarios para la construcción del dispositivo robótico, considerando tanto sus características técnicas como su disponibilidad en el mercado. Además, el robot fue diseñado teniendo en cuenta los requisitos de escalabilidad y autonomía, así como la integración de todos los elementos para su correcto funcionamiento.
2. **Construcción y armado del robot:** Se procedió a construir el dispositivo siguiendo los lineamientos establecidos en el diseño previo. La construcción se realizó de manera meticulosa y precisa, garantizando la integridad de los componentes y que el robot adquiriera la forma y funcionalidad esperadas.
3. **Desarrollo e instalación del programa controlador del dispositivo:** Se diseñó un programa controlador que gestiona los movimientos y acciones del robot. Este programa se diseñó de forma modular y eficiente, permitiendo un control preciso y adaptable a diferentes situaciones. Una vez desarrollado, se realizó su instalación en la placa controladora central del robot.
4. **Implementación, pruebas y ajustes:** Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas en cada etapa del proceso, desde el estudio de componentes hasta la funcionalidad del

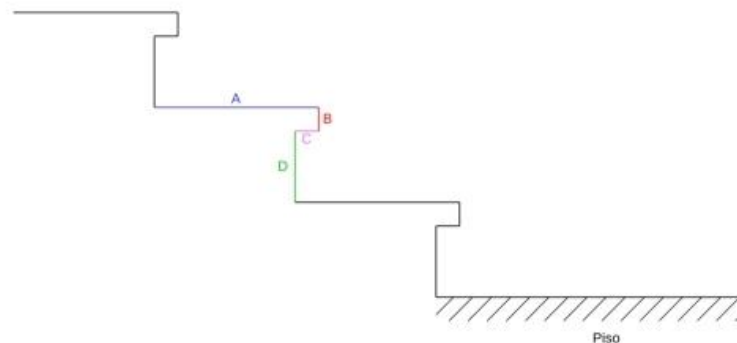
programa controlador. Estas pruebas permitieron identificar posibles problemas o mejoras necesarias en el diseño, construcción y programación del dispositivo.

5. **Documentación y presentación:** Se elaboró una documentación detallada que describe cada fase del proyecto, desde la investigación inicial hasta los resultados de las pruebas finales. Esta documentación servirá como guía para futuros desarrollos y como respaldo de las decisiones tomadas durante el proyecto.

Al abordar estos objetivos de manera integral, el proyecto busca no solo la construcción de un dispositivo robótico funcional, sino también el desarrollo de un proceso metodológico que permita enfrentar desafíos similares en el futuro con eficiencia y éxito.

Descripción

Como punto de partida debemos conocer las especificaciones de la letra del proyecto y las medidas correspondientes a las escaleras. En este caso las medidas proporcionadas por los tutores son las siguientes:



Las medidas A, B, C y D se encuentran en la tabla debajo.

Referencia	Longitud
A	$(30,0 \pm 0,5) \text{ cm}$
B	$(4,0 \pm 0,2) \text{ cm}$
C	$(1,5 \pm 0,2) \text{ cm}$
D	$(14,0 \pm 0,5) \text{ cm}$

Figura 1.1 - Dimensiones del obstáculo

A partir de estas medidas es que comenzamos a pensar diferentes posibilidades en cuanto al diseño del robot, al igual que posibles problemas que podrían presentarse sobre los mismos.

El trabajo a lo largo del proyecto se dividió en varias etapas secuenciales con el objetivo de crear un robot funcional que cumpla con los requisitos establecidos. A continuación, se detallan las fases clave del proceso:

1. Análisis y diseño preliminar

En la fase inicial del proyecto, se realizó un exhaustivo estudio de las partes que conformarán el dispositivo. Se realizaron cálculos precisos para determinar las prestaciones necesarias del robot, alineándose con los objetivos planteados. Además, se consideró el presupuesto disponible, evaluando los costos asociados y comparando alternativas para cada componente.

2. Diseño y validación del prototipo

Con las prestaciones definidas en la etapa anterior, se procedió a trabajar con material proporcionado por la facultad para construir un prototipo inicial del robot. Se verificó la viabilidad del diseño y se puso en marcha el desarrollo del software controlador. Este prototipo sirvió como base para el diseño final del dispositivo.

3. Pruebas y refinamiento

El prototipo fue sometido a rigurosas pruebas de funcionamiento. Estas pruebas permitieron afinar detalles y obtener información precisa sobre los aspectos que requerían mejoras en el diseño. Se ajustaron aspectos tanto del software controlador como de la estructura física con el objetivo de que se cumplan las metas establecidas.

4. Optimización del diseño

Basados en los resultados de las pruebas anteriormente mencionadas, se procedió a perfeccionar el diseño del robot. Se definieron los componentes específicos que mejor se ajustaban a los requerimientos físicos y mecánicos del robot para poder cumplir con el objetivo del proyecto.

5. Adquisición de componentes y construcción

Una vez que los componentes necesarios estaban claramente identificados, se ejecutó la orden de compra de los mismos. Con los elementos en mano, se dio inicio a la fase de construcción final del robot. Se siguieron los planos y diseños optimizados, asegurando la calidad y seguridad en la fabricación.

6. Pruebas finales y ajustes

Se repitieron las pruebas funcionales para verificar su correcto funcionamiento. Cualquier ajuste requerido se aplicó tanto en el software como en la estructura física, manteniendo la coherencia con el diseño original.

7. Entrega del producto final

Finalmente, se entregó el producto final con su documentación correspondiente. Este entregable representa la culminación exitosa del proyecto.

Este enfoque secuencial garantiza un desarrollo sistemático y progresivo del proyecto, permitiendo la identificación temprana de problemas y su resolución. Cada fase contribuyó al logro de un robot de alta calidad y desempeño.

Descripción de la solución planteada

1. Diseño físico-mecánico

Una vez conocida la propuesta comenzamos a pensar múltiples ideas posibles que se adaptaran a la misma. Dentro de estas ideas se encontró la de crear un robot de cuatro ruedas, con una estructura en forma de “L”, que funcionara de forma autónoma.

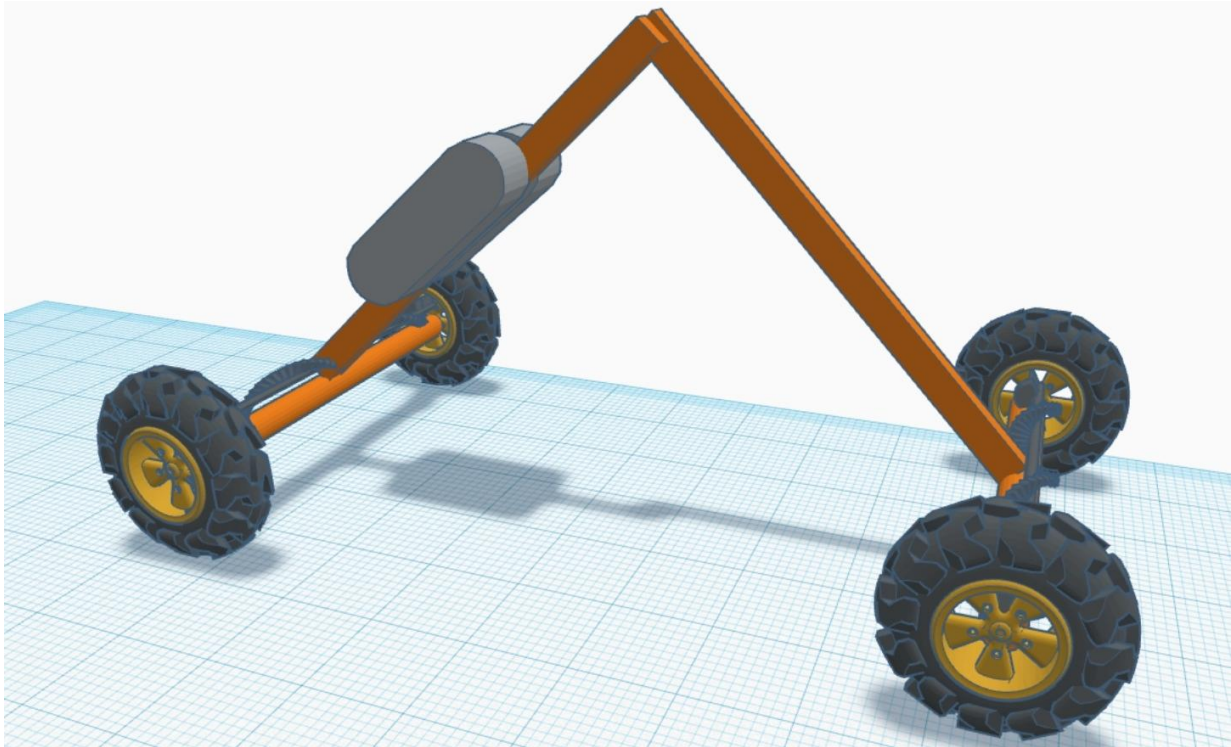


Figura 1.2 - Diseño preliminar

A partir de esta idea desarrollamos variantes para la misma, evaluando sus ventajas y desventajas a la hora de cumplir con lo pedido.

En el proceso de desarrollo de nuestro proyecto, se planteó la necesidad de explorar diferentes variantes de diseño, considerando detenidamente las ventajas y desventajas asociadas con cada una. El objetivo primordial era cumplir con los requisitos específicos del proyecto.

Selección de la Estructura Final:

Luego de un análisis exhaustivo, determinamos que la estructura más adecuada se asemejaba notablemente a la representada en la figura 1.2. Utilizando conceptos de trigonometría, calculamos los límites inferiores y superiores para la longitud de los brazos del robot. Establecer la longitud óptima fue crucial, ya que estos brazos debían permitir al robot superar el escalón sin sobresalir de la base del dispositivo.

Con un valor aproximado de 15 cm para la longitud de cada brazo, logramos una proporción casi idéntica a la altura del escalón. Esta elección garantizó que el robot se mantuviera completamente apoyado en cada escalón.

Selección de Material para el Chasis:

Optamos por utilizar tubos de PVC termofusionables para la construcción del chasis. Esta elección se basó en varias consideraciones clave, como la necesidad de rigidez, ligereza, versatilidad y costo efectivo. El PVC nos permitió diseñar el chasis de manera versátil mediante la adquisición de accesorios como codos y conexiones para ajustar la forma del robot. Además, esta opción nos permitió asignar más recursos a otros componentes del robot.

En la solución definitiva, perforamos los tubos que componen la estructura del chasis del robot con el propósito de disminuir su peso.

Selección de Ruedas:

Las ruedas desempeñan un papel fundamental en el diseño del robot, ya que cumplen dos funciones críticas. En primer lugar, debían proporcionar el agarre necesario para superar el escalón sin deslizamientos en ninguna etapa del proceso. En segundo lugar, el tamaño del radio de las ruedas era crucial, ya que debía garantizar que el borde superior del escalón no representara un obstáculo significativo, tal como se ilustra en la figura 1.1.

Inicialmente, realizamos pruebas con ruedas de un radio de 25 mm proporcionadas por nuestros docentes para evaluar el funcionamiento de los motores. Si bien estas ruedas ofrecían un excelente agarre, su tamaño resultó insuficiente para permitir que el robot subiera el escalón sin dificultades.

Por lo tanto, en un principio, tomamos la decisión de utilizar unas ruedas con un radio mayor, eligiendo un valor mayor o igual a 70mm como criterio.

A lo largo de la gran parte del desarrollo del proyecto, nos inclinamos por la opción de utilizar ruedas de 87 mm fabricadas de goma, ya que ofrecían la combinación ideal de agarre y dimensiones necesarias para satisfacer plenamente los requisitos. Si bien estas ruedas cumplían con las restricciones impuestas en cuanto a su radio, desgraciadamente su adherencia resultó no ser suficiente, llegando a ser incluso inferior a la de las ruedas de 25mm.

Para mejorar aún más la adherencia de las ruedas a la superficie, implementamos el uso de cinta adhesiva de doble faz sobre las ruedas. Esta medida tuvo un impacto significativo en la capacidad del robot para escalar el escalón, al proporcionar un mayor agarre.

Comenzamos inicialmente utilizando una tira delgada de cinta adhesiva para llevar a cabo pruebas y evaluar los resultados, los cuales resultaron exitosos, ya que el robot logró subir la escalera de manera precisa y efectiva. No obstante, notamos un problema significativo con

esta solución, ya que la cinta tendía a acumular polvo y suciedad presente en los escalones, disminuyendo gradualmente su capacidad de adhesión con cada intento.

Por consiguiente, decidimos cambiar la tira delgada por una que cubriera toda la superficie de la rueda. Esta solución nos proporcionó una mayor superficie de contacto con la adhesión que necesitábamos, logrando que el robot suba sin inconvenientes por más de que la cinta se ensucie en el proceso.

Sin embargo, a pesar de que el robot logró ascender la escalera de manera óptima con la cinta, el verdadero éxito en el proceso de escalado estaba directamente vinculado a la adhesión y limpieza de las ruedas. Esta dependencia limitaba la eficiencia global del proyecto. Por este motivo, concluimos finalmente que la implementación de ruedas de menor diámetro era más adecuada. A lo largo de diversas pruebas, demostraron una mayor adherencia sin requerir el uso de cinta adhesiva auxiliar. Aunque el tamaño inicial de estas ruedas condiciona el proceso de ascenso, su combinación con los motores proporciona una eficiencia superior tanto en la subida como en la bajada.

Después de numerosas pruebas y evaluaciones sobre las ventajas y desventajas de cada opción, nos inclinamos por utilizar las ruedas de menor diámetro pero con un mayor agarre. Esta elección se fundamenta en la capacidad demostrada de estas ruedas para superar los desafíos de adhesión, contribuyendo significativamente al rendimiento general del robot en el proceso de escalado.

En resumen, la selección de componentes y la toma de decisiones en el diseño de nuestro robot se basaron en un análisis detallado de las necesidades del proyecto y la consideración de las ventajas y desventajas de cada elección. A su vez, varios aspectos fueron siendo agregados a lo largo de las pruebas realizadas al robot a medida que nos enfrentamos a diferentes obstáculos en el proceso. Cada componente se seleccionó cuidadosamente para garantizar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Por último, para decidir qué motores íbamos a utilizar, primero debíamos decidir qué configuración íbamos a emplear. Llegamos a la conclusión de que había dos configuraciones posibles:

- Opción 1: Configuración de 3 Motores

Una alternativa contemplaba la instalación de tres motores en total. Dos de ellos se colocarían en las ruedas delanteras, mientras que el tercero sería responsable de impulsar las ruedas traseras. Sin embargo, esta opción plantea el desafío de diseñar una transmisión específica para el tren trasero. Dado que este proceso es delicado y sumamente técnico, y teniendo en cuenta las limitaciones en cuanto a herramientas disponibles, esta opción representaba dificultades adicionales.

- Opción 2: Configuración de 4 Motores

La segunda opción consiste en dotar al dispositivo de cuatro motores individuales, asignando uno a cada rueda. Este enfoque eliminaría la necesidad de una transmisión adicional, ya que cada rueda sería independiente en términos de movimiento. Esta opción simplifica enormemente el diseño del robot al no tener que diseñar una transmisión para el tren trasero. La única desventaja es el costo de un motor extra, pero este costo de todas maneras se iba a tener que comparar con el costo del diseño de la transmisión, por lo cual decidimos optar por esta configuración de todas maneras.

Una vez decidimos la configuración de los motores, debíamos decidir las prestaciones del mismo. Uno de los aspectos más importantes a la hora de seleccionar un motor para un vehículo escalador es el torque. El torque ejercido por los motores debería ser suficiente como para poder mover la carga en las diferentes etapas del proceso de escalamiento. Hay que tener en cuenta que no se puede calcular el torque necesario considerando que los cuatro motores funcionan simultáneamente. Si bien esto es cierto para poder hacer mover al robot sobre una superficie horizontal, no lo es para el requerimiento de escalar, dado que en este último escenario, la mayoría del tiempo, son únicamente dos motores los que hacen escalar al robot. Dado lo anteriormente mencionado, decidimos basar nuestros cálculos de torque necesario considerando el torque generado por dos motores.

Si planteamos la ecuación de torque para las ruedas del dispositivo, obtenemos que:

$$Tr - fr.R = I.\alpha$$

Para poder acelerar al robot y hacer que se mueva, el torque debe ser capaz de vencer a la fuerza de fricción. Esta condición queda expresada de la siguiente manera:

$$Tr > fr.R$$

Podemos expresar a la fuerza de fricción en términos de la masa del robot, el coeficiente de fricción y la fuerza de gravedad:

$$Tr > \mu \cdot \frac{M}{4} \cdot g \cdot R$$

Planteando la condición de que cada rueda debe ser capaz de mover la mitad del peso del robot (para que pueda escalar):

$$Tr > \mu \cdot \frac{M}{2} \cdot g \cdot R$$

De esta ecuación, basta con rellenar las incógnitas para poder hallar el torque mínimo necesario.

Investigando acerca de los coeficientes de fricción, tomamos un promedio de los valores que encontramos para caucho y piedra compacta lisa (baldosa). Llegamos a la conclusión de que el coeficiente de fricción entre dichos materiales se encuentra entre 0.9 y 1.

El peso del robot fue calculado haciendo una sumatoria de todos los elementos que lo componen, y multiplicando dicho peso por una constante, que nos permitía tener cierto margen de error en el cálculo del peso. Los detalles de este cálculo serán detallados en el anexo 3.

En cuanto al radio de las ruedas, decidimos usar las que poseen un radio de 25 mm, dado que con ellas obtuvimos los mejores resultados en cuanto a rendimiento.

Con todos estos datos procedimos a realizar el cálculo, y obtuvimos un valor de torque mínimo de:

$$\mathbf{0.13748175\ N/m}$$

Lo cual equivale a:

$$\mathbf{1.401901405\ Kg/cm}$$

Agregando un 50% de margen de error en el cálculo del peso, obtenemos:

$$\mathbf{2.102852107\ Kg/cm}$$

Por lo cual, si nuestros motores son capaces de generar un torque de al menos 2.2 Kg/cm, serían capaces de hacer escalar al robot. Para la elección de los motores, optamos por los Micromotores N20 de 6V y 100RPM. Estos motores ofrecen una perfecta combinación entre peso y potencia, dado que son motores livianos (40 gramos cada uno) y ofrecen un par de bloqueo de 3.2 Kg/cm.

Un aspecto relevante que deseamos incorporar es la limitación de potencia experimentada con los motores utilizados, los cuales no proporcionaron la potencia teórica esperada. Esta limitación condicionó nuestra solución en diversos aspectos. En el caso ideal de que los motores cumplieran rigurosamente con sus especificaciones, el robot sería capaz de ascender de manera óptima, independientemente del tipo de ruedas utilizadas. Sin embargo, la discrepancia entre las especificaciones y el rendimiento real de los motores nos obligó a centrarnos especialmente en lograr un equilibrio preciso entre el peso del robot y la capacidad de agarre a la superficie.

Durante las distintas pruebas, observamos que el robot, al enfrentarse a un escalón, tendía a chocar contra este, generando rebotes contra el piso y afectando la adherencia de las ruedas a la superficie cerámica. Como solución a este problema, decidimos incorporar pequeñas pesas

en la parte trasera del robot. Esta modificación tenía como objetivo que, al enfrentarse a rebotes, el tren trasero permaneciera en contacto con el suelo durante un período más prolongado, mejorando así la adherencia de las ruedas traseras. Esto permitía que, posteriormente, las ruedas delanteras pudieran aferrarse al escalón de manera más efectiva, facilitando el proceso de escalada.

La combinación de todos estos elementos, junto con la velocidad apropiada de los motores, permitió que el robot ascendiera de manera óptima todos los escalones de la escalera y a su vez lograra bajar la misma de forma controlada y efectiva.

Al contar con varios dispositivos eléctricos y electrónicos, era de vital importancia prestar atención al aspecto del suministro eléctrico. Para ello, se realizaron los cálculos correspondientes en cuanto al potencial consumo energético del dispositivo y se planteó alimentar al robot con un banco de pilas propio. Estas características serán detalladas con más profundidad en el próximo apartado.

2. Diseño eléctrico y electrónico

En cuanto al control de los motores y la alimentación eléctrica del dispositivo nos centramos en utilizar una placa Arduino NANO la cual nos ofrece muchas ventajas a la hora de usarlo, dado que dispone de varios pines de entrada/salida, y que su lenguaje de programación (una variante de C++) es muy poderoso y fácil de utilizar. Al mismo tiempo, dicha placa es compatible con incontables módulos de gestión y controladoras, que, llegado el caso de querer agregar funciones al robot, estas podrían ser fácilmente implementadas.

Para la gestión del movimiento de los motores, tomamos la decisión de utilizar el módulo controlador IRF520, que incluye un transistor MOSFET en su diseño. Inicialmente, habíamos considerado el uso de otro módulo controlador, el L293D. Sin embargo, experimentamos ciertos problemas con la entrega de voltaje a los motores al emplear este módulo. Básicamente, el L293D reducía el voltaje suministrado a los motores en un rango de 2 a 3 voltios, lo que nos obligó a considerar la incorporación de una batería de mayor voltaje o la utilización de un dispositivo como un Step-Up para aumentar el voltaje. Aunque la opción del Step-Up parecía atractiva, finalmente optamos por explorar otras alternativas, ya que, si bien podíamos regular el voltaje deseado, la corriente se veía limitada con el uso de este dispositivo, lo que resultaba en una pérdida de potencia en los motores.

Al incorporar el MOSFET al robot, obtuvimos resultados satisfactorios, dado que el mismo no consumía prácticamente ningún voltaje y que nos permite gestionar los cuatro motores de la misma manera que el L293D. Es por estas razones que decidimos incluirlo en el diseño definitivo del dispositivo.

Para poder invertir el sentido de giro de las ruedas se utilizó un relay de dos canales. El relay nos permite invertir el sentido de circulación de la corriente eléctrica, que, al circular por los motores, generan un movimiento en el sentido contrario.

En cuanto a la alimentación eléctrica, se analizaron detalladamente las hojas de datos de todos los elementos que conforman la solución, y se realizó el dimensionamiento del banco de pilas. Para alimentar el robot se utilizan dos pilas de litio recargables de 3.7V y de 7800 maH de rendimiento. Estas características son suficientes para la alimentación del dispositivo y para su correcto funcionamiento. Adicionalmente, al ser pilas recargables nos ofrecen la posibilidad de realizar varias pruebas y durante más tiempo, lo cual facilita dicho procedimiento.

3. Código

El código que hemos desarrollado para el movimiento del robot consta de dos procedimientos distintos. El primero de ellos se encarga de gestionar el proceso de escalado, mientras que el segundo procedimiento se dedica a la fase de descenso. Dado que el tiempo necesario para ascender un escalón es mayor que el requerido para descender, ambos procedimientos poseen distintos lapsos de duración.

En el procedimiento de escalado, los motores se activan en intervalos compuestos por la misma combinación de acciones. Inicialmente, los motores arrancan a una velocidad moderada. A medida que transcurren los segundos, esta velocidad aumenta gradualmente mediante un bucle for. Una vez concluido este bucle, los ciclos se repiten dentro de otro bucle for, y cada iteración de este bucle externo representa el proceso de escalado para un escalón específico.

La elección de aumentar la velocidad de forma gradual se fundamenta en que, a velocidades más bajas, el robot experimenta un mayor agarre contra la pared. Durante el proceso de escalado, es necesario aumentar progresivamente la velocidad para contrarrestar el peso del robot y evitar que este se desplace hacia abajo.

Después de completar el bucle for que simboliza la fase de ascenso del robot, este se detiene y activa el relé, cambiando la polaridad de la corriente y permitiendo que los motores operen en sentido contrario al movimiento previo. Para la etapa de descenso, se establece una velocidad constante, asegurando que el robot baje de manera controlada y evitando impactos bruscos contra los escalones. Este enfoque garantiza una transición suave y segura entre las fases de subida y bajada del robot.

Funcionamiento

El proceso de superar el escalón se ejecutará en varias etapas. En primer lugar, el robot se desplazará hacia el escalón. Una vez en posición, gracias a la potencia combinada de sus cuatro motores impulsará la sección delantera del robot verticalmente, permitiéndole escalar el escalón. Asimismo, el tren trasero aplicará fuerza adicional para aumentar la adherencia de las ruedas delanteras a la superficie del escalón.

Una vez que las ruedas delanteras hayan superado el borde del escalón, mantendrán su movimiento para contribuir al levantamiento del tren trasero. Este proceso se llevará a cabo de manera similar al realizado para la sección delantera, permitiendo que el robot complete exitosamente el ascenso completo.

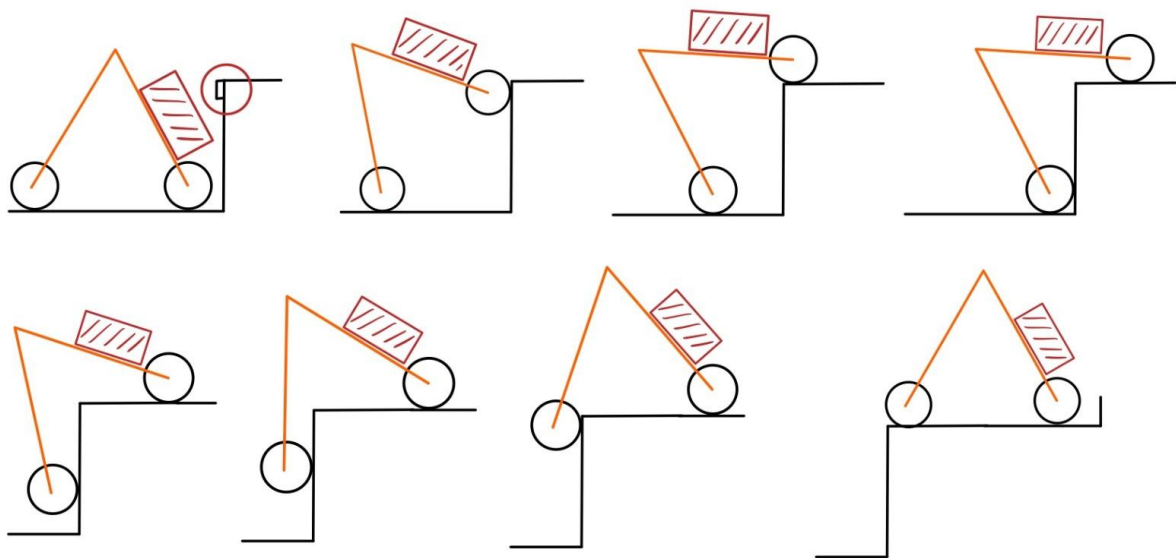


Figura 1.3 - Etapas del escalamiento

Conclusión

El objetivo de este proyecto fue el de poner en práctica los conocimientos hasta ahora obtenidos en cuanto a conceptos físicos y electrónicos. Estos conocimientos nos permitieron tener un panorama claro a la hora del diseño y creación de este robot.

Estos conocimientos, sumados a un coordinado trabajo en equipo nos permitieron cumplir con los requerimientos planteados por los docentes para este trabajo.

Un aspecto destacable que deseamos resaltar es el proceso de adquisición de habilidades prácticas y físicas en el campo de la electrónica a lo largo de las distintas etapas del proyecto. Durante este proceso, desarrollamos aptitudes que no estaban completamente pulidas en un principio. Además, a medida que realizamos pruebas en el robot y consideramos mejoras potenciales, también cultivamos la capacidad de explorar y llevar a cabo diversas alternativas. A través de un enfoque de ensayo y error, pudimos descartar y probar diferentes opciones, lo que finalmente nos condujo al resultado final que hoy podemos presentar.

Por último, quisiéramos destacar un aspecto fundamental en el desarrollo de nuestro proyecto: la adaptabilidad y capacidad de superación ante desafíos inesperados. Inicialmente, nuestra intención era construir el robot de manera que pudiera superar una escalera con tope sin dificultades. Sin embargo, a medida que avanzamos y realizamos diversas pruebas, nos percatamos de que enfrentar el tope representaba un desafío más significativo de lo anticipado.

Ante esta situación, tomamos la decisión estratégica de probar el robot en una escalera diferente, sin tope, para refinar detalles y acercarnos al objetivo final. Tras dedicar tiempo considerable a pruebas y reflexiones sobre el diseño más óptimo, logramos que el robot ascendiera y descendiera la escalera auxiliar sin problemas. Sin embargo, al enfrentarnos a la escalera original con tope, reconocimos que el resultado alcanzado hasta ese momento no sería suficiente.

Varios factores clave, como el tamaño y agarre de las ruedas, junto con el rendimiento de los motores, se revelaron como elementos influyentes en este desafío. La construcción precisa del robot, diseñada para ajustarse perfectamente al escalón, y el diámetro de las ruedas, que afectaba directamente su capacidad, demostraron ser determinantes. El tope en la escalera añadió una capa adicional de complejidad; las ruedas utilizadas no lograban hacer que el tope fuera insignificante ni podían superarlo. Las ruedas se trababan, y la capacidad de los motores resultaba insuficiente para moverlas, no debido a errores de cálculo ni discrepancias con el diseño, sino a las limitaciones de los motores para operar de acuerdo con la teoría óptima.

En respuesta a estos desafíos, decidimos desarrollar un robot capaz de superar otras escaleras, en lugar de considerarlo una solución insatisfactoria por cambiar a una escalera diferente.

Valoramos esta solución como altamente efectiva y coherente con la visión inicial del proyecto y los recursos disponibles durante el semestre.

Consideramos que la esencia más valiosa de esta experiencia radica en la capacidad de abordar un proyecto desde cero, trabajando sobre una idea sin tener todos los detalles previamente establecidos. A lo largo del camino, nos enfrentamos y superamos obstáculos diversos, lo que nos permitió aprender y presentar un proyecto no solo prolijo y eficiente, sino también totalmente funcional, cumpliendo con la consigna original. Esta instancia nos brindó la oportunidad de desarrollar habilidades de resolución de problemas y demostrar una resiliencia y adaptabilidad valiosas en el mundo del diseño y la ingeniería.

Cronograma

A continuación se muestra el diagrama de Gantt original, que fue planteado en el anteproyecto:

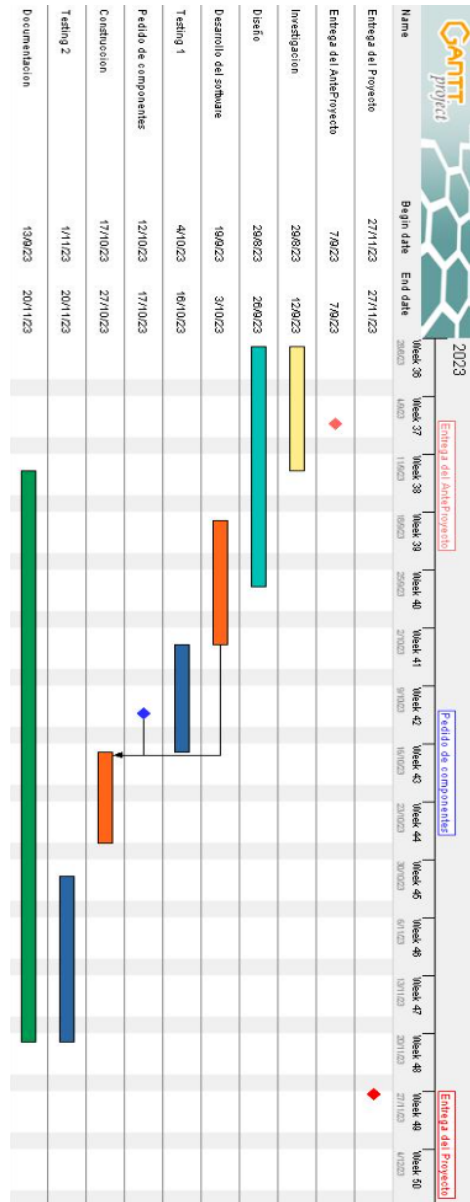


Figura 1.4 - Diagrama Gantt Original

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt de todas las etapas que efectivamente ocurrieron a lo largo del proyecto:

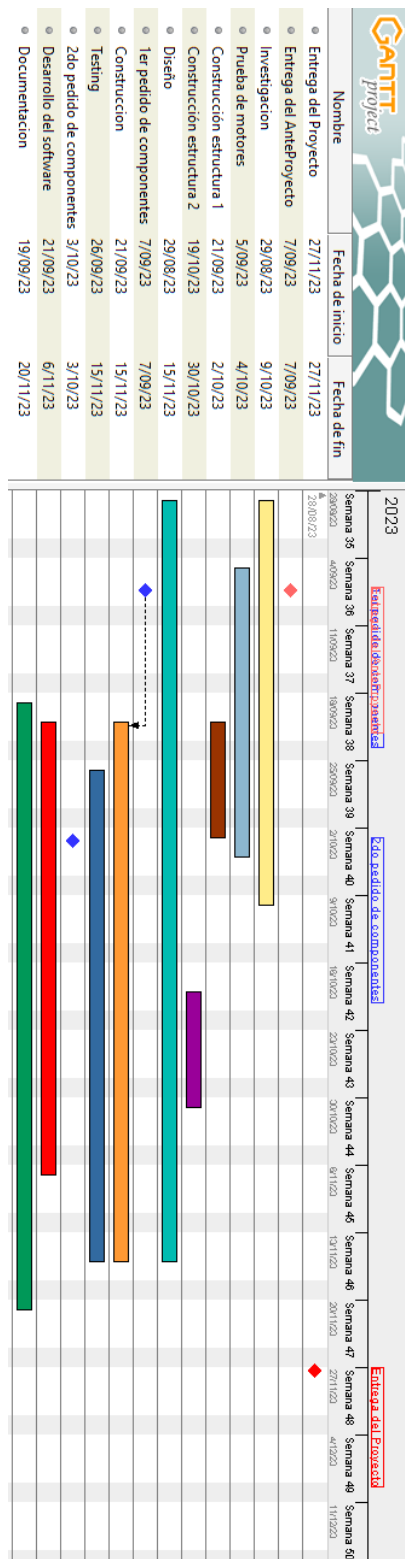


Figura 1.5 - Diagrama Gantt Efectivo

Debido a los desafíos encontrados durante la construcción y la modificación de los componentes utilizados, el diagrama de Gantt efectivo resultó ser diferente al planificado en el anteproyecto. La mayoría de los plazos para los diferentes hitos se vieron postergados, principalmente debido a las numerosas pruebas que llevamos a cabo a lo largo del proyecto.

Inicialmente, estructuramos las pruebas en dos etapas: la primera se enfocó en evaluar el funcionamiento del software y presentar una versión inicial del diseño, mientras que la segunda, realizada después de obtener todos los componentes necesarios, se centró en probar el funcionamiento integral del robot. Con el tiempo, reorganizamos el trabajo, centrándonos en construir el robot por pasos, asegurándonos de que cada fase concluyera con resultados convincentes.

A lo largo del camino hacia el resultado final, nos enfrentamos a diversos obstáculos. Iniciamos evaluando los motores, explorando opciones que cumplieran con requisitos cruciales como costo, peso y especificaciones adaptadas a las demandas del robot. Determinamos los voltajes y corrientes necesarios para el funcionamiento óptimo de los motores, lo que orientó la definición de las prestaciones de nuestra fuente de alimentación.

Con los componentes definidos, realizamos nuestro primer pedido, que incluía, entre otras cosas, los caños de PVC. El ensamblaje del robot fue rápido y sencillo una vez que recibimos el pedido, lo que nos brindó más tiempo del previsto originalmente en el anteproyecto para realizar pruebas adicionales. A través de estas pruebas, iterativamente mejoramos aspectos del robot a medida que surgían nuevos desafíos, alcanzando finalmente el resultado deseado.

En resumen, las diferencias clave surgieron al asignar un tiempo significativamente mayor a las pruebas en comparación con lo inicialmente establecido. Optamos por un enfoque más flexible, mejorando y modificando el robot de manera continua durante el proceso, a diferencia del enfoque más rígido del Gantt original, donde separábamos más claramente las distintas tareas y les asignábamos enfoques más individuales. Este cambio en la estrategia nos permitió adaptarnos de manera efectiva a los desafíos emergentes y lograr un resultado final más robusto y satisfactorio.

Anexo 1. Descripción del presupuesto

En este anexo se deja una tabla que muestra todos los elementos empleados en el robot y costo de compra:

<i><u>Elemento</u></i>	<i><u>Precio (pesos uruguayos)</u></i>
Arduino NANO	897
IRF520	141
Modulo Relay	165
Bateria/s (2x)	320
Ruedas RC	2400
Motores	2048
Chasis	451
Soporte para pilas	150
Impresiones 3D - Ejes	366
TOTAL	6938

Tabla 1.1 - Tabla de costos totales

Debido a que muchos de los componentes comprados no fueron finalmente utilizados, la tabla real que representa el presupuesto empleado en la construcción del robot es la siguiente:

<i><u>Elemento</u></i>	<i><u>Precio (pesos uruguayos)</u></i>
Arduino NANO	897
IRF520	141
Modulo Relay	165
Bateria/s (2x)	320
Ruedas	600
Motores	2048
Chasis	451
Soporte para pilas	150
TOTAL	4772

Tabla 1.2 - Tabla de costo efectivo

Finalmente el presupuesto real cumplió con la restricción propuesta en el anteproyecto del proyecto, limitando nuestros gastos a un 80% del presupuesto, en este caso gastando efectivamente poco más de la mitad del presupuesto.

Anexo 2. Diagrama del circuito

El diagrama del circuito eléctrico diseñado presenta una configuración planificada para controlar cuatro motores DC de manera eficiente.

En el núcleo de este sistema se encuentra un Arduino Nano, actuando como el cerebro central. El módulo IRF520 MOSFET es una pieza clave en este diseño, ya que permite la gestión de la potencia hacia los motores.

El pin 6 del Arduino está estratégicamente conectado al pin de señal del módulo MOSFET, estableciendo así una comunicación PWM esencial para variar la velocidad de los cuatro motores.

Por otro lado, el pin 3 del Arduino se conecta a los pines de control del módulo de dos rele, desempeñando un papel fundamental en el cambio de polaridad de los motores y en consecuencia, en la dirección de giro.

Para garantizar una alimentación fiable, se emplean dos baterías 18650, conectadas en serie, proporcionando una fuente constante de 7.4 volts que es capaz de alimentar al Arduino Nano a través del pin Vin, que es capaz de admitir este voltaje holgadamente, además del modulo IRF520.

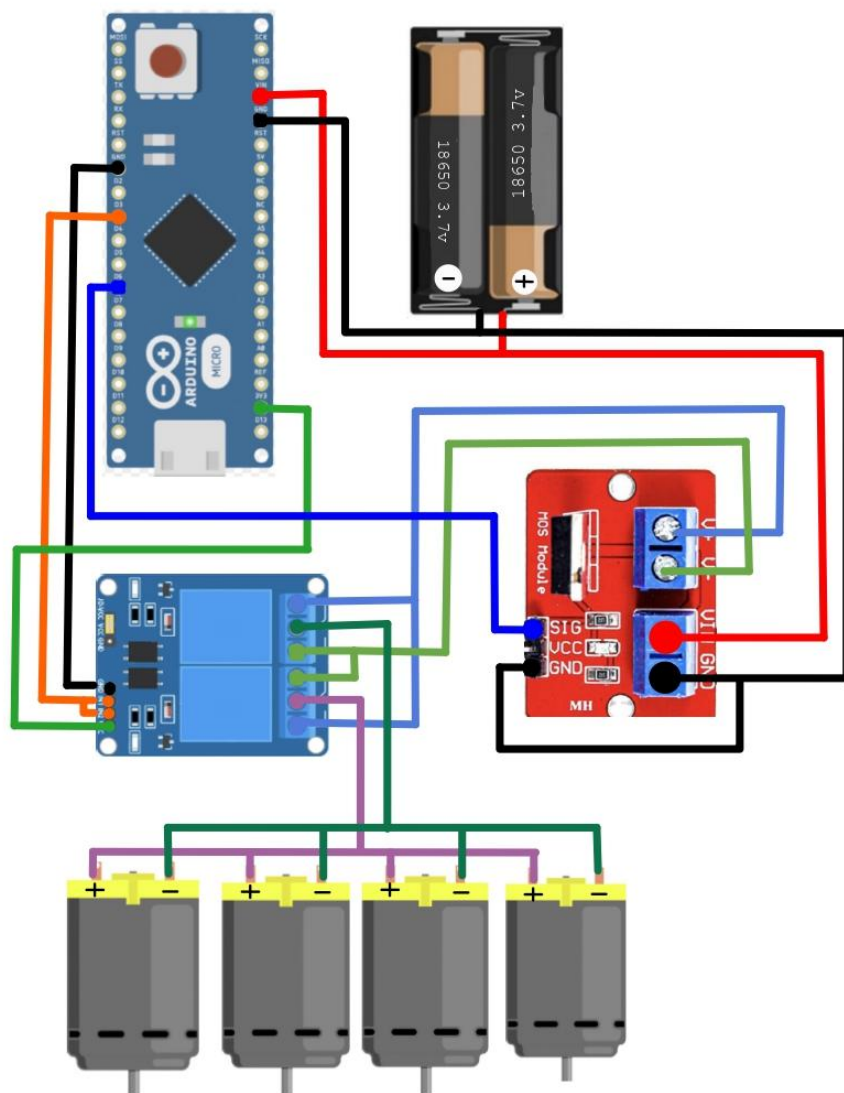


Figura 1.6 - Diagrama eléctrico-electrónico

Anexo 3. Descripción del código

A continuación se adjunta el código completo utilizado en el proyecto:

```
// Definir pin de control para motor y switch.
const int motorPin = 6;
const int relePin = 3;
int vel = 0;

void setup() {
  // Configurar el pin de los motores y del Switch
  pinMode(motorPin, OUTPUT);
  pinMode(relePin, OUTPUT);

  // Inicializar la velocidad de los motores a cero
  analogWrite(motorPin, 0);
  digitalWrite(relePin, HIGH);
}

void loop() {

  // Inicializar la velocidad de los motores a cero
  analogWrite(motorPin, 0);
  digitalWrite(relePin, HIGH);

  for (int i = 0; i < 5; i++) {
    vel = 45;
    analogWrite(motorPin, vel);
    for (int j = 0; j < 30; j++) {
      vel = vel + 7;
      analogWrite(motorPin, vel);
      delay(100);
    }
    delay(2000);
  }
  vel = 0;
  analogWrite(motorPin, vel);
  delay(500);
  digitalWrite(relePin, LOW);
  delay(500);
  vel = 50;
  analogWrite(motorPin, vel);
```

```
    delay(10000);  
}
```

El código se divide en dos principales etapas. En la primera etapa, se lleva a cabo el proceso de escalado. Durante este periodo, la velocidad del robot experimenta un aumento gradual y lineal. Este incremento es crucial para asegurar una adherencia adecuada de las ruedas a la pared del escalón. Utilizar la máxima velocidad podría resultar en un deslizamiento de las ruedas sobre la superficie, impidiendo que el robot suba el escalón de manera efectiva.

Previo al inicio de la segunda etapa, se garantiza que el robot se encuentre en un estado controlado y estático. Una vez en esta condición, se activa el relé para permitir la inversión del sentido de giro de las ruedas.

La segunda etapa se centra en el descenso del escalón. Durante este proceso, se establece una velocidad constante para las cuatro ruedas, a diferencia de la primera etapa donde la velocidad aumenta progresivamente. Esta elección asegura que el robot descienda el escalón con precisión y sin movimientos bruscos. El robot permanece en este estado durante un tiempo predeterminado, determinado a través de pruebas de descenso.

Al concluir el tiempo establecido en la segunda etapa, el código regresa automáticamente a la ejecución de la primera etapa. Este diseño posibilita que el robot suba y baje varios escalones de manera autónoma, sin intervención externa.

Anexo 4. Cálculo del peso del robot

A continuación se deja una tabla que muestra el peso de todos los elementos que componen la solución:

Elemento	Peso (gramos)
Arduino NANO	6
Relay 2 canales	27
IRF520	10
Bateria/s (2x)	48
Ruedas	180
Motores	160
Chasis	200
Soporte para pilas	14
TOTAL	645

Tabla 1.3 - Tabla de pesos

En la tabla anterior se detallan los elementos y su peso en gramos. Para el caso de los ejes que fueron creados usando impresión 3D se decidió despreciar el peso (por su livianez).