



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE ROBOT ASISTIDO PARA SU USO EN  
EL ÁREA DE LOGÍSTICA INDUSTRIAL, UNITEC HONDURAS.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21421033 DAVID ROBERTO MISELEM ARGUETA**

**21441139 ROLANDO DAVID HERNANDEZ MURCIA**

**ASESOR: INGENIERO DARWIN REYES HERNÁNDEZ**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA, CORTES**

**OCTUBRE, 2018**

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirnos culminar con éxito este proceso, por guiar nuestros pasos y por darnos la fuerza para enfrentar todas las dificultades que afrontamos a lo largo de este camino.

A nuestros padres por ser un apoyo incondicional por siempre preocuparse por nuestro bien por todo su esfuerzo a lo largo de nuestras vidas, para que nos encontremos en este punto.

A nuestras familias, tíos, primos, abuelos, gracias por sus palabras de aliento, apoyo y buenos deseos.

A mi abuelo por ser un ejemplo, por sus consejos y por todo el apoyo a lo largo de mis estudios tanto como en la elaboración de este proyecto.

A nuestros amigos: Luis, Lennin y Menocal fueron de mucho apoyo a lo largo de este camino.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
2.1	ANTECEDENTES .....	2
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	2
2.3	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	3
2.4	OBJETIVOS .....	4
2.4.1	Objetivo General .....	4
2.4.2	Objetivos Específicos .....	4
2.5	JUSTIFICACIÓN .....	5
III.	MARCO TEÓRICO .....	6
3.1	ROBÓTICA .....	6
3.1.1	Origen .....	7
3.1.2	Definición de Robot .....	9
3.1.3	Tipos de Robots .....	10
3.1.4	Morfología del Robot .....	12
3.1.5	Uso de los Robots .....	12
3.2	DISEÑO Y MECANISMOS .....	14
3.2.1	Diseño CAD .....	14
3.2.2	Mecanismos .....	16
3.2.3	Desplazamiento del Robot .....	17
3.2.4	Transmisión Mecánica .....	19
3.3	SISTEMAS DE CONTROL .....	21
3.3.1	Señales Analógicas y Digitales .....	21
3.3.2	Circuito Eléctrico .....	24
3.3.3	Sensores .....	27
3.3.4	Transmisión de Señal .....	30
3.3.5	Programación .....	31

3.4	LOGÍSTICA .....	36
3.4.1	Logística Industrial.....	37
3.4.3	Logística (Industria 4.0).....	39
IV.	METODOLOGÍA.....	42
4.1	Variables de Investigación.....	42
4.1.1	Variables Dependientes .....	42
4.1.2	Variables Independientes.....	42
4.2	Enfoque y Métodos .....	43
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	44
4.3.1	Técnicas Aplicadas.....	44
4.3.2	Instrumentos Aplicados .....	45
4.4	Materiales .....	46
4.5	Cronograma de Actividades.....	46
V.	ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	47
5.1	Diseño Estructural y Mecánico.....	47
5.1.1	Competencias.....	47
5.1.2	Diseño Estructural.....	47
5.1.3	Mecanismo de Sujeción.....	53
5.1.4	Mecanismo de Elevación.....	58
5.1.5	Control Remoto .....	60
5.2	Diseño Electrónico.....	61
5.2.1	Señales de Entrada y Salida.....	61
5.2.2	Placas Electrónicas.....	65
5.2.3	Lógica de Programación.....	70
5.3	Construcción del Robot.....	78
5.3.1	Construcción Estructura Principal .....	78
5.3.2	Transmisión Mecánica .....	80
5.3.3	Mecanismo Sujeción.....	82

5.3.4 Mecanismo de Elevación.....	83
5.3.5 Control Remoto.....	84
5.3.6 Elaboración de circuitos impresos.....	84
5.4 Implementación.....	89
VI. CONCLUSIONES.....	92
VII. RECOMENDACIONES.....	93
7.1 Para futuras investigaciones.....	93
7.2 Para la universidad.....	93
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	94
IX. ANEXOS.....	101
9.1 Ficha Técnica de los motores a pasos utilizados en las llantas.....	101
9.2 Esquemático de la placa principal.....	102
9.3 Esquemático de la placa auxiliar 1.....	103
9.4 Esquemático de la placa auxiliar 2.....	104
9.5 Esquemático de la placa controladora de motores a paso.....	105
9.6 Esquemático de la placa de regulación.....	106
9.7 Esquemático de la placa del control remoto.....	107

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1– Ejemplo de un robot prototipo para exploración espacial.....	9
Ilustración 2 – Interfaz de programa de diseño CAD Solidworks.....	16
Ilustración 3 – Vehículo guiado con ruedas Mecanum.....	18
Ilustración 4 – Geometría básica de una transmisión por banda.....	20
Ilustración 5 – Representación grafica de Pulsos digitales.....	23
Ilustración 6 – Interfaz de EAGLE Autodesk PCB Design.....	27
Ilustración 7 – Algoritmo realizado en lenguaje de programación C++.....	35
Ilustración 8 - Estructura principal de robot prototipo.....	48
Ilustración 9 - Estructura mecanismo elevador, vista isometrica.....	49
Ilustración 10 - Componentes del mecanismo elevador, vista superior.....	50
Ilustración 11 - Vectores de la rueda Mecanum.....	51
Ilustración 12 - Desplazamientos de las ruedas Mecanum.....	51
Ilustración 13 - Motor a paso Nema 17 con reductor 5:1.....	52
Ilustración 14 - Disposición de los motores en la estructura principal.....	53
Ilustración 15 - Apertura de mecanismo sujetador.....	54
Ilustración 16 - Cierre de mecanismo sujetador.....	54
Ilustración 17 - Motor a paso Nema 17.....	55
Ilustración 18 - Control de presión de mecanismo de sujeción en robot prototipo.....	56
Ilustración 19 - Control de presión de sistema de sujeción.....	57
Ilustración 20 - Mecanismo de elevación en robot prototipo.....	58
Ilustración 21 - Mecanismo de elevación, vista 2.....	59
Ilustración 22 - Diseño CAD del control remoto.....	60
Ilustración 23 – Diagrama del Stepper Motor Driver DRV8825.....	61
Ilustración 24 – Diagrama simplificado del circuito integrado TCS3210.....	61
Ilustración 25 - Indicación de los sensores en el robot.....	62
Ilustración 26 – Diagrama simplificado del circuito integrado nRF24L01+.....	63
Ilustración 27 - Placa Principal de robot prototipo.....	65
Ilustración 28 - Placa Auxiliar 1 de robot prototipo.....	66
Ilustración 29 - Placa Auxiliar 2 del robot prototipo.....	67
Ilustración 30 - Placa controladora de Motores a Pasos.....	68
Ilustración 31 - Placa de Regulación de Voltaje.....	68

Ilustración 32 – Placa del control remoto. ....	69
Ilustración 33 – Diseño de la placa del control remoto. ....	69
Ilustración 34 – Esquema de las posiciones del joystick.....	71
Ilustración 35 – Comportamiento del Timer en Fast PWM.....	72
Ilustración 36 – Perfil de aceleración típico para un motor a pasos.....	74
Ilustración 37 – Identificación de los motores de cada llanta.....	75
Ilustración 38 - Roscado interno de Angulo para unión estructural. ....	78
Ilustración 39 - Mecanizado de platinas laterales en fresadora vertical. ....	79
Ilustración 40 - Armado de estructura de aluminio.....	80
Ilustración 41 - Montaje de llantas omnidireccional tipo Mecanum.....	80
Ilustración 42 - Acople de aluminio para llantas tipo Mecanum a 8mm.....	81
Ilustración 43 - Mecanismo de sujeción de robot prototipo. ....	82
Ilustración 44 - Montaje mecanismo de elevación. ....	83
Ilustración 45 - Soldadura de cables para comunicación con microcontrolador de placa electrónica de mando de PlayStation 2. ....	84
Ilustración 46 - Transferencia de pistas electrónicas.....	85
Ilustración 47 - Ataque químico del cobre para fabricación de circuitos impresos. 86	
Ilustración 48 - Resultado luego del ataque químico.....	86
Ilustración 49 - Transferencia de mascara indicadora de componentes electrónicos. .....	87
Ilustración 50 - Placas electrónicas finalizadas.....	88
Ilustración 51 - Montaje de placas electrónicas.....	89
Ilustración 52 - Modificación mecanismo de sujeción. ....	90
Ilustración 53 - Robot prototipo finalizado.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Definiciones de robot.....	9
Tabla 2 - Clasificación de los sensores.....	26
Tabla 3 - Tipos de datos simples.....	31
Tabla 4 - Tipos de Stocks.....	36
Tabla 5 - Cronograma.....	43
Tabla 6 – Dirección de los motores.....	72

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 – Curva de par/velocidad de los motores de las llantas.....	69
Gráfico 2 – Frecuencia vs. Valor TOP.....	71

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 – Fuerza del Resorte.....	53
Ecuación 2 – Frecuencia de Pulsos.....	69



## GLOSARIO

- **Algoritmo:** En términos de programación, un algoritmo es una secuencia de pasos lógicos que permiten solucionar un problema.
- **Banda de transmisión:** Tipo de transmisión mecánica basada en la unión de dos o más ruedas sujetas a un movimiento de rotación.
- **Circuito:** Es una serie de elementos o componentes eléctricos, tales como resistencias, inductancias, condensadores y fuentes, o electrónicos, conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales eléctricas.
- **Mecanismo:** Dispositivos o conjunto de sólidos que reciben una energía de entrada y, a través de un sistema de transmisión y transformación de movimientos, realizan un trabajo.
- **Microcontrolador:** Abreviado como  $\mu\text{C}$  o MCU, es una maravilla digital integrada en un solo Circuito Integrado.
- **Motor Paso a Paso:** Dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos.
- **Radiofrecuencia:** Es la frecuencia del espectro electromagnético que se utilizan en las radiocomunicaciones.
- **Robot:** Es una entidad virtual o mecánica artificial, normalmente es conducido por un programa de una computadora o por un circuito eléctrico.
- **Sensor:** Es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad.
- **Transmisión mecánica:** Mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina.

## I. INTRODUCCIÓN

“Lo cierto es que aunque la mayoría de los robots están diseñados para hacer tareas específicas la mayoría son robots industriales” (Alsina González, 2007).

En las últimas décadas el campo industrial ha tenido una increíble evolución en todo lo que a sus procesos se refiere, pasando de acciones realizadas totalmente de forma manual a todo un desarrollo tecnológico, permitiendo el uso de equipo automatizado en sus procesos y algunos de estos de carácter robótico.

En este sentido existen otros conceptos procedentes del desarrollo tecnológico que han superado las barreras impuestas por las industrias y centros de investigación. Es llamativo cómo entre éstas destaca el concepto robot. Aún sin tener datos reales, no parece muy aventurado suponer que de preguntar al ciudadano medio sobre qué es un robot industrial, éste demostraría tener, cuanto menos, una idea aproximada de su aspecto y utilidad.

Esta familiaridad con la que nuestra sociedad trata al robot es más llamativa cuando se compara con el amplio desconocimiento que se puede tener de otras máquinas o aparatos, aun siendo éstos de mayor antigüedad o utilidad como, por ejemplo, sería el osciloscopio o los parientes cercanos de los robots: las máquinas de control numérico.

Si bien es cierto que la robótica y automatización ha causado un gran impacto en los procesos industriales, son muchas las áreas en que logramos encontrar este tipo de equipo. Podemos mencionar un área en específico del campo industrial moderno, el área de logística, dicha área ha tenido un gran avance gracias a la implementación y desarrollo de robots móviles o vehículos guiados automáticamente (AGV), mejorando los procesos de localización, transporte y distribución de los productos, reduciendo los tiempos en la ejecución de la tarea haciendo más eficiente esta área.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 ANTECEDENTES**

Actualmente la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) no posee un programa de investigación en el área de robótica aplicada en el área de logística industrial.

Cabe mencionar que el ámbito industrial, en la última década ha asumido un gran desarrollo tecnológico desde la invención de la automatización y máquinas de control numérico, el panorama industrial cambio completamente, todo esto para mejorar sus procesos reduciendo costos, mejorando tiempos etc. Después surgió un nuevo concepto Industria 4.0 que corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción.

El objetivo que pretende alcanzarse es la puesta en marcha de un gran número de fábricas inteligentes capaces de una mayor adaptabilidad a las necesidades y a los procesos de producción, así como a una asignación más eficiente de los recursos, abriendo así la vía a una nueva revolución industrial o Revolución industrial 4.0.

### **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La Universidad Tecnológica Centroamericana (Unitec) como universidad tecnológica, se ha planteado iniciar un programa de investigación y desarrollo en el tema de logística industrial de la mano de las carreras de ingeniería en Mecatrónica e ingeniera Industrial.

Para este fin se ha decidido iniciar con el diseño y fabricación de un Robot prototipo que dé solución a una serie de problemas que actualmente existen en la industria específicamente en el área de logística y cumpla con una serie de parámetros de

calidad para el manejo de mercancía, así como cumplir con los actuales estándares de seguridad industrial.

En el entorno actual, cada vez más competitivo y con menores márgenes, las organizaciones buscan continuamente oportunidades de mejora para poder ser más competitivos. En este sentido, cada vez son más conscientes de la importancia de la gestión logística como parte esencial a la hora de aportar más valor a los clientes y reducir los costos.

### **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuál sería el mejor procedimiento para poder controlar el robot prototipo?
- ¿Qué tipo de mecanismo sería el más conveniente para la sujeción y elevación de los paquetes?
- ¿Cómo podría el robot prototipo poseer diferentes rangos de movimiento o desplazamiento?
- ¿De qué manera se podría gobernar el robot prototipo para que pueda ejecutar las instrucciones que se le indiquen?

## **2.4 OBJETIVOS**

Según Galpin (2013) "La falta de objetivos origina problemas. Sin objetivos claros, las personas normalmente harán lo siguiente: vagar sin metas"

A continuación, se plasman tanto el objetivo general y los objetivos específicos referentes al presente proyecto:

### **2.4.1 Objetivo General**

Desarrollar el diseño y elaboración física de un robot prototipo de comportamiento asistido para su uso en el área de logística industrial.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

- Establecer un sistema de control embebido a el robot prototipo.
- Designar una serie de mecanismos compactos para la sujeción y elevación de los paquetes.
- Seleccionar un tipo de ruedas omnidireccional que permita a el robot prototipo la mayor cantidad de desplazamientos.
- Establecer la programación que regirá las instrucciones que ejecutará el robot prototipo.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) al contar en su oferta académica con la carrera de ingeniera en Mecatrónica, es de suma importancia que logre desarrollar programas de investigación en diferentes áreas como ser la línea de investigación aplicada al diseño y creación de tecnología para el desarrollo de la logística industrial, ya que con el surgimiento de la Industria 4.0, nuevas formas de mejora en los procesos industriales pueden idealizarse y elaborarse.

Para generar propuestas para la solución de diferentes problemáticas en cualquier área del ámbito industrial aplicando la robótica o sistemas mecatrónicos es sumamente importante contar con profesionales capacitados en esta área, que la universidad cuente con dichos programas podría permitir que muchos jóvenes estudiantes se involucren en esta situación realizando sus propias investigaciones, análisis de problemas y resolución de los mismos y así en un futuro puedan ser partícipes de esta nueva revolución industrial.

Actualmente los administradores de logística en BMW están impulsando nuevas tecnologías en la cadena de suministro de la marca, cuenta con varios proyectos piloto que implican los vehículos guiados automatizados (AGV, automated guided vehicles), robots y comunicaciones digital que están pasando de la fase de prueba a la producción en serie y los procesos prácticos.

### III. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contiene el sustento teórico del proyecto. Se define el tema de la robótica, origen, características, mecanismos implicados y tipos de control además de cómo estos inventos han asumido un impacto en la industria.

#### 3.1 ROBÓTICA

El tema de la Robótica es relevante en el plan de estudios de ingeniería hoy en día debido a la capacidad de los robots para realizar trabajos incesantes y peligrosos. Un robot sólo tiene sentido cuando su intención es la de relevar a un trabajador humano de una labor aburrida, desagradable o demasiado precisa.

Mucha gente confunde los términos automatización, control numérico y control remoto con el término robótica. Se define cada uno de estos términos.

- **La automatización**, se refiere al uso de maquinaria especializada para realizar una tarea específica.
- **El control numérico**, es tipo de operación en una máquina especializada que se utiliza específicamente en la automatización de tareas o procesos.
- **El control remoto**, se refiere a una forma de operación humana en la cual el hombre no está presente físicamente en el lugar en donde se realizan las operaciones.

La robótica es sumamente compleja. Se considera multidisciplinar, aunque bien podría tildarse de omnidisciplinar; aglutina prácticamente todas las ingenierías: ingeniería mecánica, ingeniería de los materiales, ingeniería de sistemas y automática, ingeniería electrónica, ingeniería electromecánica, ingeniería de las comunicaciones... y a estas aún podemos sumar varias ciencias: matemáticas, física, química, óptica, biología, psicología, sociología o neurología.

“Esta inmensidad de conocimiento se ordena y engrana como un puzle para engendrar un robot” (García Armada, 2015).

Normalmente, un robot es diseñado para que asista a un trabajador humano. Al contrario de lo que por lo general se cree, en realidad no es más rápido que los humanos en la mayoría de las aplicaciones, pero es capaz de mantener su velocidad durante un largo periodo.

### **3.1.1 Origen**

El origen de la palabra robot puede ser encontrado en la palabra checa *robot*, que significa “trabajo forzado” u “obligatorio”.

A lo largo de toda la historia, el hombre se ha sentido fascinado por máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos. Los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: *autómato*. De esta palabra deriva el actual *autómata*: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado.

Aunque la idea de los robots se remonta a tiempos antiguos, hace más de 3000 años en la leyenda hindú de los elefantes mecánicos, la palabra robot se usó por primera vez en 1921, en la obra de teatro *Rossum's Universal Robots (RUR)*, escrita por el checo Karel Čapek (1890-1938). En la obra *RUR (Dorf, 1988)*, un fabricante ficticio de criaturas mecánicas diseñaba robots para reemplazar a trabajadores humanos. (Ruiz Velasco Sánchez, 2012, p. 4)

Eficientes, pero completamente faltos de emociones, se pensaba al principio que estos robots eran mejores que las personas, puesto que hacían lo que se les ordenaba sin preguntar. Al final, los robots se volvieron contra sus amos.



Sin embargo, Isaac Asimov, en sus historias de ciencia ficción de los años cuarenta, se imaginaba al robot como ayudante de la humanidad y postulaba tres reglas básicas para robots. Por lo general, éstas se conocen como las leyes de la robótica.

En 1950, aquí fue cuando el termino comenzó a extenderse por el mundo. En esa misma década, los robots empezaron a dejar de ser un producto de la ciencia ficción para ser empleados en la industria.

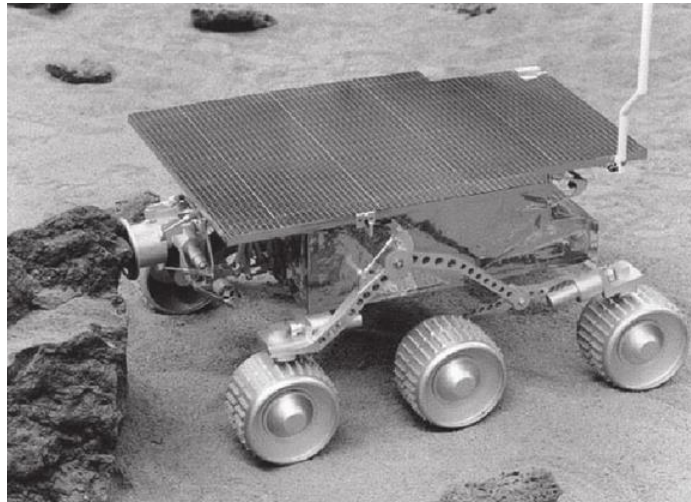
En los años cincuenta y sesenta del siglo xx se empezaron a utilizar los Unimates, primeros robots industriales, que hacían tareas repetitivas y fatigantes que a su vez requerían precisión, como en las líneas de ensamblaje de vehículos. Estos robots trabajan en áreas aisladas para prevenir accidentes.

En los años finales de la década de los sesenta y principios de la década de los setenta se ponen las bases de la investigación en robótica en las universidades. Se crean departamentos de investigación en inteligencia artificial, y se diseñan los primeros robots móviles con un cierto grado de autonomía.

“La robótica ha evolucionado en un sinnúmero de aplicaciones, desde su uso en soldadura, pintura, ensamble, carga y descarga de herramientas de máquinas, inspección, agricultura, enfermería, cirugía médica, usos militares y seguridad hasta las exploraciones subacuáticas y del espacio” (Kumar Saha, 2010).

En poco más de 40 años las investigaciones y desarrollos sobre robótica industrial han permitido que los robots tomen posiciones en casi todas las áreas productivas y tipos de industria. En pequeñas o grandes fábricas, los robots pueden sustituir al hombre en aquellas tareas repetitivas y hostiles, adaptándose inmediatamente a los cambios de producción solicitados por la demanda variable, así como en la

exploración espacial se emplean robot que son capaces de soportar las condiciones hostiles como el prototipo mostrado en la ilustración 1.



**Ilustración 1– Ejemplo de un robot prototipo para exploración espacial.**

Fuente: (Kumar Saha, 2010).

### **3.1.2 Definición de Robot**

El robot se define, de manera formal en la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), como un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados, para el desempeño de tareas diversas.

“El Instituto de Robots de América define al robot como un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o instrumentos especializados por medio de movimientos variables programados para el desempeño de una variedad de funciones” (Riveros Dueñas, Moscoso Daza, & Hernández, 2016).

**Tabla 1 – Definiciones de robot.**

<p><b>Enciclopedia Británica</b> <i>Máquina operada automáticamente que sustituye el esfuerzo de los humanos, aunque no tiene por qué tener apariencia humana o desarrollar sus actividades a la manera de los humanos.</i></p>
<p><b>Diccionario Merriam Webster</b> <i>Máquina que se asemeja a los humanos y desarrolla como ellos tareas complejas como andar o hablar. Un dispositivo que desarrolla de manera automática tareas complicadas, a menudo de manera repetitiva Un mecanismo guiado por control automático.</i></p>
<p><b>Diccionario de la Real Academia Española</b> <i>Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas sólo a las personas.</i></p>

Fuente: (Barrientos, Peñín, & Balaguer, 2007, p. 16).

### **3.1.3 Tipos de Robots**

Existen diferentes tipos de robot cada uno con su específica área de trabajo o función y sus características generales. Algunos de los que podemos mencionar son los siguientes:

- **Robot móvil**

Según Barrientos (2007): "Un Robot móvil es un robot que contiene todo lo necesario para su pilotaje y movimiento (potencia, control y sistema de navegación)".

Los robots móviles se crean con muy diferentes propósitos, dependiendo de la función que se quiera o necesite realizar, ya sean grandes para poder cargar y manipular objetos pesados, como en la industria, o muy pequeños para procesos específicos como los drones o micro robots.

- **Robot tele operado**

Un robot que puede ser controlado remotamente por un operador humano, extendiendo las capacidades sensoriales y motoras de éste a localizaciones.

En otras palabras, son dispositivos robóticos con brazos manipuladores y sensores y cierto grado de movilidad, controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador.

- **Vehículos guiados automáticamente (AGV)**

Son sistemas robóticos móviles que se usan comúnmente para el manejo de materiales en fábricas. Es un tipo de robot móvil que tiene ruedas para su locomoción. Por lo tanto, también se llama robot móvil con ruedas (WMR). Resulta entonces que un AGV es lo mismo que un WMR.

### **3.1.3.1 Clasificación de los Robots**

Un robot puede ser clasificado atendiendo a diferentes criterios o características. Algunas de éstas serán dependientes de su propia esencia, otras de la aplicación o tarea a que se destinan. En términos generales, los robots son clasificados como industriales, no industriales o para usos especiales.

Se clasifican según su:

- Generación.
- Área de aplicación.
- Tipo de actuadores.
- Número de ejes.
- Configuración.
- Tipo de control.

Dependiendo de cuál sea el tipo de energía utilizada por los ejes principales del robot, éste puede ser clasificado como:

- Robot Neumático.
- Robot Hidráulico.
- Robot Eléctrico.

#### **3.1.4 Morfología del Robot**

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de potencia y control, y elementos terminales.

Por lo tanto, el robot únicamente será capaz de tomar las decisiones que hayan sido programadas, ante aquellos estímulos que es capaz de percibir (sensores) y sobre aquellas acciones que es capaz de realizar (diseño mecánico). Por eso, el programa, el sistema de percepción y el diseño mecánico del robot constituyen, al mismo tiempo, las capacidades y los límites del robot.

No puede tomar una decisión que no haya sido programada, no puede ver si no tiene cámaras de visión artificial y no puede manipular si no tiene manos, entre otros ejemplos.

#### **3.1.5 Uso de los Robots**

Los robots de cualquier tipo, industrial o no industrial, no son tan rápidos ni tan eficientes como las máquinas automatizadas de uso especial. Sin embargo, estos robots pueden fácilmente reentrenarse o reprogramarse para realizar un sinnúmero de tareas, mientras que una máquina automatizada de uso o propósito especial, incluso

una máquina CNC, sólo puede realizar una serie de labores muy limitada. Es el grado de reprogramabilidad lo que distingue un robot de una máquina-herramienta de CNC.

Sin embargo, no hay ninguna línea de demarcación internacionalmente reconocida. Queda la pregunta, pues, sobre cuándo debe considerarse que un determinado trabajo ha de ser ejecutado por una persona, un robot o una máquina especial. La respuesta a esta pregunta no es sencilla. Algunas normas generales pueden servir para proponer factores significativos que deben tenerse presentes.

#### **3.1.5.1 Reglas Generales para el Uso de Un Robot**

1. La primera regla por considerar se refiere a lo que se conoce como las cuatro D de la robótica, es decir, si la tarea es sucia (Dirty), aburrida (Dull), peligrosa (Dangerous) o difícil (Difficult). De tener una de estas características, un ser humano probablemente no será capaz de ejecutar la tarea en forma eficiente. Por lo tanto, es un trabajo apropiado para que se le automatice o para que lo realice un robot.
2. La segunda regla es que un robot no debe dejar a un ser humano sin trabajo o desempleado. La robótica y la automatización deben servir para hacer nuestra vida más placentera, no más desagradable.
3. La tercera regla implica cuestionarse si es posible o no encontrar personas dispuestas a realizar el trabajo. De no ser así, dicho trabajo es candidato para la automatización o la robótica. Ciertamente, esto debería ser un motivo primordial para el crecimiento de la automatización y de la robótica.
4. La cuarta regla general es que el uso de robots o de automatización debe tener beneficios económicos a corto y largo plazos.

## **3.2 DISEÑO Y MECANISMOS**

Para la realización de un robot, es necesario el diseño previo del mismo para lograr visualizar como este podría ser elaborado tomando en cuenta dimensiones, piezas y demás partes estructurales. Hoy en día existen numerosas herramientas de diseño estructural, como lo es por ejemplo el Diseño CAD.

### **3.2.1 Diseño CAD**

Una de las familias de aplicaciones del ordenador con más éxito y más tradición en el mundo de la ingeniería se da en el ámbito del diseño y el proyecto, y se conoce con el término genérico de Diseño Asistido por Ordenador, o por el acrónimo CAD. (Company Calleja & González Lluch, 2013)

Se debe utilizar el CAD 3D porque aumenta la productividad. Es decir, que en cualquier empresa relacionada con el diseño o los proyectos de ingeniería consigue una reducción importante (de tiempo y dinero) del proceso de diseño, respecto a los métodos basados en instrumentos tradicionales o en aplicaciones CAD 2D.

Usar CAD 3D para diseñar o proyectar requiere un aprendizaje, porque se debe modelar en lugar de dibujar. Para producir modelos virtuales se debe usar el lenguaje gráfico tradicional en los ámbitos del diseño y el proyecto de ingeniería.

#### **3.2.1.1 SOLIDWORKS**

Solid Works es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar sus ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

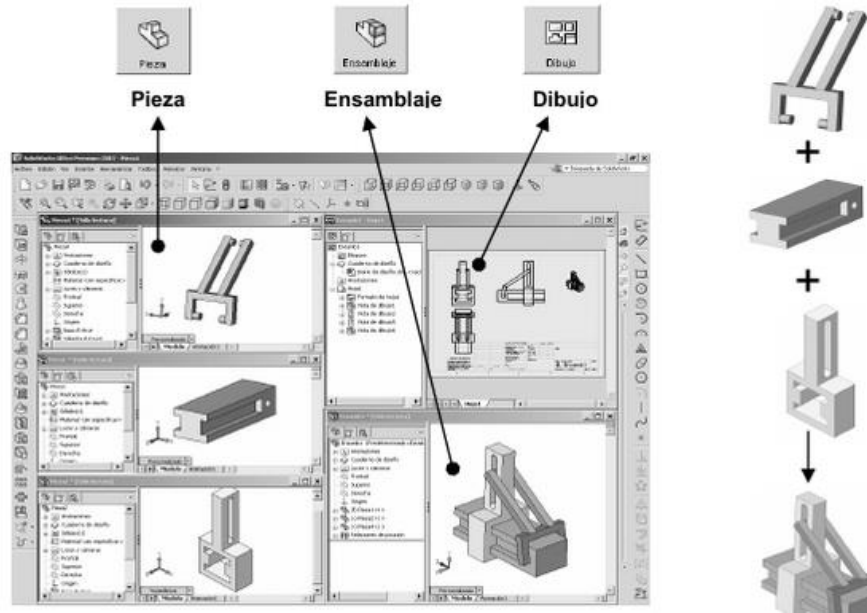
Es una solución de diseño tridimensional completa que integra un gran número de funciones avanzadas para facilitar el modelado piezas, crear grandes ensamblajes, generar planos y otras funcionalidades que le permiten validar, gestionar y comunicar proyectos de forma rápida, precisa y fiable. (Gómez González, 2008)

Solid Works se caracteriza por su entorno intuitivo y por disponer de herramientas de diseño fáciles de utilizar. Todo integrado en un único programa de diseño con más de 45 aplicaciones complementarias para facilitar el desarrollo de sus proyectos.

Las principales características que hace de Solidworks una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además, utiliza el Gestor de diseño (FeatureManager) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados.

Junto con las herramientas de diseño de pieza, ensamblajes y dibujo, Solidworks incluye Herramientas de Productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación y de Análisis y Simulación como se muestra en la ilustración 2, que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.





**Ilustración 2 – Interfaz de programa de diseño CAD Solidworks.**

Fuente: (Gómez González, 2008).

### 3.2.2 Mecanismos

Según (Mott, 2009) "Un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento en un patrón deseable, y por lo general desarrolla fuerzas muy bajas y transmite poca potencia".

#### 3.2.2.1 Roscado

##### 3.2.2.1.1 Rosca

Una rosca en mecánica es una hélice mecanizada de forma continua y uniforme, con un perfil que depende de la función que tenga que realizar. Cuando dicha rosca se mecaniza en el exterior de un cilindro se le denomina tornillo y cuando la mecanización es en el interior se le denomina tuerca.

### 3.2.2.1.2 Clasificación

Según Fenoll, Borja, & Herrera (2009): “La clasificación según el sentido de la rosca es en rosca a derechas y roscas a izquierdas”

- **Rosca a derechas:** se le denomina así cuando el tornillo gira en el sentido de giro de las agujas del reloj. Es el que normalmente se utiliza en mecánica y el más conocido por los usuarios.
- **Rosca a izquierdas:** son aquellos tornillos y tuercas que se utilizan en los ejes que están en movimiento, para evitar que se aflojen.

### 3.2.2.1.3 Grados de libertad

El número de grados de libertad en ingeniería se refiere al número mínimo de parámetros que necesitamos especificar para determinar completamente la velocidad de un mecanismo o el número de reacciones de una estructura.

El roscado posee una particularidad enfocándonos en el mecanismo que existe entre el tornillo y la tuerca, ya que estos permiten dos grados de libertad los cuales son: un desplazamiento lineal y un movimiento circular al roscar ambos elementos en el sentido deseado.

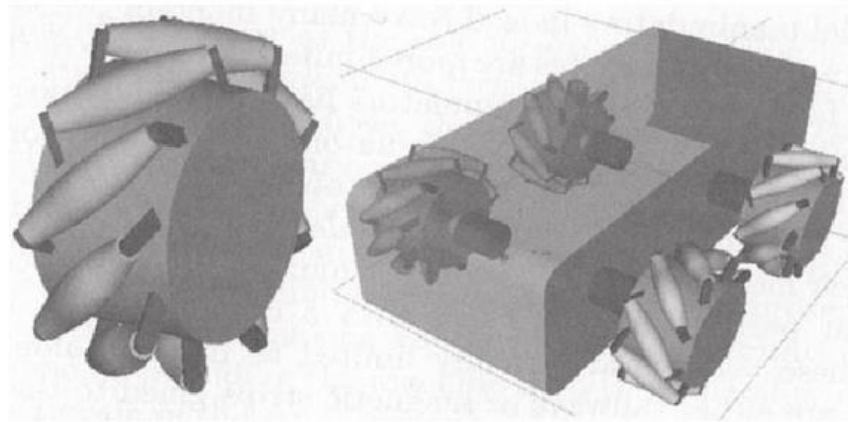
### 3.2.3 Desplazamiento del Robot

El principal problema al que se enfrenta en los robots móviles, se encuentra en el sistema de locomoción y el número y tipo de ruedas que lo integran, ya que estos determinan su desplazamiento de un lugar a otro; puede ser en áreas muy pequeñas o grandes, dependiendo de las condiciones en las que se requiere su operación.

Hay cierto tipo de ruedas que, al combinarse, le confieren los diferentes tipos de desplazamiento, las ruedas Mecanum.

- **La rueda sueca**, es aquella rueda que contiene en su periferia una corona de rodillos, colocados a cierto ángulo respecto a su eje de giro", y a su vez, esta se divide en omnidireccional y Mecanum.
- **La rueda Mecanum**, tiene dos grados de libertad; desplazamiento lineal y angular. Además, este tipo de rueda puede desplazarse a 45 grados.

Los robots móviles omnidireccionales contruidos con llantas Mecanum como se muestra en la ilustración 3, están empezando a ser utilizados cada vez más en la industria. En este trabajo se presenta un nuevo modelo cinemático para estos robots, que describe su funcionamiento y que permite controlar sus movimientos.



**Ilustración 3 – Vehículo guiado con ruedas Mecanum.**

Fuente: (Kumar Saha, 2010).

### **3.2.4 Transmisión Mecánica**

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificado como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción.

La transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente.

#### **3.2.4.1 Tipos de Transmisión Mecánica**

Entre las formas más habituales de transmisión mecánica están:

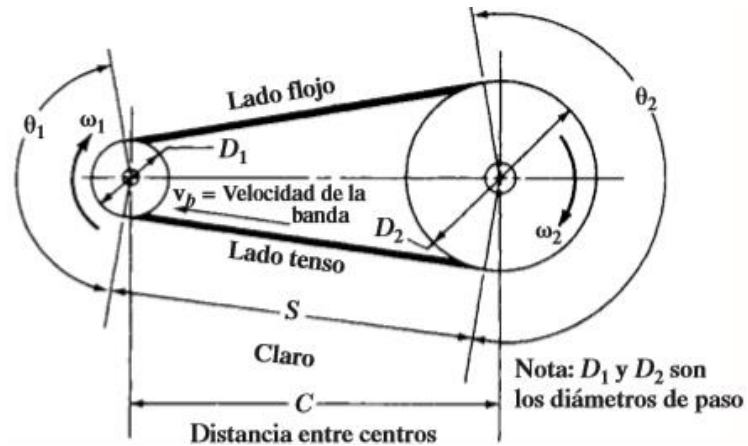
- Cadena de transmisión.
- Correas o bandas de transmisión.
- Engranajes.

#### **3.2.4.2 Banda o Correa**

Una banda es un elemento flexible de transmisión de potencia que asienta firmemente en un conjunto de poleas o poleas acanaladas. Con una serie de características cinemáticas como se puede apreciar en la ilustración 4.

Mott (2006) Afirma:

Es crítico dar una tensión inicial a una banda, para asegurar que no se resbale bajo la carga de diseño. En reposo, los dos lados de la banda tienen la misma tensión. Cuando se transmite la potencia, aumenta la tensión en el lado tenso, y disminuye la tensión en el lado flojo. Sin la tensión inicial el lado flojo estaría totalmente suelto y la banda no asentaría en la ranura, y se deslizaría. (p. 280)



**Ilustración 4 – Geometría básica de una transmisión por banda.**

Fuente: (Mott, 2006)

### 3.2.4.3 Motor paso a paso

Es dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos. Son ampliamente usados en aplicaciones industriales y tienen las ventajas de que no necesariamente requieren un sistema de retroalimentación y de los costos asociado.

Normalmente, la flecha del motor gira en forma incremental en pasos iguales en respuesta a un tren de impulsos de entrada programado. El número de pulsos por unidad de tiempo determina la velocidad del motor.

#### 3.2.4.3.1 Motor a Paso Híbrido

Los motores a pasos híbridos combinan las características de los motores de reluctancia variable y de imanes permanentes, teniendo un imán permanente interconectado en cubiertas de hierro que están cortadas para tener dientes. El rotor se coloca en la posición de reluctancia mínima en respuesta a que se estén energizando un par de bobinas del estator.

Los ángulos de paso normales son  $0.9^\circ$  y  $1.8^\circ$ . De la descripción anterior resulta entonces obvio que la velocidad con la que se aplican los impulsos determina la velocidad del motor, el número total de impulsos determina el desplazamiento angular y el orden en el que se energizan las bobinas en la primera instancia determina la dirección de rotación.

### **3.3 SISTEMAS DE CONTROL**

Para la correcta gobernación de un sistema mecatrónico como lo es un robot, es necesaria la combinación de elementos electrónicos con algoritmos de programación.

#### **3.3.1 Señales Analógicas y Digitales**

García Lorenzo, Huerta Pellitero, & Sánchez de la Lama, (2014) Afirma: "La información que se suministrará al sistema, independientemente de la tecnología utilizada, viene caracterizada por una o varias magnitudes".

Una magnitud es una propiedad física que puede medirse cuantitativamente. Dependiendo de la naturaleza de las mismas podemos dividir las en analógicas y digitales. Se denomina señal a la evolución en el tiempo de dichas magnitudes. Entre dichas magnitudes podemos mencionar: Las magnitudes analógicas y digitales.

- **Las magnitudes analógicas:** Son aquellas que toman valor en un rango continuo. Matemáticamente se asocian con números reales o conjuntos de los mismos. Se pueden poner muchos ejemplos de magnitudes analógicas: temperatura, voltaje, fuerza, etc. La mayoría de los fenómenos naturales se miden utilizando magnitudes analógicas.

- **Las magnitudes digitales:** Toman valor en un rango discreto. Al igual que las magnitudes analógicas podemos asociarlas con un subconjunto matemático: los números enteros.

Sabiendo que la mayoría de los fenómenos naturales se miden mediante magnitudes analógicas, se podría llegar a pensar que los sistemas digitales tienen un ámbito de aplicación más reducido que los sistemas analógicos.

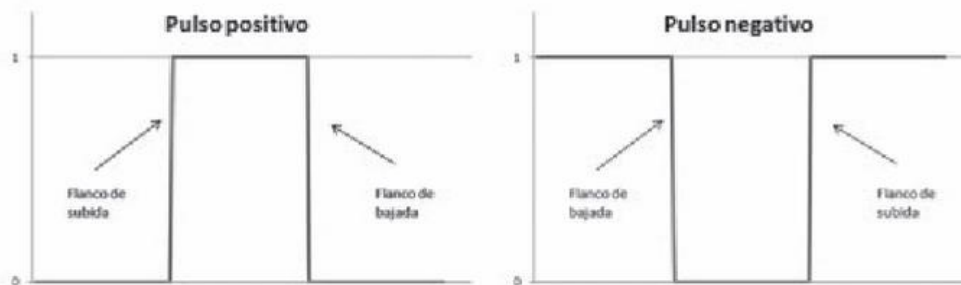
Esto no es cierto en absoluto, si bien es cierto que los sistemas digitales solo pueden manipular información digital, la información analógica puede transformarse en información digital mediante conversores analógico / digitales y la información digital puede transformarse en información analógica mediante conversores digital / analógicos.

### **3.3.1.1 Señales Digitales**

En la actualidad la información manejada por dichos sistemas es binaria, es decir, la información se compone por secuencias de dos dígitos: el "0" y el "1". Se suele denominar al "1" como valor cierto y al "0" como valor falso. Esta información se codifica mediante una magnitud física: el voltaje. Cada tecnología define dos valores de voltaje: valor bajo (VL) y valor alto (VH). Generalmente se hace coincidir a VL con el valor "0" y VH con el valor "1".

En estas señales denominaremos flanco a una transición entre dos niveles como se puede observar gráficamente en la ilustración 5. Si esta transición es de "0" a "1", recibirá el nombre de flanco de subida, mientras que si es de "1" a "0" recibirá el nombre de flanco de bajada. La señal entre dos flancos recibirá el nombre de pulso. Si se encuentra entre un flanco de subida y uno de bajada se estará hablando de un

pulso positivo, mientras que si se encuentra entre un flanco de bajada y uno de subida estaremos hablando de un pulso negativo.



### **Ilustración 5 – Representación gráfica de Pulsos digitales.**

Fuente: (García Lorenzo, Huerta Pellitero, & Sánchez de la Lama, 2014)

#### **3.3.1.1.1 Ventajas de los sistemas digitales**

Actualmente la electrónica digital está experimentando un gran empuje y se está imponiendo en mercados en los que tradicionalmente se imponía la electrónica analógica. Esto se debe a sus numerosas ventajas:

- **Sencillez.** El diseño de circuitos digitales es relativamente simple reduciendo el tiempo de diseño y abaratando el coste del producto.
- **Menor sensibilidad a ruidos.** Al transmitir la señal por un determinado medio ésta puede atenuarse y degradarse. La señal digital en muchos casos puede amplificarse y regenerarse.
- **Tolerancia a fallos.** Existen numerosos sistemas de codificación digital capaces de detectar información corrupta y en algunos casos regenerarla.
- **Facilidad de almacenamiento.** Existen numerosos sustratos capaces de almacenar de forma barata gran cantidad de información digital (memorias flash, discos duros magnéticos...).



### 3.3.2 Circuito Eléctrico

Según Soria Olivas, Martín Guerrero, & Gómez Chova (2004): "Un circuito eléctrico se puede definir como aquella región del espacio donde existe un gran número de cargas relacionadas entre sí de alguna forma".

#### 3.3.2.1 Circuito Integrado

Un circuito integrado, o chip, no es otra cosa que el avance tecnológico que permitió interconectar en una misma y pequeña unidad un gran número de componentes electrónicos, como resistores y capacitores, y por supuesto transistores.

##### 3.3.2.1.1 Memoria del CI

Los datos digitales binarios, pueden almacenarse en CI en las formas de memoria siguientes:

- RAM
  - ROM
  - EEPROM
- 
- **RAM.** Una RAM (Random Access Memory) almacena los datos binarios en arreglos. Los datos pueden dirigirse desde cualquier sitio de la matriz, los datos se modifican fácilmente y se almacenan de vuelta en RAM.
  - **ROM.** La memoria de solo lectura (Read Only Memory) puede leerse en su totalidad o en parte, pero no puede escribirse en ella durante su funcionamiento normal.

- **EPROM.** Una ROM borrable programable (Erasable Programmable ROM) es un CI cuya memoria es del tipo sólo de lectura, pero que puede reprogramarse mediante la exposición a rayos ultravioleta" (Gibilisco, 2001).

### **3.3.2.2 Microprocesador**

Rozenberg (2006) dice: "Los microprocesadores son los circuitos integrados más complejos, con un mayor número de componentes electrónicos, y son el cerebro de las computadoras. También reciben el nombre de unidad de procesamiento central".

Un microcontrolador incluye dentro un microprocesador, el tipo de micro varía de un modelo a otro de microcontrolador, y en principio puede ser cualquier variante de las expuestas. Algunos microcontroladores se desarrollaron a partir de un microprocesador ya existente, de manera que en su interior incluyen una versión del mismo adaptada.

### **3.3.2.3 EAGLE AUTODESK**

EAGLE (siglas de Easily Applicable Graphical Layout Editor) es un programa de diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos DiY, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware y gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red.

#### **3.3.2.3.1 Diagrama eléctrico**

Un diagrama electrónico, también conocido como un esquema eléctrico o esquemático es una representación pictórica de un circuito eléctrico. Muestra los diferentes componentes del circuito de manera simple y con pictogramas uniformes

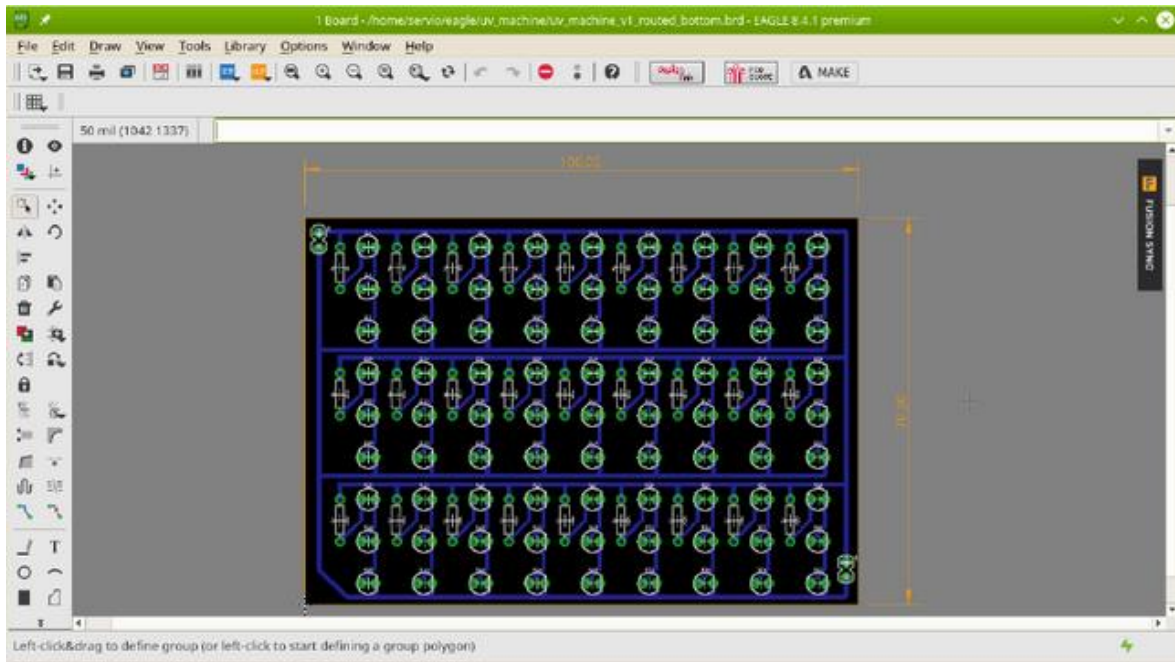
de acuerdo a normas, y las conexiones de alimentación y de señal entre los distintos dispositivos. El arreglo de los componentes e interconexiones en el esquema generalmente no corresponde a sus ubicaciones físicas en el dispositivo terminado.

EAGLE contiene un editor de diagramas electrónicos. Los componentes pueden ser colocados en el diagrama con un solo clic y fácilmente enrutables con otros componentes a base de "cables" o etiquetas.

### **3.3.2.3.2 Placas de circuito impresos**

Las placas de circuito impreso, son circuitos construidos sobre una placa de cobre. Una hoja de material FR1 FR2 o FR4 es bañada en cobre y sometida posteriormente a la eliminación sistemática del mismo a manera de crear caminos que conectan físicamente a componentes eléctricos. (Paguada, 2017).

La técnica que dibuja los caminos de cobre con apoyo de programas de diseño electrónico como se puede observar en la ilustración 6, puede ser usando componentes químicos que corroen el cobre en las áreas de interés, o bien usando máquinas de control numérico que dibujan los contornos de tales caminos haciendo cortocircuitos que aíslan eléctricamente a los componentes.



**Ilustración 6 – Interfaz de EAGLE Autodesk PCB Design.**

Fuente: (Paguada, 2017).

### 3.3.3 Sensores

Con la creciente importancia de los sistemas digitales de comunicación, las interfaces humano-máquina en el desarrollo tecnológico, los sistemas de producción automatizados, el control automático, la mecatrónica y muchas áreas de estudio científico-tecnológicas, así como la implementación de nuevas tecnologías que permiten un desarrollo más acelerado en los procesos de producción, no serían posibles sin el uso de sensores y actuadores, ya que por medio de estos los sistemas digitales interactúan con el mundo real.

“De acuerdo con su función, los sensores son dispositivos que permiten cuantificar una variable física.” (Germán Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014).

### 3.3.3.1 Clasificación de los Sensores

Existe una gran variedad de sensores en el mundo, estos son clasificados de la siguiente manera:

**Tabla 2 – Clasificación de los sensores.**

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Fuente: (Germán Corona Ramírez et al., 2014).

### 3.3.3.2 Tipos de Sensores de Nuestro Interés

- Sensores de nivel y proximidad.
- Sensores de color, luz y visión.

#### 3.3.3.3 Sensores de nivel y proximidad

##### 3.3.3.3.1 Ultrasónico

Los sensores ultrasónicos son muy utilizados en sistemas de medición no invasivos para determinar la distancia del emisor a un objeto dado.

Un sensor ultrasónico resulta muy útil si se desea medir proximidad, el nivel de un líquido, la presencia de un objeto, la velocidad de un fluido, etcétera. No obstante, su principio de funcionamiento siempre es el mismo, y solo depende del tipo de configuración en que se coloque y cómo se interprete la señal de salida del mismo.

La señal ultrasónica se puede generar mediante diferentes técnicas, como electromagnéticas, ópticas, capacitivas y piezoeléctricas; de todas, esta última es una de las más utilizadas debido a su alta efectividad en comparación con las anteriores. Se dice que una onda sonora es ultrasónica cuando está por encima de la frecuencia audible para el oído humano; esto es, por encima de los 20 KHz aproximadamente.

#### **3.3.3.4 Sensores de color, luz y visión**

La luz es muy eficiente cuando se trata de medir distancia, temperatura, composición química, intensidad de color, etcétera.

##### **3.3.3.4.1 Sensor infrarrojo**

Es un dispositivo optoelectrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Los sensores infrarrojos están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

##### **3.3.3.4.2 Fototransistor**

Un fototransistor es el transductor entre la luz y una señal eléctrica que indica la presencia o ausencia de dicho haz. En configuraciones más especializadas, la señal eléctrica emitida por dicho sensor indica la distancia entre el emisor de luz y cierto objeto, cambios en la superficie reflectante del mismo o el color de dicha superficie.

##### **3.3.3.4.3 Sensor de color**

Los sensores de color detectan el color de una superficie. Estos sensores emiten luz (roja, verde, azul) sobre los objetos que deben analizarse, calculan las coordenadas

cromáticas a partir de la radiación reflejada y las comparan con los valores cromáticos de referencia guardados. Si los valores cromáticos se encuentran dentro de la banda de tolerancia de ajustada, se activa una salida conmutada.

“Una característica de la Electrónica es su carácter intrusivo y como este ha tenido impacto a los últimos desarrollos tecnológicos” (Villar Bonet, 2017, p. 14).

### **3.3.4 Transmisión de Señal**

Según Sendín Escalona (2004) “La transmisión se efectúa a ráfagas como consecuencia de la naturaleza digital y de multiplexación en el tiempo del estándar, en tanto que a cada terminal se le asigna un intervalo de tiempo en que puede efectuar la transmisión” (p. 290).

#### **3.3.4.1 Radiofrecuencia**

La Radiofrecuencia (abreviado RF), también denominado espectro de radiofrecuencia, es un término que se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre los 3 hercios (Hz) y 300 gigahercios (GHz).

El hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro, se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

#### **3.3.4.1.1 Característica**

En cualquier banda de frecuencias, las características de las ondas radioeléctricas determinan la utilidad de esas frecuencias para un servicio determinado.

“La principal característica de interés es el modo en que la absorción y la reflexión, a través del aire u otro medio físico, modifican o distorsionan a las señales antes de que estas lleguen al receptor” (Bates (Jr.), 2003).

#### **3.3.5 Programación**

La programación es un proceso que se utiliza para idear y ordenar las acciones que se realizarán en el marco de un proyecto; al anuncio de las partes que componen un acto o espectáculo; a la preparación de máquinas para que cumplan con una cierta tarea en un momento determinado; a la elaboración de programas para la resolución de problemas mediante ordenadores; y a la preparación de los datos necesarios para obtener una solución de un problema.

**Programa informático**, es una secuencia de instrucciones, escritas para realizar una tarea específica en una computadora.

##### **3.3.5.1 Código fuente**

El código fuente de un programa informático (o software) es un conjunto de líneas de texto con los pasos que debe seguir la computadora para ejecutar dicho programa.

El código fuente de un programa está escrito por un programador en algún lenguaje de programación, pero en este primer estado no es directamente ejecutable por la computadora, sino que debe ser traducido a otro lenguaje o código binario; así será



más fácil para la máquina interpretarlo (lenguaje máquina o código objeto que sí pueda ser ejecutado por el hardware de la computadora). Para esta traducción se usan los llamados compiladores, ensambladores, intérpretes y otros sistemas de traducción.

### **3.3.5.2 Compilador**

Los compiladores son programas específicos para un lenguaje de programación, los cuales transforman el programa fuente en un programa directa o indirectamente ejecutable por la máquina destino.

### **3.3.5.3 Datos simples**

“Los tipos de datos se utilizan generalmente al declarar variables y son necesarios para que el intérprete o compilador conozca de antemano el tipo de información que va a contener una variable” (Moreno Pérez, 2014, p. 21).

#### **3.3.5.3.1 Tipos de Datos Simples**

Los tipos de datos hacen referencia al tipo de información que se trabaja, donde la unidad mínima de almacenamiento es el dato, también se puede considerar como el rango de valores que puede tomar una variable durante la ejecución del programa.

- **Numéricos.** Este tipo de dato puede ser real o entero, dependiendo del tipo de dato que se vaya a utilizar.
  - ✓ Enteros: son los valores que no tienen punto decimal, pueden ser positivos o negativos y el cero.
  - ✓ Reales: estos caracteres almacenan números muy grandes que poseen parte entera y parte decimal.

- **Caracteres.** El tipo de dato carácter es un dígito individual el cual se puede representar como numéricos (0 al 9), ¡letras (a-z) y símbolos (!" \$&^).
- **Booleanos.** Este tipo de dato se emplea para valores lógicos, los podemos definir como datos comparativos dicha comparación devuelve resultados lógicos (Verdadero o Falso).

**Tabla 3 – Tipos de datos simples.**

Tipo de datos	Información representada	Rango	Descripción
byte	Datos enteros	-128 ↔ +127	Se utilizan 8 bits (1 byte) para almacenar el dato.
short	Datos enteros	-32768 ↔ +32767	Dato de 16 bits de longitud (independientemente de la plataforma).
int	Datos enteros	-2147483648 ↔ +2147483647	Dato de 32 bits de longitud (independientemente de la plataforma).
long	Datos enteros	-9223372036854775808 ↔ +9223372036854775807	Dato de 64 bits de longitud (independientemente de la plataforma).
char	Datos enteros y caracteres	0 ↔ 65535	Este rango es para representar números en unicode, los ASCII se representan con los valores del 0 al 127. ASCII es un subconjunto del juego de caracteres Unicode.
float	Datos en coma flotante de 32 bits	Precisión aproximada de 7 dígitos	Dato en coma flotante de 32 bits en formato IEEE 754 (1 bit de signo, 8 para el exponente y 24 para la mantisa).
double	Datos en coma flotante de 64 bits	Precisión aproximada de 16 dígitos	Dato en coma flotante de 64 bits en formato IEEE 754 (1 bit de signo, 11 para el exponente y 52 para la mantisa).
boolean	Valores booleanos	true/false	Utilizado para evaluar si el resultado de una expresión booleanas es verdadero (true) o falso(false).

Fuente: (Moreno Pérez, 2014).

#### **3.3.5.4 Algoritmo**

Un algoritmo es un conjunto de instrucciones o pasos para resolver un problema. Los algoritmos deben procesar los datos necesarios para la resolución del problema.

El algoritmo es la especificación concisa del método para resolver un problema con indicación de las acciones a realizar. Un algoritmo es un conjunto finito de reglas que dan una secuencia de operaciones para resolver un determinado problema. Es, por consiguiente, un método para resolver un problema que tiene en general una entrada y una salida.

En la práctica, un algoritmo es un método para resolver problemas mediante los pasos o etapas siguientes:

- Diseño del algoritmo que describe la secuencia ordenada de pasos sin ambigüedades conducentes a la solución de un problema dado (Análisis del problema y desarrollo del algoritmo).
- Expresar el algoritmo como un programa en un lenguaje de programación adecuado. (Fase de codificación).
- Ejecución y validación del programa por la computadora.

Los algoritmos se suelen escribir en pseudocódigo o en otras herramientas de programación como diagramas de flujo o diagramas.

#### **3.3.5.5 Lenguaje C++**

Es un lenguaje de programación diseñado en 1979 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al lenguaje de programación C mecanismos que permiten la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, el C++ es un lenguaje híbrido.

Posteriormente se añadieron facilidades de programación genérica, que se sumaron a los paradigmas de programación estructurada y programación orientada a objetos. Por esto se suele decir que el C++ es un lenguaje de programación multiparadigma. Un ejemplo de la estructura de este tipo de programación la podemos encontrar en la ilustración 7.

Joyanes & Zahonero (2007) menciona: "El lenguaje C++ es un superconjunto y una extensión de C, tópico conocido por toda la comunidad de programadores del mundo" (p. 20).

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main(int argc, char *argv[])
{
    int Numero1, Numero2, Numero3, Producto, Suma;
    cin >> Numero1 >> Numero2 >> Numero3;
    if(Numero1 > 0)
    {
        Producto = Numero1 * Numero2 * Numero3;
        cout << "El producto de los números es" << Producto;
    }
    else
    {
        Suma = Numero1 + Numero2 + Numero3;
        cout << " La suma de los números es:" << Suma;
    }
    return 0;
}
```

**Ilustración 7 – Algoritmo realizado en lenguaje de programación C++.**

Fuente: (Joyanes & Zahonero, 2007)

#### **3.3.5.5.1 Atmel**

Atmel es un líder mundial en el diseño y la fabricación de microcontroladores de lógica avanzada, de media señal, de memoria permanente y de componentes de radiofrecuencia (RF). Los microcontroladores de Atmel están enfocados al consumidor, a la industria, la seguridad, las comunicaciones, el cálculo y la automoción. (Novo, 2007)

#### **3.3.5.5.2 Atmel Studio**

Es un entorno de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo, en inglés Integrated Development Environment (IDE), es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software. Normalmente, un IDE consiste de un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador. La mayoría de los IDE tienen auto-completado inteligente de código (IntelliSense). Algunos IDE contienen un compilador, un intérprete, o ambos.

El límite entre un IDE y otras partes del entorno de desarrollo de software más amplio no está bien definido. Muchas veces, a los efectos de simplificar la construcción de la interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) se integran un sistema controlador de versión y varias herramientas. Muchos IDE modernos también cuentan con un navegador de clases, un buscador de objetos y un diagrama de jerarquía de clases, para su uso con el desarrollo de software orientado a objetos.

### **3.4 LOGÍSTICA**

Según Garay Candia (2017) "La Logística es una herramienta empresarial que llama cada vez más la atención de especialistas y directivos de todas las organizaciones e instituciones que administran recursos".

### **3.4.1 Logística Industrial**

La organización del desplazamiento y de la manutención de los materiales (materias primas y productos), ya sea en el interior o exterior de la empresa, es el objeto de estudio de la logística industrial. La función de esta última consiste en vigilar la eficacia de las redes de distribución y abastecimiento, de los modos de manutención y transporte, de la localización de los departamentos y de la distribución física de los locales.

Las actividades de un sistema logístico pueden dividirse en tres categorías:

- Localización, distribución física, manutención, acondicionamiento y empaquetado.
- Planificación de la producción y administración de inventarios.
- Distribución física (recepción, transporte y aduana, tratamiento de los pedidos).

Estas actividades son interdependientes. Un retardo al nivel de la entrega de materias primas afectará el nivel de los inventarios, lo cual provocará tarde o temprano modificaciones en los planes de producción.

Localización, distribución física, manutención, acondicionamiento y empaquetado. Los tres factores que afectan en forma fundamental el sistema logístico de una empresa son las fuentes de abastecimiento, la red de distribución, el costo y el modo de transporte. El estudio de localización de un sistema logístico tiene por objeto reducir el costo de transporte de materias primas y de los productos terminados. La localización de la fábrica y de los almacenes debe analizarse teniendo en cuenta las redes de abastecimiento y distribución, puesto que estos son los vínculos de una empresa con sus fuentes de vida.

### 3.4.2 Stocks

Para que el funcionamiento de las empresas sea eficiente es necesario realizar una gestión adecuada de los productos adquiridos. Esta labor se denomina gestión de stocks.

En el término stock se incluye una gran diversidad de productos que se pueden agrupar en diferentes conceptos, determinando lo que se conoce como composición de los stocks, que se señala en el siguiente cuadro:

**Tabla 4 – Tipos de Stocks.**

Composición de los stocks	
Denominación	Descripción
Materias primas	Mercancías no procesadas que sirven para la fabricación y que se encuentran en el almacén a la espera de ser empleadas en el proceso de producción.
Productos en curso	Productos que se encuentran a la espera de ser integrados en la siguiente fase de un proceso de fabricación; aquellos que no se destinan a la venta mientras no se completa su fabricación.
Productos terminados	Existencias en los almacenes a la espera de ser vendidas.
Bienes de equipo	La maquinaria y los equipos empleados por la empresa para desarrollar el proceso de producción, así como todos sus componentes y recambios.
Materiales auxiliares	Productos necesarios para las actividades de producción, pero que no llegan a formar parte del producto final.
Productos defectuosos y obsoletos	Aquellos que tienen alguna tara de fabricación o se han quedado desfasados por permanecer mucho tiempo sin venderse.
Envases y embalajes	Todos aquellos elementos destinados a contener los productos, tanto en la comercialización como en el transporte y el almacenaje.
Residuos	Productos de desecho generados en las actividades de producción o consumo.

Fuente: (Lobato & Villagr a, 2010).

“Se denominan stock de una empresa las mercancías que se encuentran en ella, acumuladas en un lugar determinado, en tránsito o inmersas en el proceso de producción, y cuyo objetivo es su aplicación empresarial en procesos industriales o comerciales.” (Lobato & Villagr a, 2010, p. 43)

### **3.4.3 Logística (Industria 4.0)**

Como menciona Tundidor Díaz, Hern andez Ramos, & Peña Andr es, (2018): “La era del desarrollo tecnológico exponencial lleva aparejada la “revolución industrial 4.0”, y genera las denominadas tecnologías disruptivas, que provocan cambios útiles en la gestión de la cadena de suministro” (p. 18).

**Tecnologías disruptivas**, son aquellas que desplazan a las tecnologías ya existentes y producen cambios bruscos (disrupciones) en la industria o en la sociedad.

Por otro lado, la cadena de suministro actúa como centro neurálgico e integrador de dichas tecnologías disruptivas, como son las formas de inteligencia artificial y la realidad aumentada.

La Industria 4.0 es la completa digitalización de las cadenas de valor a través de la integración de tecnologías de procesamiento de datos, software inteligente y sensores; desde los proveedores hasta los clientes, para así poder predecir, controlar, planear, y producir, de forma inteligente, lo que genera mayor valor a toda la cadena.

El sistema de la Industria 4.0 es capaz de generar un flujo regular de información, muy superior al que podría disponerse si se usaran esquemas, estrategias logísticas, y modos de producción más tradicionales.

Además, estas informaciones pueden ser intercambiadas muy rápidamente, tanto internamente (por comunicación directa o a través de una Intranet) como



externamente (por comunicación a través de Internet), lo que abre interesantes posibilidades con los actores logísticos externos al propio lugar o emplazamiento de la producción, en el sentido que fácilmente podría permitir adaptaciones a situaciones cambiantes, tanto a nivel interno de la planta industrial o cadena de producción, como a nivel general.

La Industria 4.0 también pretende responder a las problemáticas actuales tanto en cuanto al ahorro de energía como en cuanto a la gestión de recursos naturales y humanos. Con un sistema organizado sobre la base de una red de comunicaciones y de intercambio instantáneo y permanente de información, se estará mucho mejor preparado para hacer que esta gestión sea mejor y mucho más eficaz, en correspondencia con las necesidades y disponibilidades de cada elemento del sistema, permitiendo mejoras y ganancias para la productividad, así como en la economía de los recursos.

#### **3.4.3.1 El Vehículo Autónomo**

El vehículo autónomo representa la solución de menor coste, tanto de funcionamiento como de implantación: un ejército de pequeños robots-caja que vayan directamente del almacén al portal de cada uno, organizando su viaje para no interferir con ninguna otra entrega.

También para el transporte de grandes cargas los vehículos autónomos se presentan como una buena alternativa, ya que permitirán la reducción de costes y el aumento de la eficacia en la mayoría de los casos. La causa es que convertir el vehículo autónomo en una realidad fiable es una cuestión de gran dificultad, ya que supone lograr que las máquinas puedan desenvolverse sin errores en contextos que implican problemas tan complejos y amplios que es complicado deducir si la solución que aportan es la mejor, e incluso se llega a escenarios en los que un mismo resultado

no es replicable aun con condiciones idénticas, dada la enorme cantidad de variables puestas en juego.

## **IV. METODOLOGÍA**

“Cuando hablamos de metodología estamos refiriéndonos al estudio y análisis de los diversos métodos susceptibles de ser utilizados en la investigación científica, para poder tener en cuenta desde el principio cuáles son las consecuencias de utilizar uno u otro método” (Ackerman & Com, 2013).

### **4.1 Variables de Investigación**

“Conociendo el campo científico o tecnológico y las variables que intervienen, es usualmente fácil determinar los datos necesarios para atacar el problema” (Cegarra Sánchez, 2004).

#### **4.1.1 Variables Dependientes**

Esta investigación consta de dos variables dependientes: la fuerza de sujeción del paquete y la cantidad de desplazamientos.

#### **4.1.2 Variables Independientes**

Las variables que afectan la fuerza de sujeción del paquete son:

- Torque aplicado al mecanismo
- Compresión del resorte
- Coeficiente de elasticidad del resorte
- Coeficiente de fricción entre superficies

Las variables que afectan la cantidad de desplazamientos son:

- Tipo de llantas.
- Tipo de Motor.
- Cantidad de Motores.

## 4.2 Enfoque y Métodos

Hernández Sampieri (2014) Afirma: "La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales" (p. 532).

Durante la planeación y realización del proyecto se utilizó el método mixto, contando con características de ambos enfoques:

- **Enfoque cualitativo:** Comenzamos examinando los hechos en sí para durante el proceso desarrollar una teoría coherente y de esta manera llegar a un diseño funcional del prototipo. Utilizamos técnicas como la observación no estructurada, la revisión de documentos y la discusión en grupo para llegar a un consenso sobre el rumbo de la investigación y desarrollo.
- **Enfoque cuantitativo:** El desarrollo de los subsistemas se dio de manera secuencial, para ello utilizamos la recolección de datos con base en la medición de magnitudes con el fin de determinar los rangos de operación óptimos de los sistemas.

### 4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados

A continuación, se detallan los instrumentos y técnicas aplicadas durante el desarrollo del proyecto.

#### 4.3.1 Técnicas Aplicadas

- **Identificación del problema:** Mediante las preguntas de investigación y la determinación de tanto el objetivo general como los objetivos específicos se identificaron los problemas a solucionar.
- **Propuesta de solución:** Valiéndonos de la investigación en literaturas tanto como en internet nos empapamos de contenido para poder formular una propuesta de solución a los múltiples problemas planteados y su integración.
- **Validación de soluciones y replanteamiento:** Por medio del análisis exhaustivo de las soluciones planteadas y discusión de las mismas se identificaron posibles problemas de diferentes índoles como ser técnico, mecánico, logístico y económico, se procedió a formular una solución alterna con las anteriores consideraciones y se sometió al mismo proceso.
- **Cotización y compra de materiales:** Se procedió a elaborar una lista de los componentes necesarios para la construcción de este proyecto identificando los que se podían adquirir localmente como los que requerían de importación, esto con fines logísticos y de cumplir con los plazos de tiempo para la construcción del mismo. Se realizó una cotización de estas listas para posteriormente ejecutar una orden de compra.
- **División del proyecto en subsistemas:** Para facilitar la realización del proyecto de forma más organizada y metódica se dividió en subsistemas para poder ser trabajados de forma individual, de esa manera poder analizar fallos de manera aislada y dar solución a estos rápidamente.

- **Fabricación:** Se utilizaron múltiples técnicas para la elaboración de los subsistemas como son: diseño CAD, maquinado de piezas, impresión 3D.
- **Pruebas:** Mediante pruebas individuales de los subsistemas que componen el prototipo se validó su correcto funcionamiento y se corrigieron fallas.
- **Integración de subsistemas:** Teniendo validados los subsistemas se procedió a la integración tanto mecánica como electrónica y de control.
- **Validación:** Se realizaron pruebas de campo par asegurar el correcto funcionamiento del prototipo, realizar ajustes y cumplimiento de los objetivos.

#### 4.3.2 Instrumentos Aplicados

- **Máquinas y herramientas:** Se utilizó en gran medida para la elaboración en aluminio tanto de estructura como acoples. Para esto nos valimos de fresadoras verticales y tornos. Además de herramientas como machuelos para fabricar roscas internas.
- **Computadora:** En esta crucial herramienta se elaboraron los diseños y simulaciones mecánicas tanto como el diseño de los circuitos electrónicos y programación.
- **Impresora 3d:** Con ella se elaboraron gran cantidad de piezas estructurales y soportes de sensores.
- **Multímetro:** Esta herramienta se utilizó para medir variables de interés como ser voltaje, corriente y frecuencia, además fue de utilidad el modo de continuidad durante la inspección de los circuitos impresos.
- **Osciloscopio:** Se utilizo para medir y observar distintas señales utilizadas en el sistema, por ejemplo, la frecuencia del pulso transmitida al pin de STEP de los controladores de los motores a pasos.

#### 4.4 Materiales

Para la elaboración de este proyecto se utilizaron una gran variedad de materiales entre los que se encuentran:

- Aluminio.
- Filamento plástico para impresora 3D.
- Jumpers.
- Componentes electrónicos.
- Microcontroladores.
- Sensores.
- Motores.
- Bandas de tiempo.
- Poleas.
- Tornillos, tuercas.
- Ejes.
- Rodamientos.

#### 4.5 Cronograma de Actividades

Tabla 5 – Cronograma.

Actividades	SEMANAS									
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V	L M M J V
Identificación y Análisis del Problema	■	■	■							
Diseño Mecánico		■	■	■	■					
Diseño Electrónico			■	■	■	■				
Selección de Componentes				■						
Compra de Materiales y Componentes					■	■				
Fabricación de Estructura de Aluminio			■	■	■	■	■	■	■	■
Impresión de Piezas en 3D				■	■	■	■	■	■	■
Ensamble de Subsistemas						■	■	■	■	■
Fabricación de Placas Electrónicas				■	■	■				
Prueba de Placas Electrónicas						■	■			
Prueba de Subsistemas								■	■	■
Programación de Microcontroladores							■	■	■	■
Integración de Subsistemas en el Prototipo									■	■
Pruebas y Ajustes de Parametros										■

Fuente: Elaboración Propia.

## **V. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

El presente capítulo contiene el análisis y resultados obtenidos del proyecto.

### **5.1 Diseño Estructural y Mecánico**

#### **5.1.1 Competencias**

El diseño del robot tanto de su parte mecánica como electrónica y lógica se centró en dar solución a una serie de competencias propuestas:

- Tener un amplio rango de desplazamientos.
- Contar con un mecanismo para sujetar y apilar paquetes.
- Poseer comportamiento asistido.
- Detección de paquetes.
- Detección de obstáculos.
- Detección de líneas guías en el suelo.
- Poder ser tele operado y contar con un comportamiento asistido.

#### **5.1.2 Diseño Estructural**

##### **5.1.2.1 Materiales**

En el diseño de la estructura principal predominaron dos tipos de materiales:

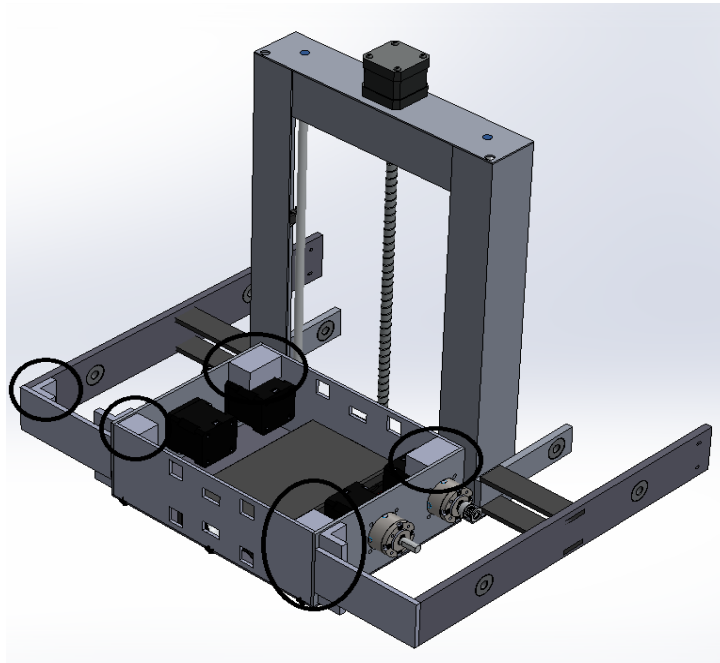
- Aluminio por sus propiedades mecánicas y bajo peso.
- Plástico tipo (PLA) por la facilidad de la manufactura de piezas complejas en impresoras 3D.



### 5.1.2.2 Estructura principal

El diseño de la estructura principal se basó en una caja formada por 5 laminas de Duraluminio siendo cuatro de sus lados y una su base.

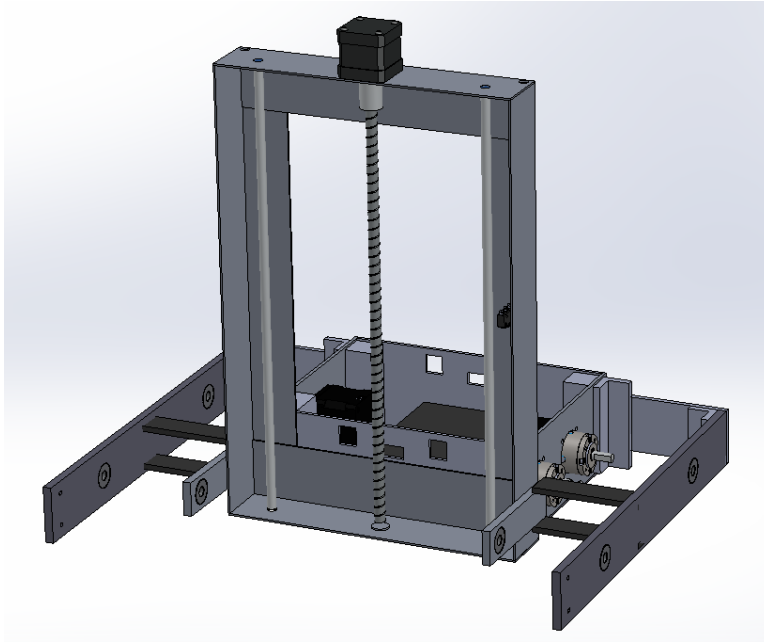
Una de las finalidades del diseño fue poder ser desarmable por lo que se optó como medio de sujeción para el conformado de la denominada caja principal prismas cuadrangulares de aluminio como los mostrados en la ilustración 8 para unir las aristas mediante tornillos en los laterales de las laminas roscando con los prismas.



**Ilustración 8 - Estructura principal de robot prototipo.**

Fuente: Elaboración propia.

El diseño de esta estructura se basó principalmente en la elaboración de un marco constituido por cuatro ángulos unidos por sus extremos como se puede apreciar en la ilustración 9. Esta subestructura estaría unida a la estructura principal mediante una serie de tornillos y tuercas en su parte inferior.

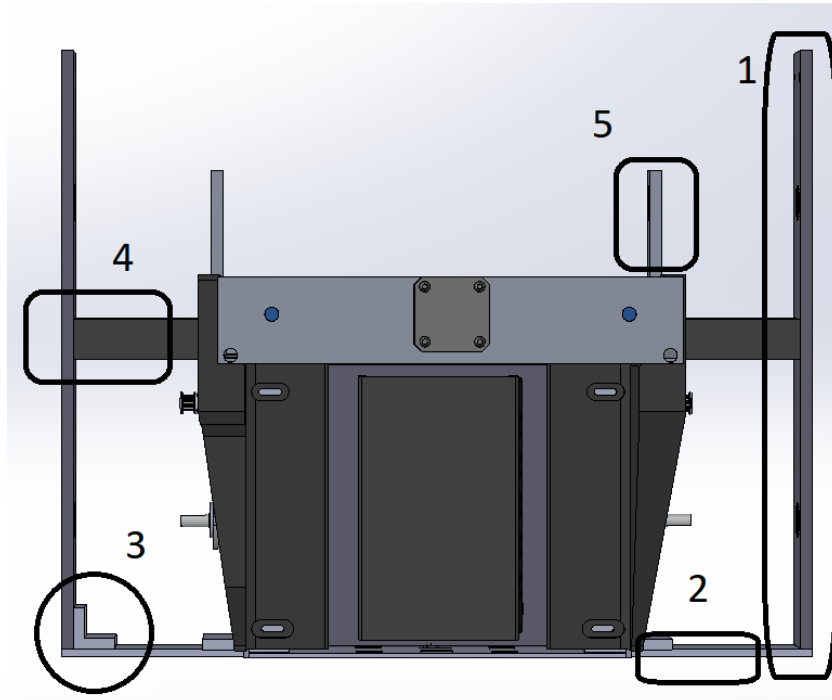


**Ilustración 9 - Estructura mecanismo elevador, vista isometrica.**

Fuente: Elaboración propia.

#### **5.1.2.2.1 Componentes de la estructura**

1. Platinas laterales: Cumplen con la función de dar soporte a los rodamientos de las llantas tanto como servir de protección y montaje para múltiples sensores.
2. Platinas traseras: Desempeñan la tarea estructural de unir la caja principal con las platinas laterales.
3. Angulos de union: Sirven como medio de sujeción entre las platinas traseras y las laterales por medio de tornillos.
4. Soporte estructural: Une los angulos laterales de la estructura del puente elevador con las platinas laterales esto da rigidez a la armazón.
5. Platina de soporte para rodamiento de llantas delanteras: Estas salientes tienen la función de soportar el eje de rodamiento de las llantas delanteras.



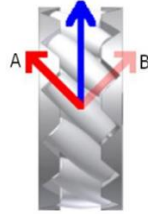
**Ilustración 10 - Componentes del mecanismo elevador, vista superior.**

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2.3 Desplazamientos

Para obtener un amplio rango en el desplazamiento del robot prototipo optamos por incluir en el diseño un tipo especial de llantas omnidireccionales llamadas Mecanum que al ser controladas de manera individual se puede obtener un desplazamiento en cualquier dirección. Es una rueda convencional con una serie de rodillos unidos a su circunferencia. Estos rodillos tienen cada uno un eje de rotación a  $45^\circ$  con respecto al plano de la rueda.

Debido a la disposición de los rodillos en la rueda principal, la fuerza emitida sobre la rueda, en la dirección de ésta, produce una fuerza sobre la superficie que se descompone en dos vectores de fuerza como se puede apreciar en la ilustración 11: uno perpendicular al eje del rodillo y el segundo paralelo al eje del rodillo

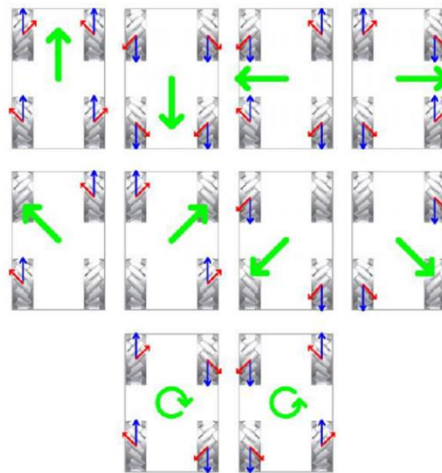


**Ilustración 11 - Vectores de la rueda Mecanum.**

Fuente: (Woods, 2006).

A partir de la descomposición de la fuerza en las componentes A y B en la figura, se observa que solamente la componente A brinda un momento al robot ya que la componente B brinda únicamente un momento al rodillo produciendo su rotación. Esto concluye en que el momento que esta rueda brinda al vehículo posee una dirección con un ángulo respecto de la rueda.

Controlando individualmente la rotación de cada una de las ruedas, mediante la combinación lineal de las fuerzas resultantes, se puede obtener cualquier dirección de desplazamiento de forma instantánea como se muestra en el siguiente diagrama.



**Ilustración 12 - Desplazamientos de las ruedas Mecanum.**

Fuente: (Woods, 2006).

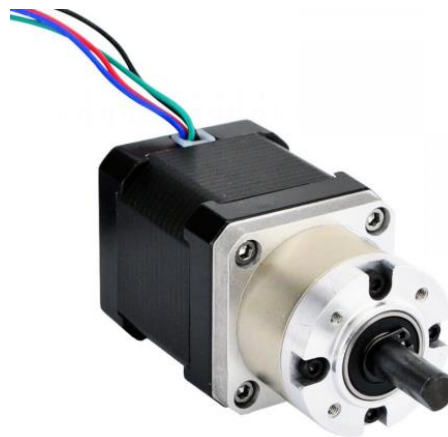
El esquema anterior muestra los movimientos posibles del robot mediante el control individual de las llantas

#### 5.1.2.3.1 Indicaciones

- Flecha azul: sentido de rotación de la llanta
- Flecha roja: componente resultante de la interrelación de los rodillos a 45 ° con el suelo
- Flecha verde: Resultante de la sumatoria de las componentes producidas por las cuatro llantas

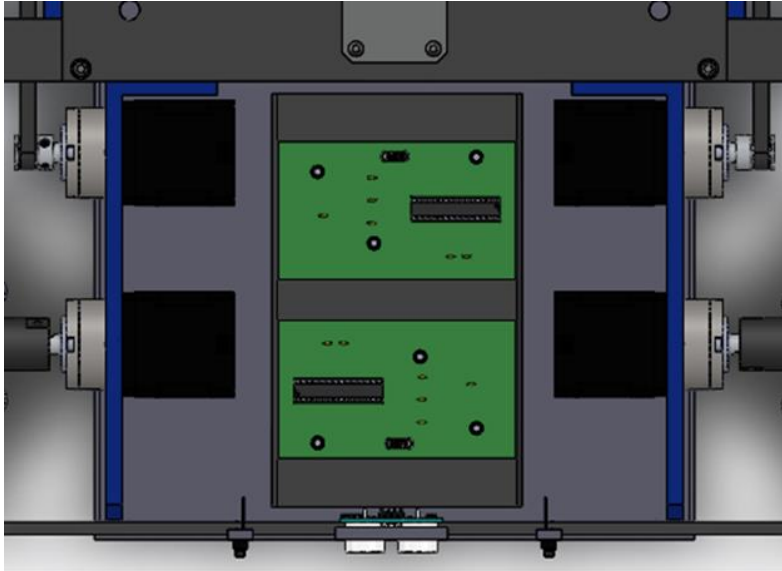
#### 5.1.2.4 Motores

El diseño del robot prototipo cuenta con 6 motores a pasos NEMA 17. En este caso 4 Nema 17 de 1.68 amperios como los mostrados en la ilustración 13, destinados para dar movimiento a las llantas tipo Mecanum los cuales tienen integrado un engranaje reductor planetario de 5:1 para de esta forma obtener un mayor par de torsión y un movimiento más suave.



**Ilustración 13 - Motor a paso Nema 17 con reductor 5:1.**

Fuente: Sitio web oficial de STEPPERONLINE.



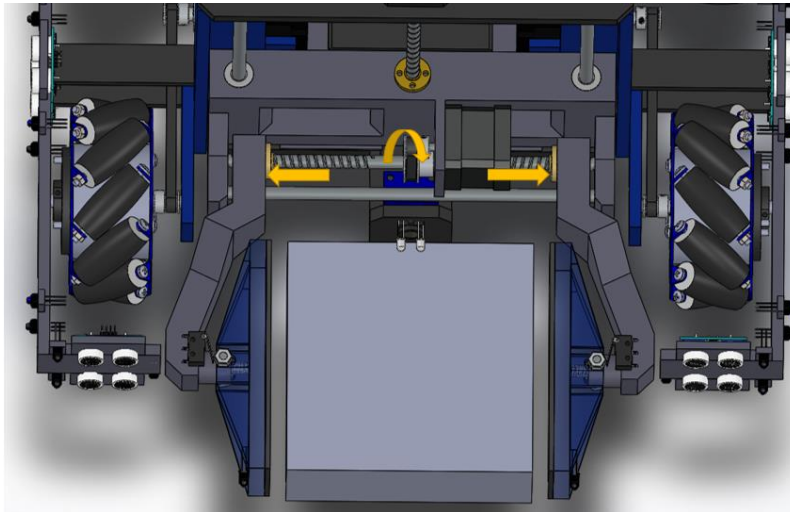
**Ilustración 14 - Disposición de los motores en la estructura principal.**

Fuente: Elaboración propia.

### **5.1.3 Mecanismo de Sujeción**

#### **5.1.3.1 Desplazamiento**

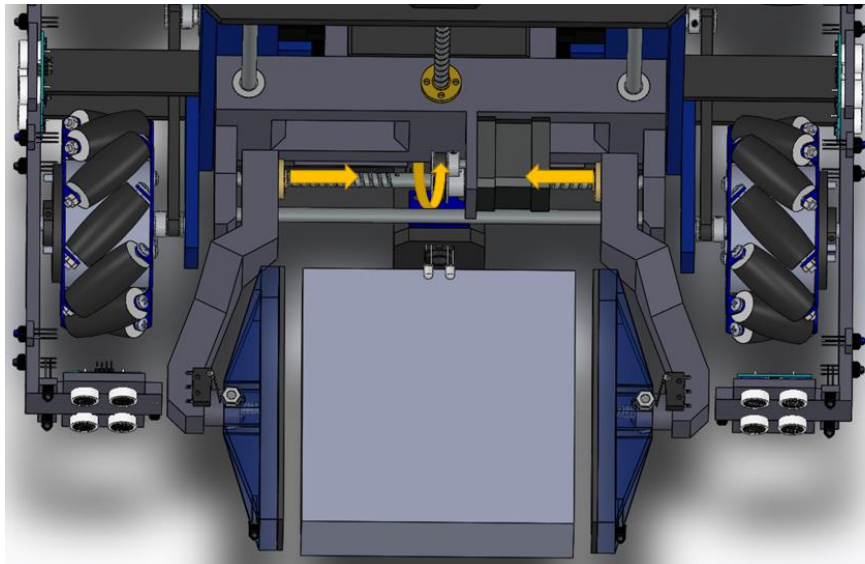
El desplazamiento de este mecanismo se logra mediante la transmisión de giro de un motor acoplado mediante poleas y bandas a un eje que en uno de sus extremos posee un tornillo de rosca derecha y en el otro de rosca izquierda, los sujetadores se acoplan a este tornillo mediante tuercas y guiados por un eje generan un movimiento lineal horizontal en direcciones opuestas.



**Ilustración 15 - Apertura de mecanismo sujetador.**

Fuente: Elaboración propia.

El cierre y apertura del mecanismo se controlan mediante la inversión de giro del motor a paso como se aprecia en la ilustración 15 y 16.



**Ilustración 16 - Cierre de mecanismo sujetador.**

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3.2 Motor

Para el mecanismo de sujeción optamos por un motor nema 17 de 2.1 Amperios mostrado en la ilustración 17, siendo la magnitud de corriente directamente proporcional al par de torsión del motor obteniendo un torque de 92oz.in siendo transmitido este torque mediante una banda de tiempo y poleas al mecanismo de sujeción al que esta acoplado de esta manera obteniendo una mayor fuerza de sujeción.

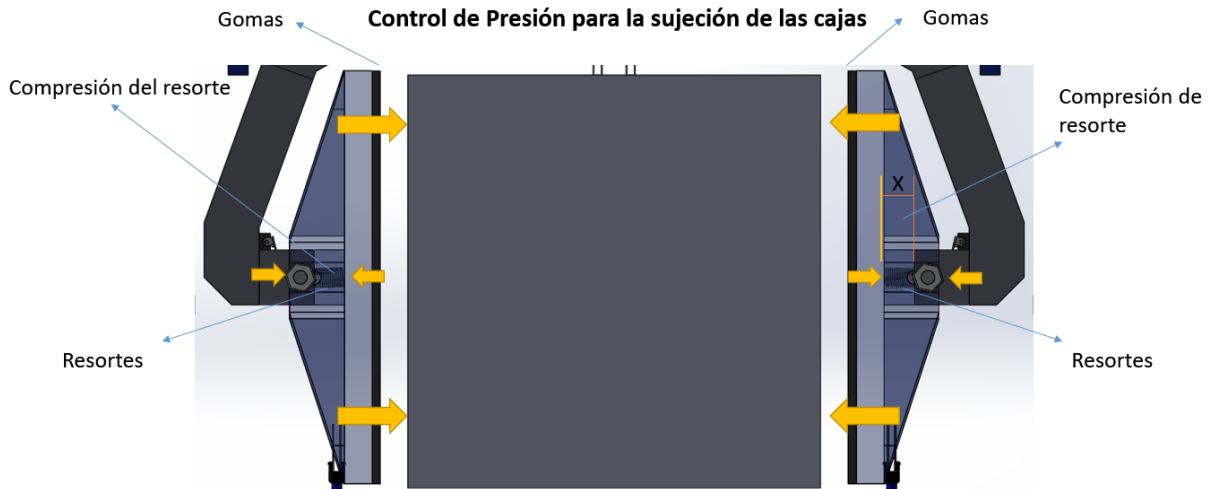


**Ilustración 17 - Motor a paso Nema 17.**

Fuente: Sitio web oficial de STEPPERONLINE.



### 5.1.3.3 Control de Presión



**Ilustración 1818 - Control de presión de mecanismo de sujeción en robot prototipo.**

Fuente: Elaboración propia.

La sujeción de las cajas se logra mediante aplicación de fuerzas iguales y contrarias que mediante las gomas de contacto con alto coeficiente de fricción logran un agarre firme de la caja, este sistema cuenta con un mecanismo de control de la fuerza aplicada a la caja por motivos de seguridad y estándares de calidad en la industria para no dañar el producto.

Se puede obtener la fuerza aplicada a las cajas mediante el conocimiento del coeficiente ( $k$ ) del resorte y controlando su compresión mediante el mecanismo sujetador al hacer contacto con la caja obtenemos el ( $\Delta x$ ) es decir el cambio en la longitud del resorte con esto dos datos nos apoyamos de la fórmula que gobierna el comportamiento de los resortes que nos dice que la fuerza de reacción ejercida por un resorte es directamente proporcional a su coeficiente y al cambio en su longitud.

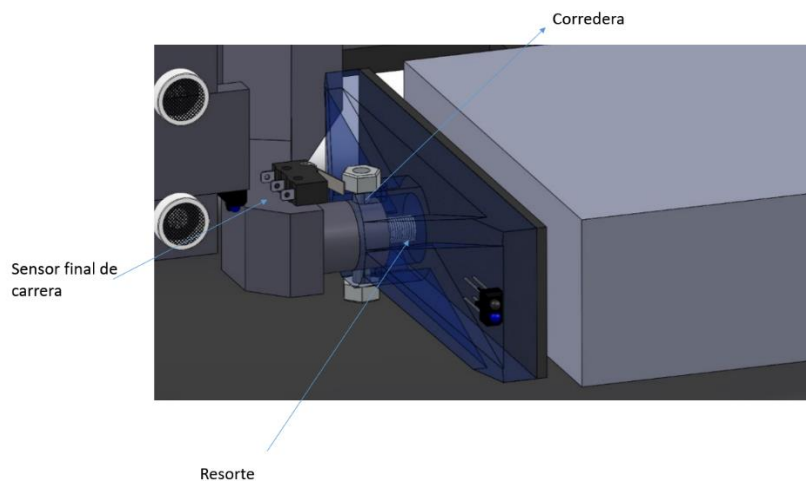
$$F_R = kx$$

### Ecuación 1 – Fuerza del Resorte

Fuente: Barrientos, A., Peñín, L. F., & Balaguer, C. (2007)

Ya conociendo esta fuerza nos podemos valer de una aplicación de las leyes de Newton para calcular la fuerza que tendremos en la sujeción de la caja mediante el cálculo de la fuerza de fricción que es la fuerza que se opone a cualquier movimiento de la caja ya sujeta.

La fuerza de fricción es directamente proporcional a el coeficiente de fricción entre los materiales y su fuerza normal, con el cálculo de la fuerza aplicada por el resorte ya tenemos conocimiento de la fuerza normal aplicada por lo que conociendo el coeficiente de fricción entre superficies contamos con todos los datos necesarios para conocer la fuerza con la que se sujetaran las cajas.



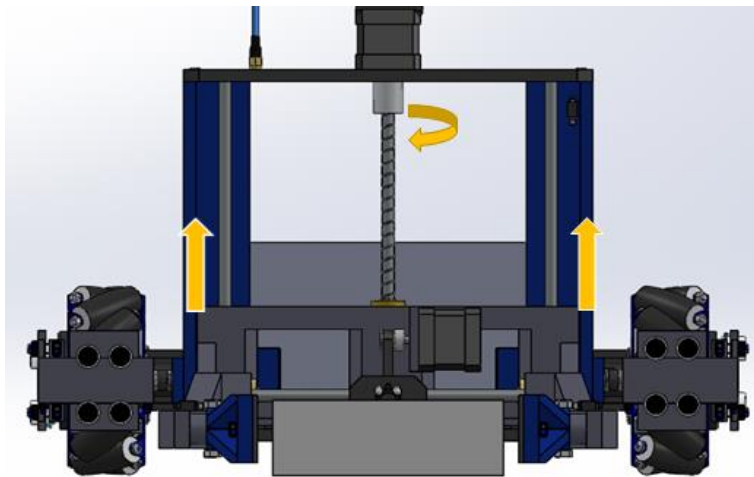
### Ilustración 19 - Control de presión de sistema de sujeción.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño de este mecanismo incluye una corredera que se desplaza conforme el resorte se comprime, al llegar este a su máxima compresión deseada activa un sensor de limite que nos indica cuando cesar la compresión como se puede apreciar en la ilustración 19.

#### **5.1.4 Mecanismo de Elevación**

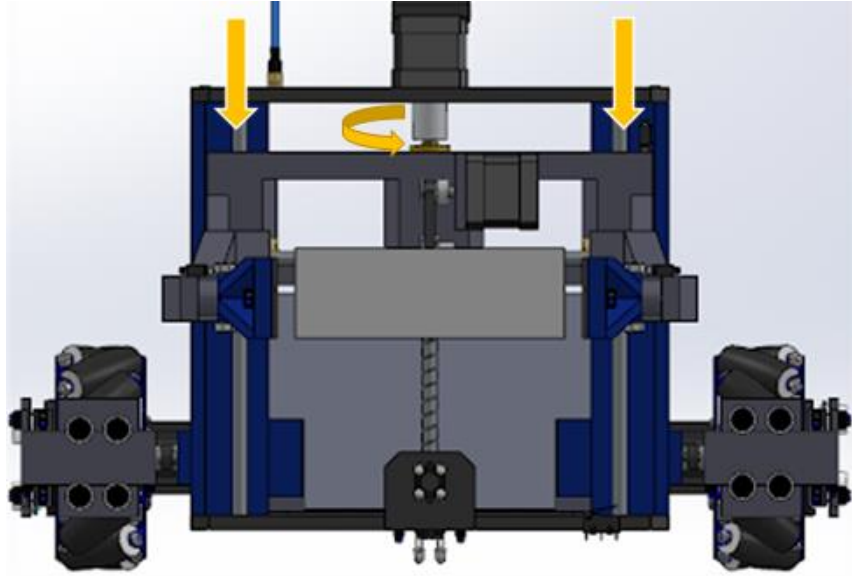
##### **5.1.4.1 Desplazamiento**



**Ilustración 20 - Mecanismo de elevación en robot prototipo.**

Fuente: Elaboración propia.

Este mecanismo consiste en un actuador lineal que transforma el giro de un motor en desplazamiento lineal en este caso vertical mediante una varilla roscada que se acopla a una tuerca fija al mecanismo de sujeción con unas correderas en la estructura móvil para lograr este desplazamiento sobre los ejes guías el cual se muestra en la ilustración 20.



**Ilustración 21 - Mecanismo de elevación, vista 2.**

Fuente: Elaboración propia.

El control de la dirección del desplazamiento vertical se logra mediante la inversión de giro del motor acoplado al tornillo como se aprecia en la ilustración 21.

#### **5.1.4.2 Motor**

Para el mecanismo de elevación de las cajas se consideró un motor nema 17 de 1.68 amperios acoplado a una varilla roscada los que nos permite realizar desplazamientos verticales lineales del mecanismo de sujeción de cajas.

### 5.1.5 Control Remoto



**Ilustración 22 - Diseño CAD del control remoto.**

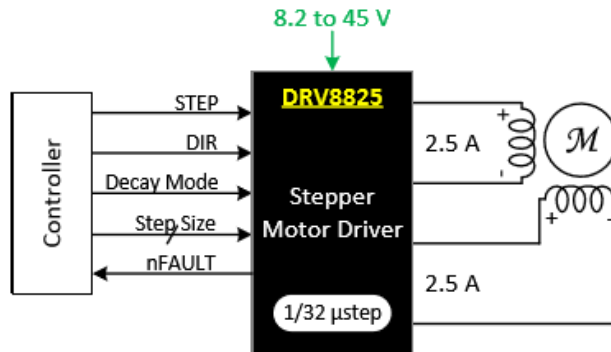
Fuente: Elaboración propia.

Para la comunicación a distancia con el robot optamos por utilizar un mando de consola PlayStation 2 al cual se le diseñó una estructura plástica para poder acoplar:

- Pantalla LCD de 4X20.
- Placa electrónica.
- Batería de 9v.
- Módulo de comunicación por radiofrecuencia.

## 5.2 Diseño Electrónico

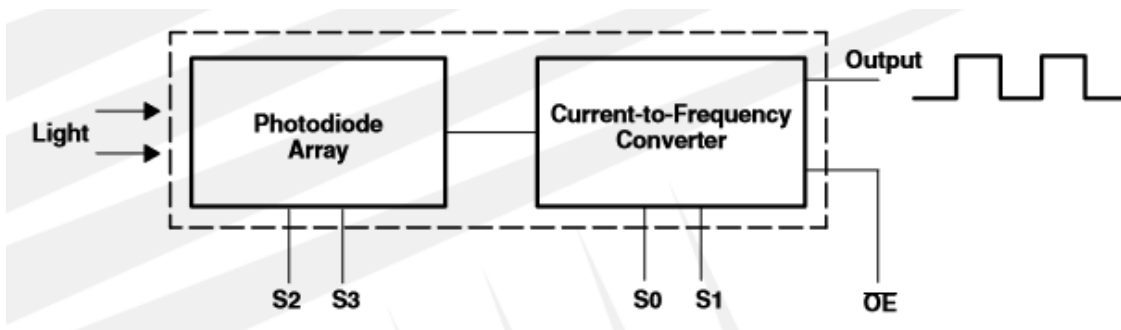
### 5.2.1 Señales de Entrada y Salida



**Ilustración 23 – Diagrama del Stepper Motor Driver DRV8825.**

Fuente: Página web oficial de Texas Instruments.

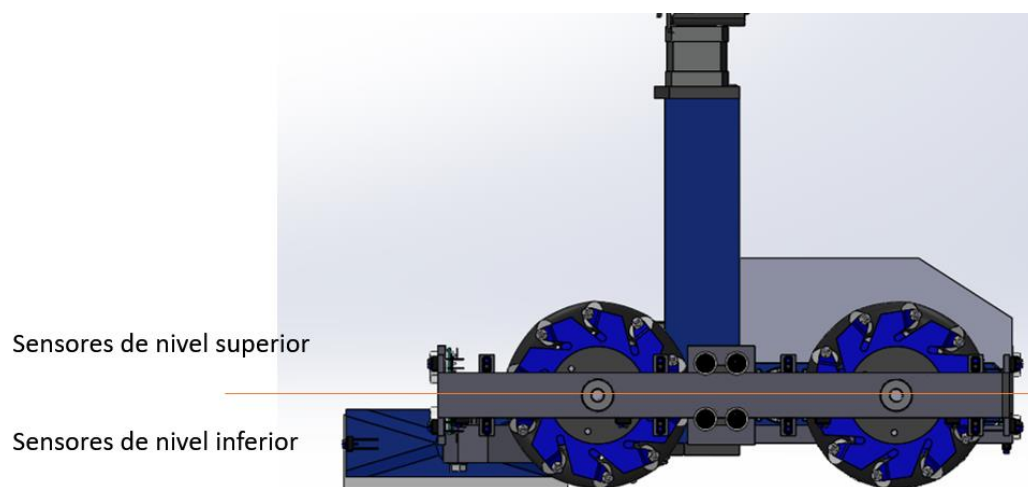
Para los motores a paso se utilizó el controlador drv8825 de Texas Instruments cuyo diagrama se muestra en la ilustración 23, para el cual se requiere: 1 salida con un pulso mínimo de 2  $\mu$ s con frecuencia variable para controlar la velocidad a la que gira el motor, 1 salida digital para controlar la dirección del motor y 1 salida digital para habilitar o deshabilitar el motor. Tomando en cuenta que se utilizaron 6 motores a pasos, en total se requieren 18 salidas digitales para controlar todos los motores.



**Ilustración 24 – Diagrama simplificado del circuito integrado TCS3210.**

Fuente: Página web oficial de TAOS.

La detección de color se efectuó mediante el uso del circuito integrado TCS3210 de la compañía TAOS (Texas Advanced Optoelectronic Solutions), el cual es un conversor de intensidad de luz a frecuencia cuyo diagrama simplificado podemos observar en la ilustración 24. La salida del sensor es una onda cuadrada con frecuencia directamente proporcional a la intensidad de luz. Cuenta con un arreglo de fotodiodos con filtros para diferentes colores: rojo, azul, verde y claro (sin filtro). El tipo de fotodiodo asignado a la salida del sensor se selecciona mediante dos señales digitales. Ya que se requieren dos sensores de color se necesitan 2 entradas y 4 salidas digitales.



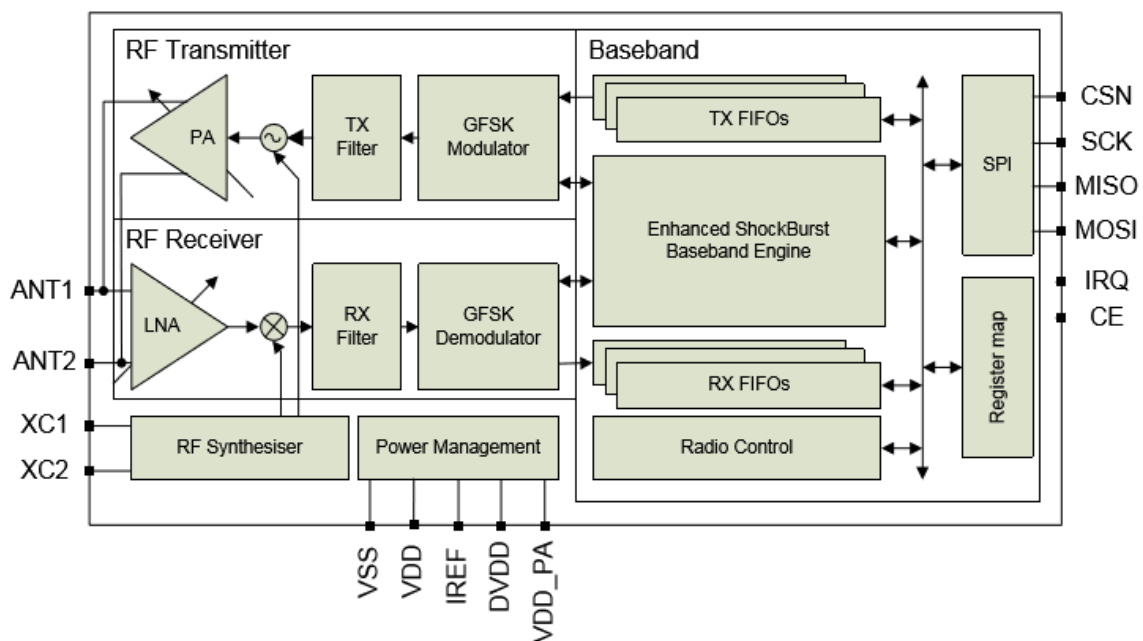
**Ilustración 25 - Indicación de los sensores en el robot.**

Fuente: Elaboración propia.

Los sensores infrarrojos constan de un comparador que compara el voltaje de colector de un fototransistor con un voltaje de referencia ajustable mediante un potenciómetro. Cuando la luz de un LED infrarrojo incide sobre el fototransistor, el voltaje de colector de este va disminuyendo y al disminuir por debajo del voltaje de referencia, la salida del comparador se convierte en un 0 lógico. Se utilizó esta salida

digital del sensor. Debido a la necesidad de detectar objetos en distintas áreas del robot se requieren un total de 50 entradas digitales.

Cada sensor ultrasónico requiere de dos señales. Un pulso de 10us en TRIG, una salida digital, activa 8 pulsos ultrasónicos en la bocina emisora. Luego el tiempo que se tarda en regresar los pulsos ultrasónicos se miden en el ancho de pulso en ECHO, una entrada digital.



**Ilustración 26 – Diagrama simplificado del circuito integrado nRF24L01+.**

Fuente: Página oficial de Nordic Semiconductor.

Para la comunicación inalámbrica se utilizó el circuito integrado nRF24L01+ de la compañía Nordic Semiconductor cuyo diagrama podemos observar en la ilustración 26. Este es un transceptor que funciona en el ancho de banda de 2.4 GHz. Sus características más destacadas son:

- Frecuencia operacional entre 2400 y 2525 MHz.



- Velocidad de transmisión de datos seleccionable: 250,1000 y 2000 kbps.
- Cuatro modos de operación: Bajo Consumo, Standby, Receptor y Transmisor.
- Control de amplificador de potencia (sin amplificador externo): -18dBm, -12dBm, -6dBm, 0dBm.
- Formato de paquete ShockBurst que consta de un preámbulo, una dirección, la carga y verificación de redundancia cíclica.
- Interfaz de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) con velocidad de 0 a 10 Mbps con comandos de 8 bits.

Este chip requiere como mínimo de 4 salidas digitales y 1 entrada digital.

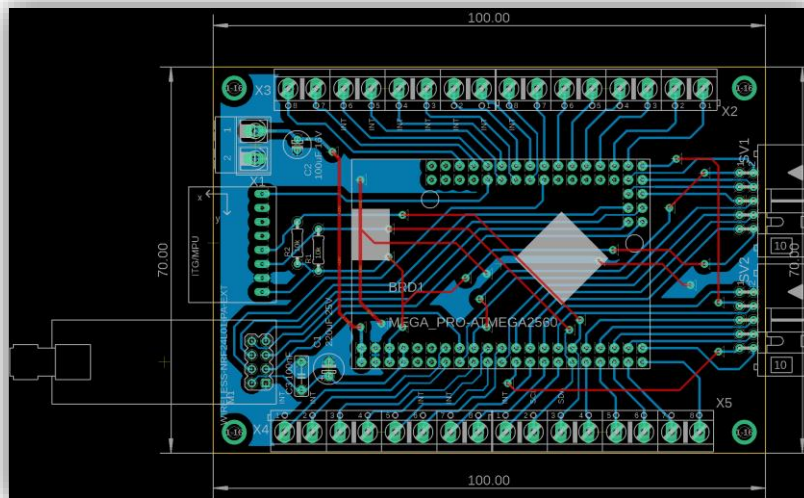
Como entrada para el control remoto se utilizó un mando de PS2. Este mando cuenta con 2 joysticks y 17 botones. La interfaz con este control consta de 4 señales como mínimo. 3 salidas digitales y 1 entrada digital. La interfaz de este control es similar a la de SPI, con una señal para transmitir datos, otra para recibir datos, una señal de atención y una señal de reloj.

La pantalla LCD de 4x20 contiene un controlador que requiere 6 señales como mínimo para comunicarse, estas señales están conectadas a un expansor, pcf8574, el cual posee una interfaz de comunicación por I2C (Inter Integrated Circuit). Este protocolo de comunicación solo requiere de dos señales: una para datos y otra para sincronización. Esto nos permite tener una interfaz utilizando 2 señales digitales para controlar la pantalla LCD.

## 5.2.2 Placas Electrónicas

### 5.2.2.1 Placas del Robot

Debido a la cantidad de señales a manejar, se decidió utilizar tres microcontroladores. Un microcontrolador principal, ATmega2560, un microcontrolador auxiliar, ATmega1284p y otro microcontrolador auxiliar, ATmega328p. Los microcontroladores auxiliares se comunican con el principal a través del protocolo I2C.

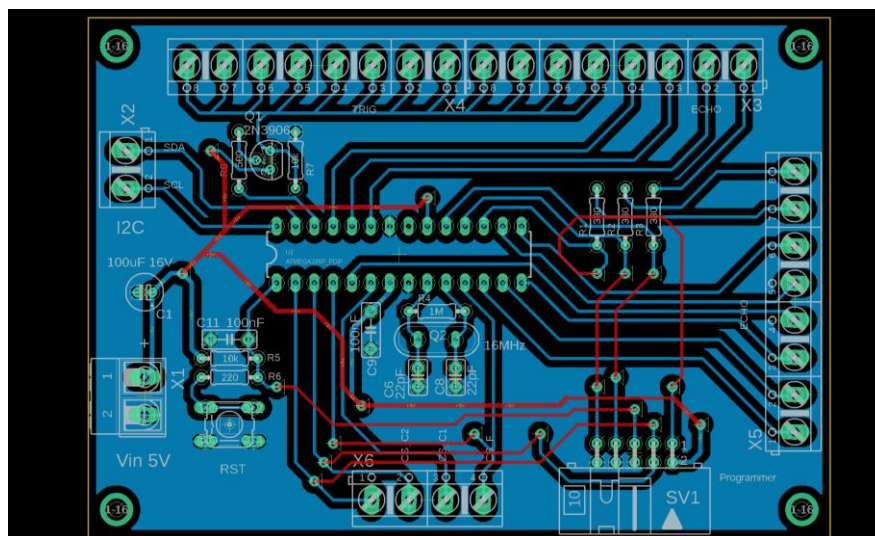


**Ilustración 27 - Placa Principal de robot prototipo.**

Fuente: Elaboración propia.

Esta placa principal la cual se muestra en la ilustración 27 contiene el microcontrolador ATmega2560, el cual se encarga del control de los motores a pasos, la comunicación por radiofrecuencia, la lectura del acelerómetro y la lectura de 30 sensores infrarrojos. Ya que utilizamos una placa prefabricada, Mega Pro Mini, que incluye el microcontrolador, el oscilador externo, reguladores de voltaje a 5V y 3.3V y el convertor de USB a TTL RS232 no fue necesario incluir estos elementos en el diseño del circuito impreso, no obstante, fue necesario crear el símbolo y el diseño para la ubicación correcta de los pines de la placa prefabricada. Los elementos que

pueden colocarse directamente sobre la placa esta conectados mediante las pistas de cobre. Para unir las señales a los controladores de los motores a pasos se utilizaron dos conectores Harting de 2x5 pines para conectar las 18 señales de control y 2 de alimentación. Para las conexiones con los sensores infrarrojos se consideró más factible usar borneras de 5mm para que las conexiones con los cables se mantengan lo más seguro posible. Las conexiones de alimentación y de I2C también se usaron con borneras.

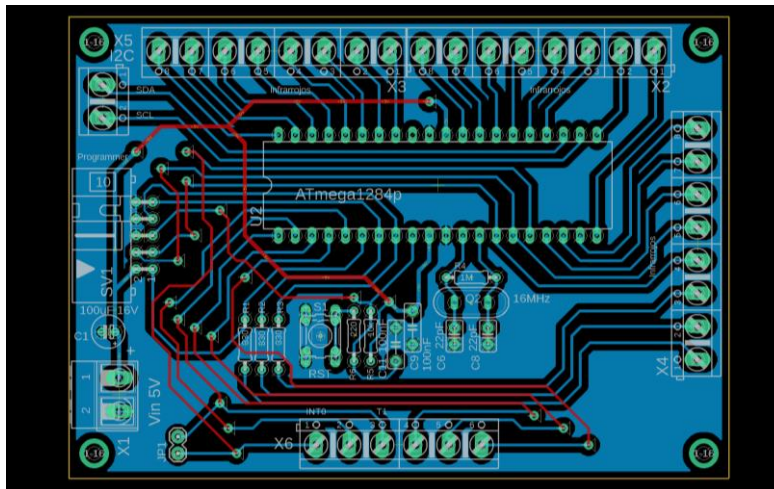


**Ilustración 28 - Placa Auxiliar 1 de robot prototipo.**

Fuente: Elaboración propia.

La placa auxiliar 1 mostrada en la ilustración 28 contiene un microcontrolador auxiliar, ATmega328p. Este se encarga de la lectura de los sensores ultrasónicos, un sensor de color y de transmitir los datos recolectados a la placa principal. Además del microcontrolador fue necesario incluir el oscilador externo, protección para el pin de RESET del microcontrolador.

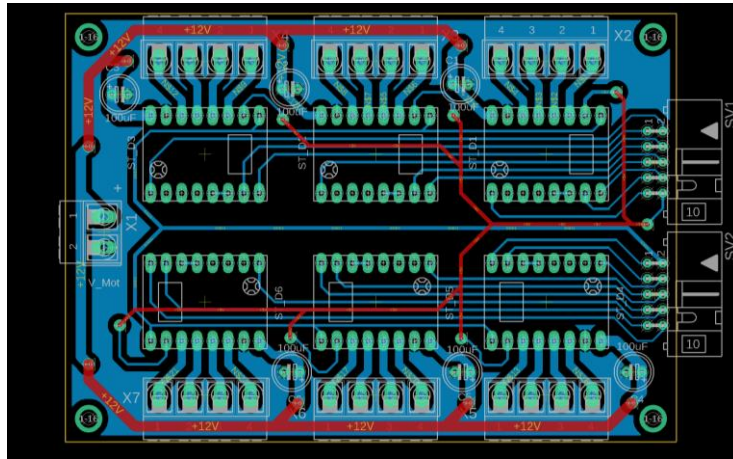
Para las conexiones de los sensores se utilizaron borneras, así como para la entrada de alimentación y la del protocolo I2C. Para cargar la programación al microcontrolador se utilizó un conector Harting de 2x5.



**Ilustración 29 - Placa Auxiliar 2 del robot prototipo.**

Fuente: Elaboración propia.

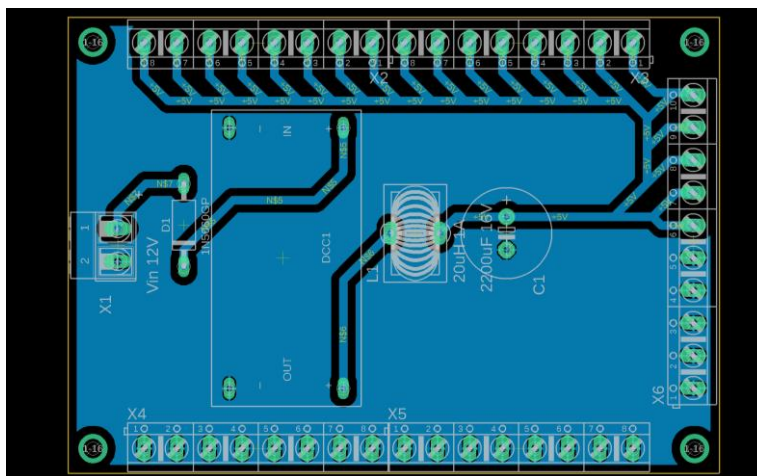
La placa auxiliar 2 mostrada en la ilustración 29 contiene el segundo microcontrolador auxiliar, ATmega1284p. Este se encarga de la lectura de los 8 sensores infrarrojos de cada costado y 8 de la parte trasera del robot, para un total de 24 sensores infrarrojos, además de un sensor de color. Al igual que la placa auxiliar 1, esta cuenta con borneras para las conexiones de los sensores, la alimentación y la conexión I2C, así como un conector Harting de 2x5 para cargar la programación al microcontrolador.



**Ilustración 30 - Placa controladora de Motores a Pasos.**

Fuente: Elaboración propia.

La placa mostrada en la ilustración 30 contiene los 6 controladores necesarios para los motores a pasos. Contiene borneras para la entrada de alimentación de los motores y para la conexión de las bobinas de cada motor. Cuenta con dos conectores Harting de 2x5 para la entrada de las señales.



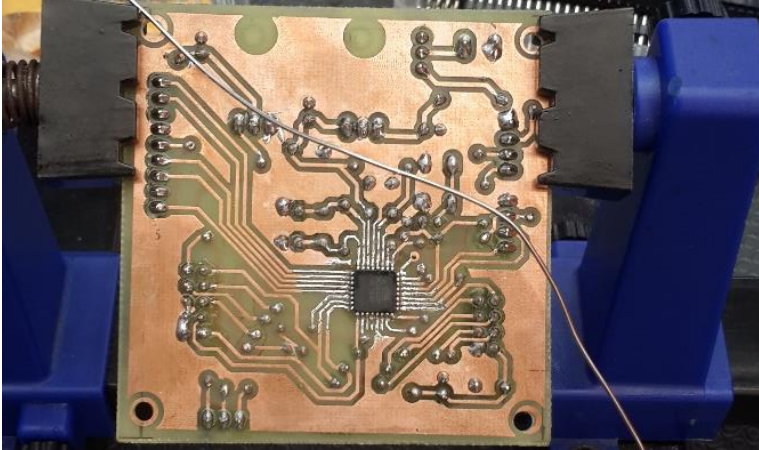
**Ilustración 31 - Placa de Regulación de Voltaje.**

Fuente: Elaboración propia.

La placa de regulación mostrada en la ilustración 31 contiene un regulador de voltaje conmutado, el cual nos permite reducir el voltaje de la batería a 5V, voltaje necesario

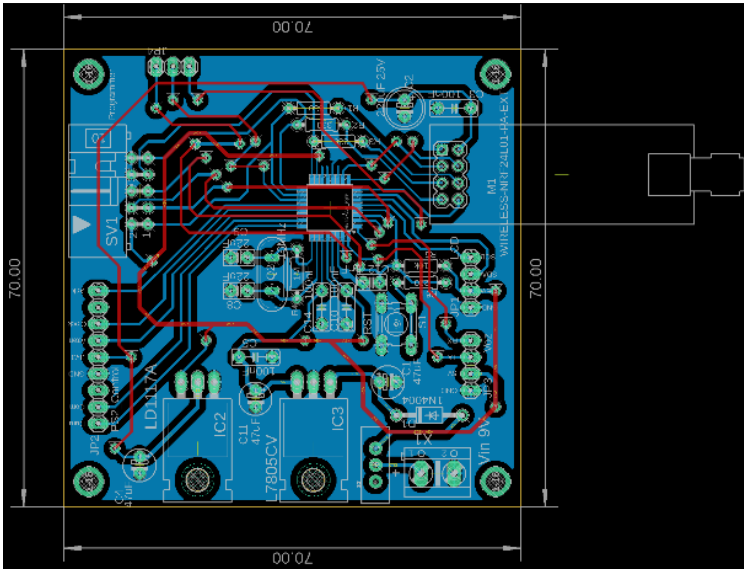
para la alimentación de los microcontroladores y los sensores. Contiene borneras de salida de 5V y GND para, además de regular, cumplir la función de distribución de alimentación.

### 5.2.2.2 Control Remoto



**Ilustración 32 – Placa del control remoto.**

Fuente: Elaboración propia.



**Ilustración 33 – Diseño de la placa del control remoto.**

Fuente: Elaboración propia.

Para el control remoto se utilizó el microcontrolador ATmega328p en encapsulado TQFP (Thin Quad Flat Package) como se aprecia en las ilustraciones 32 y 33.

Este se encarga de tomar lecturas de entrada del mando de PS2, mostrar una interfaz gráfica en la pantalla LCD y comunicarse por radiofrecuencia con el microcontrolador principal en el Robot. Para esta placa fue necesario incluir un regulador a 5V y 3.3V, tomando en cuenta que la placa se alimenta con una batería de 9V.

### **5.2.3 Lógica de Programación**

#### **5.2.3.1 Control Remoto**

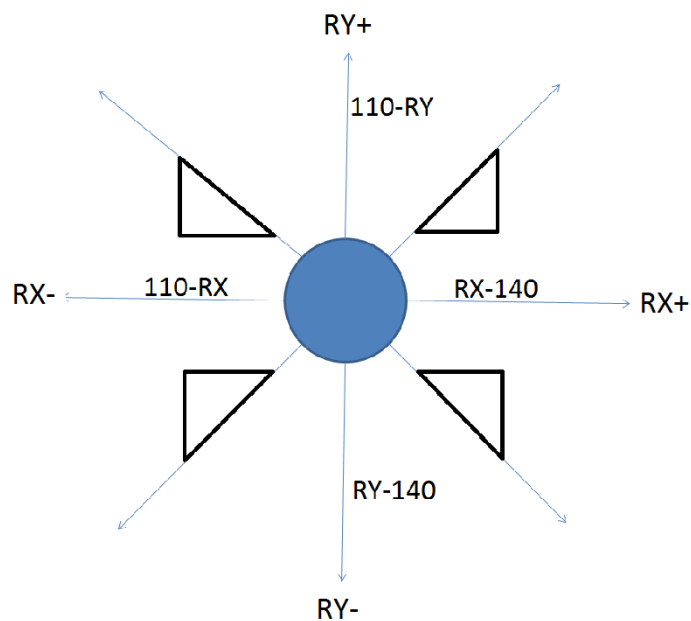
##### **5.2.3.1.1 Navegar en el Menú**

Para navegar a través del menú mostrado en la pantalla lcd se utilizan los botones de dirección, botón de START y SELECT. Un cursor muestra la opción que esta seleccionada, usando los botones de arriba y abajo es posible mover el cursor para cambiar de selección. El botón de START se utiliza para entrar en la opción o modificar el parámetro seleccionado. El botón de SELECT se utiliza para regresar al menú principal o para cancelar la modificación de un parámetro.

##### **5.2.3.1.2 Ingresar Parámetros**

En el submenú de "establecer parámetros" se encuentran todos los parámetros que se requieren para el funcionamiento del robot. Al seleccionar el parámetro a modificar aparecen en la pantalla una cantidad específica de ceros representando la cantidad de dígitos que puede tener el parámetro, además de un indicador de cual dígito se está modificando. Usando los botones de arriba y abajo es posible incrementar o disminuir el valor del dígito que se está modificando. Usando los botones de izquierda y derecha es posible cambiar de dígito a modificar.

### 5.2.3.1.3 Lectura del Joystick:



**Ilustración 34 – Esquema de las posiciones del joystick.**

Fuente: Elaboración propia.

Para el control del movimiento del robot se consideró la manera más intuitiva de interactuar con el control. La respuesta a esta consideración fue utilizar la dirección en la que se mueve el joystick igual a la dirección en la que se mueve el robot, además al incrementar la distancia del joystick con respecto a su posición central se incrementa la velocidad del robot en la dirección establecida como se aprecia en la ilustración 34.

Ya que el joystick está compuesto por dos potenciómetros, se presenta un valor para el potenciómetro en X y otro para el potenciómetro Y. Con el mando de PS2 es posible un valor digital para cada potenciómetro, el cual es un número entre 0 y 255, lo que sugiere que este mando utiliza un convertor analógico a digital de 8 bits. En la posición central del joystick los valores de los potenciómetros no son iguales, sin

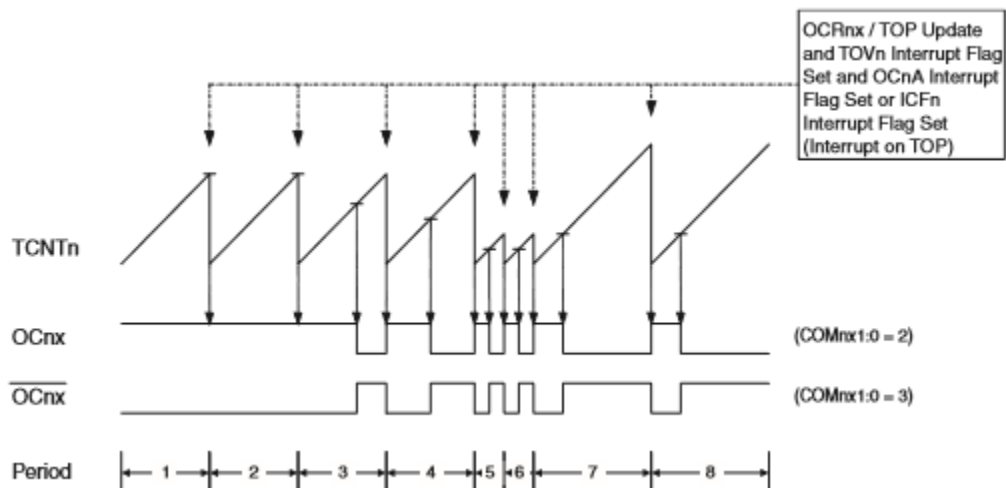


embargo, se mantienen en el rango de 120 a 130. Por seguridad se tomaron como valores centrales los que estén dentro del rango de 110 a 140.

### 5.2.3.2 Robot:

#### 5.2.3.2.1 Control de las Llantas

Debido a que los controladores de los motores a pasos requieren de pulsos a intervalos constantes para mantener los motores en movimiento, se optó por hacer uso de los diferentes Timers que posee el microcontrolador. Este enfoque nos permite mantener los motores en movimiento sin requerir mucho procesamiento, es decir mientras los motores se mueven, el procesador puede estar realizando otras tareas como realizar cálculos o interpretar comandos.



**Ilustración 35 – Comportamiento del Timer en Fast PWM.**

Fuente: Sitio web oficial de Microchip.

Se designó un Timer de 16 bits para cada llanta. Cada uno de estos Timers incrementa un contador (TCNT) que va desde cero hasta un número ajustable (TOP). La frecuencia a la cual se incrementa el contador es un divisor de la frecuencia principal ( $f_{clk_{I/O}}$ ). Los Timers se configuraron en el modo Fast PWM (Modulación de

Ancho de Pulso Rápido) como se puede apreciar en la ilustración 35, mediante el cual es posible generar un pulso, estableciendo el ancho de este de acuerdo al controlador (drv8825), en un pin específico del microcontrolador.

Es posible modificar la frecuencia del tren de pulsos de acuerdo a la siguiente fórmula:

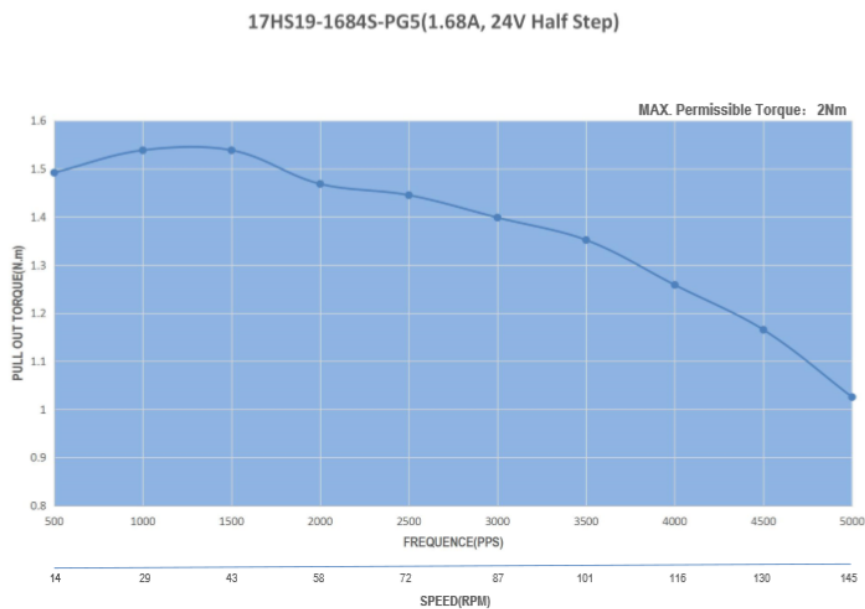
$$f_{OCnXPWM} = \frac{f_{clk\_I/O}}{N(1 + TOP)}$$

### Ecuación 2 – Frecuencia de Pulsos

Fuente: Sitio web oficial de Microchip

Conociendo la frecuencia del oscilador ( $f_{clk\_I/O} = 16\text{MHz}$ ), y el divisor ( $N=1$ ) podemos reordenar la ecuación anterior para calcular el valor a asignar a TOP para obtener la frecuencia deseada ( $f_{OCnXPWM}$ ).

**Gráfico 1 – Curva de par/velocidad de los motores de las llantas**

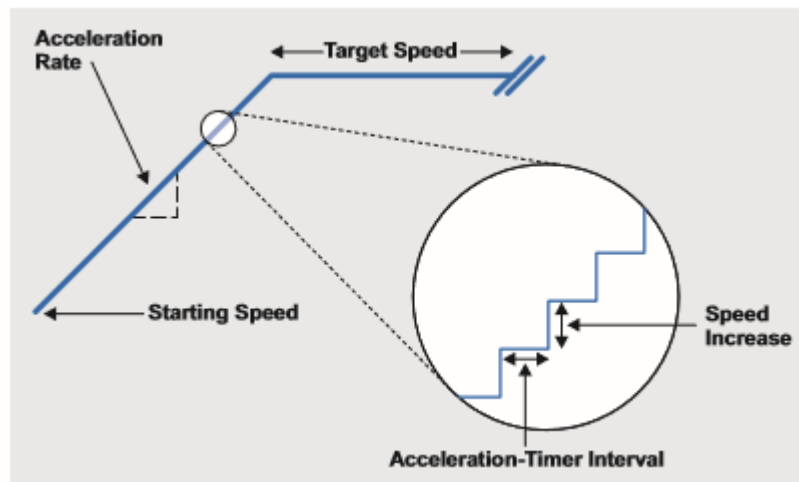


Fuente: Sitio oficial de STEPPERONLINE

Debido a las características de los motores a pasos, estos no pueden arrancar a velocidades altas, por lo tanto, se requiere el uso una rampa de aceleración si se

desean velocidades más altas para el motor. Además, pierden torque conforme se incrementa su velocidad.

Para conocer la velocidad de arranque del motor, así como su torque de acuerdo a la velocidad, es necesario revisar la curva de par/velocidad que proporciona el proveedor.



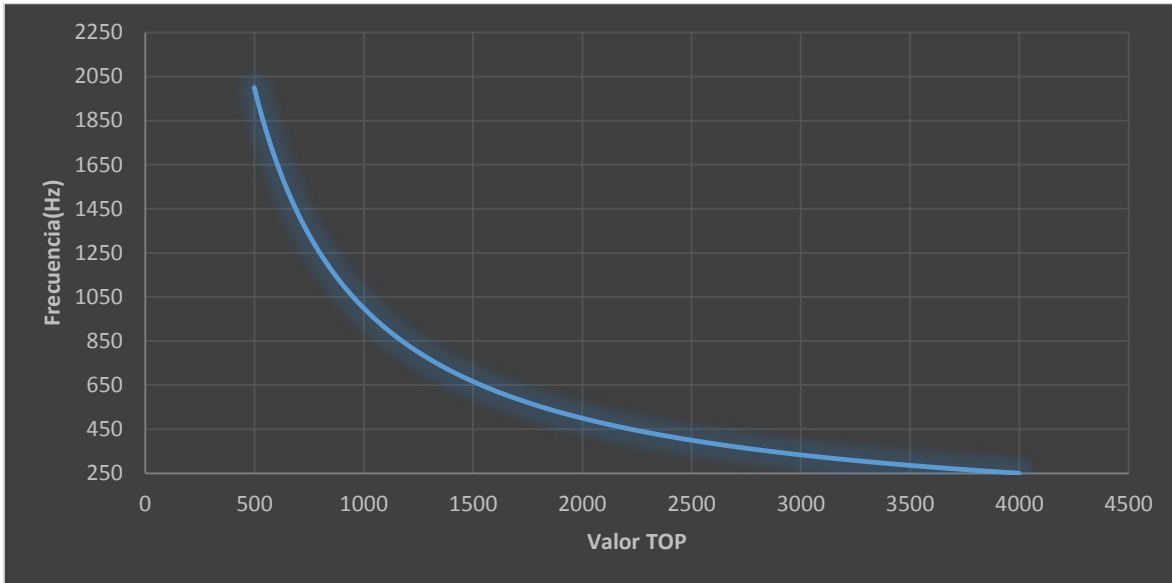
**Ilustración 36 – Perfil de aceleración típico para un motor a pasos.**

Fuente: Sitio web oficial de Texas Instruments.

Efectuar una rampa de aceleración requiere incrementar la velocidad en cierto valor a intervalos constantes de tiempo (como se muestra en la ilustración 36). La forma más segura de obtener este comportamiento es utilizar un Timer para generar interrupciones a un intervalo de tiempo específico y dentro de esta interrupción incrementar la frecuencia del pulso de acuerdo a la ecuación anterior.

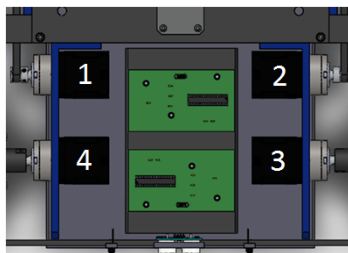
Es necesario recalcular el valor TOP en cada interrupción ya que simplemente disminuyendo el valor TOP obtendríamos un incremento exponencial en la velocidad (Como se muestra en el gráfico 2), comportamiento que no es deseado para esta aplicación.

**Gráfico 2 – Frecuencia vs. Valor TOP**



Fuente: Elaboración propia.





















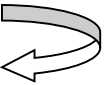





El desplazamiento del robot utilizando las llantas Mecanum requiere de una serie de combinaciones de dirección de giro para cada llanta. Para este prototipo se tomaron en cuenta 8 desplazamientos y 2 giros sobre su propio eje, lo que nos da un total de 10 movimientos distintos. La siguiente tabla muestra la dirección de giro de cada motor, tomando como referencia la ilustración 37 para identificar cada motor.



**Ilustración 37 – Identificación de los motores de cada llanta.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6 – Dirección de los motores**

Desplazamiento Robot	Descripción	Dirección motores	Dirección motores
	Adelante	1 y 3 	2 y 4 
	Atrás	1 y 3 	2 y 4 
	Derecha	1 y 3 	2 y 4 
	Izquierda	1 y 3 	2 y 4 
	Adelante 45° a la Izquierda	1 y 3	2 y 4 
	Atrás 45° a la Derecha	1 y 3	2 y 4 
	Adelante 45° a la Derecha	1 y 3 	2 y 4
	Atrás 45° a la Izquierda	1 y 3 	2 y 4
	Giro Horario	1 y 4 	2 y 3 
	Giro Antihorario	1 y 4 	2 y 3 

Fuente: Elaboración propia.

#### **5.2.3.2 Control del Mecanismo de Sujeción**

El control de mecanismo de sujeción consta de un motor a pasos y varios finales de carrera. El mecanismo abre y cierra mediante comandos distintos. Al momento de abrir el mecanismo, el motor a pasos gira en el sentido requerido y se detiene solamente cuando se activa un interruptor ubicado de tal manera que el mecanismo se encuentre lo más abierto posible. Al cerrar el mecanismo, el motor a pasos gira en sentido opuesto y se detiene cuando se activa cualquiera de los interruptores ubicados en las tenazas, estos solo se activan cuando el resorte es comprimido una distancia predeterminada.

#### **5.2.3.3 Control del Mecanismo Elevador**

El control del mecanismo elevador consta de un motor a pasos y un final de carrera. El mecanismo se eleva y desciende mediante comandos separados. El mecanismo se desplaza por secciones, una distancia establecida como parámetro en el control remoto.

#### **5.2.3.3 Interfaz**

La interfaz entre el control remoto y el robot se basa en una serie de comandos. El robot se encuentra por defecto en el modo de establecer parámetros. Cuando en el control remoto se selecciona la opción "Manual Control", este le transmite al robot el comando para establecer parámetros al igual que el valor de cada parámetro en un orden específico.

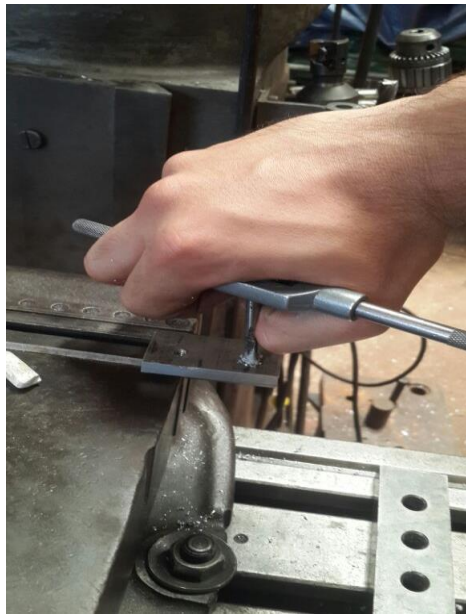
Una vez que el robot termina de establecer los parámetros, este entra en el modo de movimiento, en el cual se puede controlar el desplazamiento y giro del robot, así como los mecanismos de sujeción y elevación.

El control se encarga de identificar la posición del joystick e interpretar en qué dirección debe moverse cada llanta, además, se encarga de detectar si se desea cambiar de dirección, aumentar la velocidad o detener el robot.

Si el control detecta que se desea cambiar de dirección, este transmite un comando para cambiar de dirección, seguido del sentido de giro de cada llanta y de la velocidad que se desea alcanzar. Una vez en movimiento, mientras se mantenga la dirección en el joystick, el control transmite constantemente la velocidad deseada al robot.

### **5.3 Construcción del Robot**

#### **5.3.1 Construcción Estructura Principal**



**Ilustración 38 - Roscado interno de Angulo para unión estructural.**

Fuente: Elaboración propia.

El concepto utilizado para la sujeción y armado en general de toda la estructura mecánica se basó en dos tipos de uniones:

- Fabricación de elementos como ser ángulos y prismas cuadrangulares de aluminio a los cuales se les realizó un roscado interno utilizando la operación de machuelado como se observa en la ilustración 38 para mediante estas unir dos o más piezas estructurales mediante tornillos.

- Unión de dos o más piezas estructurales superpuestas mediante el empleo de tornillo y tuerca.



**Ilustración 39 - Mecanizado de platinas laterales en fresadora vertical.**

Fuente: Elaboración propia.

En su mayoría, la estructura de la periferia del robot prototipo está constituida por platinas que son simétricas por el plano medio del robot por lo cual se tomó la decisión de maquinar los pares de piezas a la vez, como se puede observar en la ilustración 39, para obtener la mayor simetría entre estas.



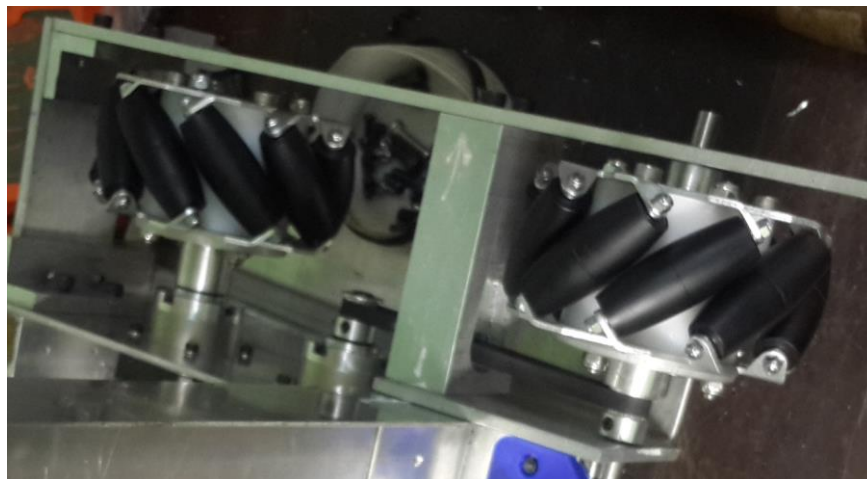


**Ilustración 40 - Armado de estructura de aluminio.**

Fuente: Elaboración propia.

La estructura que da soporte a el mecanismo de sujeción acoplado al mecanismo de elevación es la que se aprecia en la ilustración 40 fue fabricado de lámina de duraluminio de 1/16" de espesor doblada en un troquel para obtener dos ángulos de 40cm y dos de 27cm de longitud y 5cm de ancho.

### **5.3.2 Transmisión Mecánica**



**Ilustración 41 - Montaje de llantas omnidireccional tipo Mecanum.**

Fuente: Elaboración propia.

La transmisión mecánica para las llantas traseras consiste en un acople de aluminio directo a los motores, en cambio para las llantas frontales se realizó mediante bandas de tiempo y poleas como se aprecia en la ilustración 41, esto por motivos de diseño para distribuir mejor las fuerzas de reacción generadas al momento de levantar cargas para de esta manera lograr una mayor estabilidad teniendo más peso en la parte posterior del robot y colocando las llantas frontales lo más cerca al centro de masa de los paquetes para disminuir lo más posible el momento causado por los mismos.

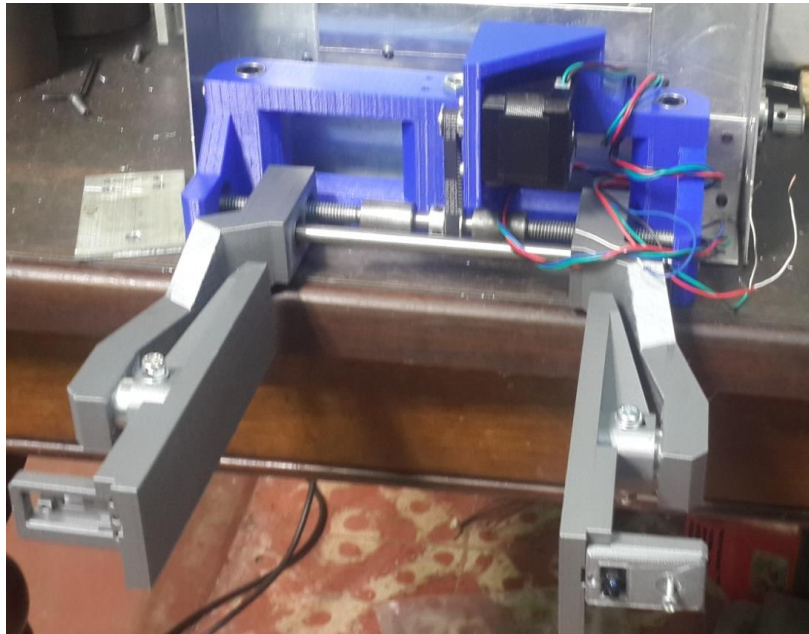


**Ilustración 42 - Acople de aluminio para llantas tipo Mecanum a 8mm.**

Fuente: Elaboración propia.

La fabricación de estos acoples se realizó a partir de una barra de duraluminio de 60mm de diámetro, maquinándola en un torno tradicional como se aprecia en la ilustración 42, para posteriormente ser montada en un cabezal divisor vertical para realizar las divisiones de perforaciones con las cuales se acopla mediante tornillos a las llantas tipo Mecanum.

### 5.3.3 Mecanismo Sujeción



**Ilustración 43 - Mecanismo de sujeción de robot prototipo.**

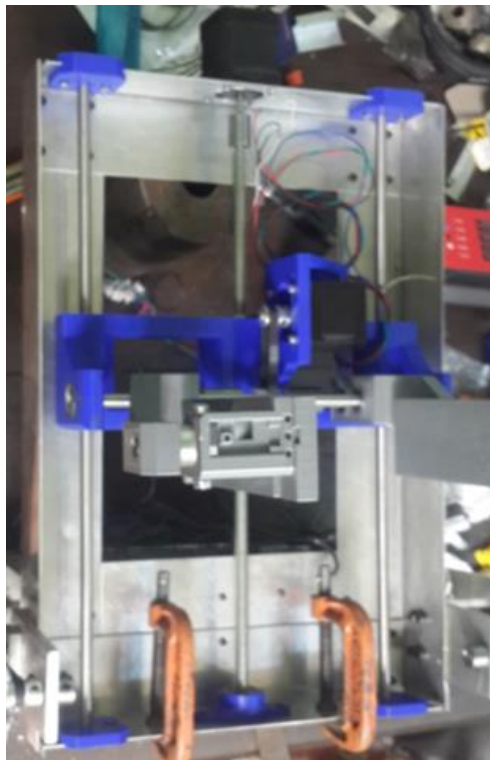
Fuente: Elaboración propia.

Este mecanismo se fabricó casi en su totalidad de plástico mediante una impresora 3D. Consta de una estructura fija con respecto a este mecanismo la que mediante una tuerca inmóvil en su centro y dos pares de cojinetes lineales obtiene un desplazamiento vertical gracias al mecanismo de elevación como se muestra en la ilustración 43.

A este mecanismo están acopladas las pinzas de sujeción que obtienen su desplazamiento gracias a que en su extremo posterior poseen tuercas rosca izquierda y derecha respectivamente limitando su giro mediante una corredera lineal se obtiene desplazamientos lineales opuestos. Se fabricó un eje de 8mm que en su centro cuenta con una polea gt2 acoplado a este en uno de sus extremos un tornillo

con rosca derecha y al otro extremo un tornillo de rosca izquierda que descansa en unos cojinetes radiales en los extremos de la estructura inmóvil.

#### 5.3.4 Mecanismo de Elevación

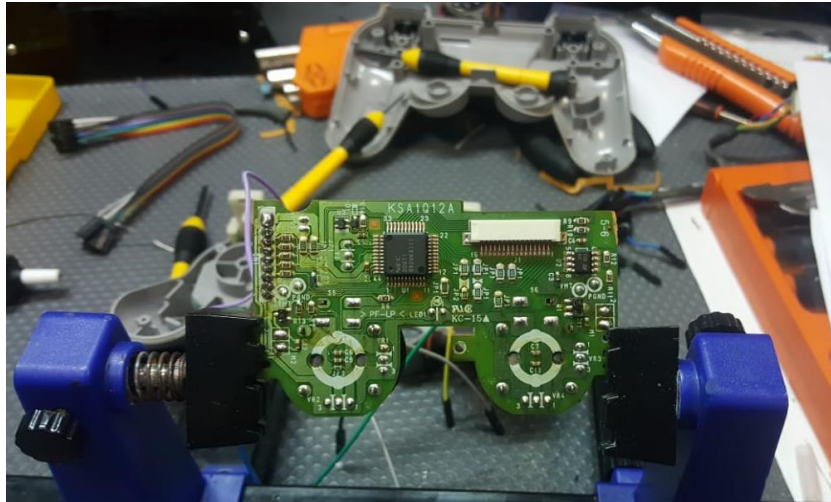


**Ilustración 44 - Montaje mecanismo de elevación.**

Fuente: Elaboración propia.

Para la fabricación de este mecanismo se realizó el montaje de un motor nema 17 en la parte superior acoplada a una varilla roscada de 3/8" la cual va roscada en una tuerca inmóvil en el centro del mecanismo de sujeción, en su otro extremo la varilla roscada reposa sobre rodamientos axiales y radiales. Se fijaron dos ejes guías de 8 milímetros mediante cuatro piezas fabricadas en impresora 3D y posteriormente atornilladas a la estructura como se aprecia en la ilustración 44.

### 5.3.5 Control Remoto



**Ilustración 45 - Soldadura de cables para comunicación con microcontrolador de placa electrónica de mando de PlayStation 2.**

Fuente: Elaboración propia.

Para integrar una pantalla al mando se diseñó e imprimió una adaptación plástica en la cual se fijó la placa electrónica para leer las señales enviadas por la placa electrónica del mando, una batería de 9v y la antena de comunicación por radiofrecuencia.

### 5.3.6 Elaboración de Circuitos Impresos.

Para la elaboración de los seis circuitos impresos necesarios tanto para la programación control y comando del robot prototipo se utilizó como materia prima FR-4 (material laminado epoxi reforzado con vidrio) este es un material compuesto de tela de fibra de vidrio tejida con un aglutinante de resina epoxi que es resistente a la llama. "FR" significa retardante de llama, y denota que el material cumple con la norma UL94V-0. Cabe mencionar que se utilizó este material con capa de cobre en ambos lados para tener la posibilidad de realizar tanto pistas principales como puentes.



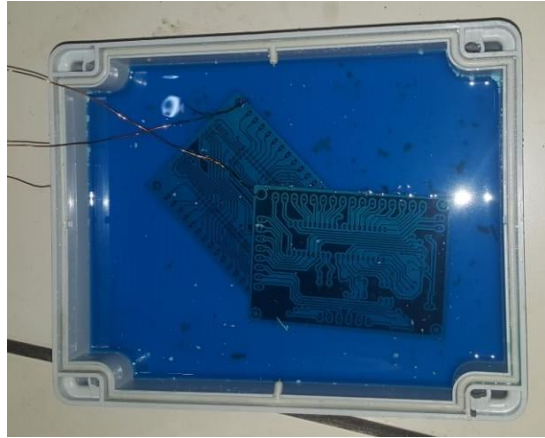
### **Ilustración 46 - Transferencia de pistas electrónicas.**

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso para su elaboración fue el diseño mediante el software EAGLE mediante el cual se generaron las imágenes tanto de las pistas como los puentes y la máscara guía de componentes electrónicos. Teniendo en cuenta que tanto la máscara como los puentes hay que realizar el proceso de espejado a la imagen antes de su impresión en papel satinado con una impresora láser.

Posteriormente se realizó el proceso de planchado utilizando una maquina laminadora que posee dos rodillos los cuales calientan y ejercen presión a la placa superpuesta con el papel impreso para la transferencia de la tinta al cobre. El resultado de este proceso se puede observar en la ilustración 46.

Al terminar este proceso se realiza la misma acción, pero en el lado contrario de la placa para transferir a ella la tinta de los puentes electrónicos.



**Ilustración 47 - Ataque químico del cobre para fabricación de circuitos impresos.**

Fuente: Elaboración propia.

El ataque químico a la placa mostrado en la ilustración 47 se realizó mediante ácido clorhídrico disuelto con peróxido de hidrogeno esto con el fin de que el ácido oxide todo el cobre expuesto dejando únicamente el protegido por la tinta transferida, obteniendo de esta manera las rutas de cobre.



**Ilustración 48 - Resultado luego del ataque químico.**

Fuente: Elaboración propia.

Al tener las placas en este estado, como se observa en la ilustración 48, procedimos a la remoción de la tinta empleando abrasivo de lana metálica para posteriormente realizar las perforaciones utilizando brocas de diferentes tamaños según el componente a soldar en dicho punto.



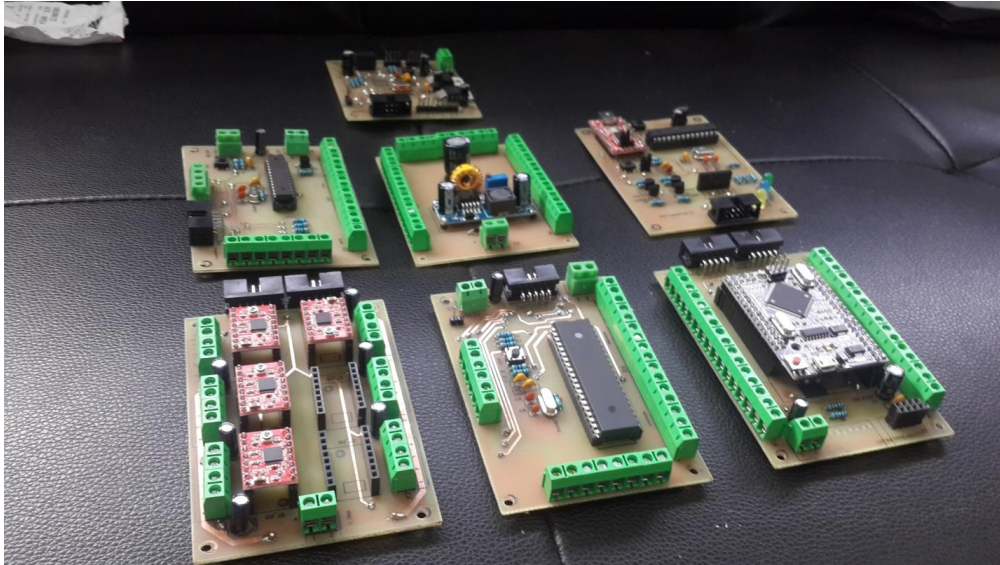
**Ilustración 49 - Transferencia de máscara indicadora de componentes electrónicos.**

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la transferencia de la máscara indicadora de componentes electrónicos se realizó el mismo proceso de planchado con maquina laminadora. Esta mascara es de suma utilidad ya que facilita mucho el proceso de soldadura. El resultado final se aprecia en la ilustración 49.

Para el proceso de soldadura se utilizó un cautín con temperatura ajustable, una base para la sujeción de los circuitos. La soldadura se realizó con aleación de estaño/plomo 60/40 con núcleo de ácido. El resultado final se puede apreciar en la ilustración 50.

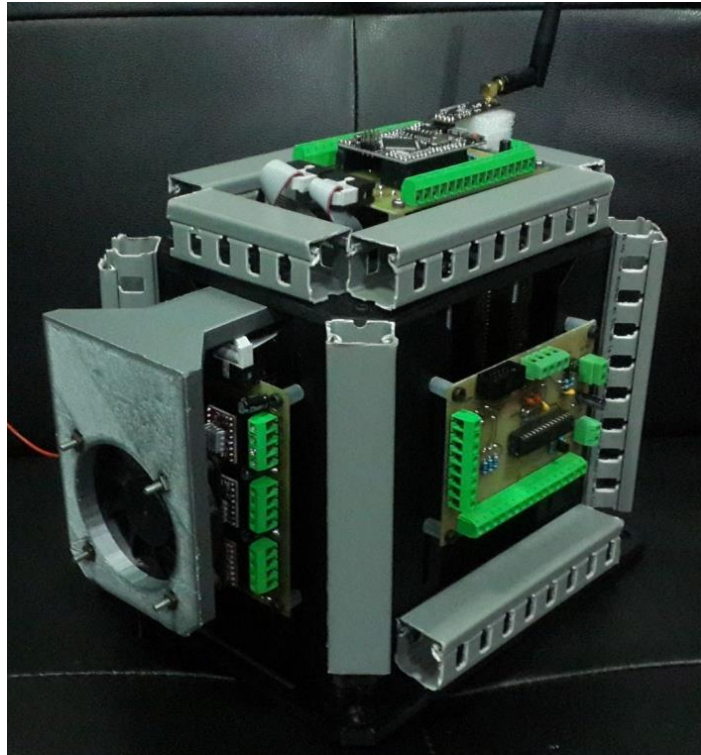




**Ilustración 50 - Placas electrónicas finalizadas.**

Fuente: Elaboración propia.

## 5.4 Implementación

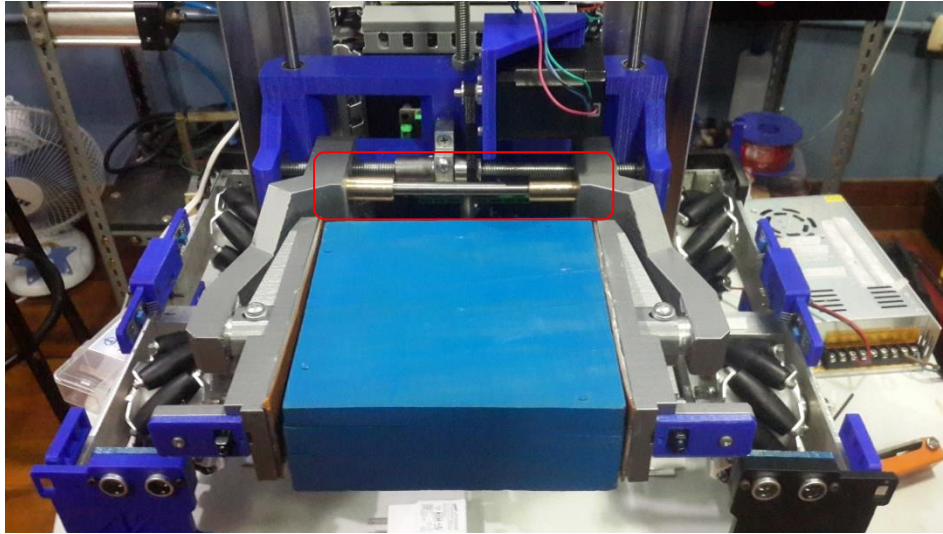


**Ilustración 51 - Montaje de placas electrónicas.**

Fuente: Elaboración propia.

El montaje de las placas electrónicas, mostrado en la ilustración 51, se realizó sobre una estructura en forma de prisma cuadrangular fabricada en impresora 3D para de esta manera tener una placa en cada una de sus caras laterales y superior, esto con el fin de tener un mejor acceso a las conexiones y mayor orden al momento de realizar el cableado.

Se montó un ventilador en una de sus caras con el fin de mantener una temperatura baja en los controladores de los motores paso a paso.

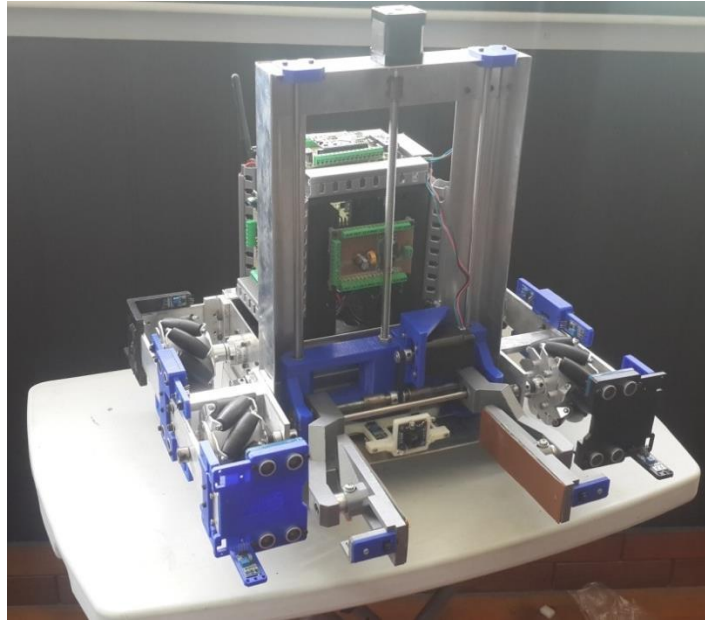


**Ilustración 52 - Modificación mecanismo de sujeción.**

Fuente: Elaboración propia.

Fue necesario realizar una modificación en el mecanismo de sujeción, resaltada en la ilustración 52, ya que no se obtuvieron los resultados esperados en el diseño, esto debido a que las correderas lineales utilizadas presentaban una tolerancia bastante grande con respecto al eje guía de 8 mm por lo cual al momento de sujetar la caja las pinzas se flexionaban según la tolerancia antes mencionada lo que provocaba que las turcas realizaran demasiada fricción con los tornillos impidiendo el desplazamiento.

Para solucionar este fallo se procedió a la fabricación de dos correderas de bronce con una tolerancia mucho menor quedando cerca de los 8 mm, además de esto se aumentó su longitud esto con el fin de disminuir aún más los movimientos en otras direcciones diferentes a la línea del eje guía.



**Ilustración 53 - Robot prototipo finalizado.**

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar todo el proceso de diseño, fabricación y pruebas del robot prototipo, se obtuvieron los resultados esperados, cumpliendo a cabalidad la función de cada uno de sus mecanismos, así como también el sistema de control embebido, obteniendo un robot prototipo funcional, el cual se aprecia en la ilustración 53.

## **VI. CONCLUSIONES**

A palabras de Godoy (2011): "Una conclusión, es una proposición que se mantiene con razonamientos" (p. 14).

- Se creó un sistema de control embebido a el robot prototipo con excelentes resultados.
- Se logró designar una serie de mecanismos compactos para la sujeción y elevación de los paquetes.
- Se realizó la selección de un tipo de ruedas Mecanum que permitió a el robot prototipo tener mayor cantidad de desplazamientos.
- Establecimos la programación que rige las instrucciones que puede ejecutar el robot prototipo.

## **VII. RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se enumeran las recomendaciones para mejora realizadas tanto a futuras investigaciones y a la universidad.

### **7.1 Para futuras investigaciones**

Durante la realización de este proyecto se lograron cumplir las metas propuestas, sin embargo, existen varios aspectos a mejorar en el caso que se desarrolle otra investigación de esta índole en el futuro. Entre estos aspectos se encuentran:

- Crear una serie de líneas de investigaciones afines a los objetivos de desarrollo tecnológico del país.
- Tomar en cuenta todas las medidas de seguridad requeridas en un ambiente industrial.

### **7.2 Para la universidad**

El éxito de la realización del prototipo para este proyecto de investigación requiere de mucho apoyo por parte de la universidad, debido a esto sugerimos mejorar los siguientes puntos:

- Agilizar trámites burocráticos.
- Tomar en cuenta el tiempo de entrega, precio del artículo y fiabilidad a la hora de seleccionar los proveedores para los distintos materiales necesarios.
- Aumentar el enfoque en el desarrollo de nuevas tecnologías como la impresión 3D.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ackerman, S. E., & Com, S. L. (2013). *Metodología de la investigación*. Buenos Aires, ARGENTINA: Ediciones del Aula Taller. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216667>
- Alsina González, P. (2007). *Arte, ciencia y tecnología* (1ra ed.). Barcelona, UNKNOWN: Editorial UOC. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4735132>
- Barrientos, A., Peñín, L. F., & Balaguer, C. (2007). *Fundamentos de robótica* (2a. ed.). Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3199830>
- Bates (Jr.), R. J. (Bud). (2003). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México, D.F., MEXICO: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191950>
- Cegarra Sánchez, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3171339>

Company Calleja, P., & González Lluch, C. (2013). *CAD 3D con SolidWorks®: diseño básico*. Castellón de la Plana, SPAIN: Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4422039>

Fenoll, J., Borja, J. C., & Herrera, J. S. de. (2009). *Mecanizado básico*. Madrid, SPAIN: Macmillan Iberia, S.A. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195688>

Galpin, T. J. (2013). *Fijando objetivos*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228668>

Garay Candia, A. E. (2017). *Logística: conocimientos, habilidades y actitudes*. Buenos Aires, UNKNOWN: El Cid Editor. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4823640>



García Armada, E. (2015). *Robots*. Madrid, SPAIN: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3429422>

García Lorenzo, M., Huerta Pellitero, P., & Sánchez de la Lama, C. (2014). *Electrónica*. Madrid, SPAIN: RA-MA Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229512>

Germán Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino* (1ra ed.). Distrito Federal, Mexico: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4569609>

Gibilisco, S. (2001). *Manual portátil de electrónica*. México, D.F., MEXICO: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3192168>

Godoy, E. (2011). *Cómo hacer una tesis*. Buenos Aires, ARGENTINA: Valletta Ediciones. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3203446>

Gómez González, S. (2008). *SolidWorks®*. Barcelona, SPAIN: Marcombo.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175366>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014).

*Metodología de la investigación (6a. ed.)*. México, D.F., MEXICO: McGraw-Hill

Interamericana. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3224545>

Joyanes, L., & Zahonero, I. (2007). *Estructura de datos en C++*. Madrid, SPAIN:

McGraw-Hill España. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3194764>

Kumar Saha, S. (2010). *Introducción a la robótica.* , España, UNKNOWN: McGraw-Hill

España. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4585364>

- Lobato, F., & Villagr a, F. (2010). *Gestión logística y comercial*. Madrid, SPAIN: Macmillan Iberia, S.A. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216333>
- Moreno Pérez, J. C. (2014). *Programación*. Madrid, SPAIN: RA-MA Editorial. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229316>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta ed.). Mexico: PEARSON EDUCACIÓN. Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=1257>
- Mott, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria, Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos* (5ta ed.). Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Novo, P. (2007). *Lógica digital y microprogramable*. Barcelona, SPAIN: Marcombo. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175457>
- Paguada, S. (2017). *Diseño de PCBs usando Autodesk Eagle y FlatCAM* (1ra ed.). Honduras.

Riveros Dueñas, R. E., Moscoso Daza, L. A., & Hernández, J. D. (2016). *Decisión en laparoscopia: introducción a la robótica*. Bogotá, COLOMBIA: Editorial Universidad del Rosario. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5045523>

Rozenberg, M. J. (2006). *La física y la edad de la información*. Buenos Aires, ARGENTINA: Eudeba. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3186528>

Ruiz Velasco Sánchez, E. (2012). *Los robots*. Madrid, SPAIN: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228840>

Sendín Escalona, A. (2004). *Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles: evolución y tecnologías*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195102>

Soria Olivas, E., Martín Guerrero, J. D., & Gómez Chova, L. (2004). *Teoría de circuitos*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3195291>

Tundidor Díaz, A., Hernández Ramos, E., & Peña Andrés, C. (2018). *Cadena de suministro 4.0: beneficios y retos de las tecnologías disruptivas*. Barcelona, SPAIN: Marge Books. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5486131>

Villar Bonet, E. (2017). *La revolución electrónica*. Santander, UNKNOWN: Editorial de la Universidad de Cantabria. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5214099>

Woods, B. (2006). *Honours thesis omni-directional wheelchair*.

# IX. ANEXOS

## 9.1 Ficha Técnica de los motores a pasos utilizados en las llantas

SPECIFICATION		CONNECTION		BIPOLAR	
VOLTAGE(VDC)				2.80	
AMPS/PHASE				1.68	
RESISTANCE/PHASE(Ωmin)@25°C				1.60±10%	
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz				3.20±20%	
HOLDING TORQUE w/o GEARBOX(Nm)@[b-h]				0.52(L.60)	
GEAR RATIO				64	
EFFICIENCY				90.00%	
STEP ANGLE w/o GEARBOX(°)				1.80	
BACKLASH@NO-LOAD				≤1°	
MAX.PERMISSIBLE TORQUE(Nm)				2.00	
MOMENT PERMISSIBLE TORQUE(Nm)				4.00	
SHAFT MAXIMUM AXIAL LOAD(N)				50.00	
SHAFT MAXIMUM RADIAL LOAD(N)				100.00	
WEIGHT(Kg)@[b]				0.80(1.32)	
TEMPERATURE RISE MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL FOR 2PHASE ENERGIZED )					
AMBIENT TEMPERATURE -10°C-50°C(14°F-122°F)					
INSULATION CLASS B 130°C(266°F)					

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A -	BLK	A
2	A1 -	GRN	A1
3	B -	RED	B
4	B1 -	BLU	B1

FULL STEP 2 PHASE-EX., WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A1	B1	
1	+	+	-	-	CCW
2	-	-	+	+	CW
3	+	-	-	+	
4	-	+	+	-	

**STEPPER MOTOR**

17HS19-1684S-PG5

APVD

CHKD

DRN

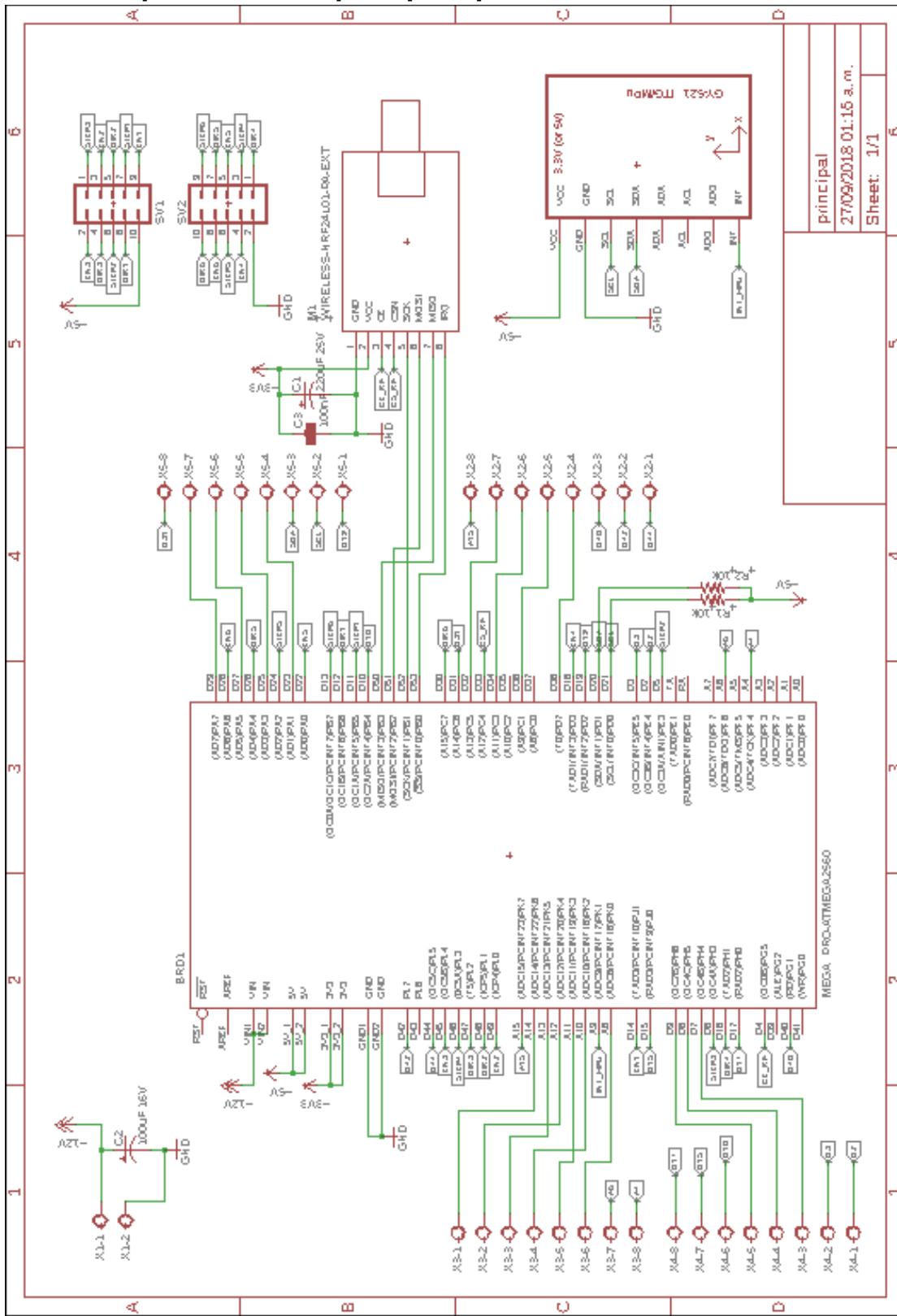
SCALE 1:1

SIGNATURE

DATE

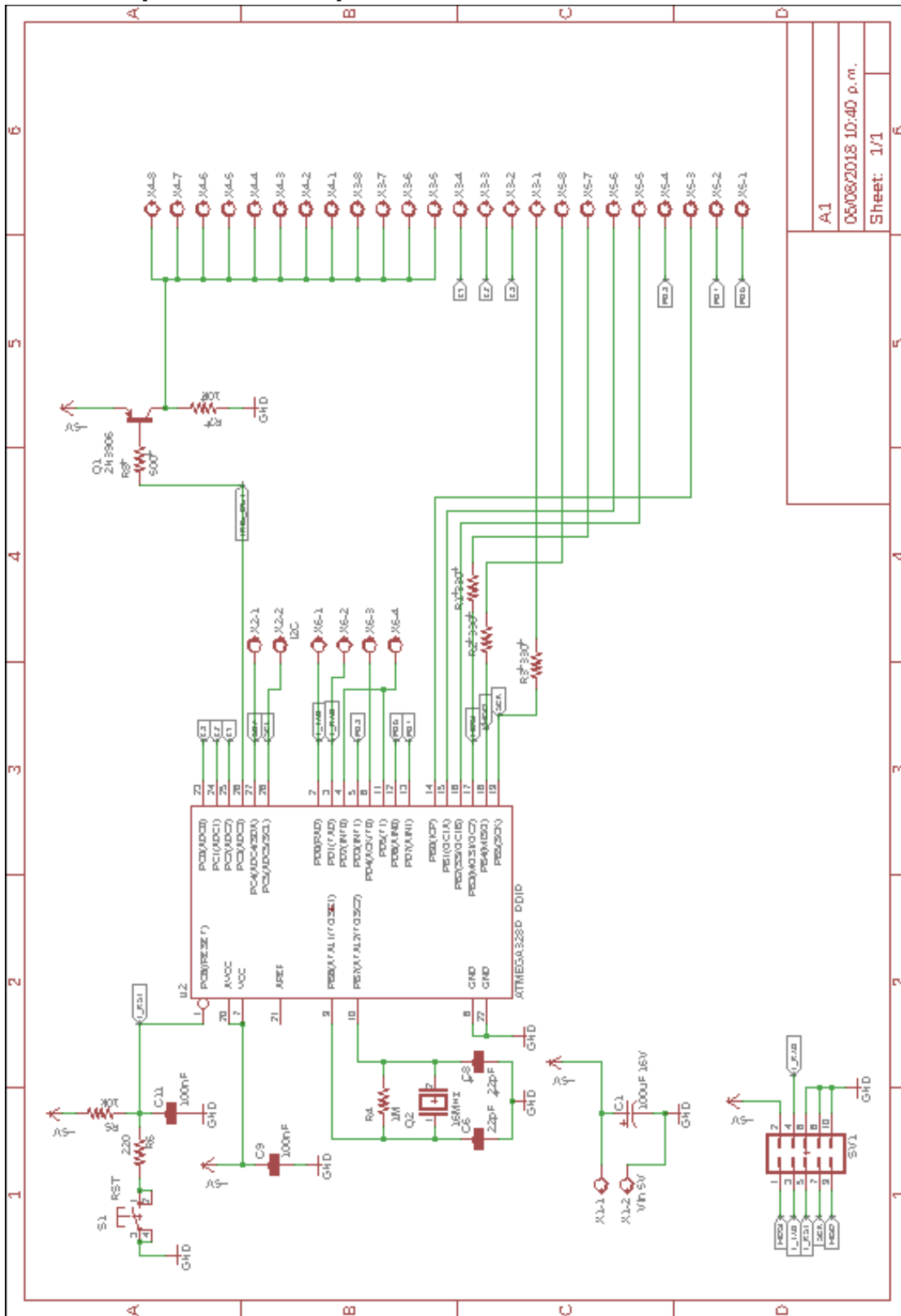
Fuente: Sitio web oficial de STEPPERONLINE

## 9.2 Esquemático de la placa principal



Fuente: Elaboración propia.

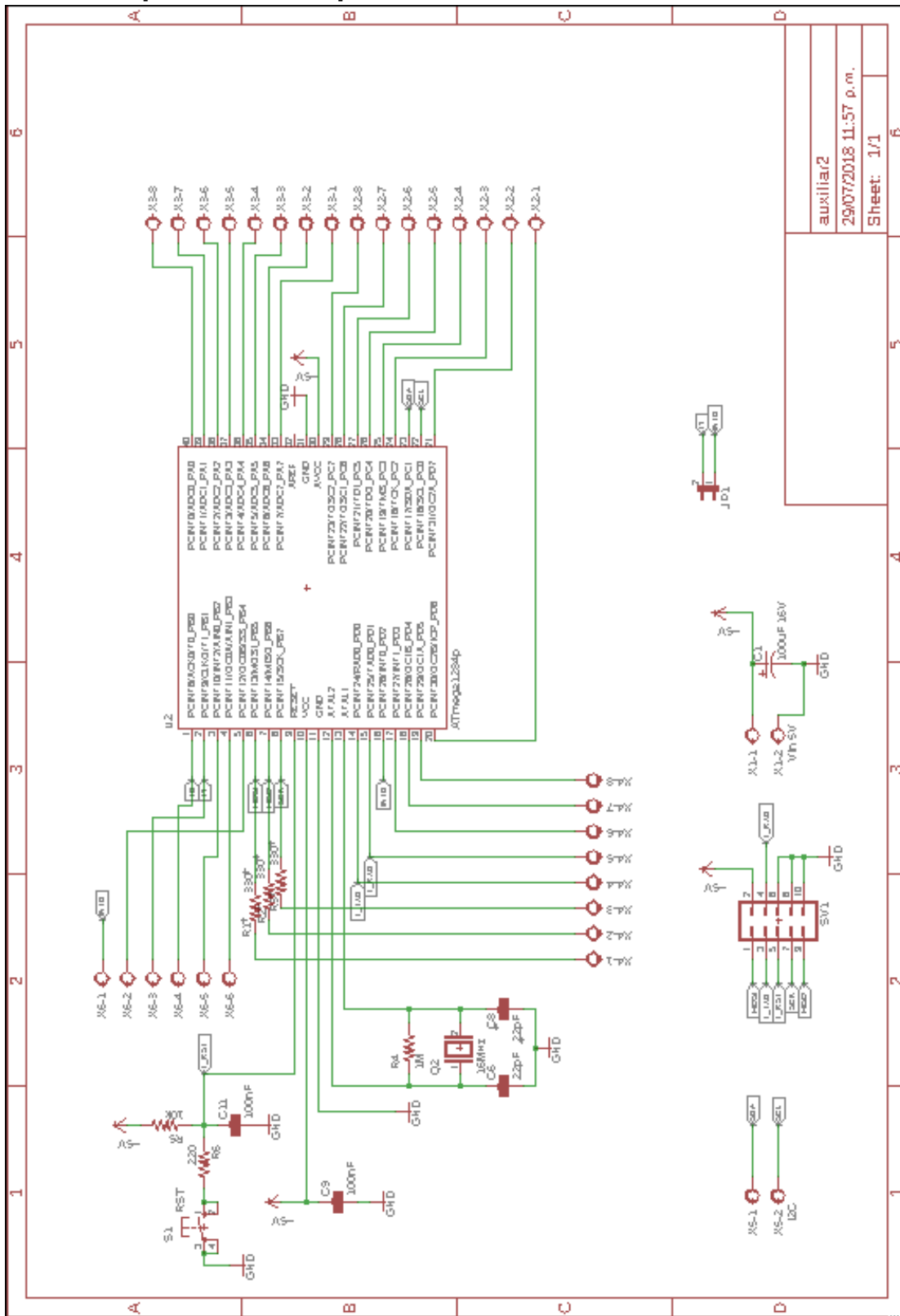
### 9.3 Esquemático de la placa auxiliar 1



Fuente: Elaboración propia.

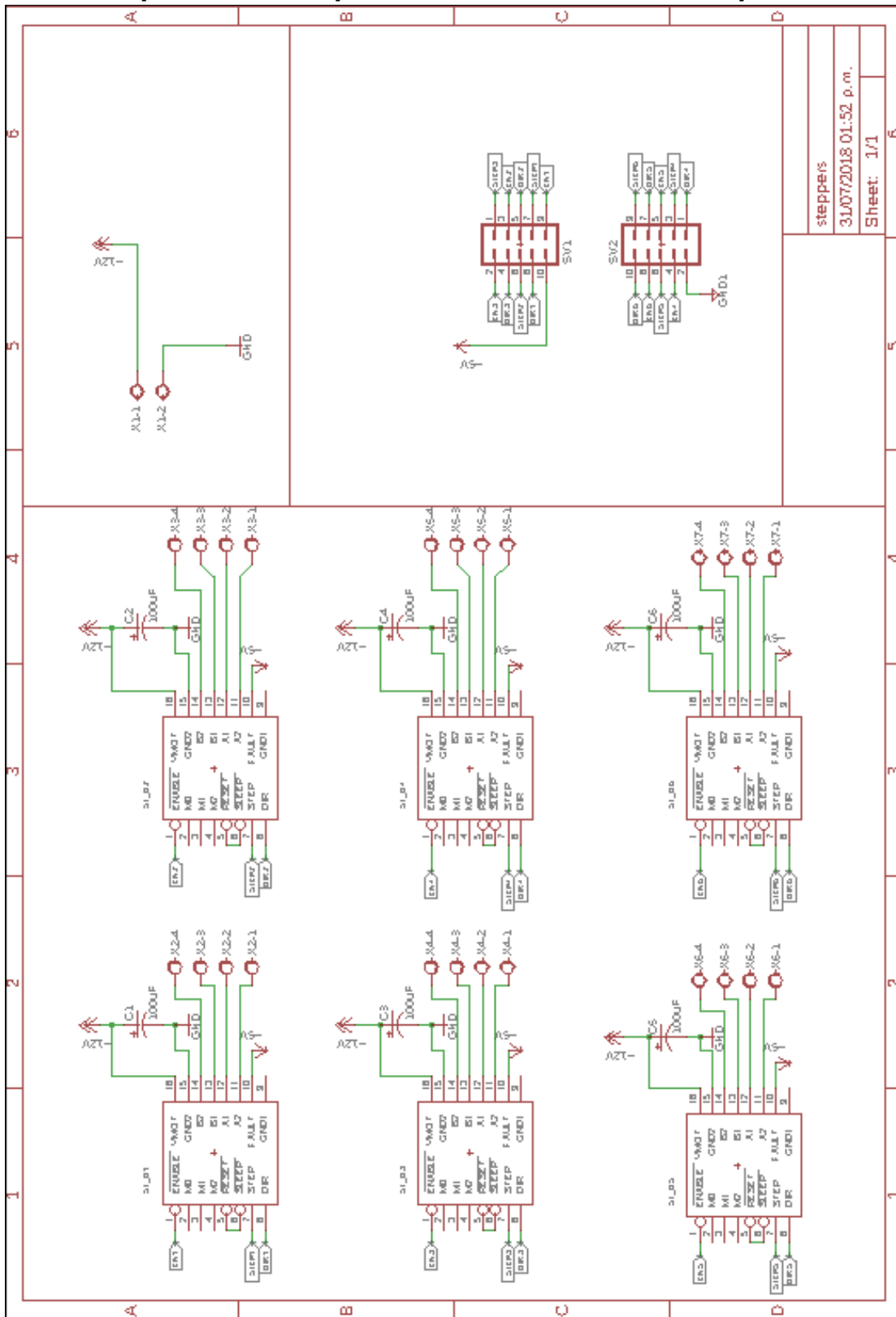


## 9.4 Esquemático de la placa auxiliar 2



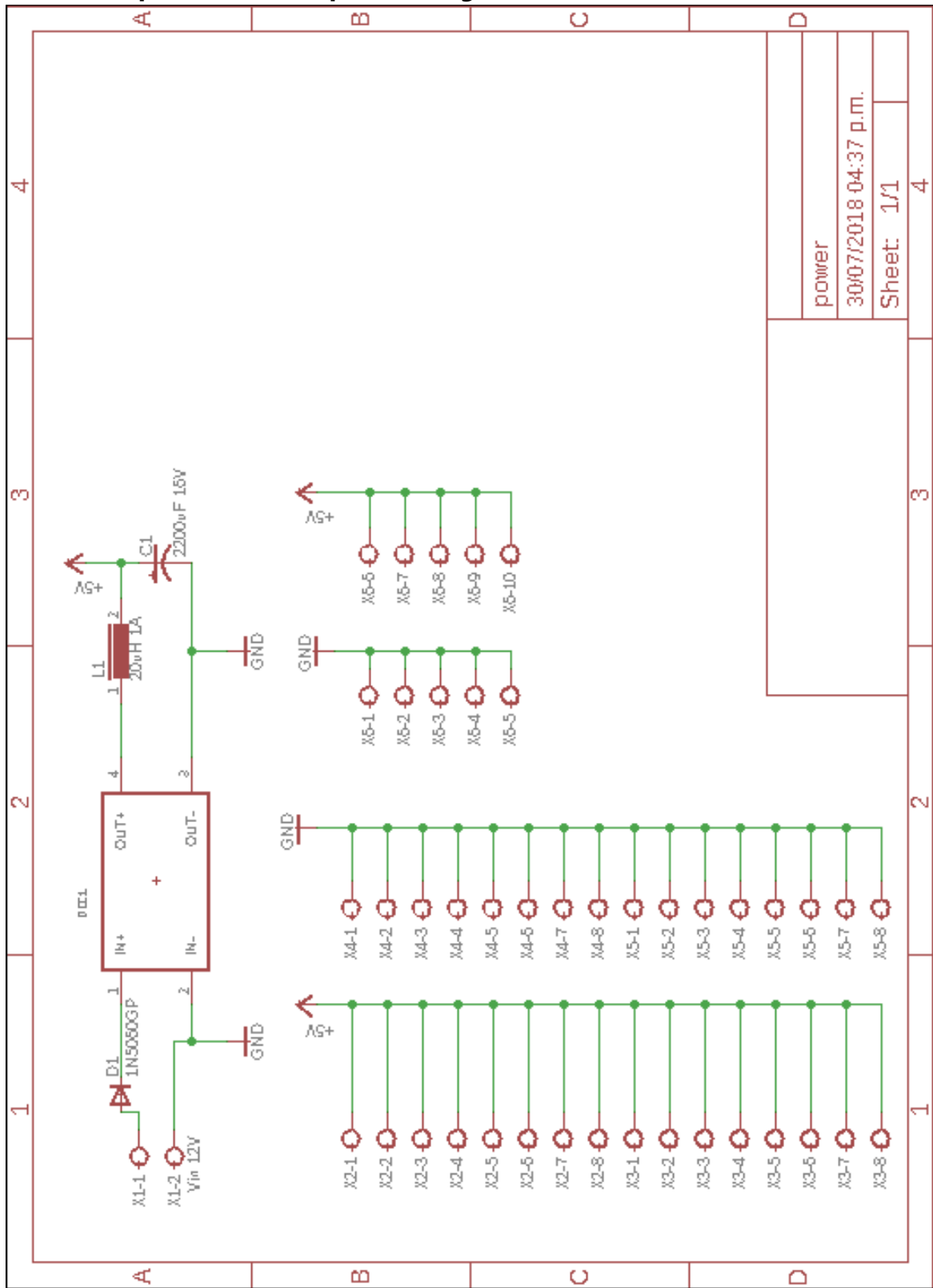
Fuente: Elaboración propia.

## 9.5 Esquemático de la placa controladora de motores a paso



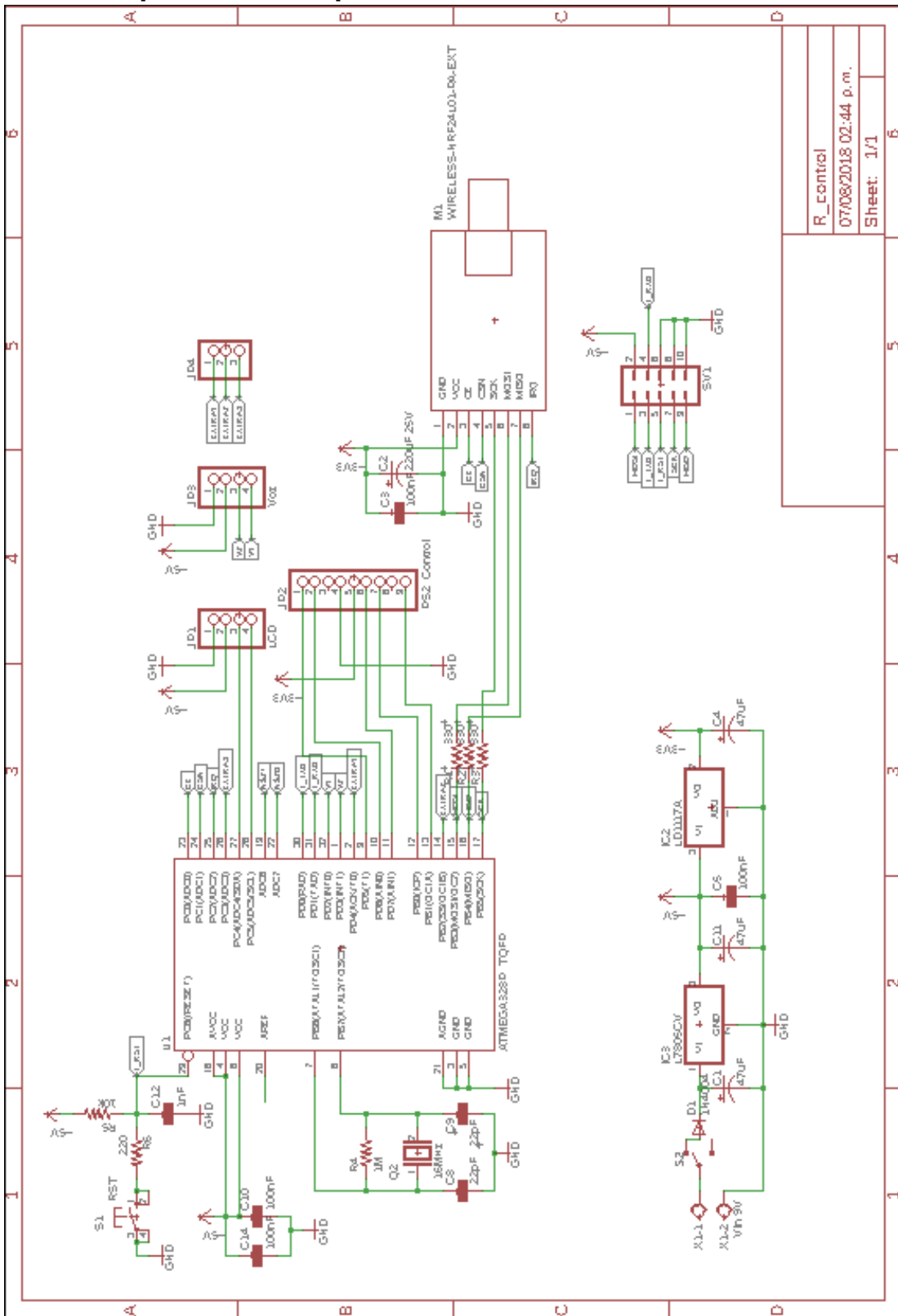
Fuente: Elaboración propia.

## 9.6 Esquemático de la placa de regulación



Fuente: Elaboración propia.

## 9.7 Esquemático de la placa del control remoto



Fuete: Elaboración propia.