



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERIA EN TELEINFORMÁTICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA**

**ÁREA
TECNOLOGÍA APLICADA**

**TEMA
“PROTOTIPO DE ROBOT PROGRAMABLE PARA LA
GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO Y
PAQUETERÍA HACIENDO USO DE SOFTWARE LIBRE Y
MICROCONTROLADORES”**

**AUTOR
CEDENÑO PALACIOS EDUARDO DAVID**

**DIRECTOR DEL TRABAJO:
ING. GALLEGOS ZURITA DIANA ERCILIA, MG.**

GUAYAQUIL, ABRIL 2021



ANEXO XI.
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Prototipo de robot programable para la gestión del almacenamiento de inventario y paquetería haciendo uso de software libre y microcontroladores.		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Cedeño Palacios Eduardo David		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Parra López Rodolfo Antonio/ Ing. Gallegos Zurita Diana Ercilia, MG.		
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ingeniería Industrial		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:	Ingeniería en Teleinformática		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	30 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	84
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnología Aplicada		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Prototipo, Arduino, sensores, software libre, robot diferencial.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Resumen</p> <p>El presente proyecto de titulación está orientado a la automatización de empresas cuyas actividades económicas sean el almacenamiento, empaquetado y envío de mercaderías a domicilio por medio de un prototipo de robot programable con la capacidad de moverse dentro del centro de logística y guiar a los operarios a las ubicaciones exactas donde se encuentran los productos que necesita para los pedidos. En la elaboración del prototipo fueron utilizados diversos sensores, actuadores y tarjetas de adquisición de datos como el caso de Arduino que utilizan software libre en su programación, adicional se desarrolló una la aplicación móvil para control utilizando el portal web App Inventor empleando programación por bloques. Tras la investigación correspondiente a los componentes, ensamblaje y pruebas del robot diferencial, se logró validar que el prototipo es una alternativa viable para mejorar las operaciones</p>			

dentro de los centros de distribución, siendo un componente importante en el soporte para el personal encargado de armar los pedidos

Abstract

This degree project is oriented to the automation of companies whose economic activities are storage, packaging and shipment of goods through a programmable robot prototype with the ability to move within the logistics center and guide operators to exact places where are located the products needed for the orders. In the development of the prototype were used several sensors, actuators and data acquisition cards as: Arduino that uses free software in their programming, additionally a mobile application was developed for control using the web portal App Inventor employing block programming. After the researching corresponding to the components, assembly and testing of the differential robot, it was possible to validate the prototype is a viable alternative to improve operations within the distribution centers, being an important support component for the staff who dispatch the orders.

ADJUNTO PDF:	SI (X)	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0999648312	E-mail: eduardo.cedenop@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Ramón Maquilón Nicola, MG.	
	Teléfono: 593-2658128	
	E-mail: direccionTi@ug.edu.ec	



**ANEXO XII. DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE
LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO
EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA
CONFINES NO ACADÉMICOS

Yo, **CEDÑO PALACIOS EDUARDO DAVID**, con C.C. No. **0944331339**,
certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es
**“PROTOTIPO DE ROBOT PROGRAMABLE PARA LA GESTIÓN DEL
ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO Y PAQUETERÍA HACIENDO
USO DE SOFTWARE LIBRE Y MICROCONTROLADORES.”** son de mi
absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO
ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS,
CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, autorizo la utilización de una licencia gratuita
intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad
de Guayaquil.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo David Cedño Palacios', written over a horizontal line.

CEDÑO PALACIOS EDUARDO DAVID

C.C. N°. 0944331339



ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Habiendo sido nombrada *ING. GALLEGOS ZURITA DIANA ERCILIA*, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por *CEDEÑO PALACIOS EDUARDO DAVID*, C.C.: 0944331339, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA.

Se informa que el trabajo de titulación: “PROTOTIPO DE ROBOT PROGRAMABLE PARA LA GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO Y PAQUETERÍA HACIENDO USO DE SOFTWARE LIBRE Y MICROCONTROLADORES”, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa Antiplagio (URKUND) quedando el 2% de coincidencia.

The screenshot displays the URKUND interface for document analysis. The document title is 'TESIS FINAL EDUARDO CEDEÑO - URKUND.docx (D112657410)'. It was presented on 2021-09-15 12:55 (-05:00) by eduardo.cedenop@ug.edu.ec and received by diana.gallegosz.ug@analysis.arkund.com. A yellow highlight indicates that 2% of the 23 pages consist of text present in 1 source. Below this, a table lists the sources, with one source highlighted: 'https://www.nonsologaming.com/forum/threads/la-funzione-attachinterrupt-per-ardui...'. The interface also shows a 'Lista de fuentes' tab, a 'Bloques' section, and a 'Fuentes alternativas' section. At the bottom, there are buttons for '1 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

<https://secure.arkund.com/view/107343638-226181-324012>



Firmado electrónicamente por:
DIANA ERCILIA
GALLEGOS
ZURITA

Ing. Diana Gallegos Zurita, Mg.

TUTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
C.C. 1204926313

FECHA: 15 de septiembre del 2021



**ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**



Guayaquil, 15 de septiembre del 2021

Sr (a).

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, Mg.

Director (a) de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática **FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**

Ciudad. -

De mi consideración:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **“PROTOTIPO DE ROBOT PROGRAMABLE PARA LA GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO Y PAQUETERÍA HACIENDO USO DE SOFTWARE LIBRE Y MICROCONTROLADORES”**, del estudiante **CEDÑO PALACIOS EDUARDO DAVID**, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el (los) estudiante (s) está (n) apto (s) para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**DIANA ERCILIA
GALLEGOS
ZURITA**

Ing. Diana Gallegos Zurita, Mg.

**TUTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
C.C. 1204926313
15/09/2021**



ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Guayaquil, 23 de septiembre de 2021.

Sr (a).

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, MG

Director (a) de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación “PROTOTIPO DE ROBOT PROGRAMABLE PARA LA GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO Y PAQUETERÍA HACIENDO USO DE SOFTWARE LIBRE Y MICROCONTROLADORES.” del (la) estudiante CEDENO PALACIOS EDUARDO DAVID. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fuerevisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 20 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sub-líneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 5 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

RODOLFO
ANTONIO
PARRA
LOPEZ

Ing. Rodolfo Parra López, Mg.

Docente Revisor

C.C.: 0909770448

FECHA: 23 de septiembre de 2021

Dedicatoria

Tras finalizar este arduo trabajo de investigación, desearía dedicarlo a:

A Dios por darme fuerzas para seguir en los momentos difíciles, inteligencia para entender cada una de las materias durante toda la carrera y sabiduría para actuar de manera correcta.

A mis padres, Eduardo Cedeño y Ana Palacios, quienes siempre estuvieron apoyándome a lo largo del camino como estudiante, siendo mi mayor ejemplo a seguir y que con sus consejos y correcciones he llegado a donde estoy ahora.

A mis amigos de carrera, quienes con su ayuda y trabajo en conjunto hemos llegado hasta el final sobrepasando un sinnúmero de dificultades.

Agradecimiento

Quisiera brindar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han ayudado durante mi etapa estudiantil y en la realización de esta tesis.

En primer lugar, a Dios, por dotarme de sabiduría, paciencia y fuerza a lo largo de toda la carrera y aún más en este trabajo final.

A mis padres y hermanas que siempre están dándome aliento para seguir adelante y nunca rendirme por dura que sea la prueba que esté pasando.

A mis amigos de mi grupo de trabajo, juntos desde el inicio al fin de esta lucha, todos con diferentes habilidades que al combinarlas nos ayudaban a pasar las pruebas por difíciles que hayan sido.

De lo más profundo de mi corazón, gracias...

Índice General

N°	Descripción	Pág.
	Introducción	1

Capítulo I El problema

N°	Descripción	Pág.
1.1.	Planteamiento del problema.	2
1.2.	Delimitación del problema.	2
1.3.	Formulación del problema.	2
1.4.	Justificación e importancia.	3
1.5.	Objetivos	3
1.5.1.	Objetivo General	3
1.5.2.	Objetivos Específicos	3
1.6.	Hipótesis prospectiva	3
1.7.	Variables e indicadores	4
1.8.	Preguntas de investigación	4
1.9.	Alcance del proyecto	4

Capítulo II Marco teórico

N°	Descripción	Pág.
2.1.	Antecedentes del estudio	3
2.2.	Fundamentación Teórica	7
2.2.1.	Logística en centros de almacenaje.	7
2.2.2.	Centros de distribución	7
2.2.3.	Funciones dentro de un almacén.	7
2.2.3.1.	Recepcion del producto y eentrada del stock al almacén.	7
2.2.3.2.	Almacenamiento del producto.	7
2.2.3.3.	Reubicación del producto cuando es necesario.	8
2.2.3.4.	Selección de ordenes de necesidad de producto.	8
2.2.3.5.	Alistamiento y embalaje del producto que va salir.	8
2.2.3.6.	Consolidación del producto con documentos de salida.	8
2.2.3.7.	Envío de mercadería.	8
2.2.3.8.	Administración del almacén e inventario	8

Nº	Descripción	Pág.
2.2.4.	Sistemas de gestión de almacenes	8
2.2.5.	Optimización de ubicaciones.	9
2.2.6.	Interrupciones	10
2.2.6.1.	Interrupciones por Hardware.	11
2.2.6.2.	Interrupciones por Software.	11
2.2.6.3.	Interrupciones por evento programado.	11
2.2.6.4.	Pines de interrupción.	11
2.2.6.5.	Parámetros de interrupción.	12
2.2.7.	Robots diferenciales	13
2.3.	Definiciones Conceptuales	13
2.3.1.	Plataforma Arduino	14
2.3.1.1.	Arduino Uno.	14
2.3.1.2.	Arduino Mega.	14
2.3.1.3.	Arduino Mini.	15
2.3.1.4.	Arduino Nano.	15
2.3.2.	Controlador de motor TB6612FNG.	16
2.3.3.	Motorreductor 100:1	17
2.3.4.	Encoder para motor.	19
2.3.4.1.	Encoder Absoluto	19
2.3.4.2.	Encoder incremental	19
2.3.4.3.	Encoder Óptico.	20
2.3.4.4.	Encoder Magnético.	20
2.3.5.	Sensor QTR-1A	21
2.3.5.1.	Interfaz con la salida QTR-1A	22
2.3.6.	Batería.	22
2.3.6.1.	Baterías Alcalinas.	22
2.3.6.2.	Baterías de Acido de plomo.	23
2.3.6.3.	Baterías de iones de litio.	23
2.3.6.4.	Baterías de polímero de litio.	24
2.3.7.	Lector de RFID RC522	26
2.3.8.	Tarjeta RFID	27
2.3.9.	Modulo Bluetooth HC-05.	28
2.3.10.	App Inventor	29

N°	Descripción	Pág.
2.4.	Fundamentación legal.	30
2.4.1.	Ley orgánica de protección de datos.	30
2.4.2.	Plan nacional del buen vivir.	30
2.4.3.	Constitución del ecuador.	30

Capítulo III

Propuesta

N°	Descripción	Pág.
3.1.	Metodología del proyecto.	31
3.1.1.	Análisis previo	31
3.1.2.	Diseño y desarrollo	31
3.1.3.	Pruebas funcionales	31
3.1.4.	Corrección de errores	31
3.2.	Descripción	32
3.2.1.	Etapas de análisis de requisitos.	32
3.2.2.	Etapas de diseño.	34
3.2.3.	Elaboración de placa de circuito impreso.	34
3.2.4.	Elaboración del chasis.	35
3.2.5.	Programación de prototipo.	35
3.2.6.	Elaboración de aplicación móvil de control en App Inventor.	36
3.2.7.	Pruebas de componentes.	39
3.2.7.1.	Pruebas del controlador TB6612FNG y motores.	39
3.2.7.2.	Pruebas del encoder.	39
3.2.7.3.	Pruebas de los sensores QTR8A.	39
3.2.7.4.	Pruebas del módulo lector de RFID.	39
3.2.8.	Factibilidad técnica.	40
3.2.8.1.	Hardware	40
3.2.8.2.	Software	41
3.2.9.	Factibilidad Legal.	41
3.2.10.	Factibilidad Económica.	42
3.2.11.	Factibilidad Operacional	42
3.3.	Esquema general del proyecto.	44
3.4.	Recursos de Procedimiento.	44

N°	Descripción	Pág.
3.4.1.	Sección de Censado	44
3.4.2.	Sección de Procesamiento.	45
3.4.3.	Sección de control y de Potencia.	45
3.5.	Diseño y construcción.	46
3.6.	Prueba de funcionalidad.	46
3.7.	Cálculos y resultados.	50
3.8.	Conclusiones.	51
3.9.	Recomendaciones.	53
	Referencias	54
	Anexos	56

Índice de figuras

Nº	Descripción	Pág.
1.	Costos con optimización de ubicaciones vs métodos no optimizados.	9
2.	Elaboración de pedidos en comparación con tiempos programados.	10
3.	Robot diferencial.	13
4.	Seguidores de línea.	13
5.	Arduino uno.	14
6.	Arduino Mega.	15
7.	Arduino mini.	15
8.	Detalle de pines Arduino NANO.	16
9.	Detalle de pines de controlador TB6612FNG.	17
10.	Dimensiones motorreductor Pololu 100:1.	18
11.	Encoder absoluto.	19
12.	Encoder incremental.	19
13.	Encoder óptico.	20
14.	Encoder magnético.	20
15.	Sensor QTR-1A y su circuito en placa.	21
16.	Muestras de señal del sensor QTR-1A sobre superficie.	22
17.	Pilas Alcalinas.	22
18.	Baterías de ácido de plomo.	23
19.	Baterías de litio.	23
20.	Batería LIPO.	24
21.	Lector de RFID.	26
22.	Tarjeta RFID.	27
23.	Modulo Bluetooth HC-05.	28
24.	Interfaz de App Inventor.	29
25.	Diagrama de flujo sobre funcionamiento del prototipo.	33
26.	Interface de EASYEDA.	34
27.	Diseño de esquemático en EASYEDA.	34
28.	Interface de ARDUINO IDE.	35
29.	Distribución de etiquetas, botones y listas dentro de App Inventor.	36
30.	Configuración de listpicker para conexión bluetooth en App Inventor	37
31.	Configuración de botones con bluetooth en App Inventor	37
32.	Configuración de etiquetas responsivas en App Inventor.	38

N°	Descripción	Pág.
33.	Vista de menú de aplicaciones e interfaz gráfica de usuario.	38
34.	Prueba de Modulo de RFID RC522 y lectura de UID de los tags	39
35.	Estanterías 3D diseñadas en Sketchup.	42
36.	Vista en planta del centro de logística.	43
37.	Partes del prototipo por etapa.	44
38.	Conexiones de la sección de censado.	44
39.	Detalle de conexiones de los componentes al Arduino NANO.	45
40.	Conexiones del controlador de motores TB6612FNG.	46
41.	Modelo en 3D de la PCB del prototipo.	46
42.	Simulación de recorridos con tags RFID.	47
43.	Distribución de tags RFID en prueba funcional.	48
44.	Formato de pedido con detalle de ubicación del producto.	48
45.	Trazado de rutas para selección de artículos.	49
46.	Desplazamiento rotacional de 90 grados.	51

Índice de tablas

Nº	Descripción	Pág.
1.	Descripción de variables con sus respectivos indicadores.	4
2.	Detalle de pines con interrupción de placas Arduino más usadas.	12
3.	Parámetros para programar interrupciones en Arduino.	12
4.	Características Arduino Nano.	16
5.	Características Controlador TB6612FNG.	17
6.	Características Motorreductores 100:1	18
7.	Características del Sensor QTR-1A.	21
8.	Comparativa de Baterías	25
9.	Características módulo RFID RC522.	26
10.	Características de tarjeta RFID.	27
11.	Características del módulo bluetooth HC-05.	28
12.	Hardware utilizado en el prototipo.	40
13.	Software utilizado en el prototipo.	41
14.	Presupuesto del proyecto.	42
15.	Consumo energético del prototipo bajo distintas cargas de trabajo.	47

Índice de anexos

N°	Descripción	Pág.
1.	Código de prueba para lecturas analógicas.	57
2.	Código de prueba para lecturas de RFIF.	58
3.	Código de pruebas para TB6612GNG.	59
4.	Código de pruebas para Encoder magnético.	60
5.	Encuesta para valorar la influencia y captación de las ventas en línea.	61



ANEXO XIII.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

“PROTOTIPO DE ROBOT PROGRAMABLE PARA LA GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE INVENTARIO Y PAQUETERÍA HACIENDO USO DE SOFTWARE LIBRE Y MICROCONTROLADORES”.

Autor: Cedeño Palacios Eduardo David.

Tutor: Ing. Gallegos Zurita Diana Ercilia, MG.

Resumen

El presente proyecto de titulación está orientado a la automatización de empresas cuyas actividades económicas sean el almacenamiento, empaquetado y envío de mercaderías a domicilio por medio de un prototipo de robot programable con la capacidad de moverse dentro del centro de logística y guiar a los operarios a las ubicaciones exactas donde se encuentran los productos que necesita para los pedidos. En la elaboración del prototipo fueron utilizados diversos sensores, actuadores y tarjetas de adquisición de datos como el caso de Arduino que utilizan software libre en su programación, adicional se desarrolló una la aplicación móvil para control utilizando el portal web App Inventor empleando programación por bloques. Tras la investigación correspondiente a los componentes, ensamblaje y pruebas del robot diferencial, se logró validar que el prototipo es una alternativa viable para mejorar las operaciones dentro de los centros de distribución, siendo un componente importante en el soporte para el personal encargado de armar los pedidos.

Palabras Claves: Prototipo, Arduino, sensores, software libre, robot diferencial.



ANEXO XIV.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

"PROGRAMMABLE ROBOT PROTOTYPE FOR INVENTORY AND PARCEL STORAGE MANAGEMENT USING OPEN-SOURCE SOFTWARE AND MICROCONTROLLERS ".

Author: Cedeño Palacios Eduardo David.

Advisor: Ing. Gallegos Zurita Diana Ercilia, MG.

Abstract

This degree project is oriented to the automation of companies whose economic activities are storage, packaging and shipment of goods through a programmable robot prototype with the ability to move within the logistics center and guide operators to exact places where are located the products needed for the orders. In the development of the prototype were used several sensors, actuators and data acquisition cards as: Arduino that uses free software in their programming, additionally a mobile application was developed for control using the web portal App Inventor employing block programming. After the researching corresponding to the components, assembly and testing of the differential robot, it was possible to validate the prototype is a viable alternative to improve operations within the distribution centers, being an important support component for the staff who dispatch the orders.

Keywords: prototype, Arduino, sensors, free software, differential robot.

Introducción

Para los clientes, el tiempo que tarda en llegar un pedido a sus manos desde el momento de la compra puede ser un factor determinante para elegir entre una tienda u otra. Las empresas que manejan una cantidad considerable de productos y que a su vez hacen envíos a domicilio se han visto en la necesidad de optimizar los sus procesos de logística, esto con el fin acelerar las entregas.

En este ámbito, automatizar el proceso de movilización de paquetes dentro del almacén mejorará los tiempos para el posterior empaquetado, por ello, se pretende desarrollar un prototipo de robot bípedo dotado de varios sensores y actuadores que trabajaran conjunto a una tarjeta de adquisición de datos como es el caso de Arduino en su versión nano con microcontroladores de la serie ATMEGA.

Contextualizando, para empacar un pedido con 10 productos que están en diferentes estantes, el operador deberá acercarse personalmente a cada uno de los ellos y buscar el producto en cuestión, recogerlo y continuar con el siguiente, esto supone una gran carga de tiempo, mejorar el sistema de inventario colocando la ubicación exacta de los productos dentro de los estantes al personal solo le restaría ir a recoger los productos, labor que el robot facilitará al guiar al operario, con esto se reduce la carga de trabajo sobre el operador, empacar los pedidos será más rápido por lo que el cliente obtendrá mucho antes su pedido.

El trabajo de investigación consta de las siguientes partes:

Capítulo I: En este capítulo se plantea la problemática que la implementación del prototipo pretende mejorar, analizando los causales e investigando las distintas variables. A su vez se establece el objetivo que se busca alcanzar y los pasos necesarios para lograr dicho cometido.

Capítulo II: En este capítulo se revisan los antecedentes para la investigación con base a la problemática que se planteó en el capítulo I. Haciendo uso de un sinnúmero de referencias bibliográficas y fundamentos teóricos, así también la definición de conceptos básicos a utilizar en el ámbito técnico y legal.

Capítulo III: este capítulo describe las mejoras que se obtuvieron de manera operativa, funcional y económica tras el desarrollo del prototipo, enfocado a los resultados en pruebas de operación en un ambiente controlado, con los cuales se recopilan los aspectos a mejorar, recomendaciones y conclusiones.

Capítulo I

El problema

1.1. Planteamiento del problema.

Para las empresas que se dedican a la venta de productos en línea y tienen grandes cantidades de inventario que manejar, les es necesario hacer uso de mucho personal, lo que repercute en costos de operación. Ante esta situación nace la necesidad de automatizar muchos de los procesos.

En este caso, se pretende implementar un robot que constara de una serie de sensores que le permitirán conocer su ubicación en el plano de la bodega, guiar al empacador a la estantería en la que se encuentra el producto que necesita para su posterior salida de centro de distribución.

1.2. Delimitación del problema.

Se pretende implementar a un modelo a escala de un sistema de envío de paquetes el cual constará con un robot que brindará soporte a las labores de distribución de los paquetes a las diferentes instancias de la bodega.

Para ello será necesario tener un modelo para la gestión del inventario, será imprescindible tener un orden para almacenar la mercadería y los paquetes, de esta manera, de acuerdo a la lista de productos que los clientes desean obtener el robot guiará al operador al estante en el que previamente se registró la ubicación.

1.3. Formulación del problema.

¿Por qué es importante mejorar los procesos de transporte y almacenamiento de productos dentro de los centros de logística?

Dado que en la actualidad los mercados son cada vez más competitivos, los procesos de logística que tienen las empresas de ventas en línea con entregas a domicilio son de vital importancia para asegurar a su clientela el poder obtener sus productos en la brevedad de lo posible.

Inmerso en estos aspectos, sobresale la gestión de inventario en los centros de almacenamiento, ya que se ven integradas labores de recepción, almacenaje y movilización de paquetes para su posterior envío. (Rojas & Pacheco. 2019.)

Por lo tanto, la mejora en la movilización de los paquetes y mercaderías entre los diferentes puntos ya sean de almacenamiento o empaquetado, ayudará en gran manera a reducir el tiempo en el que el cliente obtendrá sus productos.

1.4. Justificación e importancia.

Debido a la pandemia provocada por el virus SARS COV 2 (COVID 19), los mercados se han visto grandemente afectados por la paralización de actividades presenciales, las personas al guardar el confinamiento no pueden acercarse a los locales para obtener los productos que necesitan, ante esta problemática los mercados virtuales tuvieron un aumento considerable en ventas ya que les otorgan a las personas la posibilidad de adquirir sus productos a la puerta de sus domicilios, para las grandes empresas como el caso de Amazon, de acuerdo a análisis realizados por Bloomberg, en el último trimestre del 2020 el gigante comercial obtuvo un promedio de mil millones de dólares en ventas diarias.

Cuando se maneja tal cantidad de ventas, las empresas se ven en la necesidad de optimizar los procesos de logística dentro de sus centros de almacenamiento, esto con el fin de asegurar la rápida de llegada de los productos a los clientes.

Dentro de estos aspectos, la movilización de los paquetes se convierte en un factor vital, ya que al automatizar este proceso consecuentemente el empaquetamiento será mucho más rápido.

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán una serie de sensores que, junto con la lógica de programación, harán que el robot prototipo cumpla con su función de guiar al operador dentro del centro de logística, de manera rápida y precisa, con lo que los tiempos de envío mejoran significativamente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Optimizar el proceso de distribución de paquetes dentro de un centro de logística a través del diseño de un prototipo de robot diferencial, haciendo uso de sensores de línea, proximidad y radiofrecuencia.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar el plan de logística utilizado previo a la implementación del prototipo, con el fin que el mismo se adapte a la necesidad del entorno laboral.
- Diseñar el modo de operación para el prototipo, con lo que se podrá determinar los sensores y actuadores que se emplearan en la construcción de este.
- Realizar las pruebas de funcionalidad de prototipo afín de confirmar el correcto funcionamiento en un escenario controlado.

1.6. Hipótesis prospectiva

Si se diseña un prototipo de robot diferencial que guíe a los empleados dentro de las diferentes instancias de un centro de almacenamiento y logista, capaz de llevar a los operadores a los estantes con los productos necesarios para empacar, por ende, disminuirá el tiempo en el los clientes obtendrán sus productos tras la compra, lo que ayudaría a posicionar a la empresa en el sector comercial.

1.7. Variables e indicadores

De acuerdo a la hipótesis planteada anteriormente se obtienen las siguiente variables e indicadores:

Tabla 1

Descripción de variables con sus respectivos indicadores.

Variables	Indicadores
Diseño de prototipo de robot bípedo	Velocidad del robot
	Costo de piezas
	Cantidad sensores
	Capacidad de carga
	Capacidad de batería
Proceso de distribución de paquetes dentro de un centro de logística	Tamaño de los estantes
	Peso de los productos
	Dimensiones de los paquetes
	Dimensiones de pasillos a recorrer

Elaboración: El autor.

1.8. Preguntas de investigación

- ¿Qué tipos de componentes electrónicos utilizara el prototipo?
- ¿Cómo determinara el prototipo cual es el estante que deberá llegar?
- ¿Cómo trabajarán los sensores para ayudar al movimiento del robot?
- ¿Qué tan rápido será el proceso de armado de pedidos de tras la implementación?
- ¿Se consideraría factible la implementación en un escenario de trabajo real?

1.9. Alcance del proyecto

Se pretende diseñar un prototipo de robot que deberá ser capaz de guiar al operario dentro del centro de distribución a la estantería en la que se encuentra el producto que forma parte del pedido que este debe armar.

Para lograr este cometido el robot constara de dos motorreductores con la fuerza suficiente para mover su propio peso, en la base de este tendrá sensores detectores de línea que conjunto a los encoder de los motores le brindara la capacidad de saber la distancia recorrida en el plano.

En el piso, el centro de logística deberá tener instalados tags de RFID, el robot podrá leer y al validar la MAC del tag y determinará si en esa ubicación está el estante con el producto que necesita el operador para que este pueda tomarlo y añadirlo al pedido del cliente.

Todo esto trabajara en conjunto con una tarjeta de adquisición de datos con un microcontrolador de la serie ATMEGA como es el caso de Arduino con su serie de placas nano.

Adicional se programará una aplicación móvil que se conecte inalámbricamente al prototipo con la finalidad que el operador pueda enviar las instrucciones, esta aplicación se realizará utilizando programación por bloques haciendo uso del portar web App Inventor y será adaptable a la pantalla de diferentes tamaños.

Finalmente se realizarán pruebas de funcionalidad para validar que el prototipo cumpla con las especificaciones y requerimientos planteados inicialmente.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes del estudio

De acuerdo con Tello & Pineda (2018), en la actualidad el comercio electrónico se ha convertido en una herramienta que facilita en gran manera la adquisición de productos y servicios de manera rápida y efectiva, incluso sobrepasando fronteras.

Debido al confinamiento dado por la amenaza provocada por la pandemia del virus COVID 19 a nivel mundial, estas empresas de *e-commerce* han tenido un gran aumento en sus ventas diarias, en Ecuador, las MYPIMES se han visto en la necesidad de adaptarse a este modelo de negocio al ser un campo de crecimiento continuo que en el país aún falta explorar y explotar.

Ante el auge que han tenido estos comercios electrónicos, las empresas que se encargan de enviar sus productos a domicilio, dentro de sus almacenes, deben manejar sistemas que les faciliten las labores de los empleados, reduciendo la carga física para evitar lesiones y que a su vez mejoren los procesos de movilización y empaquetados de productos.

Entre las empresas que han mejorado sus sistemas de almacenamiento de productos esta AMAZON, al ser un gigante comercial a nivel mundial, han optado por el uso de robots en sus almacenes, con lo que lograron optimizar el uso de espacio en sus almacenes hasta en un 50% de acuerdo con Cartes (2019).

Amazon con diferentes centros de almacenamiento y logística ubicados estratégicamente alrededor del mundo para el empaquetado y envío de productos a sus clientes, con un volumen de ventas sumamente elevado han llevado los procesos de logística a otro nivel, haciendo uso de sistemas hechos a la medida y capacitando al personal para ser más eficientes en sus labores. Por ejemplo, consta con un sistema de inventario en el que el operador registra todos los datos del producto a almacenar en una base de datos, con lo que se puede tener un control de la cantidad de stock y los robots ya conocen el lugar en el que están dentro del almacén, proceso que de realizarlo de manera manual tomaría mucho tiempo por las dimensiones de este.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Logística en centros de almacenaje.

En concordancia con León Quiroga(2017), la logística comprende el proceso de gestionar y manejar el movimiento de productos y datos durante toda la cadena de valor sin que se genere una carencia o escases de estos, con la finalidad de cubrir la constante demanda de los clientes de manera rápida y efectiva.

Dentro de los procesos de logística intervienen una serie de factores y entidades como son los apovisionadores de mercaderías, la empresa central, los medios de almacenaje y compradores.

2.2.2. Centros de distribución

De acuerdo con León Quiroga(2017), Son las instalaciones cuya función es la de acaparar los artículos para su posterior manejo(selección, empaquetado y envío), la principal gestión dentro de estas instalaciones será pretender tener una simetría entre la oferta y demanda de las diferentes mercaderías, esto con el objetivo de hacer circular los productos para que estos no se deterioren con el tiempo y provoquen pérdidas económicas o evitar el desabastecimiento cuando la demanda de determinado artículo es alta, para lograr estos objetivos las empresas se apoyan en las tecnologías de la información y comunicación (TIC) diseñando sistemas a la medida de sus necesidades, con lo que el control de inventario será más óptimo.

2.2.3. Funciones dentro de un almacén.

Como señala Elizalde Marín (2018), se definen las siguientes funciones dentro de un centro de almacenaje:

2.2.3.1. Recepcion del producto y eentrada del stock al almacén.

Etapa inicial del proceso de almacenamiento, en ella se ven implicados los diferentes proveedores de los artículos que la empresa presenta ante el público, estos llegan en lotes que deben ser revisados por el personal de bodega con el fin de validar que el inventario este acorde al perdido realizado en principio, tras corroborar que los artículos y la cantidad están correctos pasan al proceso de almacenaje.

2.2.3.2. Almacenamiento del producto.

Durante esta etapa principalmente se lleva a cabo el peso de cada uno de los productos, esto para que la suma de los pesos de cada uno no sobrepase la capacidad que el robot pueda cargar, durante esta etapa los bodegueros registran en una base de datos la ubicación del producto en el estante para que de esta manera el robot pueda saber con exactitud el lugar

en el que se encuentra el producto.

2.2.3.3. Reubicación del producto cuando es necesario.

Para evitar que los productos pasen mucho tiempo en stock y se llegue a acumular polvo o alguna partícula que los llegue a deteriorar, periódicamente son revisados y de ser necesario cambiado de lugar a otro estante con artículos de similares características con el fin de optimizar la cantidad de recorridos que debe hacer el robot al encontrar más de un artículo del cliente en el mismo estante.

2.2.3.4. Selección de ordenes de necesidad de producto.

En este apartado es cuando entra en acción el prototipo, ya que se encargará de recoger los estantes en los que se encuentren los productos que son necesarios para empacar, de acuerdo al pedido realizado por el cliente.

2.2.3.5. Alistamiento y embalaje del producto que va salir.

Luego que el personal encargado de empaquetar los productos los tiene todos a mano proceden con el proceso de embalaje de los estos dentro de los diferentes medios como pueden ser cajas de cartón de tamaños variados, fundas de papel o envolturas plásticas.

2.2.3.6. Consolidación del producto con documentos de salida.

Tras estar los productos ya empaquetados, lo siguiente será colocar la respectiva etiqueta con los datos del cliente como son los nombres completos, dirección, código postal entre otros, esto con la intención que el personal encargado de hacer las entregas pueda llegar a cabo una labor rápida y precisa.

2.2.3.7. Envío de mercadería.

En esta etapa los paquetes son apilados en la sección del almacén destinada para el ingreso de los camiones de entrega, son entregados junto las guías de rastreo de los artículos, esto es para brindarle al cliente una forma de determinar en qué parte del proceso del envío se encuentra su compra.

2.2.3.8. Administración del almacén e inventario

Para cerrar el ciclo de la venta, de manera interna el personal administrativo de bodega debe llevar un control minucioso del stock de los productos, con estos controles se evita tener desabastecimiento de los artículos que más salida tienen con lo que se pretende acaparar la mayor cantidad de compradores.

2.2.4. Sistemas de gestión de almacenes

De acuerdo con Elizalde Marín (2018), un sistema de gestión de inventario es una herramienta cuya utilidad radica en determinar, medir y manejar los niveles de existencia de

los artículos en bodega y definir que cantidad de estos serán requeridos por parte de los proveedores, dada esta definición básicamente un sistema de inventario se encarga de velar por la existencia o stock de productos para que estén siempre disponibles a ser comercializados.

Mencionadas estas características es por lo que la gestión de inventarios constituye un punto fundamental dentro de los balances de las comercializadoras.

2.2.5. Optimización de ubicaciones.

De acuerdo con León Quiroga (2017), este proceso también llamado SLOTTING en inglés, es un término que hace referencia a la manera en la que son ubicados los artículos dentro del centro de distribución, esto con la finalidad de mejorar los tiempos de depósito y reducir las rutas de operación para despacho o mantenimiento.

En concordancia con Gómez, Cano, & Campo (2018), en la optimización de ubicaciones se debe tener en cuenta la correcta distribución de los productos más cotizados o que tengan mayor rotación dentro del almacén, esto para tener un menor recorrido por parte de los operarios y así reducir los tiempos del armado de pedidos, como se logra observar en la siguiente gráfica, al tener un método óptimo de slotting se logra reducir costos de operación para cantidades de stock grandes y pequeñas.

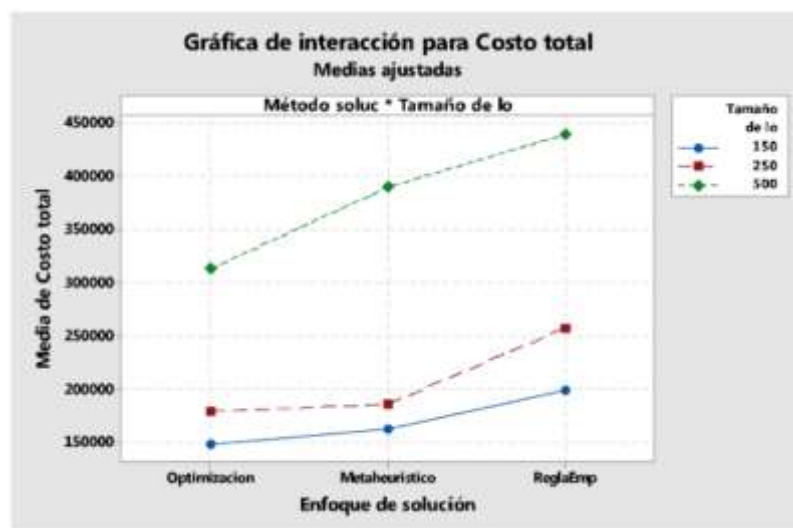


Figura 1 Costos con optimización de ubicaciones vs métodos no optimizados.

Fuente: Tomado de Revista Espacios

Elaboración: Gómez, Cano, & Campo.

En concordancia con Rodríguez Roca (2017), la aplicación de una correcta gestión de inventario aumenta la productividad dentro del centro de logística, esto ayuda con la precisión de la ubicación de los artículos dentro del almacén, su rotación y disminuye los

tiempos de atención de los pedidos ya que los operarios podrán encontrar los productos más rápidamente.

Además que otorga rentabilidad a la empresa, ya que al aumentar la productividad se pueden atender mayor cantidad de pedidos en el mismo periodo de tiempo con lo que se logra reducir costos y se aumenta el margen de ganancias.

De acuerdo con Rodríguez Roca (2017) los pedidos dentro del almacén se los puede categorizar en 3 tipos, pequeños, grandes y medianos, la elaboración de cada uno de ellos conlleva un periodo de tiempo por parte de los operarios como se muestra a continuación:

Nº de Pedido	Fecha	Dimensión del pedido	Productos por pedidos	Productos despachados	Horas Hombres Utilizadas (minutos)	Horas Hombres programadas (minutos)
Pedido 1	1/12/2016	Mediano	22	12	76	63
Pedido 2	1/12/2016	Mediano	17	13	73	53
Pedido 3	1/12/2016	Mediano	17	13	77	53
Pedido 4	1/12/2016	Grande	38	28	121	95
Pedido 5	1/12/2016	Mediano	20	14	86	59
Pedido 6	5/12/2016	Mediano	18	11	78	55
Pedido 7	5/12/2016	Pequeño	10	8	65	39
Pedido 8	5/12/2016	Pequeño	8	6	54	35
Pedido 9	5/12/2016	Mediano	17	9	73	53
Pedido 10	5/12/2016	Mediano	23	17	94	65
Pedido 11	6/12/2016	Pequeño	8	7	51	35
Pedido 12	6/12/2016	Mediano	23	15	89	65
Pedido 13	6/12/2016	Pequeño	12	7	61	43
Pedido 14	6/12/2016	Grande	25	12	94	69
Pedido 15	6/12/2016	Pequeño	9	7	53	37
Pedido 16	6/12/2016	Mediano	17	12	69	53
Pedido 17	8/12/2016	Mediano	22	14	85	63
Pedido 18	8/12/2016	Mediano	19	9	83	57
Pedido 19	8/12/2016	Mediano	19	10	81	57
Pedido 20	8/12/2016	Grande	29	18	113	77
Pedido 21	12/12/2016	Mediano	20	14	81	59
Pedido 22	12/12/2016	Pequeño	15	8	77	49

Figura 2 Tiempo de elaboración de pedidos en comparación con tiempos programados.

Fuente: Información tomada de Aplicación de gestión de inventario para la mejora de la productividad en el área de almacén de la empresa CENTAURUS del Perú.

Elaboración: Rodríguez Rolando, 2017

Como se logra observar en la figura 2, se hace una comparación del tiempo en minutos que toma elaborar un pedido, ya sea de tamaño pequeño, mediano o grande, esto contrastado contra el tiempo programado. Se valida que en todos los pedidos existe un excedente de tiempo, los pedidos no logran ser armados dentro de la programación, lo que repercute en los tiempos en los que los clientes obtienen sus productos y causa pérdidas a la empresa.

Con la implementación del prototipo de robot que se encargue de la movilización de los paquetes dentro del centro de distribución se busca mejorar la productividad de los operadores, reduciendo así la ventana de tiempo que les toma tener listo un pedido, a su vez que se reduce la carga física y aumenta la capacidad de almacenamiento dentro de CEDI.

2.2.6. Interrupciones

Para la detección de un cambio en una de las entradas digitales de Arduino es necesario

ordenar al microcontrolador que constantemente este revisando el estado de esta, no es lo mas optimo para este tipo de requerimiento ya que exige a la unidad de procesamiento un consumo energetico mayor al estar trabajando todo el tiempo y las lecturas estan sujetas a fallos de muestreo por los tiempos entre cada lectura de la entrada.

El metodo de hacer lecturas con un intermedio de tiempo se denomina *poll*, aparte del consumo de energia y lecturas erroneas tambien supone un problema a la hora de ejecutar otras instancias del programa, si el pulso es muy corto y el microcontrolador estaba ocupado en otra actividad no sera leído, esto para algunas tareas no es aceptable.

Para estos inconvenientes es que existen las interrupciones, se asignan pines con la capacidad de detectar pulsos de manera rapida y hacer que la unidad de procesamiento realice una tarea mas agilmente.

2.2.6.1.Interrupciones por Hardware.

También conocidas como interrupciones externas, son aquellas que ocurren de manera asincrónica con respecto a la ejecución del programa, es decir, pueden ocurrir en cualquier instante de tiempo independientemente de lo que el procesador este realizando. Se dan principalmente en las lecturas digitales de entrada o salida y están asociadas a dispositivos de distinta clase.

2.2.6.2.Interrupciones por Software.

Son aquellas que se crean por medio de un programa mientras este se ejecuta. Para hacerlas hay a disposición una serie de instrucciones en lenguaje ensamblador o de máquina que dotan al programa de la capacidad para interrumpir lo que esté haciendo y realizar la acción planeada en esta interrupción. Arduino no posee la capacidad de programar este tipo de interrupciones.

2.2.6.3.Interrupciones por evento programado.

Son aquellas ligadas a los temporizadores o timers, la funcion *millis()* es el principal ejemplo del uso de este tipo de interrupcion.

2.2.6.4.Pines de interrupción.

Cada modelo de placa Arduino consta con pines con la capacidad de interrupción, en la siguiente tabla se detalla la ubicación de estos en las placas Arduino más utilizadas.

Tabla 2

Detalle de pines con interrupción de placas Arduino más usadas.

Placa	INT 0	INT1	INT 2	INT3	INT4	INT 5
UNO	Pin 2	Pin 3				
NANO	Pin 2	Pin 3				
PRO MINI	Pin 2	Pin 3				
MEGA	Pin 2	Pin 3	Pin 21	Pin 20	Pin 19	Pin 18
DUE	Todos tienen interrupción.					
LEONARDO	Pin 3	Pin 2	Pin 0	Pin 1	Pin 7	

Elaboración: El autor.

2.2.6.5. Parámetros de interrupción.

Al momento de programar las interrupciones en Arduino se debe tener en cuenta las sentencias para la ejecución de las instrucciones dentro de la interrupción, para ello hay que saber si el dispositivo externo de la esta dependerá esta normalmente en estado alto o bajo, lo que también se conoce como *pull up* o *pull down* respectivamente.

Tabla 3

Parámetros para programar interrupciones en Arduino.

Sentencia	Descripción
LOW	Ejecuta la interrupción cuando la lectura digital es LOW
CHANGE	Ejecuta la interrupción con cada cambio de estado de LOW a HIGH y viceversa.
RISING	Ejecuta la interrupcion con cada flanco de subida, es decir, cuando pase de LOW a HIGH.
FALLING	Ejecuta la interrupcion con cada flanco de bajada, es decir, cuando pase de HIGH a LOW.

Elaboración: El autor.

2.2.7. Robots diferenciales.

Un robot tipo diferencial tiene la capacidad de ejecutar movimientos en línea recta, curva sobre su propio eje, está constituido principalmente por dos motores laterales y rudas libres que le sirven de apoyo para que mantenga estabilidad sobre el piso y no se produzca arrastre con alguna de las partes que conforman su estructura.

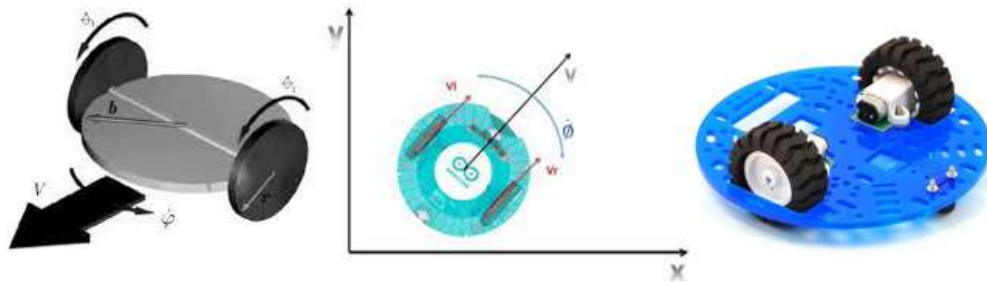


Figura 3 Robot diferencial.
Elaboración: El autor.

2.2.8. Robot seguidor de línea.

La principal función de este robot es el de seguir una ruta que es previamente trazada sobre una superficie lisa y apta para que pueda movilizarse con seguridad, esta normalmente dotado de sensores con leds infrarrojos y fototransistores en la parte de detección de línea, normalmente se utilizan superficies de color blanco para detección de línea negra, aunque por medio de configuración se puede hacer que trabajen de manera opuesta.

Son ampliamente utilizados para hacer prácticas de los diferentes sistemas de control para motores o sistemas, como es el caso de los controles proporcionales integrales derivativos PID, que con la mano de ensayos de prueba y error logran darle un equilibrio a las prestaciones físicas y de programación de los prototipos consiguiendo así un alto rendimiento en competiciones de velocidad.



Figura 4 Seguidores de línea.
Elaboración: El autor.

2.3. Definiciones Conceptuales

En esta sección se detallarán las características técnicas de los diferentes componentes electrónicos y mecánicos a usar para la elaboración del prototipo, así también, los conceptos básicos a tener en cuenta durante el presente trabajo.

2.3.1. Plataforma Arduino

2.3.1.1. Arduino Uno.

Es la placa de preferencia para estudiantes o entusiastas que quieren empezar hacer prácticas de control o para proyectos en los que se tiene espacio para la implementación, consta con un microcontrolador ATMEGA 328, dispone también de pines hembra para conexión de cables, posee un puerto USB tipo B 1.0 para conexión de datos y un conector hembra para fuentes de entre 7.4 a 12 v.



Figura 5 Arduino uno.

Fuente: Tomada de arduino.cl

2.3.1.2. Arduino Mega.

Placa que se maneja con el microcontrolador ATMEGA 2560, posee mayor cantidad de pines, 54 que se pueden configurar como entrada y salida de datos digitales, de estos 54 pines 16 poseen la capacidad de entregar una señal de modulación por ancho de pulso o PWM, también posee 16 pines para entradas analógicas, un conector USB tipo B 1.0 y un conector hembra para fuentes de alimentación externa.

Es un modelo de placa ideal en proyectos que requieran una gran cantidad de entradas y salidas de control, manejo de gran cantidad de sensores y actuadores que sobrepasen la capacidad de un Arduino uno.



Figura 6 Arduino Mega.
Fuente: Tomada de arduino.cl

2.3.1.3.Arduino Mini.

Es una versión reducida del Arduino nano, en la actualidad maneja el mismo microcontrolador ATMEGA 328, no tiene incorporada la conexión USB a serie por lo que para programarlo es necesario contar un con modulo que realice esta función. Tiene 14 pines que pueden ser configurados como entrada o salida digitales, de los cuales 6 poseen PWM, consta también de 8 pines para conexión de entradas analógicas.

Es una placa idónea para proyectos de reducido espacio en los que no se van a realizar cambios constantes.

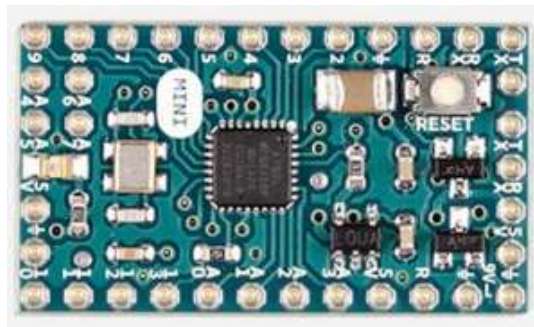


Figura 7 Arduino mini.
Fuente: Tomada de arduino.cl

2.3.1.4.Arduino Nano.

Placa de adquisición de datos basada en microcontroladores de la serie ATMEGA 328, dado su reducido tamaño y versatilidad, la convierten en una herramienta de gran utilidad en el ámbito de desarrollo de prototipos, esto junto a que su programación se da desde un software con código libre y que consta con gran documentación para el manejo de gran diversidad de sensores y actuadores.

Esta será la placa a usar en el desarrollo del prototipo de robot, a continuación, se listan más a detalle las características técnicas.

Tabla 4

Características Arduino Nano.

Característica	Detalle
Chip microcontrolador	ATMEGA 328
Arquitectura	AVR
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12 V
Velocidad Reloj	16 MHz
Pines E/S Analógicos	8
Pines E/S digitales	22
Pines con PWM	6
Tamaño de la placa	18 x 45 mm
Peso de la placa	7 g
Memoria datos	30KB + 2 KB para bootloader
SRAM	2KB
Memoria EEprom	1 KB

Fuente: Información adaptada de <https://arduino.cl/producto/arduino-nano/>.

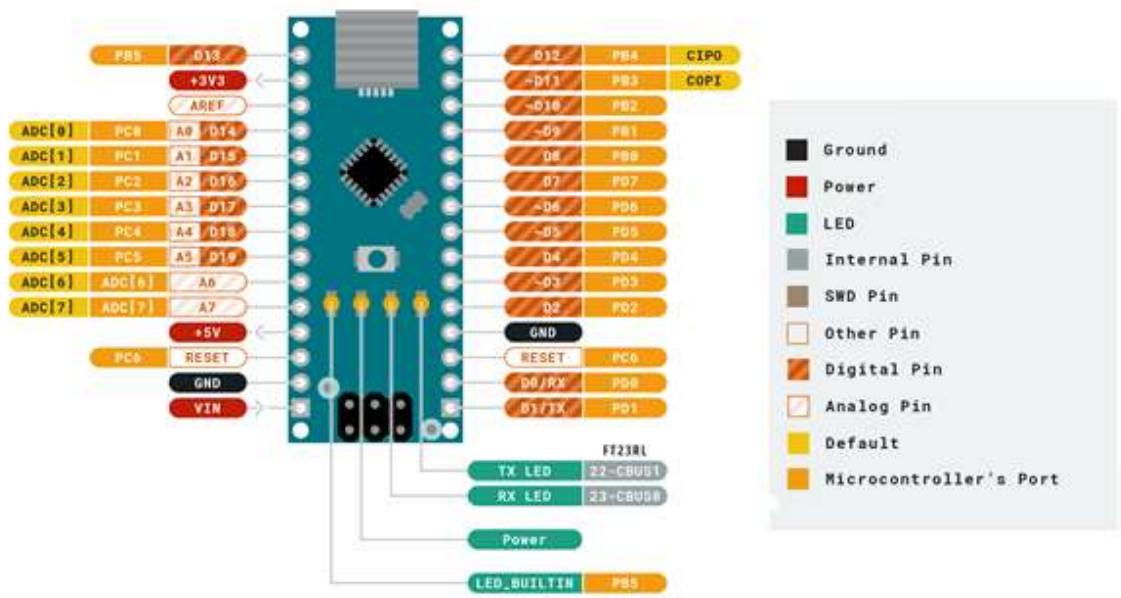


Figura 8 Detalle de pines Arduino NANO.
Fuente: Adaptada de arduino.cl

2.3.2. Controlador de motor TB6612FNG.

Para el control de motores de corriente continua Arduino Nano al ser una placa de manejo

de datos no consta con la potencia suficiente para dispositivos de gran consumo de corriente como es el caso de los motorreductores, para ello es necesario el uso de un controlador que servirá de intermediario entre la placa de control y los actuadores.

En el desarrollo del prototipo se utilizará el controlador para motores Tb6612fng de la marca POLOLU el cual conta de las siguientes características técnicas:

Tabla 5

Características Controlador TB6612FNG.

Característica	Detalle
canales de control	2
Voltaje recomendado para motor	4,5 a 13,5 V
Voltaje para control	2,7 a 5,5 V
Frecuencia máxima PWM	10Khz
Corriente de salida máxima	3 A por canal
Corriente de salida continua	1 A por canal hasta 2 A en paralelo

Fuente: Información adaptada de <https://www.pololu.com/product/713..>

Adicional consta con condensadores de filtrado para ambas líneas y protección contra potencias inversas de los motores.

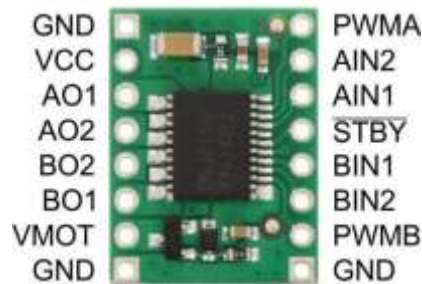


Figura 9 Detalle de pines de controlador TB6612FNG. ´

Fuente: Información tomada de www.pololu.com

El modo de operación del este controlador es el siguiente: mediante una conexión de 0 lógico al pin STBY habilita la operación del módulo, se debe suministrar el voltaje de operación para datos que será no mayor de 5.5 V, para cada motor se tendrán dos pines de potencia y uno para el control de velocidad por medio de PWM que se conectara a uno de los pines de Arduino capaz de enviar datos bajo esta modulación.

2.3.3. Motorreductor 100:1

Se trata de un motor, en este caso, de corriente continua, el cual tiene acoplado en la

2.3.4. Encoder para motor.

Un Encoder es un dispositivo electromecánico que convierte pulsos en eléctricos en señales que al ser sometidas a procesos matemáticos ayudan a determinar la posición angular de un eje, por las características antes mencionadas se convertiría en un dispositivo transductor (Ibañes Hidalgo, 2018).

Existen diferentes tipos de Encoder de acuerdo a su construcción y manera de obtener la señal de entrada, a continuación, se revisará los más comunes.

2.3.4.1. Encoder Absoluto

Estos ayudan a determinar la posición real del robot en un espacio desplazado, van de la mano con codificación y algoritmos matemáticos que le dotan la capacidad de obtener la posición en cada movimiento del eje, son usado mayoritariamente para censar desplazamiento angular lineal, tienen algunos rangos entre nivel oscuro y claro que darán como resultado una señal digital que el microcontrolador podrá interpretar en movimiento.

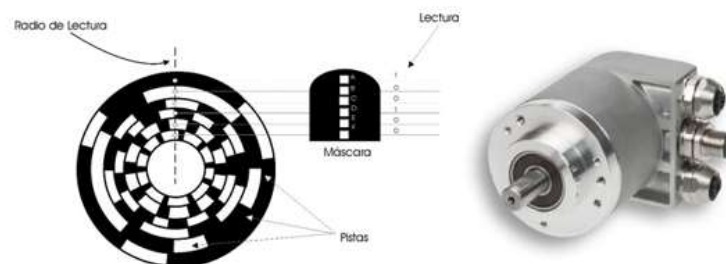


Figura 11 Encoder absoluto.
Elaboración: El autor.

2.3.4.2. Encoder incremental

Estos ocupan un disco con dos niveles de lectura en rangos de nivel oscuro y claro, estos emiten dos señales en forma de pulso con lo que es posible determinar la ocurrencia de movimiento del eje y el ángulo.

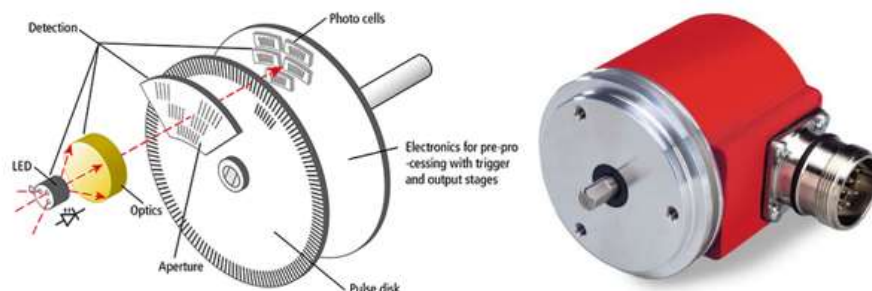


Figura 12 Encoder incremental.
Elaboración: El autor.

2.3.4.3. Encoder Óptico.

Son aquellos que para la detección del movimiento del eje ocupan sensores con luz o laser, normalmente suelen emplear dos partes, la primera es el emisor de luz y la otra será un fototransistor que al receptrar la luz emitirá una señal analógica que podrá ser leída por el microcontrolador.

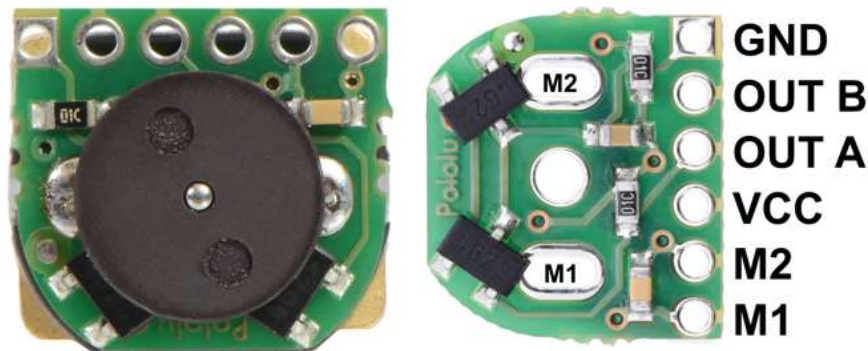
Existen modelos de llantas cuya estructura interna permite el uso de estos modulo, están diseñados para motores en los que el eje no está extendido para la colocación del elemento que cumple con la función de pasar por encima de los sensores para que se dé la detección de movimiento, estos en cambio utilizan los cortes internos de la rueda para cumplir este cometido.



*Figura 13 Encoder óptico.
Elaboración: El autor.*

2.3.4.4. Encoder Magnético.

Para la determinar el movimiento utiliza un disco magnético y sensores de efecto hall, al detectar el campo magnético del disco los sensores de efecto hall emitirán una señal con la que se logra saber que ha ocurrido movimiento del eje.



*Figura 14 Encoder magnético.
Elaboración: El autor.*

2.3.5. Sensor QTR-1A.

Sensor de reflectancia que consta de un led emisor de luz infrarroja y un fototransistor de recepción, se configura el fototransistor con una resistencia de 47k ohm en pull-up con lo que se crea una diferencia de tensión entre 0v y Vcc (normalmente 5V) la cual puede ser leída por una de las entradas analógicas de Arduino con una resolución de 10 bits.

El consumo eléctrico del led infrarrojo es cercano a los 17 mA con alimentación de 5v, con lo cual es posible conectarlo a uno de las salidas digitales de Arduino y encenderlo y apagarlo a conveniencia con la finalidad de ahorrar energía. El Sensor QTR-1A consta de las siguientes características:

Tabla 7

Características del Sensor QTR-1A.

Característica	Detalle
Tamaño	8.38 x 12.7 x 2.54 mm
Peso	0,2 g
Voltaje de operación	5 V
Corriente de operación	17 mA
Forma de señal de salida	Analógico
distancia de detección optima	3mm
distancia de detección máxima	6 mm

Fuente: Información adaptada de <https://www.pololu.com/product/2458>.

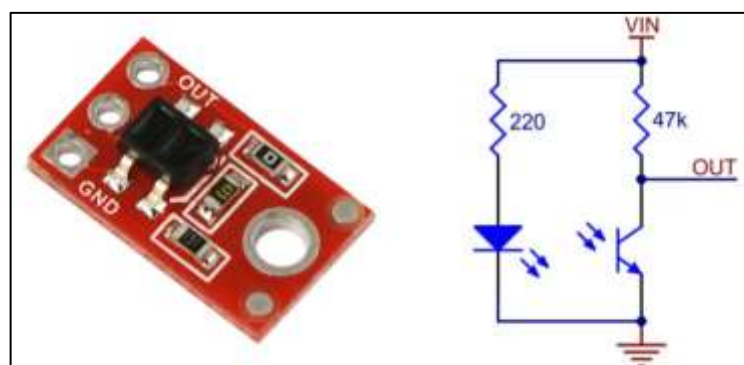


Figura 15 Sensor QTR-1A y su circuito en placa.
Elaboración: El autor.

2.3.5.1. Interfaz con la salida QTR-1A

Se conectará a las entradas analógicas del Arduino nano, el cual internamente consta de un convertidor analógico-Digital con una resolución de 10 Bits (hasta 1024 muestras de una señal). El sensor está diseñado para trabajar sobre superficies con una alta reflectancia, de preferencia color blanco, con lo que al tener una interrupción por color negro se tendrá una respuesta en la salida del sensor en forma de un pico que podrá ser leído e interpretado por el microcontrolador. Con superficies con menor reflectancia de luz, la señal ante un cambio a negro será más distorsionada y complicada de leer para el Arduino, ambas situaciones se logran apreciar en la siguiente imagen:

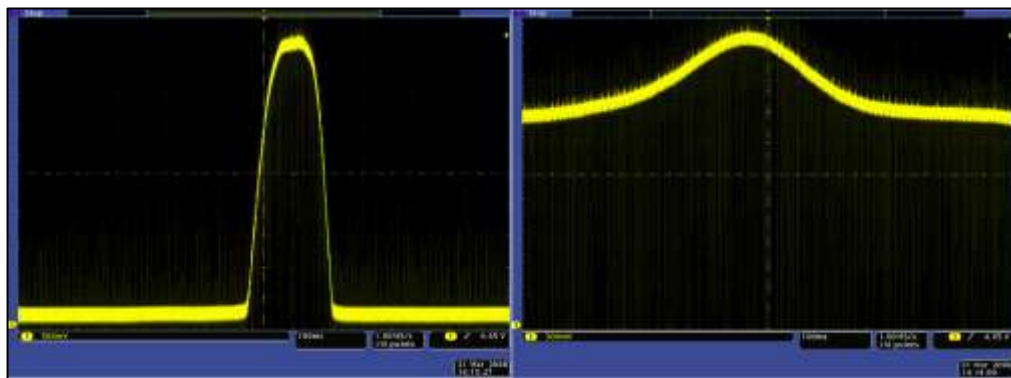


Figura 16 Muestras de señal del sensor QTR-1A sobre superficie de reflectancia alta y baja.
Fuente: Información tomada de www.pololu.com.

2.3.6. Batería.

Corresponde una parte esencial para el correcto funcionamiento del prototipo, la elección de una buena batería está sujeta de diversos factores que varían de acuerdo a los componentes a usar en el proyecto. Existen diferentes tipos de baterías con diferentes capacidades, tamaños y capacidad de carga y descarga.

2.3.6.1. Baterías Alcalinas.

Son las más comunes de encontrar, principalmente utilizadas en usos cotidianos como fuentes para controles remotos y dispositivos inalámbricos de bajo consumo. La energía que suministran es muy estable pero su duración es baja y no están diseñadas para descargas de grandes cantidades de energía.



Figura 17 Pilas Alcalinas.
Elaboración: El autor.

2.3.6.2. Baterías de Acido de plomo.

Estas tienen mayor tamaño y peso, son bastante usadas en vehículos de transporte como automóviles y motocicletas. Ofrecen la ventaja de ser recargables y de alta duración. Dentro de su interior tienen dos placas de plomo denominadas cátodos y una combinación de ácido sulfúrico en una solución acuosa lo que causa una reacción química capaz de almacenar energía y dota la capacidad de ser recargable hasta que los cátodos cumplan su ciclo de vida útil.



*Figura 18 Baterías de ácido de plomo.
Elaboración: El autor.*

2.3.6.3. Baterías de iones de litio.

Están construidas utilizando una sal de litio como electrolito, son muy utilizadas en dispositivos de electrónica pequeños como celulares y fuentes para computadores portátiles. Caracterizadas por una densidad de energía alta y gran rendimiento a lo largo del tiempo, su vida útil oscila entre los 3 años, normalmente no tienen la capacidad de descargarse por encima de su valor de corriente nominal lo que impide que sean utilizadas en proyectos de potencia.



*Figura 19 Baterías de litio.
Elaboración: El autor.*

2.3.6.4. Baterías de polímero de litio.

Son una mejora de las baterías de litio, estas poseen una gran capacidad energética y rendimiento, así como un reducido peso y también permiten la descarga por valores encima de su corriente nominal, son utilizadas en proyectos que demandan una cantidad de corriente alta en pequeños instantes de tiempo, principalmente si contienen motores de corriente continua, ya que al arrancar estos tienden a consumir mucha corriente, lo que causo un pico de consumo elevado en un pequeño instante de tiempo, si las baterías no permiten una descarga que pueda sobrellevar esta características de los motores estos no arrancaran.

Como desventaja si las baterías se descargan por debajo de 30% de su capacidad quedan inutilizables, tienden a deteriorarse con el tiempo y si son expuestas a golpes pueden explotar por lo que es necesario estar al pendiente del lugar en el que son almacenadas.



Figura 20 Batería LIPO.

Fuente: Tomada de avelectronics.cc.

Cabe destacar que al momento de adquirir estas baterías es importante tener en cuenta el valor de descarga o tasa de descarga C que viene dada por el fabricante. Esta característica menciona que la batería puede descargarse su valor nominal dado en mAh multiplicado por su tasa de descarga, es decir, en el caso práctico del prototipo la batería a usar es de una capacidad de 1000mAh y 50C, lo que significa que puede llegar a descargar hasta 50 A en una fracción de tiempo pequeña, óptima para la utilización de motores de corriente continua.

Adicional también es importante que el voltaje sea el adecuado para el prototipo, estas baterías están construidas con celdas de 3.7 v cada una, en este caso son dos conectadas en serie por lo que se tiene una salida de 7.4 V, ideal para el Arduino y los motores.

Tabla 8

Comparativa de Baterías

Batería	Tensión nominal (V)	Capacidad (mAh)	Cap. De recarga	peso (g)
alcalina Energizer	9	625	no	45.6
acido de plomo NPH5-12	12	7000	si	1850
iones de litio RS Pro	7,4	2600	si	94
polímero de litio NANO-TECH	7,4	1000	si	60

Elaboración: El autor.

En la tabla 8 se puede observar las características relevantes para la elección de la batería a usar.

Analizando las características de las baterías alcalinas su principal beneficio es el peso, al ser ligeras favorecerán a la autonomía del robot, por el contrario, no ofrecen la capacidad de ser recargables, lo que a largo plazo repercutirá en temas de costos y al contener químicos que pueden ser muy contaminantes no es recomendable su uso para este proyecto.

Para las baterías de ácido de plomo la capacidad es una gran ventaja, el robot tendrá mayor cantidad de horas de operación, esto se ve contrariado con el peso de las baterías de este tipo, al tener un peso bastante considerable hará que sea necesario el cambio de los motores por unos de mayor torque para que puedan mover el prototipo, lo que incurre en un alza del costo de proyecto, característica que la descarta al uso en este prototipo.

Las baterías de iones de litio presentan características interesantes que las hacen más apropiadas para el uso en el prototipo, su peso no es excesivo y puede ser manejado por los motores seleccionados, posee capacidad de recarga lo que la hace sostenible a largo tiempo y reduce la emisión de agentes contaminantes, la capacidad de corriente que puede suministrar asegura el correcto funcionamiento del robot.

Las baterías de polímero de litio al ser una versión mejorada de las de iones de litio son las más adecuadas para este proyecto, presentan las mismas características en temas de autonomía y capacidad, pero con un menor peso que será de ayuda para que los motores no realicen mayor consumo de energía, la capacidad de descarga es mayor por lo que dotara al prototipo de estabilidad en términos de energía a ocupar durante su operación.

2.3.7. Lector de RFID RC522

Corresponde al elemento activo de los sistemas de RFID, comprende una tarjeta de circuito impreso que consta de una serie de componentes electrónicos y chips que al ser conectados a la interface de adquisición de datos permitirá la lectura de la información almacenada en las etiquetas pasivas.

En este caso se hará uso del módulo lector RFID RC522 el cual funciona como lector y grabador de tarjetas que manejen esta tecnología.

Tabla 9

Características módulo RFID RC522.

Característica	Detalle
Voltaje de Operación	3.3V DC
Corriente de Operación	13-26mA/3.3V DC
Corriente de Standby	10-13mA/3.3V DC
Corriente pico	<30mA
Frecuencia de operación	13.56 MHz
Tasa de transferencia máxima	10Mbit/s
tarjetas compatibles	Mifare1 S50, S70 Mifare1, MIFARE Ultralight, Mifare Pro, Mifare DESFire.
Dimensiones	40 mm x 60 mm
tasa de transmisión por defecto	9600bps
velocidad de transferencia máxima	1228800bps

Fuente: Información adaptada de naylampmechatronics.com.

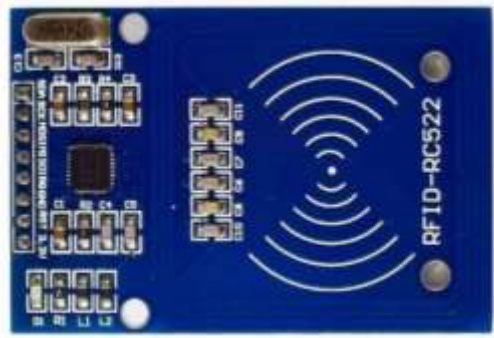


Figura 21 Lector de RFID.

Fuente: Tomada de naylampmechatronics.com.

2.3.8. Tarjeta RFID

Las tarjetas o etiquetas de identificación corresponden al elemento pasivo para el manejo de sistemas con RFID, tienen integrado un chip interno dotado de una pequeña memoria que puede almacenar datos como números o la MAC de esta.

Tabla 10

Características de tarjeta RFID.

Característica	Detalle
Chip	Philips Mifare 1k S50
Capacidad memoria	8Kbit EEPROM
fuelle de alimentación externa	No requiere
capacidad de sobreescritura	100000 veces
Frecuencia de operación	13.56MHz
Protocolo RF	ISO14443A
Velocidad de comunicación	106KBPS
Distancia de lectura/escritura	≤ 10cm

Fuente: Información adaptada de naylampmechatronics.com.



Figura 22 Tarjeta RFID.
Elaboración: El autor.

2.3.9. Modulo Bluetooth HC-05.

En concordancia con Torres & Moreno (2020), bluetooth en similitud al RFID son tecnologías que permiten la transferencia e intercambio de datos entre dispositivos sin la ulizacion de medios guiados, es decir, utiliza enlaces de radiofrecuencia de manrea inalambrica.

El modulo de bluetooth HC-05 permite la conexión entre dispositivos como celulares, radios, mandos de distancia, entre otros, esto haciendo uso del puerto serial.

Este modulo presenta la ventaja que puede ser configurado de maestro o esclavo, configuración que se puede hacer por medio del monitor serie de arduino empleando comandos AT.

En la siguiente tabla se pueden apreciar las principales caracterisitcas del modulo Bluetooth HC-05:

Tabla 11
Características del módulo bluetooth HC-05.

Característica	Detalle
Voltaje de operación	De 3.6 a 6 V DC
Consumo de eléctrico	50mA
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Versión de Bluetooth	V2.0+EDR
Alcance	10 metros
Velocidad de transmisión	De 1200 bps a 1.3 Mbps
Modo de comunicación	Serial TTL

Fuente: Información adaptada de naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html.

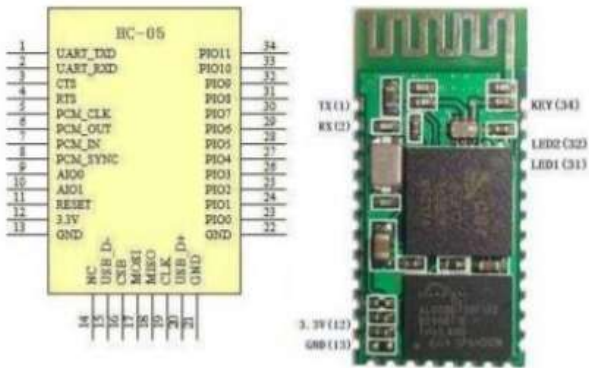


Figura 23 Modulo Bluetooth HC-05.
Fuente: Tomada de “Interfaz de sistemas de radiofrecuencia a bluetooth”, 2020
Elaboración: José Ignacio Vega, 2014

2.3.10. App Inventor

Para el desarrollo de la app con la que el operador del prototipo podrá enviar instrucciones de movimiento o dirección hacia las estanterías se utilizó App Inventor, este es un portal web que permite crear aplicaciones móviles haciendo uso de una plantilla inicial de una pantalla de celular, Tablet o monitor.

Para la programación se utilizan bloques, los tienen diferentes características de acuerdo al tipo de elemento que se integró en la pantalla y que al combinarlos permiten al usuario final hacer una acción u otra.

En la siguiente imagen se logra observar la interface grafica para la colocación de los botones, etiquetas, opciones de bluetooth, multimedia, entre otros, así también se puede apreciar en entorno de programación por bloques.

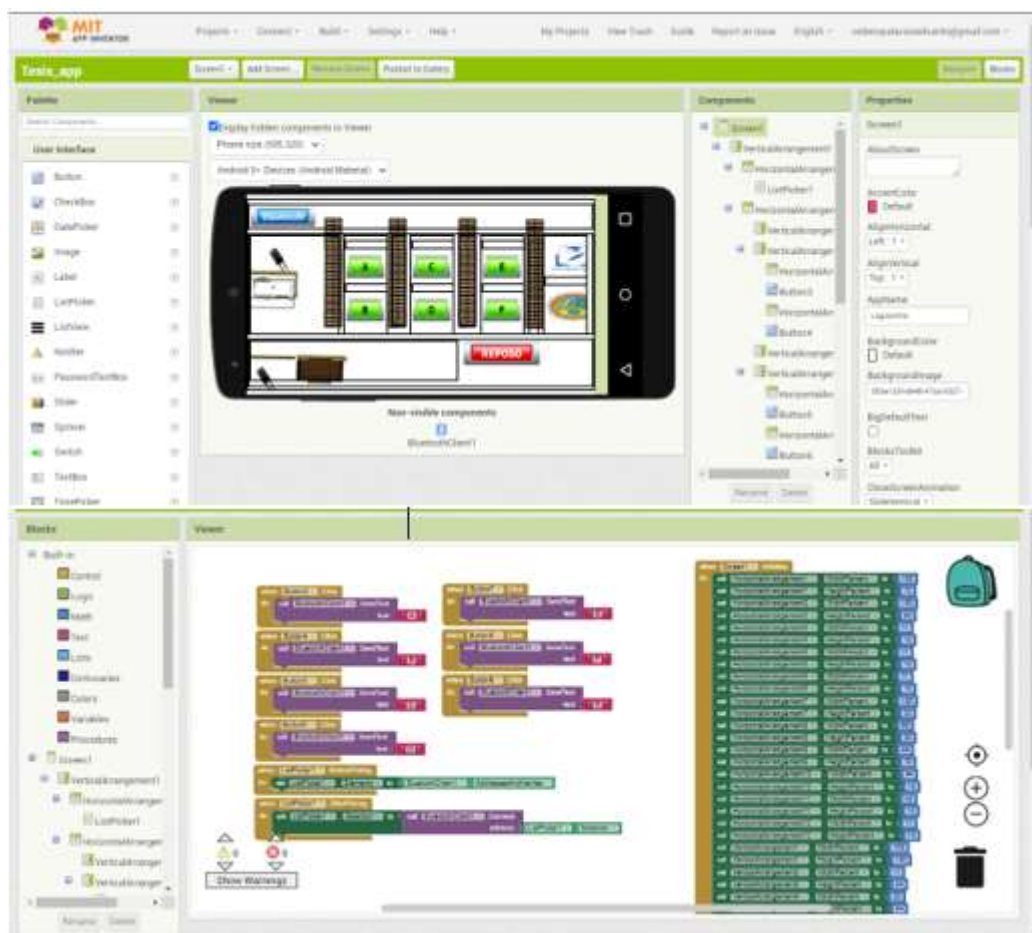


Figura 24 Interfaz de App Inventor.
Elaboración: El autor.

2.4.Fundamentación legal.

Cuando se realiza el diseño e implementación de un prototipo para la optimización de cualquier área de la vida es importante tener en cuenta las leyes que respaldan la propiedad intelectual de este proyecto, así también para no incurrir en acciones que puedan ser perjudiciales para otro desarrollador.

Durante el desarrollo de este trabajo será imprescindible revisar las siguientes leyes:

2.4.1. Ley orgánica de protección de datos.

Debido a que las empresas que realizan ventas de productos con entregas a domicilio manejan grandes cantidades de información general sobre los gustos y preferencias de las personas, así como datos de carácter personal como números de cedula y direcciones domiciliarias, entra en acción esta ley, que indica que los datos deben tratarse con estricto rigor, cumpliendo los derechos y obligaciones constitucionales.

En el artículo 15 se trata el tema de la confidencialidad de datos personales, indica que estos deben ser tratados con sigilo y secreto, y no deben ser usados para un fin distinto para los que fueron recogidos, de igual manera indica que el nivel de confidencialidad dependerá de la naturaleza de este.

2.4.2. Plan nacional del buen vivir.

El plan nacional del buen vivir en la sección de planificación nacional para el buen vivir indica que es un proyecto cuyo objetivo es ser un canal de dialogo en ámbitos sociales y políticos, con el que se pretende planificar el desarrollo de grandes acuerdos nacionales en los que la ciudadanía y su participación sean de vital importancia.

Con la puesta en marcha de este plan se busca hacer uso de tecnologías aplicadas, esto con la finalidad de aumentar la productividad dentro de las empresas de manufactura y servicios, promover la inversión pública y privada para enriquecer los mercados locales y mejorar el estilo de vida de los ecuatorianos.

2.4.3. Constitución del Ecuador.

Dado que el prototipo usará comunicaciones inalámbricas dentro de una banda libre para el uso general como es la 2.4 GHz, el artículo 16 menciona que todas las personas, sea de forma individual o colectiva, tienen el derecho al acceso universal a las tecnologías de información y comunicación, así también, la posibilidad de crear medios de comunicación haciendo uso del espectro de frecuencia dentro las respectivas regulaciones de este (radio, televisión, redes de comunicación móvil, etc.) con la finalidad de maximizar el uso de este recurso limitado.

Capítulo III

Propuesta

3.1. Metodología del proyecto.

El desarrollo de este proyecto pretende el diseño e implementación de un prototipo de robot que se encargara de movilizar paquetes dentro de un centro de logística para así mejorar los tiempos en las entregas de pedidos de los clientes. Al estar centrados en un campo tecnológico existen diferentes maneras de llevar a cabo este tipo de proyectos, en este caso la metodología a seguir se denomina waterfall.

La Metodología waterfall está basada en un modelo secuencial, en el que se comienza con un análisis de los requerimientos del sistema o prototipo a desarrollar, luego se da la etapa de diseño e implementación para finalmente pasar a la etapa de pruebas y puesta en producción.

A continuación, se detallará cada una de estas etapas.

2.4.4. Análisis previo

En la elaboración de un proyecto, independientemente del ámbito al que sea dedicado, es importante realizar un análisis previo, esto con el fin de determinar cuáles son los puntos a cubrir, mejorar o implementar.

2.4.5. Diseño y desarrollo

Conformada en primera instancia por una fase de pruebas de componentes y su interacción la placa Arduino, luego se integran junto a los demás componentes en una base de prototipado, una vez se logre validar el correcto funcionamiento se procede hacer el diseño de la placa de circuito impreso sobre la que se soldaran los componentes, este les brinda estabilidad a los componentes y reduce la cantidad de cables internos.

2.4.6. Pruebas funcionales

Etapa en la que se hacen pruebas de las distintas funciones que debe hacer el robot, desde las lecturas de las tarjetas RFID, detección de línea y que pueda seguir una correcta trayectoria con ayuda de los Encoder en los motores.

2.4.7. Corrección de errores

Una vez realizadas las pruebas se tienen que corregir aquellos aspectos que no están del todo optimizados, se debe analizar qué factores influyen en que el funcionamiento del robot no sea el esperado en determinadas acciones.

2.5.Descripción

El prototipo que se desea implementar pretende mejorar las tareas de selección de los productos dentro del centro de distribución para lo cual constara de un par de motorreductores con la capacidad suficiente para mover su propio peso. El operador tendrá un formato del pedido con las ubicaciones de los productos con lo que podrá indicarle a que ubicación desea llegar, el robot podrá determinar su ubicación actual y trazar una ruta hacia la solicitada por el operador. Para lograr este cometido el robot constará en la parte inferior de dos sensores de línea y encoder en los motores, para determinar el lugar en el que se encuentra hará lecturas de las etiquetas con RFID instaladas sobre la superficie en la que se moverá.

2.5.1. Etapa de análisis de requisitos.

Dado que el robot debe moverse cerca de las estanterías en las que se encuentren los productos se generaron los siguientes puntos de interés:

- Determinar el espacio en el que se movilizara dentro del almacén, así también la cantidad de estantes y la forma en la que se encuentran distribuidas.
- Será imprescindible colocar los puntos en los que el robot estará cuando no se le necesite dar instrucciones, es decir, su ubicación de reposo.
- El robot debe ir a una velocidad adecuada, esto con el objetivo de que no se dé la situación en la que las estanterías salgan despedidas y se causen retrasos, motivo por el cual deberá implementar este requerimiento en la placa de control con el Arduino y el controlador de motores.
- Para la trayectoria que tomara el robot en el centro de logística se colocaran etiquetas de color negro que los sensores podrán censar para que la ruta no se altere.
- Para brindar soporte al movimiento sobre la línea negra y que sea más exacto deberán utilizarse técnicas de odometría que ayudan a estimar la posición del robot en el plano con la utilización de los encoder que se encuentran en los motorreductores.
- Debe tener lectores de RFID para que sea capaz de ubicarse dentro del almacén, poseerá el módulo lector en la parte inferior y las tarjetas estarán ubicadas sobre la superficie del suelo, así al pasar sobre estas podrá obtener su ubicación exacta.

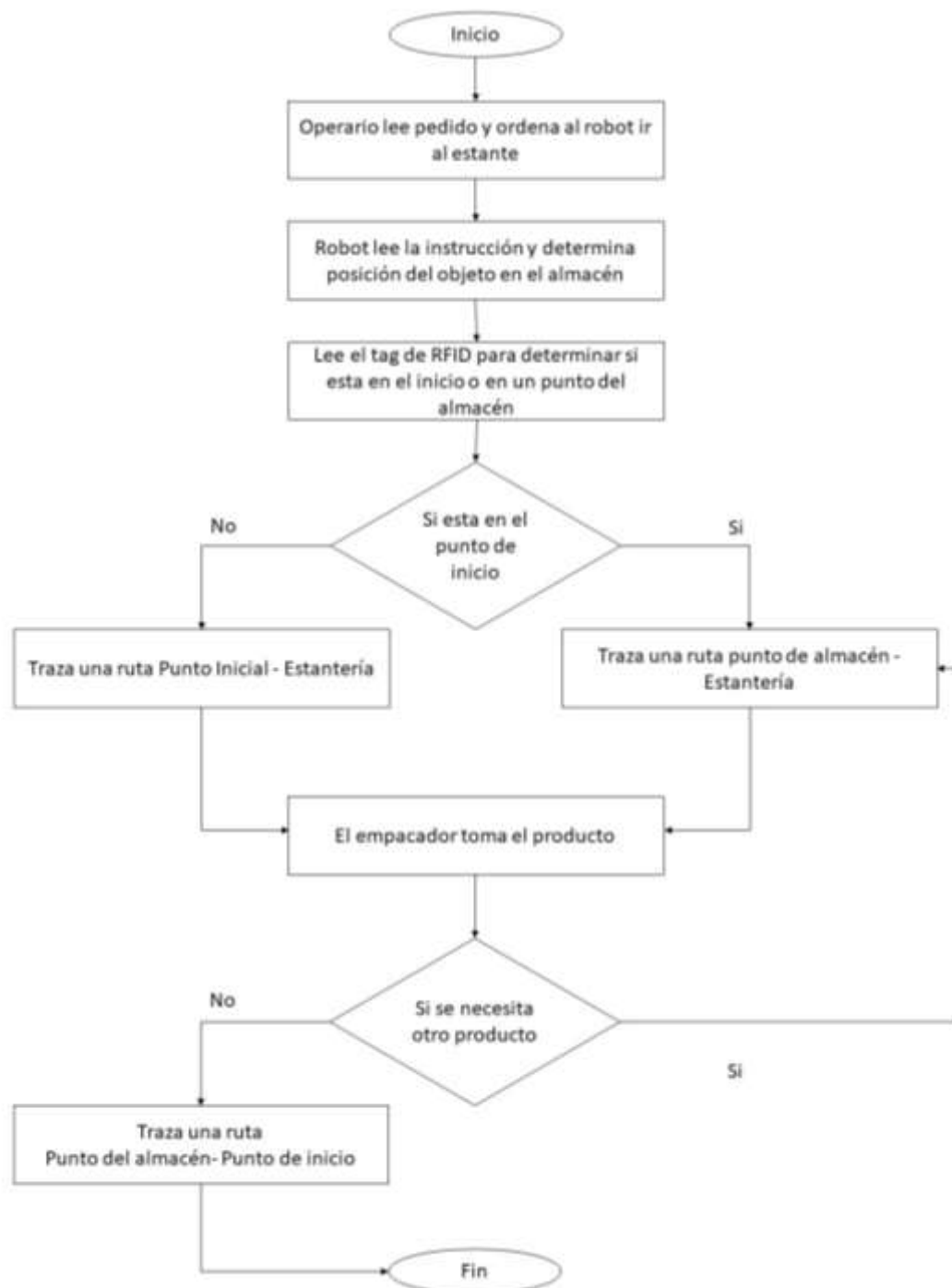


Figura 25 Diagrama de flujo sobre funcionamiento del prototipo.
Elaboración: El autor.

2.5.2. Etapa de diseño.

Esta fase describe el proceso de diseño del prototipo a nivel físico (circuito, ensamblaje y gabinete) y a nivel de programación en el ide de Arduino.

2.5.3. Elaboración de placa de circuito impreso.

Para la elaboración de la PCB (Placa de Circuito Impreso) fue necesario la utilización de software que permita elaborar el esquema del proyecto con los componentes a usar y a su vez proporcione las plantillas para las placas de circuitos para su posterior fabricación, *Easyeda* es un software en línea que cumple con estas características, es de uso libre interfaz amigable con el usuario y con una curva de aprendizaje reducida por lo que fue idónea para la elaboración de la placa de control del prototipo.

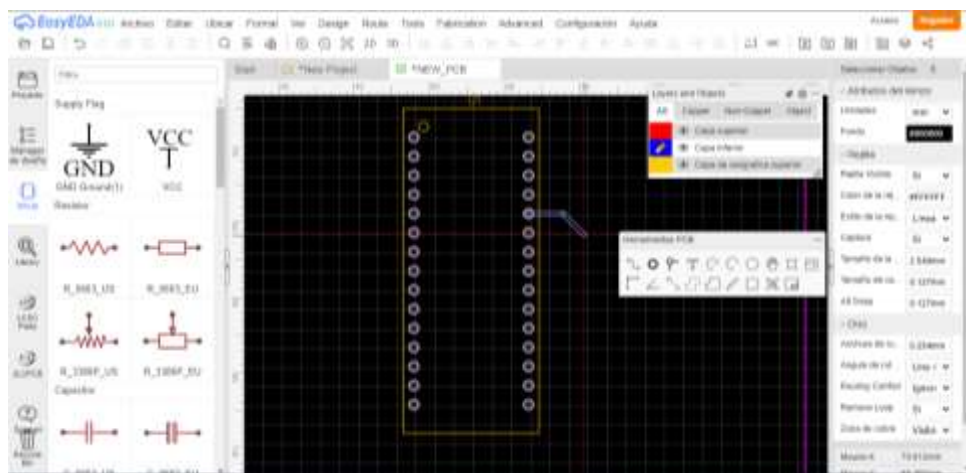


Figura 26 Interface de EASYEDA.
Elaboración: El autor.

El programa a su vez cuenta con la facilidad de realizar el diagrama de conexiones de manera convencional, como en la mayoría de los softwares de simulación, y una vez terminado brinda la herramienta de convertir el esquema a PCB con las plantillas de todos los elementos utilizados.

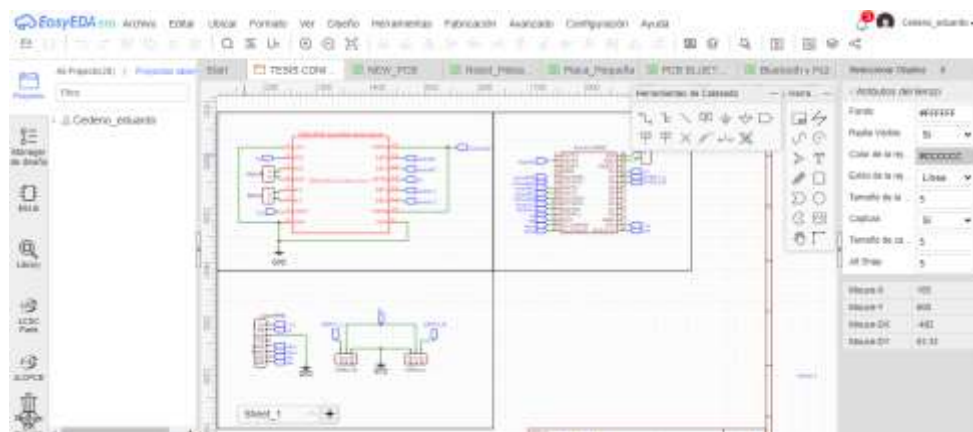


Figura 27 Diseño de esquemático en EASYEDA.
Elaboración: El autor.

2.5.4. Elaboración del chasis.

En cuanto al chasis fueron utilizados materiales principalmente de PCB y plywood, lo cual facilita la realización de cortes con una herramienta dremel, sumado a esto también se emplearon pernos y láminas de metal delgadas con el cometido de no añadir demasiado peso al prototipo.

2.5.5. Programación de prototipo.

En este apartado se llevó a cabo la programación de las diferentes funciones que tendrá el prototipo, principalmente se utilizó la interface propia de Arduino y el lenguaje de programación que está adaptado para los microcontroladores de la serie ATMEGA que está basado el processing y c++.

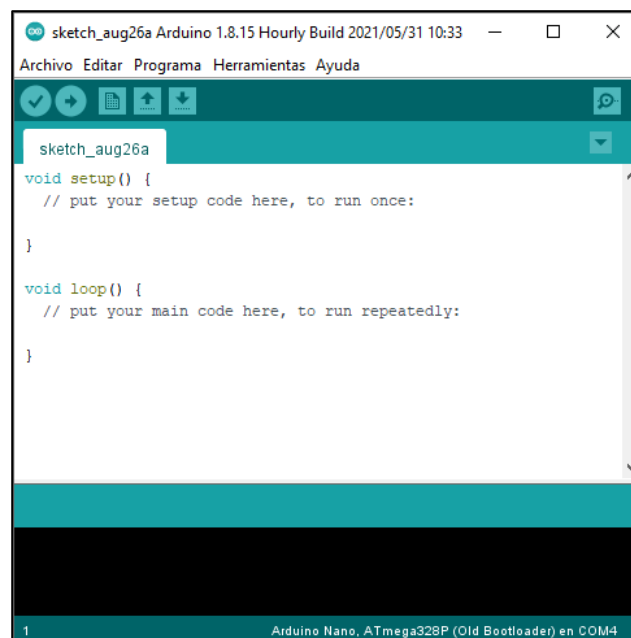


Figura 28 Interface de ARDUINO IDE.

Fuente: Tomada del IDE de Arduino.

Fueron desarrollados diferentes códigos durante el desarrollo del prototipo, entre ellos códigos para lecturas de manera digital como analógica de los sensores de línea QTR 1-A, otro para validar el correcto funcionamiento de los encoder y calibrar los diferentes tipos de movimientos que realiza el robot.

Para la programación se emplearon librerías de libre acceso como fue el caso de la librería MFRC522 que permite el manejo del chip de lectura del módulo de RFID, estas librerías se encuentran en los diferentes repositorios que posee la comunidad de Arduino y su instalación no representa complicación alguna.

2.5.6. Elaboración de aplicación móvil de control en App Inventor.

Tras ingresar al sitio web de app inventor se procede a crear un nuevo proyecto, hay que tener en cuenta que para la elaboración de la aplicación el portal presenta una plantilla de un celular móvil, hay la posibilidad de trabajar con pixeles o con porcentajes para determinar el tamaño de los elementos en pantalla, esto será de vital importancia para hacer que la aplicación sea responsiva, es decir, que se adapte de manera automática al tamaño de pantalla de los diferentes teléfonos inteligentes sin que los elementos salgan del lugar deseado por el desarrollador.

Para ordenar los elementos en pantalla se deben colocar etiquetas, las cuales albergaran los demás elementos, tras haber realizado la distribución de las etiquetas, botones y otras opciones la aplicación dentro del desarrollador se muestra cómo se logra apreciar en la imagen que prosigue.

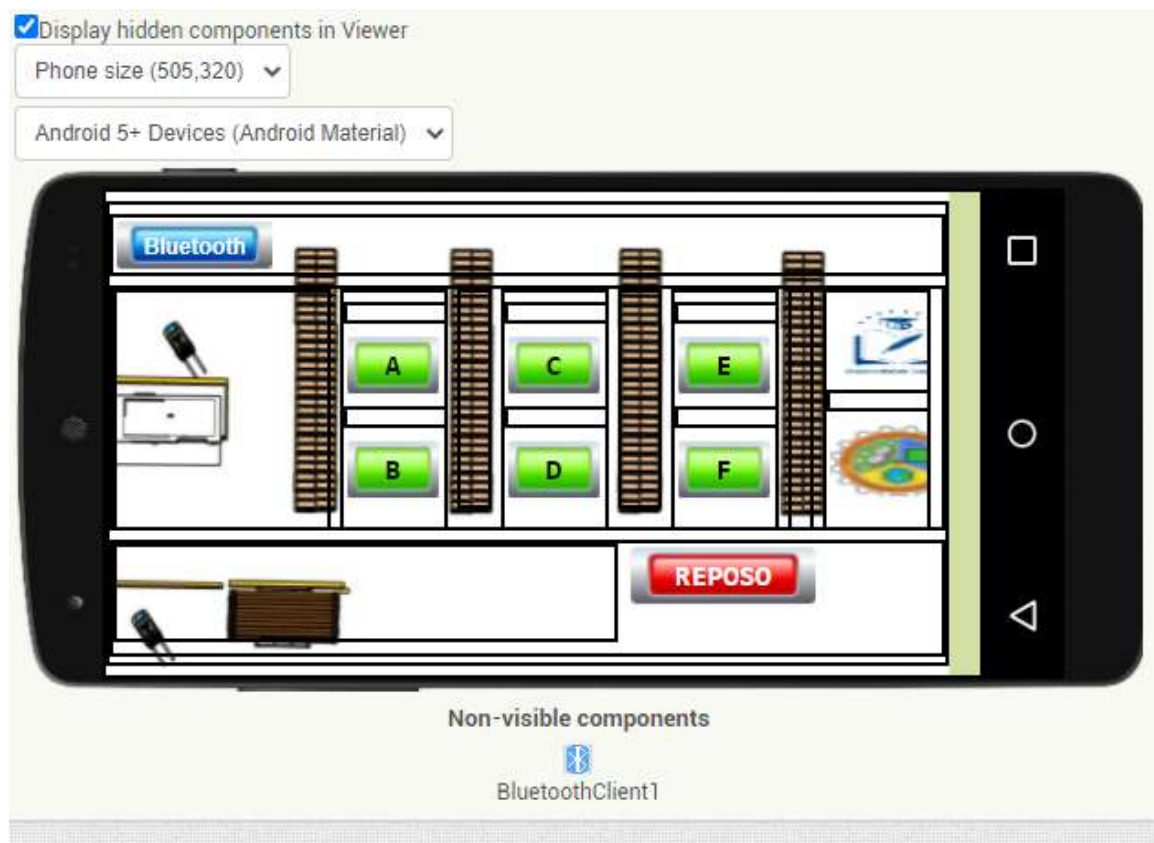


Figura 29 Distribución de etiquetas, botones y listas dentro de App Inventor.
Elaboración: El autor.

Una vez que los elementos están correctamente ubicados en la vista de pantalla se procede a hacer las configuraciones por medio de bloques, lo primero en programar corresponderá a las conexiones de bluetooth del celular con el módulo HC-05, para ello hay que seleccionar el elemento *listpicker* que corresponde a una lista desplegable, ahí será donde se mostraran

los dispositivos bluetooth previamente emparejados, este elemento tiene dos configuraciones, una previa a ser pulsado por el usuario y una posterior. En la etapa previa prepara los elementos que van a ser mostrados en la pantalla de selección que el usuario posteriormente elija, en este caso el módulo HC-05.

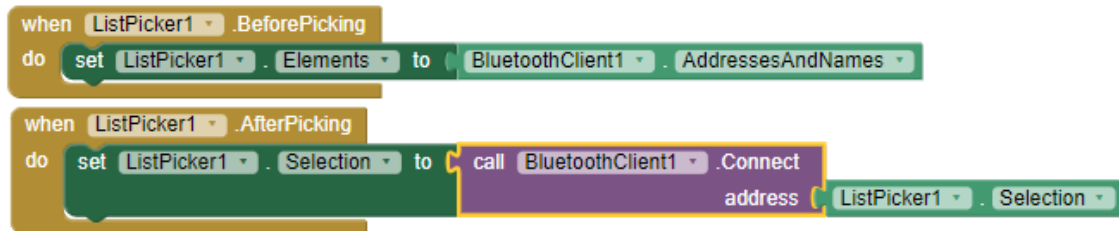


Figura 30 Configuración de listpicker para conexión bluetooth en App Inventor
Elaboración: El autor.

Una vez se logra emparejar el prototipo con el teléfono móvil ya se podrá enviar las instrucciones por bluetooth, para ello se procede a configurar cada uno de los botones, la acción vendrá dada al momento de presionar y soltar el botón, enviará una letra de la A a la F para la movilización entre estanterías y la R para el lugar de reposo.

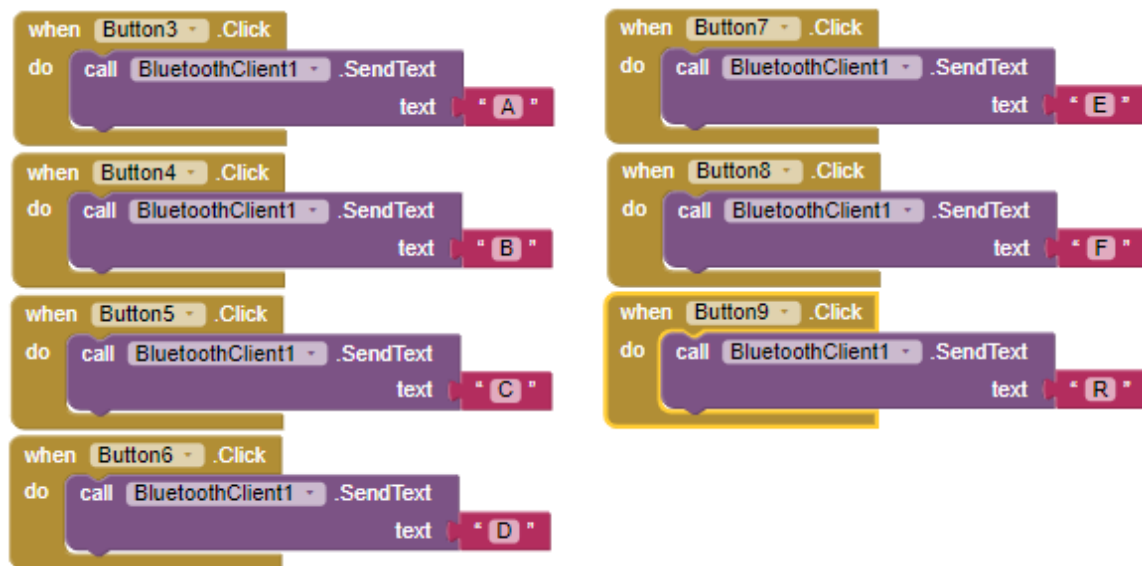


Figura 31 Configuración de botones con bluetooth en App Inventor
Elaboración: El autor.

Finalmente, para que la pantalla se adapte a cada dispositivo móvil independientemente de las dimensiones que este posea será necesario asignar un bloque de programación que al iniciar la aplicación detecte el tamaño de la pantalla y asigne porcentajes de uso a los elementos, con esto se logra hacer que la interfaz sea responsiva y se evita que los elementos se muevan a lugares incorrectos.

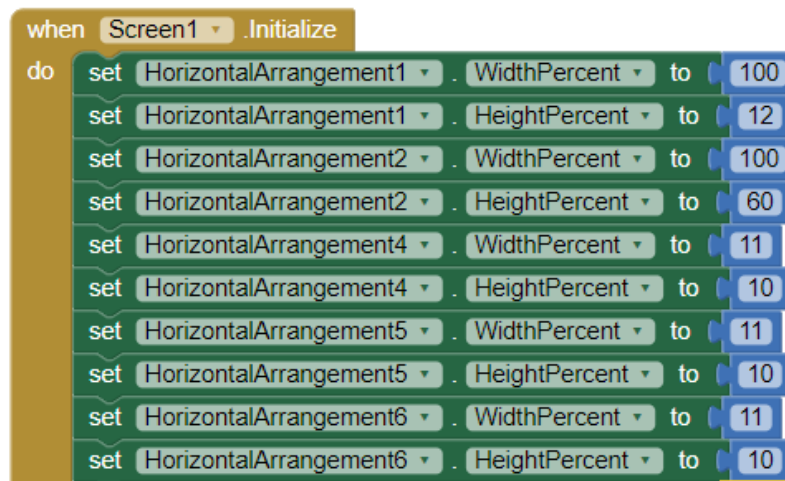


Figura 32 Configuración de etiquetas responsivas en App Inventor.
Elaboración: El autor.

Para finalizar el desarrollo de la aplicación quedan los elementos estéticos, en las propiedades de cada objeto se puede cambiar el color del fondo, color, tamaño y tipo de letra, poner imágenes, entre otros.

Para el caso práctico fue colocada una imagen en planta del centro de distribución, sobre esta se asignaron etiquetas de diferentes tamaños para ajustar la posición de los botones y de la lista de selección para el dispositivo bluetooth.

A su vez se diseñó el modelo de cada botón para mejorar la estética de la aplicación, adicional el portal App Inventor permite colocar un icono para el aplicativo y el nombre que se verá desde el menú del dispositivo móvil, en nombre fue asignado “Logicontrol” y el icono corresponde a un modelo de robot diferencial.



Figura 33 Vista de menú de aplicaciones e interfaz gráfica de usuario.
Elaboración: El autor.

2.5.7. Pruebas de componentes.

En esta sección se realizaron pruebas previas de los componentes para validar su correcto funcionamiento y modo de uso.

2.5.7.1. Pruebas del controlador TB6612FNG y motores.

En principio se probaron cada una de las partes del prototipo, esto con la finalidad de validar su correcto funcionamiento.

Los motores fueron probados conjuntamente con el controlador, las pruebas fueron principalmente el encendido y apagado de cada motor de manera individual y conjunta, puesta en marcha en ambas direcciones, cambios en velocidad por medio del controlador y PWM de las salidas digitales del Arduino nano.

2.5.7.2. Pruebas del encoder.

Los motores ya tienen integrado los encoder para determinar la dirección del giro y cantidad de espacio recorrido, se hicieron pruebas por medio de los pines con interrupción de la placa Arduino y por a través del monitor serial se logró observar el correcto funcionamiento.

2.5.7.3. Pruebas de los sensores QTR8A.

Con respecto a los sensores de línea QTR8A harán uso de la librería creada la calibración y censado de superficies adaptada para Arduino, las pruebas se realizaron tanto con pines analógicos, los resultados mostrados fueron acordes a la situación real en la superficie blanca con línea negra.

2.5.7.4. Pruebas del módulo lector de RFID.

Este sensor viene acompañado de tarjetas de prueba con las que por medio de la conexión mostrada en la imagen es capaz de leer el código MAC dentro de estas, para las pruebas se colocaron las tarjetas sobre una superficie plana y se observó la distancia máxima a la que debe estar del sensor para poder ser leídas.



Figura 34 Prueba de Modulo de RFID RC522 y lectura de UID de los tags
Elaboración: El autor.

2.5.8. Factibilidad técnica.

El prototipo cumple la factibilidad técnica para ser desarrollado, los elementos que conforman el hardware son de fácil acceso al encontrarse a la disposición de cualquier persona, en cuanto al software el proyecto se adapta a diversas plataformas, Arduino y su interface constantemente se encuentran actualizando para la mejora de IDE y existe bastante documentación de las tarjetas y proyectos. A continuación, se detalla cada uno de estos aspectos.

2.5.8.1. Hardware

El Hardware corresponde a los elementos tangibles del proyecto, en la siguiente tabla se describe cada uno de ellos.

Tabla 12

Hardware utilizado en el prototipo.

Dispositivo	Descripción
Arduino Nano	Placa de adquisición de datos con un microcontralor integrado capaz de almacenar un código para ejecutar diversas acciones.
Sensor QTR1-A	Sensor compuesto de un led emisor de luz infrarroja y un fototransistor, capaz de detectar variaciones de color de una superficie y otorgar una salida analógica.
Lector de RFID RC522	Consta de dos partes, una activa que corresponde al lector y la pasiva que son las etiquetas, puede leer los datos en las tarjetas con el uso de radiofrecuencia.
Motorreductor	Motor de corriente directa al que se le añade una caja de engranajes que reducen las revoluciones del eje del motor para obtener mayor torque.
Controlador de motor TB6612FNG	Permite manejar hasta dos motores de corriente directa, cada motor es controlado por medio dos entradas digitales con lo que se puede cambiar la dirección de giro, activarlos y desactivarlos.
Encoder	Dispositivo que se coloca en el eje del motor para determinar la dirección del giro y velocidad de este.

Elaboración: El autor.

Todos los elementos listados están disponibles en el comercio para su adquisición, además de poseer basta documentación en la web con lo que se facilita su uso e implementación en diferentes proyectos.

2.5.8.2. Software

El Hardware corresponde a los elementos intangibles o programas utilizados en el proyecto, en la siguiente tabla se describe cada uno de ellos.

Tabla 13

Software utilizado en el prototipo.

Programa	Descripción
Arduino IDE	Es el entorno de desarrollo integrado de las placas Arduino, está compuesto por un conglomerado de mecanismos de programación haciendo uso de código abierto y constante actualización para los diferentes modelos de placas.
Easyeda	Programa que permite la elaboración de esquemáticos y placas de circuitos impresos, consta con una versión compatible con navegadores web y otra de escritorio de igual interface.

Elaboración: El autor.

Los programas usados tanto en la programación del prototipo como en el diseño de la placa de circuito impreso sobre la que están soldados los componentes tienen un sinnúmero de librerías que son de fácil acceso y ayudan en el uso de estos, además en el caso de Arduino se tiene una comunidad de programadores y desarrolladores que constantemente se encuentran en la actualización y optimización de la plataforma lo que la convierte en una alternativa factible.

2.5.9. Factibilidad Legal.

Durante el desarrollo del prototipo fueron empleadas herramientas y lenguajes de programación de código abierto por lo que no se irrumpe en la propiedad intelectual de otros autores y se mantiene dentro de las normativas vigentes. Así también se encuentra respaldada por la universidad de guayaquil como una entidad que promueve la investigación según el código orgánico de la economía social de los conocimientos, creatividad e innovación en su artículo 14 sobre las entidades de investigación científica.

2.5.10. Factibilidad Económica.

En este apartado se presentan los costos para la fabricación del prototipo, es de valorar que todos los componentes se pueden encontrar en mercados locales y tiendas especializadas en productos de electrónica, algunos de estos materiales vienen en paquetes de dos como es el caso de los módulos para el censado de la línea y los módulos de encoder para los motores.

Tabla 14

Presupuesto del proyecto.

cantidad	material	costo unitario
1	Arduino nano	6,99
1	Par de encoder Pololu magnético.	14,99
2	motorreductor Pololu 100:1 3000 rpm eje extendido	19,99
1	Controlador de motor TB6612FNG	7,99
2	Llantas para motorreductor	16
1	Sensor QTR1A pack X2	7,99
1	Modulo lector de RFID	7,99
1	Batería lipo 1000 mAh 2c	21,9
	total	103,84

Elaboración: El autor.

2.5.11. Factibilidad Operacional

El prototipo desarrollado operacionalmente es funcional, se realizaron pruebas en un área de trabajo controlada con 4 estantes en los que son almacenados los productos, cada estante está rodeado de tags de RFID con los cuales el robot podrá determinar si está en el lugar correcto, los tags son colocados para minimizar los errores incrementales del desplazamiento del robot, esto quiere decir que las pequeñas perturbaciones en el movimiento del prototipo influyen en errores más grandes al sumarse de a poco.

En la imagen a continuación se muestra un modelo en 3D de las estanterías que se pretenden usar.

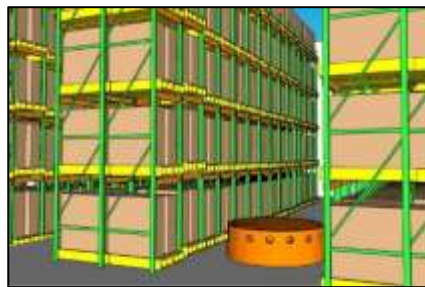


Figura 35 Estanterías 3D diseñadas en Sketchup.

Elaboración: El autor.

Para describir el

lugar en el que el robot

realizara sus operaciones se hizo un plano en el software *SKETCHUP*, este programa es muy utilizado en el área de arquitectura e ingeniería para desarrollar modelos en 3D.

En la siguiente imagen se describe el lugar en el que el robot operara dentro del centro de logística.

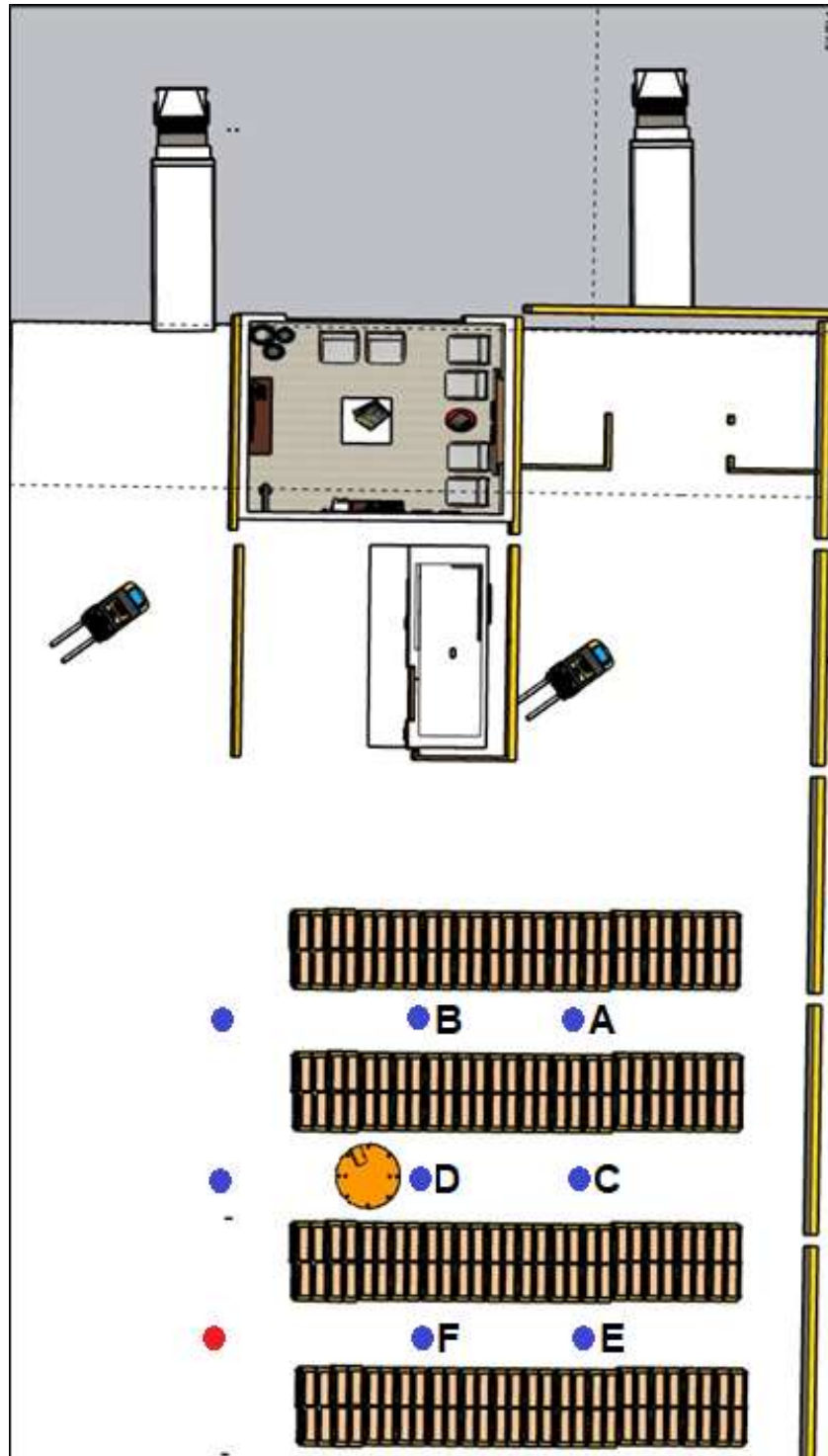
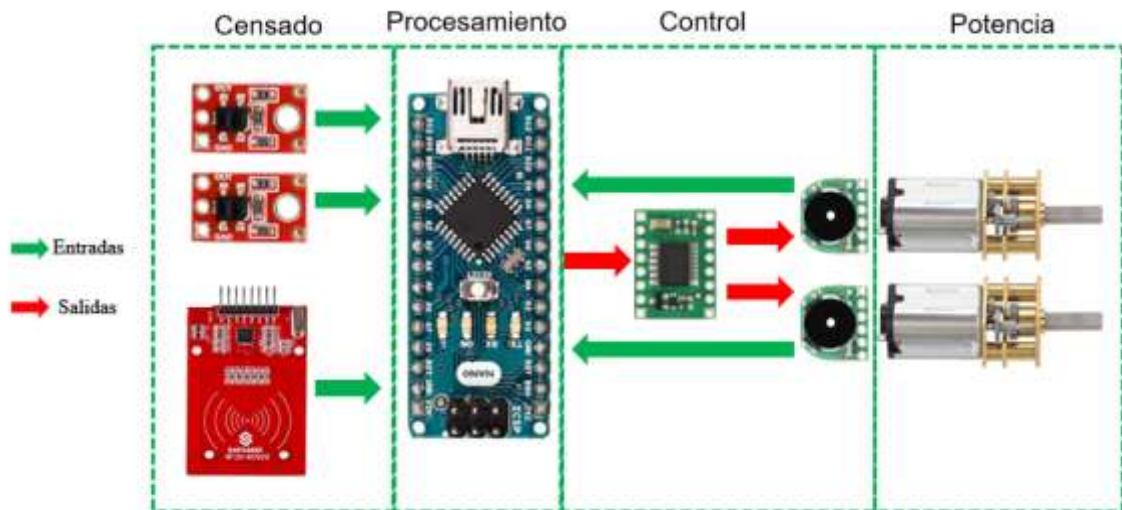


Figura 36 Vista en planta del centro de logística.
Elaboración: El autor.

2.6. Esquema general del proyecto.

Para la parte física del proyecto se ha dividido en secciones de componentes de acuerdo a la función que realicen dentro del prototipo. Principalmente se tienen las entradas del sistema, procesamiento de datos, control y potencia como se muestra en la siguiente figura.



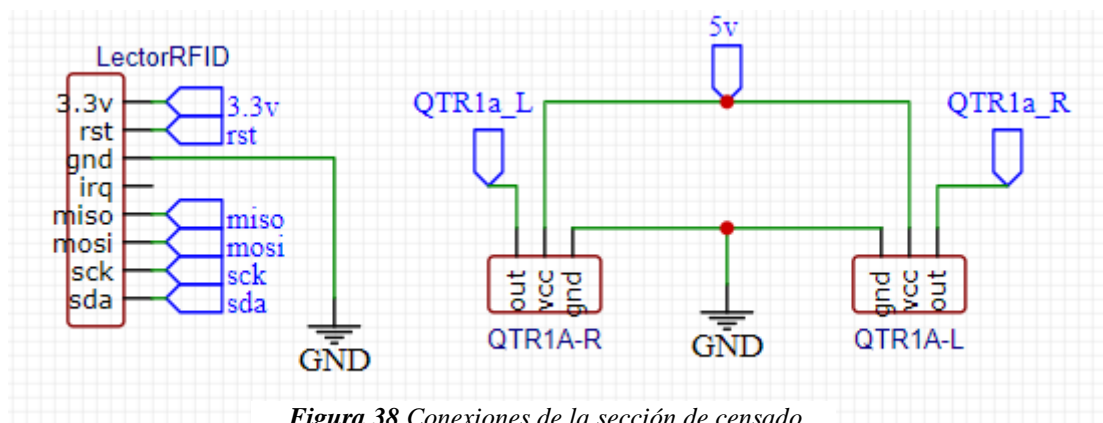
*Figura 37 Partes del prototipo por etapa.
Elaboración: El autor.*

2.7. Recursos de Procedimiento.

2.7.1. Sección de Censado

Van incorporados los sensores de detección de línea, que en este caso son los QTR1-A, y también el módulo de lectura de tarjetas RFID – RC522. La principal función de esta parte es ayudar al robot a ubicarse en el almacén y corregir los errores en el desplazamiento de los motores.

Cada tarjeta o tag de RFID tiene un código de identificación diferente con el que se logra hacer un mapa del lugar en el que se encuentra el robot, haciendo énfasis en el lugar de inicio, el punto de despacho y los puntos de las estanterías.



*Figura 38 Conexiones de la sección de censado.
Fuente: Elaborado por el autor.*

2.7.2. Sección de Procesamiento.

Corresponderá al cerebro del prototipo, en esta parte se realizarán todos los cálculos y será también el lugar en el que se aloje la programación del proyecto. Todas las conexiones de los sensores llegan a este punto, compuesto principalmente por la placa de Arduino nano.

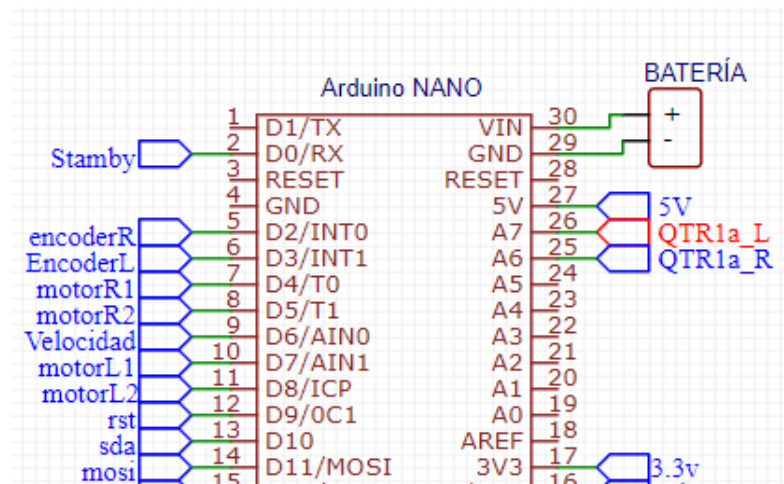


Figura 39 Detalle de conexiones de los componentes al Arduino NANO.
Elaboración: El autor.

La placa ya consta con reguladores de voltaje internos de 5 y 3.3 v que serán empleados para los otros componentes, en especial el módulo de lectura de RFID que trabaja con un voltaje de 3.3 v. Los encoder y los sensores de línea QTR1-A pueden trabajar con 5 V y su consumo no es elevado por lo que se pueden conectar directamente a la salida del regulador del Arduino.

2.7.3. Sección de control y de Potencia.

Para los elementos que consumen mayor cantidad de corriente es necesario hacer uso de dispositivos intermediarios a los que se puedan conectar los controles y las salidas a los actuadores. Para el caso de este proyecto los motorreductores consumen una cantidad de corriente que el Arduino por medio de sus reguladores de voltaje internos no puede suministrar, por ello se utiliza un controlador con la capacidad de poseer entradas de bajo consumo de corriente para control y a su vez pueda conmutar la salida de voltaje de los motores directamente de la batería. Las conexiones principalmente corresponden a dos pines de control para cada motor, el módulo TB6612FBG permite el control de velocidad de cada motor de manera independiente por medio de los pines con PWM de Arduino.

Para afirmar que el recorrido que hará el robot sea acorde a la ruta establecida se utilizarán los Encoders para poder medir el desplazamiento, esto por medio de la obtención de pulsos dados por los sensores de efecto hall que forman parte de estos.

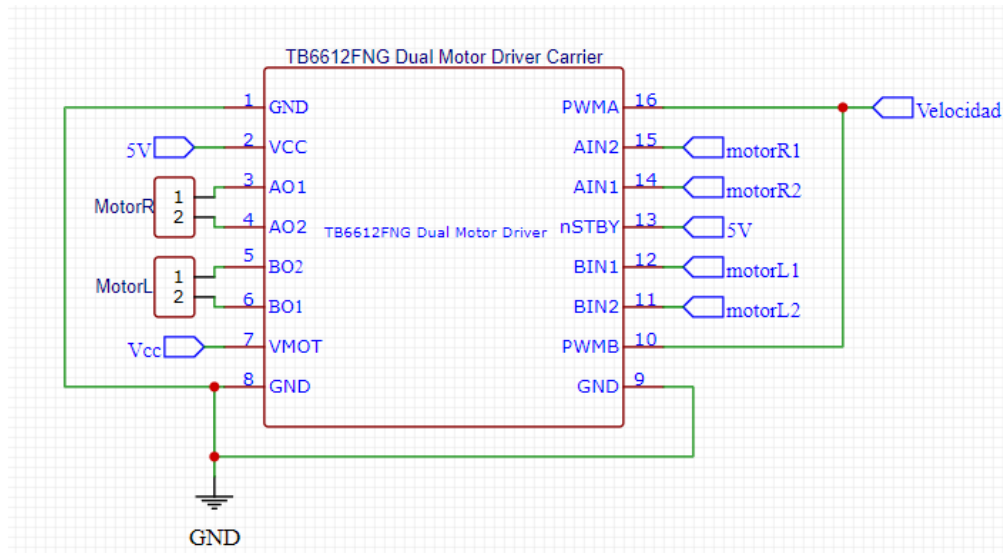


Figura 40 Conexiones del controlador de motores TB6612FNG.
Elaboración: El autor.

2.8.Diseño y construcción.

Para el diseño del prototipo se partió desde el punto de vista que el robot sería bípedo, es decir, que contendrá dos motores a los laterales, en la parte frontal y trasera se colocaron pernos a la altura de las llantas para brindarle soporte y que este nivelado.

La estructura consta de dos tapas circulares sujetas por pernos metálicos entre sí, son de forma circular, en la tapa de abajo se hicieron las perforaciones para la sujeción de los motores a la base, al igual que los demás sensores (RFID y QTR1-A).

Tras realizar el diseño de la placa de circuitos impresos en el software *EASYEDA* este da la posibilidad de tener una vista en tres dimensiones de la placa, de esta manera el usuario se podrá hacer una idea de si la PCB se adapta a su necesidad.

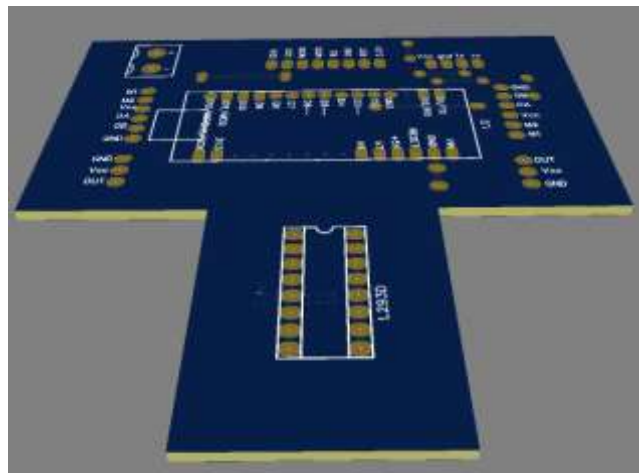


Figura 41 Modelo en 3D de la PCB del prototipo.
Elaboración: El autor.

2.9.Prueba de funcionalidad.

Tras realizar pruebas para medir el consumo energético del prototipo con diferentes cargas se logró obtener los resultados detallados en la siguiente tabla:

Tabla 15

Consumo energético del prototipo bajo distintas cargas de trabajo.

Indicador	En reposo	Sin carga	Con carga
Potencia suministrada por batería	540 mW	1760 mW	3530 mW
Tiempo de trabajo	2 horas	1 hora	35 min

Elaboración: El autor.

Se puede validar que cuando el robot se encuentra en reposo el consumo es relativamente bajo, dado que los motores que corresponden al elemento que tiene una mayor demanda de corriente no está funcionando por lo que el robot puede permanecer hasta 2 horas en espera de recibir órdenes.

Para las baterías *LIPO* como se mencionó en el capítulo II no es recomendable que se descarguen por debajo del 30% de su capacidad porque tienden a dañarse, así que hay que tener en cuenta este factor al momento de hacer estas pruebas.

Para validar el funcionamiento junto a los tags de RFID se le pidió al robot moverse en diferentes direcciones tomando como referencia los códigos de cada de estos, así se simula el escenario en el que se encuentre dentro del almacén movilizand las estanterías.



Figura 42 Simulación de recorridos con tags RFID.
Elaboración: El autor.

Para llevar a cabo las pruebas se simuló el escenario del almacén, en la base de la maqueta

fueron incrustados los tags de RFID para que queden al nivel de suelo, estos fueron colocados a modo de cuadrícula de tres por tres, la esquina inferior derecha corresponde al lugar de reposo desde el cual el robot emprende las rutas.

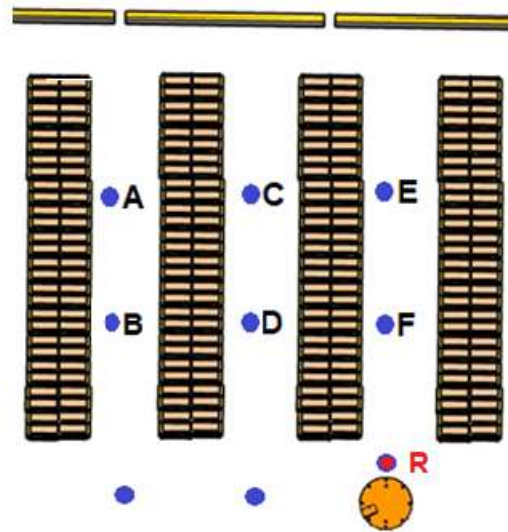


Figura 43 Distribución de tags RFID en prueba funcional.
Elaboración: El autor.

El operador tendrá un documento de Excel en el que tendrá los diferentes pedidos que va a realizar, en ellos se detalla la cantidad de artículos y ubicación dentro del almacén y de la estantería la cual posee dos niveles, alto y bajo, la tabla un filtro de datos en la parte superior que le permitirá ordenar los elementos de manera ascendente con respecto a la ubicación, con ello determinará la ubicación exacta de estos artículos dentro del almacén y podrá darle las instrucciones al robot para que lo movilice al lugar.

cantidad	producto	ubicación	nivel de estante
1	caja de lapices norma	B	alto
2	cuaderno espiral pequeño	B	bajo
1	compas	C	alto
2	pack de esferos big	D	alto

Figura 44 Formato de pedido con detalle de ubicación del producto.
Elaboración: El autor.

Una vez los datos están ordenados el operador podrá darle la instrucción al robot por medio de la aplicación móvil, deberá seleccionar la ubicación a la que desea ir, tras esto el prototipo determinará la ruta a seguir y guiará al operador al estante donde está el producto para que este pueda seleccionarlo.

El robot tiene programado movimientos rectos y giros sobre su propio eje de 90 y 180 grados de derecha a izquierda y viceversa.

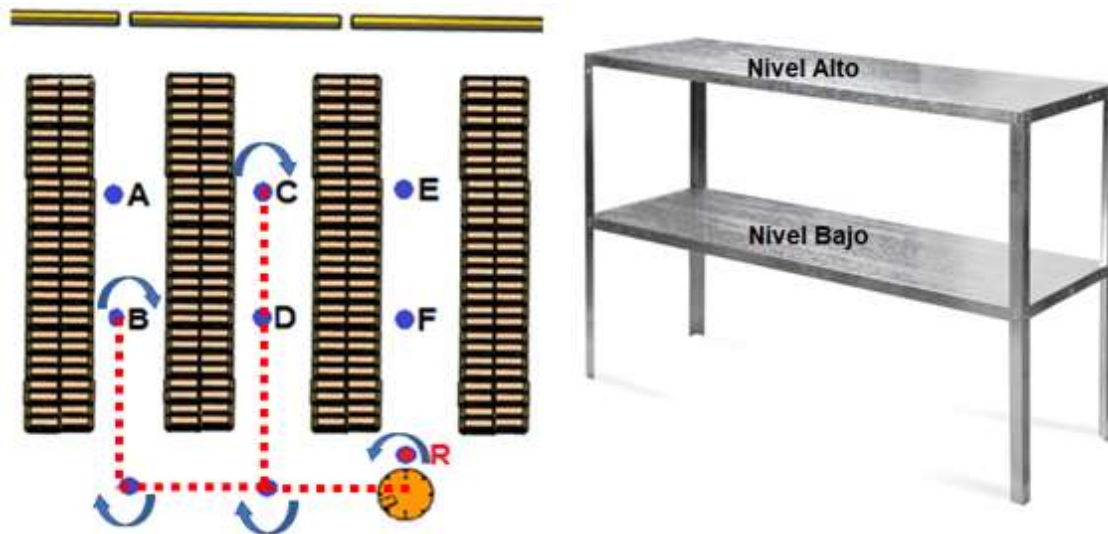


Figura 45 Trazado de rutas para selección de artículos y estanterías de dos niveles.
Elaboración: El autor.

Para el caso práctico del pedido de la figura 44 se gestiona la siguiente ruta: R-B, B-C, C-D y por último D-R.

El prototipo en su estado inicial empieza con las ruedas paralelas a los tags E y F, por lo que para desplazarse al tag A tendrá que en primera instancia realizar un giro de 90 grados hacia la derecha, posteriormente se desplazará dos tags hacia adelante, realiza un giro de 90 grados en sentido antihorario y se detiene sobre el tag B para que el operador pueda tomar los productos, en este caso la caja de lápices y los cuadernos, en el detalle de las ubicaciones se aprecia el lugar en la estantería en la que los logrará encontrar, esto para brindarle facilidades al operador.

Una vez que los productos han sido tomados se le dará la siguiente instrucción al robot, la cual será ir al estante C, para lo cual realizará un giro de 180 grados, avanzará hasta el siguiente tag, hará un giro de 90 grados en sentido horario, llega a siguiente tag para posteriormente hacer un giro de 90 grados para desplazarse dos tags hacia adelante, al igual que en el caso de los dos primeros productos el operador deberá seleccionar los artículos ubicados en las estanterías con respecto al formato de Excel, este proceso se repetirá para llegar al tag D, en esta instancia el pedido ya estaría completo por lo que el operador podrá ordenar al robot que se estacione en su lugar de reposo hasta la realización del siguiente pedido.

2.10. Cálculos y resultados.

Los cálculos en la elaboración del prototipo principalmente radican en los Encoder al utilizar técnicas de edometría para determinar el desplazamiento del robot en el entorno de trabajo.

Como el prototipo será un robot diferencial hay que tener en cuenta las variables que afectaran al movimiento de este. A continuación se detallan las variables a tener en cuenta:

- Diámetro nominal D_n : corresponde al diámetro de la rueda.
- Distancia entre ruedas β : distancia medida del centro de una rueda a la otra.
- Reducción del motor η : en este caso 100:1 con 3000 RPM.
- Resolución del Encoder C_e : Cantidad de pulsos por revolución del eje medida por el Encoder magnético, en este caso 12 CPM.

Habrá que encontrar un factor para convertir los pulsos leídos por el encoder en desplazamiento sobre la superficie, para ello se emplea la variable C_m , la cual manejará la siguiente formula:

$$C_m = \frac{\pi D_n}{\eta C_e}$$

Este factor de conversión de pulsos a distancia recorrida estará dado en centímetros / pulso, la formula hace referencia en el numerador al perímetro de la rueda, mientras más grande sea este, el valor del desplazamiento por cada pulso será mayor, por otro lado, en el denominador se calculan la cantidad de pulsos que tiene el prototipo de acuerdo a la reducción del motor en una vuelta del eje de salida.

Para determinar la distancia que recorre la rueda se emplea la siguiente formula:

$$\Delta U = C_m N$$

Donde $\Delta U_{\frac{L}{R}}$ corresponde a los incrementos del Encoder.

El robot realizará dos tipos de movimientos, rotacionales sobre su propio eje y desplazamientos rectos.

Para los desplazamientos rectos no hay mucho problema ya que se puede asignar el mismo número de pulsos a cada motor en base a la distancia.

Para los movimientos rotacionales por otro lado será necesario determinar la distancia que recorre el robot al girar sobre el propio eje y a qué Angulo quedará con respecto a la posición inicial, es decir, determinar el perímetro de una vuelta, para lo que se emplea la siguiente formula:

$$\Delta U = \pi \beta$$

En el caso rotaciones a 90 grados respecto a la posición A de B como se detalla en la imagen que prosigue se tiene en cuenta que el movimiento describe un cuarto de vuelta, por lo que se puede expresar de la siguiente manera:

$$\Delta U = \frac{\pi\beta}{4}$$

Despejando C_m de la fórmula:

$$\Delta U = C_m N$$

$$N = \frac{\Delta U}{C_m}$$

Sustituyendo ΔU y C_m

$$C_m = \frac{\frac{\pi\beta}{4}}{\frac{\pi D_n}{\eta C_e}} = \frac{\beta \eta C_e}{4 D_n}$$

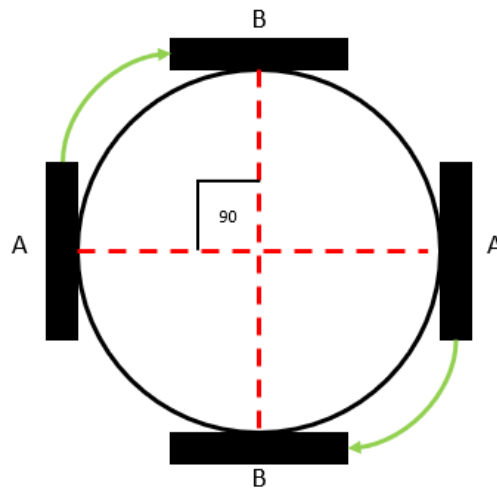


Figura 46 Desplazamiento rotacional de 90 grados.
Elaboración: El autor.

2.11. Conclusiones.

Tras la realización del prototipo junto con la investigación realizada se lograron obtener resultados favorables en las diferentes pruebas realizadas. Cabe recalcar que para la realización del prototipo hay que hacer una revisión extensa de cada uno de los componentes antes de su adquisición ya que algunos pueden resultar escasos.

Como se analizó en el capítulo II las técnicas de cómo se almacenan los productos dentro del centro de logística son características bastante relevantes a la hora de optimizar los tiempos en empaquetado de productos, una buena organización de productos conjunto a una rápida movilización de estos dentro del centro de distribución contribuye a una disminución en el tiempo que el cliente tiene sus artículos a la mano, factor que puede ser determinante a la hora de elegir un comercio u otro.

También se logró apreciar la dificultad que implica la realización de un robot diferencial que sea capaz de ubicarse de un plano, hay un sinnúmero de variables a tener en cuenta que afectan la precisión del movimiento y pueden causar fallas a largo plazo, para la puesta en marcha en un escenario real será un factor de vital importancia para el correcto funcionamiento.

2.12. Recomendaciones.

El objetivo del prototipo es el de guiar al operador entre los diferentes estantes dentro del centro de distribución, este enfoque hasta cierto nivel no es del todo optimo, ya que el prototipo no estaría haciendo mayor actividad que la de dirigir a la persona a la estantería necesaria, eso incurre en que el empacador deba movilizarse entre las diferentes instancias del almacén lo que no disminuye significativamente los tiempos de armado de un pedido.

Como recomendación sería factible modificar el modo de operación del robot, en un escenario en el que el centro de logística sea de un tamaño extenso se podrían implementar más de un equipo, que en lugar de guiar al operario entre los estantes este movilice más bien los estantes hasta la ubicación del operador, trabajando en conjunto con los demás robots puedan funcionar en línea de producción, de esta forma al elaborar un paquete con diferentes productos al operador solo le restaría tomar los artículos de los estantes y el robot automáticamente lo devuelve a su lugar e inmediatamente el siguiente robot ya tendría la estantería para el próximo producto del pedido, este proceso disminuye la pérdida de tiempo al operario de movilizarse largas distancias para adquirir los productos.

Al tener este otro enfoque de estantes móviles hay que tener muy en cuenta los pesos con los que el robot tendrá que lidiar, no todos los productos son factibles para este modo de trabajo por lo que habría que hacer una selección de productos en determinados rangos de peso, esto con la finalidad de no sobrepasar la capacidad de carga que tenga el robot además de añadir el peso de las estanterías.

Por último, es importante mencionar que el tema de investigación queda abierto a una serie de mejoras que harán que el prototipo aumente su rendimiento en escenarios de trabajo real, por lo que sería de gran utilidad darle continuidad a la idea.

Referencias

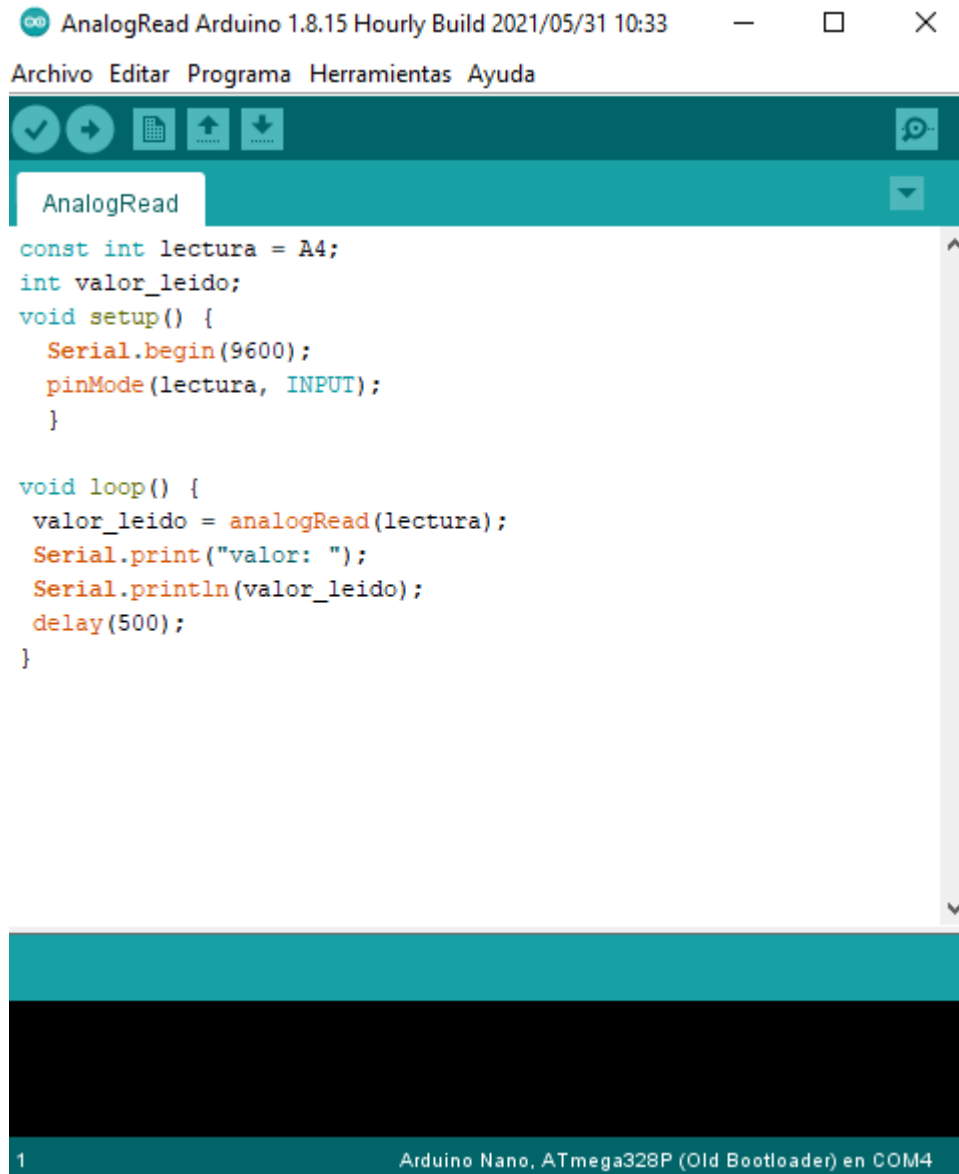
- Asamblea nacional del Ecuador. (2021). *Ley organica de protección de datos*.
- Budet Jofra, X., & Pérez Gómez, A. (2018). La logística como fuente de valor añadido al eCommerce. *OIKONOMICS revista de empresa, economía y sociedad*, 29-40.
- Cartes Domínguez, G. (2019). *Análisis de los sensores de un robot móvil con configuración diferencial*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- CONGRESO NACIONAL. (s.f.). *Ley de Propiedad Intelectual* . El Plenario De Las Comisiones Legislativas.
- Costanzo, M., Boggia, M., Rodriguez, I., & De Giusti, A. (2019). Cloud/Edge Robotics: navegación autónoma de auto-robot y cuadricoptero. En I. d. LIDI (Ed.), *XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)* (págs. 1062-1071). Córdoba: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Elizalde Marín, L. (2018). GESTIÓN DE ALMACENES PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/11/almacenes-inventarios.html>
- Gómez Montoya, R., Cano, J., & Campo, E. (2018). Gestión de la asignación de posiciones (Slotting) eficiente en centros de distribución agroindustriales. *Revista Espacios*, 39(16), 23. Recuperado el 22 de 07 de 2021, de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n16/a18v39n16p23.pdf>
- Ibañes Hidalgo, I. (2018). *CONVERSION RESOLVER TO DIGITAL EN FPGA PARA PLATAFORMA DE PROTOTIPADO RÁPIDO DE CONTROL*. Bilbao: Universidad del pais Basco.
- León Quiroga, C. D. (2017). *DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL PROCESO DE DESPACHO DE MERCANCÍA EN LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN UBICADOS EN CUNDINAMARCA*. Bogotá.
- Perdomo, M. E., & Ordóñez Ávila, J. L. (2019). Simulación con robots colaborativos para prácticas de sistemas de información logística con estudiantes de ingeniería. *INNOVARE Revista de Ciencia y Tecnología*, 116-119.
- Puerta Salazar, S., & Rodriguez Hübner, V. A. (2021). *Automatización de almacenes: nuevas tecnologías*. Universidad de Lima.
- República del Ecuador. (2017). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Rodriguez Roca, R. (2017). *APLICACIÓN DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA*

- /MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE ALMACÉN DE LA EMPRESA CENTAUROS DEL PERÚ CEDEP E.I.R.L LIMA - 2017*. Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería.
- Rodríguez, K., Ortiz, O., Quiroz, A., & Parrales, M. (2020). El e-commerce y las Mipymes en tiempos de Covid-19. *Revista Espacios*, 100-118.
- Rojas Gómez, C., & Pacheco Yepes, V. (2019). *Logística de Almacenamiento Como Factor de Desarrollo Competitivo de la Empresa Amazon Durante el periodo 2008 – 2018*. Montería, Córdoba.
- Tello Pérez, P. E., & Pineda González, L. F. (2018). *Análisis del comercio electrónico en Ecuador*. Quito: UIDE.
- Torres Vivas, L. A., & Moreno Jiménez, G. A. (2020). *Diseño de una interfaz de sistemas de radiofrecuencia a bluetooth*. Universidad Internacional SEK.
- Tribunal constitucional. (2008). *Constitución de la republica del Ecuador*.

ANEXOS

Anexo 1

Código de prueba para lecturas analógicas.



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The title bar reads "AnalogRead Arduino 1.8.15 Hourly Build 2021/05/31 10:33". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for checking, running, uploading, and downloading. The file explorer shows a single file named "AnalogRead". The code editor contains the following C++ code:

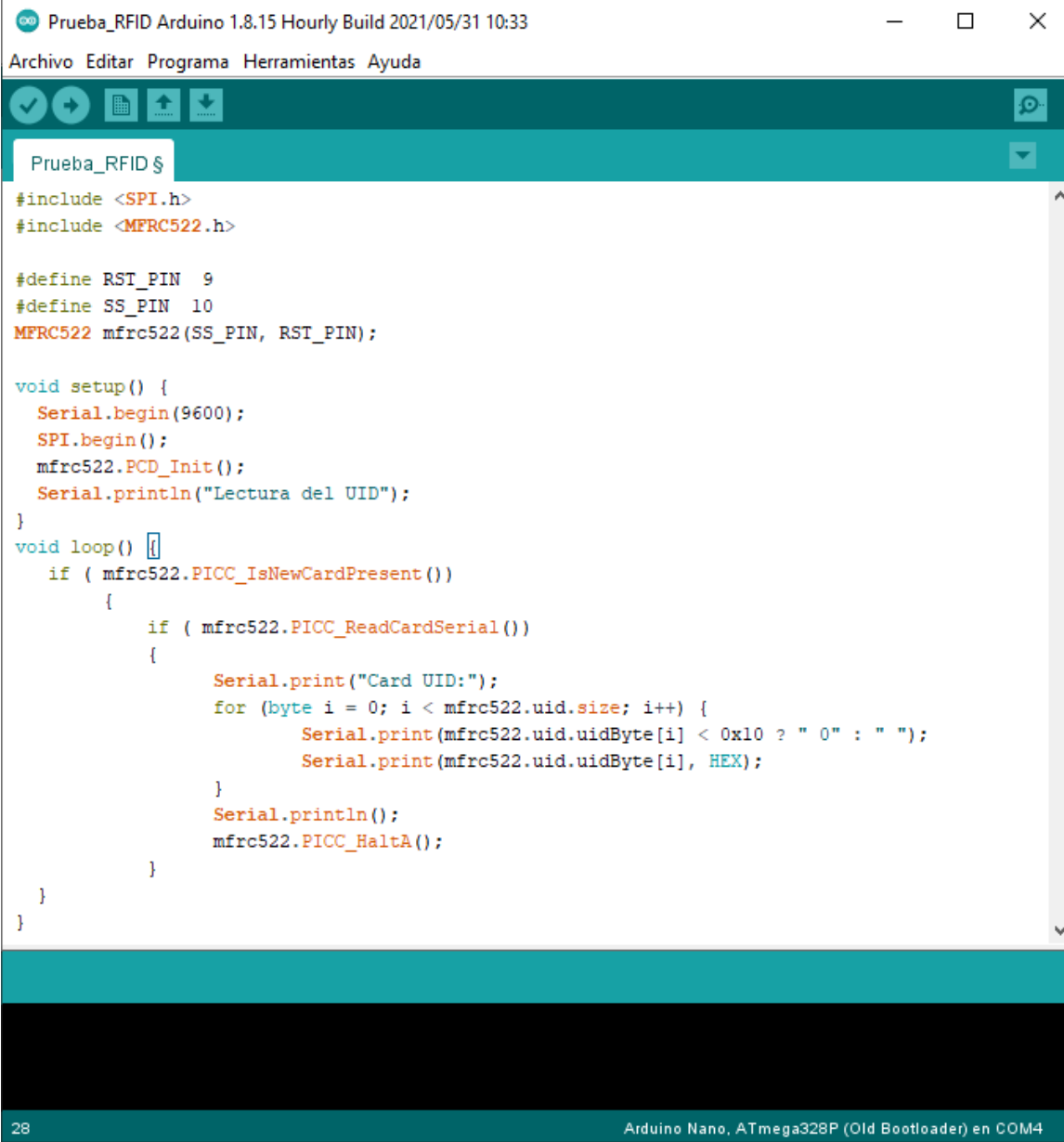
```
const int lectura = A4;
int valor_leido;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(lectura, INPUT);
}

void loop() {
  valor_leido = analogRead(lectura);
  Serial.print("valor: ");
  Serial.println(valor_leido);
  delay(500);
}
```

At the bottom, the status bar indicates "1" and "Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) en COM4".

Anexo 2

Código de prueba para lecturas de RFIF



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the file 'Prueba_RFID.ino' open. The code is written in C++ and uses the MFRC522 library for RFID communication. The setup function initializes the serial port at 9600 baud, the SPI interface, and the MFRC522 module. The loop function checks for a new card present and, if found, reads the card's serial number (UID) and prints it to the serial monitor. The code is as follows:

```
Prueba_RFID $
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>

#define RST_PIN 9
#define SS_PIN 10
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
  Serial.println("Lectura del UID");
}

void loop() {
  if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
  {
    if (mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
    {
      Serial.print("Card UID:");
      for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++) {
        Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
        Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
      }
      Serial.println();
      mfrc522.PICC_HaltA();
    }
  }
}
```

28 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) en COM4

Anexo 3

Código de pruebas para TB6612GNG

```

Prueba_TB6612FNG Arduino 1.8.15 Hourly Build 2021/05/31 10:33
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Prueba_TB6612FNG

//motor derecho
#define motorR1 4
#define motorR2 5
#define motorRPWM 3
// motor izquierdo
#define motorL1 8
#define motorL2 7
#define motorLPWM 9
#define STY 6

int velocidad = 255;

void setup() {
  pinMode(motorR1, OUTPUT); pinMode(motorR2, OUTPUT);
  pinMode(motorL1, OUTPUT);
  pinMode(motorL2, OUTPUT);
  pinMode(motorRPWM, OUTPUT);
  pinMode(motorLPWM, OUTPUT);
}

void loop() {
  analogWrite(motorRPWM, velocidad);
  analogWrite(motorLPWM, velocidad);
  delante();
  delay(1000);
  atras();
  delay(1000);
  derecha();
  delay(1000);
  izquierda();
  delay(1000);
}

void delante(){
  digitalWrite(motorR1, HIGH);
  digitalWrite(motorR2, LOW);
  digitalWrite(motorL1, HIGH);
  digitalWrite(motorL2, LOW);
}

void atras(){
  digitalWrite(motorR1, LOW);
  digitalWrite(motorR2, HIGH);
  digitalWrite(motorL1, LOW);
  digitalWrite(motorL2, HIGH);
}

void derecha(){
  digitalWrite(motorR1, LOW);
  digitalWrite(motorR2, HIGH);
  digitalWrite(motorL1, HIGH);
  digitalWrite(motorL2, LOW);
}

void izquierda(){
  digitalWrite(motorR1, HIGH);
  digitalWrite(motorR2, LOW);
  digitalWrite(motorL1, LOW);
  digitalWrite(motorL2, HIGH);
}

```

Anexo 4

Código de pruebas para Encoder magnético.



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the file name "Encoder_Magenetico_Atras_Adelante \$". The code is written in C++ and is designed to interface with a magnetic encoder. It defines two channels, CANAL_A and CANAL_B, and an interrupt pin. The setup function configures the pins and initializes the serial communication. The loop function prints the counter value and delays for 100ms. The Lectura_Encoder function handles the interrupt by reading the states of CANAL_A and CANAL_B to increment or decrement the counter.

```
Encoder_Magenetico_Atras_Adelante $
int CANAL_A =2;
int CANAL_B =3;
int interruptPin = 2;
volatile long contador =0;
void setup() {
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);

  pinMode(CANAL_A, INPUT);
  pinMode(CANAL_B, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin),Lectura_Encoder, RISING);
}
void loop() {
  Serial.println(contador);
  delay(100);
}
void Lectura_Encoder() {

  if (digitalRead(CANAL_A) == HIGH) {
    if (digitalRead(CANAL_B) == LOW) {
      contador++;
    } else {
      contador--;
    }
  } else {
    if (digitalRead(CANAL_B) == LOW) {
      contador--;
    } else {
      contador++;
    }
  }
}
```

Anexo 5

Encuesta para valorar la influencia, aceptación y captación de las ventas en línea.

Se plantearon las siguientes preguntas a una muestra aleatoria de 50 estudiantes de la universidad de guayaquil para saber su apreciación sobre las compras online y determinar si las han realizado en alguna ocasión.

1.- ¿Ha realizado alguna vez una compra en una tienda online?

Población que realiza compras en línea.

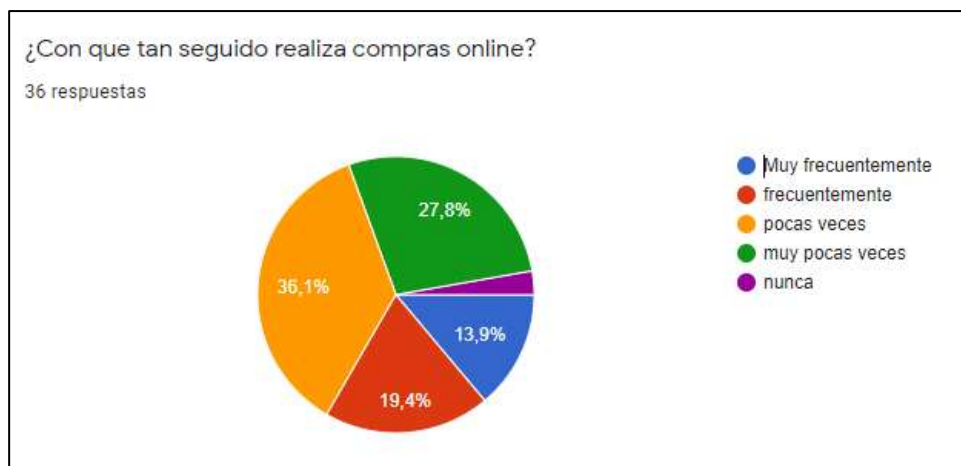


Se logra observar que un porcentaje mayoritario de estudiantes realizan o alguna vez realizaron una compra en un sitio web, por lo que se denota que es un área de mercado con mucho interés por parte de los consumidores.

Para las personas que realizan compras en línea se plantearon las siguientes interrogantes:

2.- ¿Que tan seguido realiza compras online?

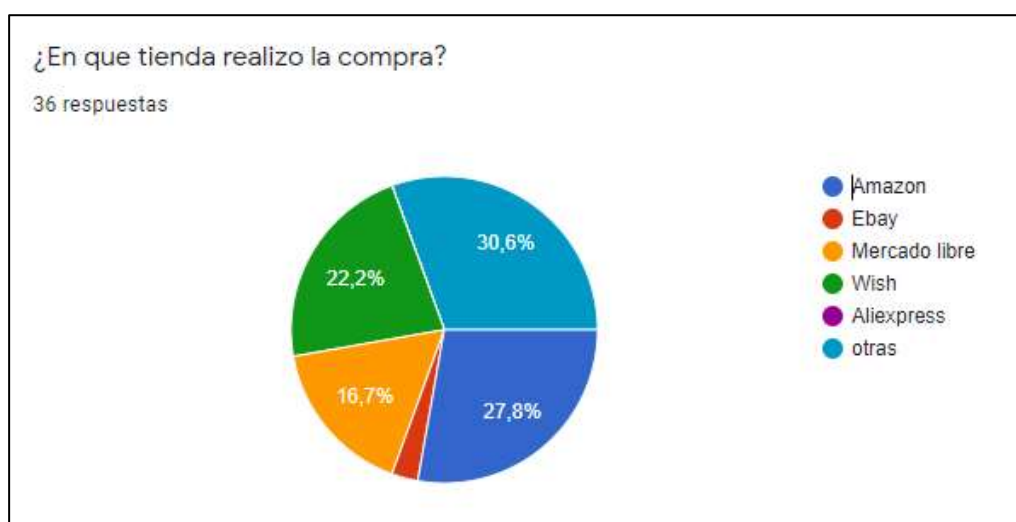
Pregunta que se realiza para validar que tan usado es el método de compras en línea por las personas



Se logra observar mayormente las personas realizan pocas compras en línea, aunque se encuentra en contraposición a las personas que si las realizan de manera muy frecuente y frecuentemente con un porcentaje del 33.3% conjuntamente, lo que es claro que es cada vez más común que las personas realicen compras en medios virtuales.

3.- ¿En qué tienda realizo la compra?

Pregunta para evaluar el mercado actual, cual es la tienda de preferencia de los clientes en cuanto a la adquisición de productos por medios virtuales.



Se logra ver la gran preferencia que tienen las personas por Amazon, el gigante comercial logra abarcar el 30.6% de los encuestados que han realizado compras en línea, posicionándose el mercado como una de las principales alternativas del comercio online.

4.- ¿Como calificaría el proceso de envío de sus productos?

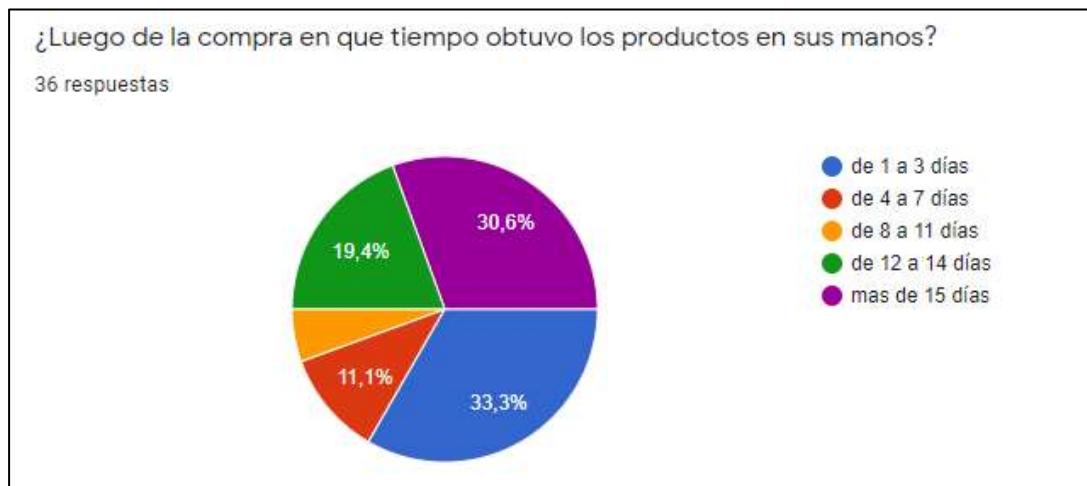


En cuanto a los envíos de los pedidos a los domicilios de los clientes se logra observar que este proceso a vista de los clientes es bueno en su mayoría, con un 38.9%, lo que

significa que esta parte de las compras online aún se puede mejorar con la finalidad de que aumenten las adquisiciones de los compradores.

5.- ¿Luego de la compra en que tiempo obtuvo los productos en sus manos?

Sera importante conocer el tiempo en el que los clientes obtuvieron sus productos tras el proceso de compra, esto para contrastar la mejora al automatizar los centros de logística con el prototipo de robot a construir.



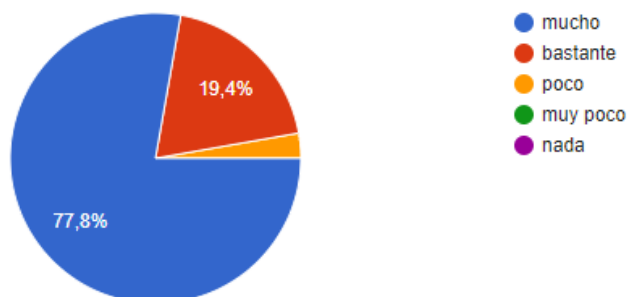
En esta pregunta se observa que la mayor cantidad de compradores recibieron sus productos es un periodo de 15 o más días, lo que es reafirma la idea de que debe existir una mejora en cuanto al tiempo en el que los clientes obtienen sus productos tras el proceso de compra.

6.- ¿Que tanto le agradaría la idea que estas empresas de ventas online mejoren y automaticen sus procesos de logística para mejorar los tiempos en los que el cliente obtiene los productos en sus manos?

Consulta realizada tanto para las personas que han realizado compras en línea como para las personas que aún no lo han hecho, esto con la finalidad de validar que tanto les agradaría la idea de la automatización y optimización de los procesos de logística de las empresas a las que acuden para realizar compras en beneficio de obtener un mejor servicio en cuanto a tiempos de envío.

¿Que tanto le agradaría la idea que estas empresas de ventas online mejoren y automaticen sus procesos de logistica para mejorar los tiempos en los que el cliente obtiene los productos en sus manos?

36 respuestas



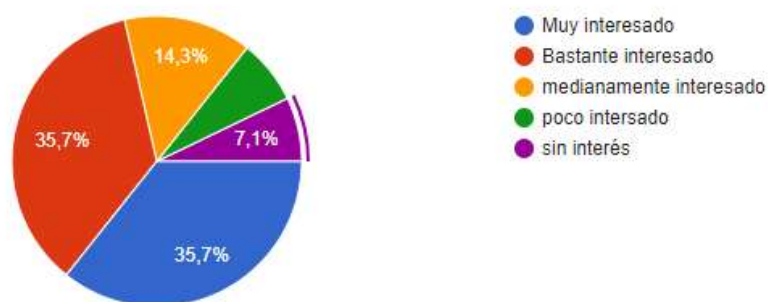
Es claramente apreciable que los usuarios se notan a favor de las mejoras en cuanto la automatización de los procesos de logística interno de las empresas, esto con el objetivo de que sus compras lleguen con más rapidez a sus domicilios o direcciones de envío.

7.- ¿Qué tan interesado estaría en realizar compras en una tienda online?

Consulta realizada para la sección de personas que no han realizado aun compras en línea, se realiza para validar que tan interesados se ven para hacer compras de manera virtual.

¿Qué tan interesado estaría en realizar compras en una tienda online?

14 respuestas



Se denota claramente que más del 70% de la población que no ha realizado compras en línea aún se muestran interesados por hacerlo, esto indica que el mercado de las ventas online tiene gran potencial de crecimiento porque las personas muestran mucho interés al respecto.

8.- ¿Qué él envío sea rápido sería una opción que le haría escoger una tienda ante otra?



Se logra observar que los resultados de la encuesta reflejan que los usuarios valoran en gran manera el tener sus productos rápidamente luego de la compra, por lo que es un factor importante a tener en cuenta para mejorar la reputación ante los clientes.

9.- ¿Que tanto le agradaría la idea que estas empresas de ventas online mejoren y automaticen sus procesos de logística para mejorar los tiempos en los que el cliente obtiene los productos en sus manos?



Los usuarios ven con gran agrado la mejora en los procesos internos de las empresas en las que realizan sus compras, para que de esta manera su experiencia de compra sea muy buena.