



**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
VIDA NUEVA**

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT VELOCISTA
CONTROLADO MEDIANTE WIFI UTILIZANDO UNA
TARJETA DE DESARROLLO ESP32-WROOM**

PRESENTADO POR:

AUCATOMA TIBAN JAIRO PATRICIO

TUTOR:

ING. MACHAY TISALEMA BYRON ORLANDO MSC.

FEBRERO 2022

QUITO – ECUADOR

*Aprobado
Ing. Byron Machay msc*

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT VELOCISTA CONTROLADO MEDIANTE WIFI UTILIZANDO UNA TARJETA DE DESARROLLO ESP32-WROOM”** en la ciudad de Quito, presentado por el/la ciudadano/a **AUCATOMA TIBAN JAIRO PATRICIO**, para optar por el título de Tecnólogo en **ELECTROMECAÁNICA**, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de febrero de 2022.

TUTOR: MACHAY TISALEMA BYRON ORLANDO

C.I.: 0503641391

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT VELOCISTA CONTROLADO MEDIANTE WIFI UTILIZANDO UNA TARJETA DE DESARROLLO ESP32-WROOM”** en la ciudad de Quito, del/la estudiante: **AUCATOMA TIBAN JAIRO PATRICIO** de la Carrera en Tecnología **ELECTROMECAÁNICA**.

Para constancia firman:

ING.

DOCENTE ISTVN

ING.

DOCENTE ISTVN

ING.

DOCENTE ISTVN

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, **AUCATOMA TIBAN JAIRO PATRICIO** portador/a de la cédula de ciudadanía **1725872640**, facultado/a de la carrera **TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA**, autor/a de esta obra certifico y proveo al Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, usar plenamente el contenido del informe con el tema **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT VELOCISTA CONTROLADO MEDIANTE WIFI UTILIZANDO UNA TARJETA DE DESARROLLO ESP32-WROOM”**, con el objeto de aportar y promover la lectura e investigación, autorizando la publicación de mi proyecto de titulación en la colección digital del repositorio institucional bajo la licencia de Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de febrero de 2022.

AUCATOMA TIBAN JAIRO PATRICIO

C.I.: 1725872640

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de manera especial
a mis padres Gladys Tiban y Ángel Aucatoma
por haberme forjado como la persona que soy en la
actualidad, pues sin ellos no habría alcanzado este logro.

Me forjaron con reglas y valores que día a día me
motivaron para crecer profesionalmente.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida junto a mi familia y guiarme por el camino correcto que ha trazado para mí. A mis padres, Gladys Tiban y Ángel Aucatoma por darme la vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto. Ya que fueron quienes hicieron posible la realización de alcázar esta meta más en mi vida, y sin ellos no hubiera logrado mis sueños gracias de todo corazón por formarme como soy y por ser el ejemplo a seguir, por enseñarme a continuar sin importar las circunstancias.

El logro también es de ellos. Agradecido también al Msc. Byron Orlando Machay Tisalema por haber confiado en mí y haberme motivado a emprender la elaboración de este proyecto de aplicación práctica, en los proyectos interfieren factores que desmotivan o limitan el tiempo y sin su apoyo, consejos este trabajo no habría podido hacerse realidad.

Finalmente agradecer al ISTVN, por abrirme las puertas de tan prestigiosa institución y estudiar la hermosa carrera de ELECTROMECAÁNICA, gracias a todos los maestros por compartir sus conocimientos y aconsejarme para día a día seguir adelante avanzando para ser un profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Antecedentes	5
Robótica y los robots	5
Justificación	6
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
MARCO TEÓRICO	9
Robot industrial de manipulación (brazo robótico)	11
Robot de servicio	12
Robot militares	13
Robot médico	14
Robots aéreos	15
Robot Humanoide	16
Robot zoomórfico	17
Robots móviles	18
Nanobots	19
Robots de competencia	20
Robot Laberinto	21
Robot Sumo	22
Robot Bailarín	23
Robot Volador	24
Robot Fútbol	25

Robot Trepador	26
Robot Seguidor de línea	27
Estudios de robots seguidores de línea de los últimos 5 años	28
Definición de términos básicos	29
Controlador PID	29
Reglas heurísticas para calibración de un PID	30
Motorreductor	30
Sensores infrarrojos QTR8a	32
Batería LiPo	33
Brackets	34
Llantas	34
ESP32-wroom	35
FireBase	37
Robot seguidor de línea	38
METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO	39
Diseño metodológico	39
Variables y definición operacional	39
Técnicas de recolección de datos	40
Diseño eléctrico y electrónico	40
Diseño mecánico	45
Programación en Arduino IDE	49
PROPUESTA Y RESULTADOS	53
CONCLUSIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	67

Anexo 1: Diseño de baquelita en Proteus en 3D.	67
Anexo 2: Búsqueda de información en repositorios digitales de la EPN.	67
Anexo 3: Búsqueda de información a través de Google Académico.	68
Anexo 4: Búsqueda de documentos científicos en la plataforma ProQuest.	68
Anexo 5: Diseño de circuito para quemar en baquelita.	69
Anexo 6: Plano del diseño eléctrico en el programa ISIS de Proteus.	70
Anexo 7: Plano del diseño mecánico de la base para el sensor QTR8a en SolidWorks.	71
Anexo 8: Visualización del soporte del sensor en 3D.	72

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No. 1 Brazo Mecánico.....	11
Imagen No. 2 Robot de servicio.....	12
Imagen No. 3 Robot militar MAARS	13
Imagen No. 4 Robot médico	14
Imagen No. 5 Robot aéreo DJIManifold 2.....	15
Imagen No. 6 Robot humanoide NAO.....	16
Imagen No. 7 Robot zoomórfico JAIR_20	17
Imagen No. 8 Robot omnidireccional	18
Imagen No. 9 Representación de nanobots	19
Imagen No. 10 Robot laberinto.....	21
Imagen No. 11 Robot sumo	22
Imagen No. 12 Robot bailarín.....	23
Imagen No. 13 Robot Volador	24
Imagen No. 14 Robot fútbol.....	25
Imagen No. 15 Robot trepador.....	26
Imagen No. 16 Robot seguidor de línea.....	27
Imagen No. 17 Diseño de un controlador PID.....	29
Imagen No. 18 Motoreductor metálico Pololu 10-1	31
Imagen No. 19 Barra de sensores QTR8a.....	32
Imagen No. 20 Batería Lipo.....	33
Imagen No. 21 Brackets Pololu	34
Imagen No. 22 Llantas para eje de micromotor o motoreductor	34
Imagen No. 23 ESP32-Wroom	35
Imagen No. 24 Plataforma firebase.....	37
Imagen No. 25 Despiece de un seguidor de línea	38

Imagen No. 26 Inicialización del programa	41
Imagen No. 27 Selección de componentes	41
Imagen No. 28 Búsqueda de componentes	42
Imagen No. 29 Conexión de componentes	42
Imagen No. 30 Transferencia de esquema ARES	43
Imagen No. 31 Interfaz de ARES	43
Imagen No. 32 Ubicación de los elementos en ARES	44
Imagen No. 33 Conexión de los elementos.....	44
Imagen No. 34 Diseño de la Baquelita en ARES.....	45
Imagen No. 35 Inicialización del programa SolidWorks.....	46
Imagen No. 36 Apertura del plano, para crear sólidos.....	46
Imagen No. 37 Uso de herramientas básicas	47
Imagen No. 38 Dibujo del croquis terminado	47
Imagen No. 39 Extrusión del soporte.....	48
Imagen No. 40 Soporte en vista lateral 3D	48
Imagen No. 41 Importación de librerías	49
Imagen No. 42 Declaración de variables	50
Imagen No. 43 Creación de la función Void Setup	51
Imagen No. 44 Creación de la función Void Loop	52
Imagen No. 45 Prototipo anterior, el robot tenía una placa grande que genera peso innecesario.....	54
Imagen No. 46 Lectura del sensor en tiempo real.....	57
Imagen No. 47 Prototipo anterior y prototipo final con pulsador adicional	58
Imagen No. 48 Apreciación de eficiencia de robots seguidor de línea	59
Imagen No. 49 Pista de pruebas para el prototipo	61
Imagen No. 50 Robot seguidor de línea Quarmi.....	62

Imagen No. 51 Diseño de baquelita en proteus en 3D	67
Imagen No. 52 Búsqueda de información en repositorios digitales de la EPN	67
Imagen No. 53 Búsqueda de información a través de Google Académico.....	68
Imagen No. 54 Búsqueda de documentos científicos en la plataforma ProQuest .	68
Imagen No. 55 Diseño de circuito para quemar en baquelita	69
Imagen No. 56 Visualización del soporte del sensor en 3D	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Reglas para calibrar un PID	30
Tabla No. 2 Características del motoreductor Pololu 10-1	31
Tabla No. 3 Características de sensores QTR8a	32
Tabla No. 4 Características de batería Lipo	33
Tabla No. 5 Características de llantas para micromotor o motor reductor	35
Tabla No. 6 Características del ESP32-Wroom.....	36
Tabla No. 7 Voltajes teóricos y medidos	54
Tabla No. 8 Corriente teórica y medida	55
Tabla No. 9 Análisis de prototipo anterior.....	55
Tabla No. 10 Estimación del error analógico.....	56
Tabla No. 11 Corrección del error de la lectura analógica	56
Tabla No. 12 Interpretación de las variables de datos estadísticos	59
Tabla No. 13 Comparación de eficiencia de los prototipos mediante velocidad ...	61

RESUMEN

En los últimos años, la robótica de competencia se ha presentado con más frecuencia debido a la mayor acogida en el país, ya que se desarrollan varios concursos nacionales e internacionales. Debido a esta razón, el presente proyecto se enfoca al mejoramiento de los prototipos de robots seguidores de línea velocista ya existentes.

Por ello, en el presente proyecto se implementa y desarrolla un robot seguidor de línea velocista considerando las especificaciones requeridas de diseño, locomoción, para su correcto desplazamiento se implementará un controlador PID que permita calibrar el robot de manera inalámbrica mediante una red wifi y que mejore su rendimiento en competencia para que logre los objetivos planteados y los supere conforme se desarrolla en pista.

En el diseño electrónico del prototipo, se considera un sistema de control, un sistema de detección sensorial y un sistema de fuerza que permita controlar los motores de forma sencilla, pero precisa. Para el diseño mecánico del robot seguidor de línea se considera el ambiente en que se va a exponer en competencia, por ello el peso total de los elementos con el chasis ensamblado es sumamente importante, ya que así se determinara la forma del chasis donde y como se puedan ubicar los elementos electrónicos, el tipo de llantas a usar y los motores.

PALABRAS CLAVE:PID, robot seguidor, automatización, Wroom, locomoción.

ABSTRACT

In recent years, competition robotics has been presented more frequently due to the greater acceptance in the country, since there are several national and international competitions. For this reason, this project focuses on the improvement of existing line tracker robots prototypes.

Therefore, this project implements and develops a line tracker robot considering the required specifications of design, locomotion, for its correct displacement a PID controller will be implemented to calibrate the robot wirelessly through a Wi-Fi network and improve its performance in competition to achieve the objectives set and overcome them as it develops on the track.

In the electronic design of the prototype, there is a control system, a sensory detection system and a force system that allows control of the motors in a simple but precise way. For the mechanical design of the line tracker robot, the environment in which it will be exhibited in competition is taking as the first thing, hence the total weight of the elements with the assembled chassis is extremely important, since this will determine the shape of the chassis where and how to locate the electronic elements, the type of tires to use and the motors.

KEY WORDS: PID, line tracker robot, automation, Wroom, locomotion.



Lcda. Verónica Gavilanes

Aprobado

INTRODUCCIÓN

La robótica es una ciencia que ha presenciado grandes avances en los últimos años, estos avances han permitido desarrollar diversos prototipos robóticos que han facilitado y precautelar la vida de los seres humanos realizando procesos industriales como el traslado de objetos pesados a lugares de almacenamiento con facilidad, rapidez y efectividad.

Se lleva a cabo el diseño y construcción de un robot seguidor de línea velocista con un controlador PID, que nos permita calibrar el robot de forma remota mediante la implantación de una tarjeta de desarrollo ESP32-WROOM. La cual contiene características mejoradas en comparación a otras tarjetas de desarrollo, las cuales limitan las capacidades que un robot de esta categoría.

Se realiza un estudio bibliográfico del robot seguidor de línea velocista, investigando los principales aspectos a considerar para la construcción de este robot; analiza algunos de los robots seguidores de línea y como cada uno ha evolucionado conforme el tiempo transcurre y la tecnología se desarrolla

Indagar estudios realizados en diferentes universidades de ingeniería buscando la mejora y modificación de diferentes robots seguidores de línea, para adaptarlos a sus robots; buscar la forma de movilidad más óptima y rápida en que un prototipo procesa los datos que obtiene del exterior mediante sensores. Se considera viable aplicar una tarjeta de desarrollo con más capacidad en la velocidad de procesamiento de datos.

Se implementa en el prototipo de robot seguidor de línea un sistema inalámbrico, que permita la calibración de los parámetros del PID de forma remota, mientras el robot se encuentre en pista. Ya que la precisión de la calibración va a determinar la correcta locomoción del robot en una competencia.

Finalmente se elige el sistema de locomoción más adecuado que se va aplicar al robot seguidor de línea dependiendo del ambiente en el que va a competir y considerado también que la luz que llega al sensor reflectante no interfiera al detectarla pista.

Antecedentes

Robótica y los robots

Por siglos, el ser humano ha construido máquinas que imitan partes del cuerpo humano un ejemplo claro lo encontramos en los antiguos egipcios que unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses; los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicos, los cuales eran utilizados para fascinar y sorprender a los adoradores de los templos, pero desde esa época ya se tenían indicios de la robótica.

La palabra robot se utilizó por primera vez en 1920 en una obra llamada "Los Robots Universales de Rossum", escrita por el dramaturgo checo Karel Capek. Como afirma Lara (2017) fue el primero en utilizar "robot" para designar a estos personajes de la ficción, ahora parte de la vida real, fue su hermano Josef el que acuñó el término. Karel no estaba convencido del nombre que tenía para estos humanoides mecanizados: "laboři" (del latín labor, trabajo). "Robota", por su parte, significa literalmente: trabajo duro o labor y figuradamente "trabajo duro" en checo y muchas otras lenguas eslavas.

Luego de estos precedentes, el gran escritor Isaac Asimov introdujo la palabra robótica al tratar de interpretar y describir un campo de estudio de los robots. Luego de ello, la ciencia y la tecnología avanzaron de tal forma que se alcancen los mayores avances de los robots.

Justificación

La tecnología se ha empleado con más frecuencia en la industria, a partir de 1960, por la precisión y rapidez con la que cumplen cada función que se les otorgue, ya sea de transporte, ensamble, soldadura, pintura, etc. A este avance se le otorgan un sin número de subdivisiones entre ellas se tiene a la robótica, estos prototipos se consideran necesarios y se les denomina robots, porque son máquinas inteligentes que ayudan en ciertas situaciones y que, al unir diferentes ciencias como la electrónica, mecánica tiene como resultado una máquina Autónoma la cual funciona mediante programación. Esto genera alta eficiencia en distintos campos de la Industria, facilitando labores que se consideran peligrosas para el ser humano. Los robots en diferentes países del mundo han tenido mucha acogida debido a las diferentes funcionalidades que se les puede dar, así como publicidad, tratamiento, asistencia médica, entre otros. Sin embargo, en el Ecuador este tipo de tecnología denominada robots se ha desarrollado muy poco, esto se debe al bajo apoyo económico, educación, dedicación y motivación que los docentes inculcan en sus estudiantes universitarios.

En el presente proyecto de aplicación práctica se desarrolla un sistema de control de calibración inalámbrico de un robot seguidor de línea velocista, implementando electrónica que permita manipular los valores de calibración mejorando su rendimiento en concursos de robótica, de esta manera se permite efectuar diferentes métodos que servirán de apoyo para el desarrollo de nuevas tecnologías, evidenciando las necesidades en el prototipo y de este modo motivar a los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, a que se incursionen en el desarrollo tecnológico e innovador de la robótica destacando así a la misma

institución, este proyecto se podrá encontrar en las instalaciones de la institución. Finalmente, el proyecto de aplicación práctica se enfocará en el desarrollo de un nuevo método de control inalámbrico el cual permitirá un alto porcentaje de eficiencia en comparación con sus antecesores.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir un robot velocista controlado mediante wifi utilizando una tarjeta de desarrollo ESP32-WROOM que permita la calibración inalámbrica del PID.

Objetivos Específicos

- Diseñar un circuito electrónico en el software de Proteus 7 que permita el manejo de sensores y actuadores.
- Elaborar un control PID para el manejo de velocidades de los motores que permita el seguimiento de una línea.
- Programar la comunicación entre Firebase y la ESP32 para la calibración inalámbrica del controlador del robot seguidor de línea.
- Realizar pruebas de funcionamiento en una pista de robots seguidores de línea que ayuden a detectar errores de calibración.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Los avances tecnológicos e industriales que experimentó el ser humano en la Primera Revolución industrial en el siglo XVIII, permitió tener máquinas de carácter industrial a través del carbón, vapor, pólvora y posteriormente el desarrollo de la petroquímica y la electricidad. Como afirman Narváez & Padilla (2004) “la Revolución Industrial permitió automatizar a las diferentes máquinas conocidas hasta entonces y gracias al impulso de la electricidad fue posible industrializar la producción, generar mayor desarrollo e investigación en el campo de la informática-electrónica y desarrollar una nueva ciencia denominada robótica” (p.105).

(Robot seguidor, 2016) “El principio de secuenciación y retroalimentación para proporcionar movimientos rápidos y precisos. La razón de por qué la aparición de robots es relativamente reciente, es debido a la evolución de computadores rápidos y seguros, que forman el robot y proporcionan el control y la programabilidad” (p.18). La creciente disponibilidad de computadores, junto con el desarrollo de sensores ha hecho posible el procesamiento sensorial. Es gracias a este procesamiento sensorial que se ha podido contar con la flexibilidad de movimientos de los robots industriales. Las posiciones deseadas de estos robots se logran por medio de sus sistemas de control y de sus actuadores.

Pese a que no existe una definición precisa del concepto, se suele considerar que un robot tiene la capacidad de imitar el comportamiento de los humanos o de animales. Existen robots humanoides, surgidos a partir de la segunda mitad del siglo XX, que pueden caminar, mover un brazo mecánico, manipular su entorno o hasta

responder a los estímulos. A día de hoy, existe una disciplina llamada robótica, donde se trabaja para desarrollar los mejores dispositivos para la industria.

En la industrial y en competencias se encuentran una variedad de tipos de robot dependiendo el área o ambiente en que van a interactuar, por ello es necesario clasificarlos:

1. Robot industrial de manipulación (brazo robótico)
2. Robot de servicio
3. Robots militares
4. Robots médicos
5. Robots aéreos
6. Robots humanoides
7. Robots zoomórficos
8. Robots móviles
9. Nanobots

Robot industrial de manipulación (brazo robótico)

Los brazos robóticos son un tipo de máquina diseñada para facilitar la labor del ser humano en trabajos que requieren de precisión y rapidez.

Una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, normalmente en una posición fija o en movimiento a través de raíles (Universidad de Alcalá, 2019, p.12).



Imagen No. 1 Brazo Mecánico

Elaborado por: Anónimo

Fuente: <https://rivasrobotics.com/robot-industrial/>

Robot de servicio

Dispositivos electromecánicos habitualmente móviles, dotados normalmente de uno o varios brazos mecánicos independientes, controlados por ordenador y que realizan tareas no industriales. “Los robots de servicio se utilizan para reemplazar al hombre en entornos no estructurados, hostiles y que pueden requerir de un cambio de morfología de los robots. Las nuevas fábricas inteligentes de la Industria 4.0 cuentan con estos robots” (Universidad de Alcalá, 2019, p.13).



Imagen No. 2 Robot de servicio

Elaborado por: Ángela Martínez

Fuente: <https://www.timetoast.com/timelines/evolucion-robotica-8164b1d6-20c8-473b-83e1-9db50226d2e1>

Robot militares

“Son robots con aplicaciones militares específicas en los que podemos encontrar un gran abanico de morfologías. Suelen ser robots que asisten o guían al ejército en operaciones especiales” (Universidad de Alcalá, 2019, p.15).



Imagen No. 3 Robot militar MAARS

Elaborado por: Anónimo

Fuente: <https://es.digitaltrends.com/computadoras/robots-militares/>

Robot médico

“Son robots con aplicaciones, principalmente en el campo de la cirugía, en las que se hace uso de la precisión de múltiples brazos robóticos para asistir al cirujano en las operaciones. También se controlan a distancia” (Melendres, 2019, p. 36).



Imagen No. 4 Robot médico

Elaborado por: Alexis Kieger

Fuente: https://elpais.com/elpais/2016/05/04/ciencia/1462377006_973719.html

Robots aéreos

Son robots que vuelan de forma no tripulada UAV (Unmanned Arial Vehicles) o por control remoto RPV (Remotely Piloted Vehicle). “Son usados principalmente en aplicaciones militares, en los que, a diferencia de los misiles, éstos son capaces de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido” (Universidad de Alcalá, 2019, p.24). Este tipo de robots también denominado dron tiene muchas aplicaciones que incluyen dentro de los tipos anteriores como: militares, servicio o inclusive existen actualmente competencias profesionales de este tipo de robots aéreos (Drones).



Imagen No. 5 Robot aéreo DJIManifold 2

Elaborado por: Ed Koch

Fuente:<https://www.dji.com/es/newsroom/news/dji-lanza-manifold-2-un-superprocesador-para-drones-industriales>

Robot Humanoide

Los robots humanoides, es decir, aquellos que tienen morfología humana y las articulaciones necesarias para realizar movimientos parecidos a los humanos, es un desafío para el desarrollo tecnológico.

Esta faceta de la ingeniería agrupa muchas ramas reunidas para un mismo objetivo: mecánica, automática, electrónica, informática, biología, etc. Los robots humanoides no son eficientes en cuanto a su movilidad, pero su principal ventaja es que pueden adaptarse a la perfección para adaptarse al entorno humano, sin necesidad de disponer adaptaciones específicas (Fernández, 2009, p.46).

Este tipo de robot ya se usa en distintas áreas, una de ellas es la educación.



Imagen No. 6 Robot humanoide NAO
Elaborado por: Softbank Robotics.
Fuente: <https://robotshumanoides.online/robot-nao/>

Robot zoomórfico

“Los robots con patas o zoomórficos se asemejan a la morfología de los animales terrestres con patas tales como las arañas. Al igual que los robots humanoides, tienen una baja eficiencia en su movilidad, pero son capaces de adaptarse a la perfección en terrenos irregulares” (Melendres, 2019, p.45).



Imagen No. 7 Robot zoomórfico JAIR_20

Elaborado por: Isis Flores

Fuente: <https://robotshumanoides.online/robotnao/https://sites.google.com/a/unitecnica.net/dmhenao/articulos/zoomorficos>

Robots móviles

El robot omnidireccional es un tipo de robot móvil que se desplaza en diferentes direcciones sin rotar su carrocería.

Los robots móviles tienen la capacidad de moverse en su entorno y no están fijados en una ubicación física. Los robots móviles pueden ser “autónomos” (AMR, robot móvil autónomo), lo que significa que son capaces de navegar en un entorno no controlado sin la necesidad de dispositivos de guía físicos o electromecánicos (González, 2008, p. 20).

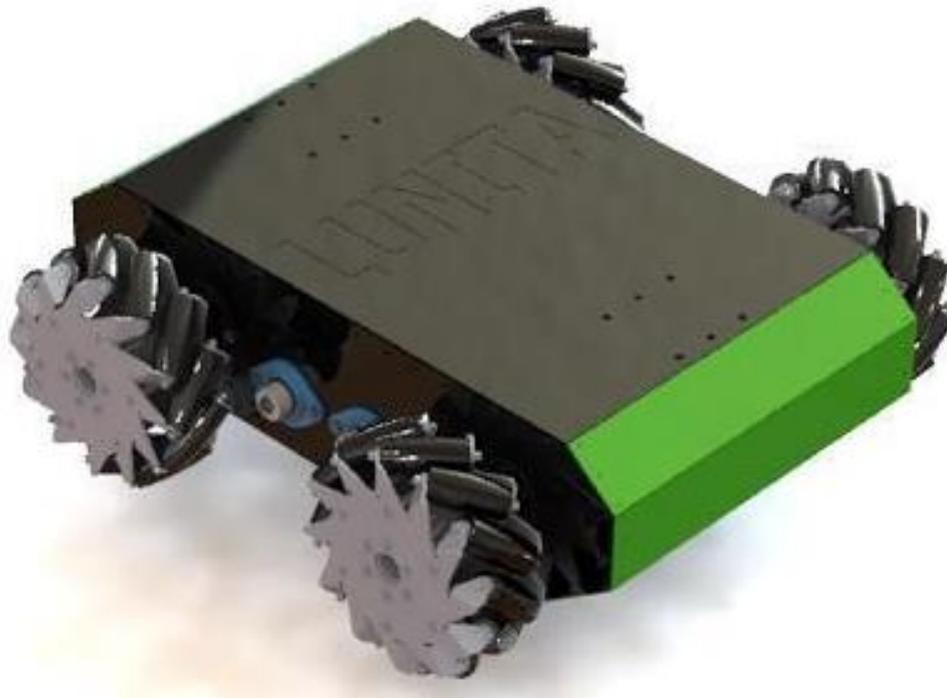


Imagen No. 8 Robot omnidireccional

Elaborado por: Johana Iza

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=4wd_xISyCKw&ab_channel=MECATRONICAESPELATACUNGAECUADOR-SUDAM%C3%89RICA

Nanobots

Son robots con nanotecnología que se insertan en el cuerpo humano con el objetivo de combatir determinados tipos de enfermedades. Son unos diminutos robots que se miden a una escala microscópica.

El nombre viene de una combinación del término robot y la escala en la que estos dispositivos son construidos. Siempre han sido un tema recurrente en la ciencia ficción y han tenido temporadas de bastante popularidad en visiones futuristas del mundo. Aunque se han creado en un contexto biológico, todavía no existen los nanobots de tipo mecánico (Nanobots, 2014, p.4).

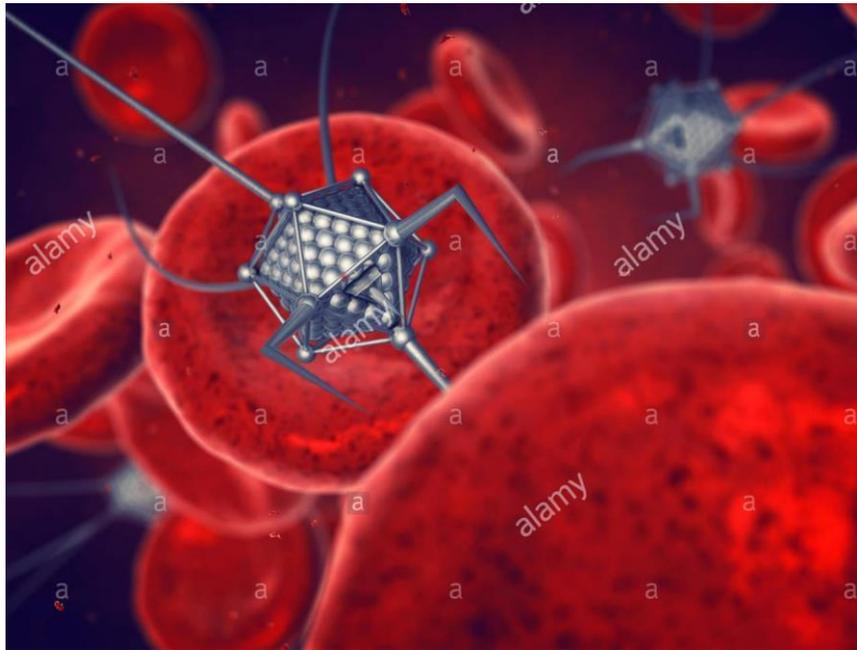


Imagen No. 9 Representación de nanobots

Elaborado por: Nobeastsofierce Science

Fuente: <https://www.alamy.es/nanorobots-y-celulas-de-sangre-la-nanotecnologia-y-la-bioingenieria-image177674939.html>

Robots de competencia

En nuestro medio se han desarrollado o adaptado diferentes tipos de robots para competencias de robótica, donde los prototipos construidos y programados por los concursantes realizan una tarea específica; cumpliendo un reglamento que la institución creadora del evento establece. Entre ellos mencionamos unos cuantos a continuación:

1. Robot Laberinto
2. Robot Sumo
3. Robot Bailarín
4. Robot Voladores
5. Robot Futbol
6. Robot Trepador
7. Robot Seguidor de línea

Las diferentes categorías mencionadas con anterioridad son base fundamental para el desarrollo de la robótica en Ecuador ya que inspiran a la creación de diferentes prototipos con más funciones y capacidades en las tareas que deben realizar.

Robot Laberinto

“El prototipo es autónomo y debe enfrentarse a la tarea de salir de un laberinto; al robot se lo ubica en la entrada de éste y el prototipo debe ser capaz de encontrar su salida en un tiempo máximo preestablecido” (Melendres, 2019, p.10).

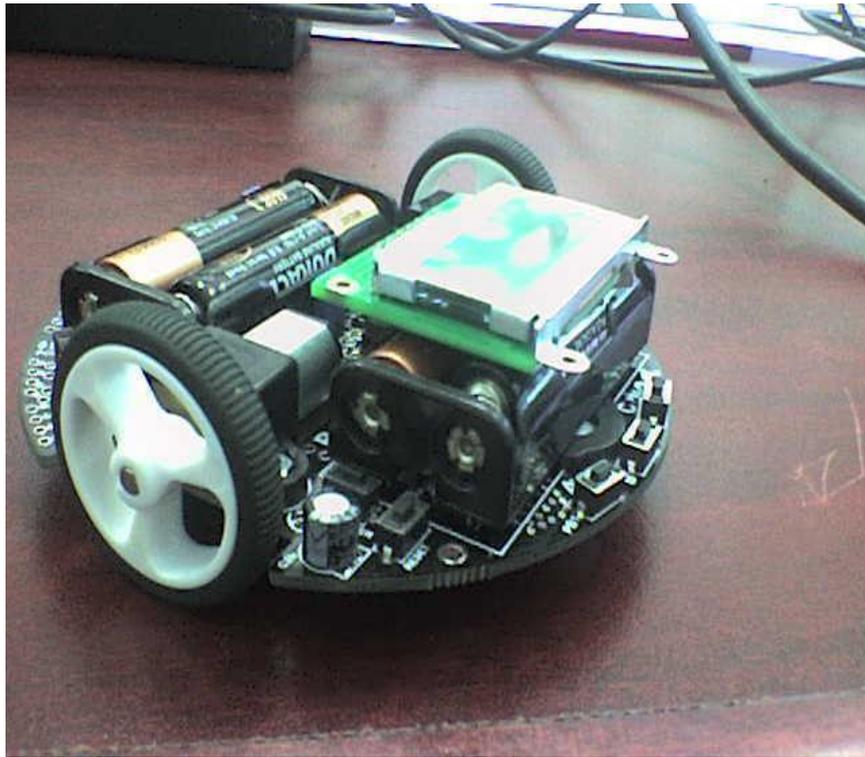


Imagen No. 10 Robot laberinto

Elaborado por: Luis Pérez

Fuente: <http://itstepeacarobotic.blogspot.com/2010/09/robot-de-laberinto.html>

Robot Sumo

Lo curioso es que los robots que se usan como luchadores pueden ser de dos tipos, autónomos y de radiocontrol. “Son de los primeros tipos de robots que han sido programados por sus creadores y seguirán unos patrones predefinidos por su IA. Si son de los segundos, entonces el creador lo maneja mediante un controlador” (Otero, 2018, p.88).



Imagen No. 11 Robot sumo

Elaborado por: Cesar Otero

Fuente: https://as.com/meristation/2018/04/11/betech/1523477857_869374.html

Robot Bailarín

“El robot bailarín es un robot cuyo tamaño y peso queda a libre elección de su creador, sin embargo, se debe considerar que el mecanismo debe ser completamente autónomo y queda prohibido el uso de un computador o de un operador manual para controlar inalámbricamente” (CER, 2017, p.2).



Imagen No. 12 Robot bailarín

Elaborado por: Javier Mañas

Fuente: <https://www.sport.es/es/noticias/tecnologia/descubre-avanzado-robot-bailarin-boston-dynamics-7095233>

Robot Volador

Robots de alta tecnología que abren un nuevo horizonte de posibilidades. “Debido a su tamaño es de solo de 50 cm a un metro y medio y se los emplea, por ejemplo, para ubicar el lugar exacto de una falla en una central solar desde el aire, por medio de una cámara de rayos infrarrojos” (Papaleo, 2012, p.30).



Imagen No. 13 Robot Volador

Elaborado por: Jakub Motyka

Fuente: <https://www.tuexperto.com/2015/01/06/parrot-sensefly-exom-un-robot-volador-con-camara-y-sensores>

Robot Fútbol

El robot fútbol es una innovación que ayuda a desarrollar la tecnología en la robótica y así mismo incluyendo un deporte que puede motivar su creación. “Un robot cúbico de 10cm de lado o cilíndrico con 10cm de diámetro y 10cm de altura, en ambos casos sin considerar el mecanismo de pateo” (CER, 2017, p.3).



Imagen No. 14 Robot fútbol

Elaborado por: Ezequiel Garay

Fuente: <https://radiotucuman.com/nota/2725/te-imaginas-crear-un-robot-futbolista-en-tucuman>

Robot Trepador

“Un robot de diferentes formas dependiendo del tipo de superficie a escalar, comúnmente escala paredes de hierro en competencias y su construcción dependerá de las necesidades, requerimientos de los concursos y mientras más rápido trepe las paredes es una ventaja ante sus rivales en competencia” (Melendres, 2019, p.14).

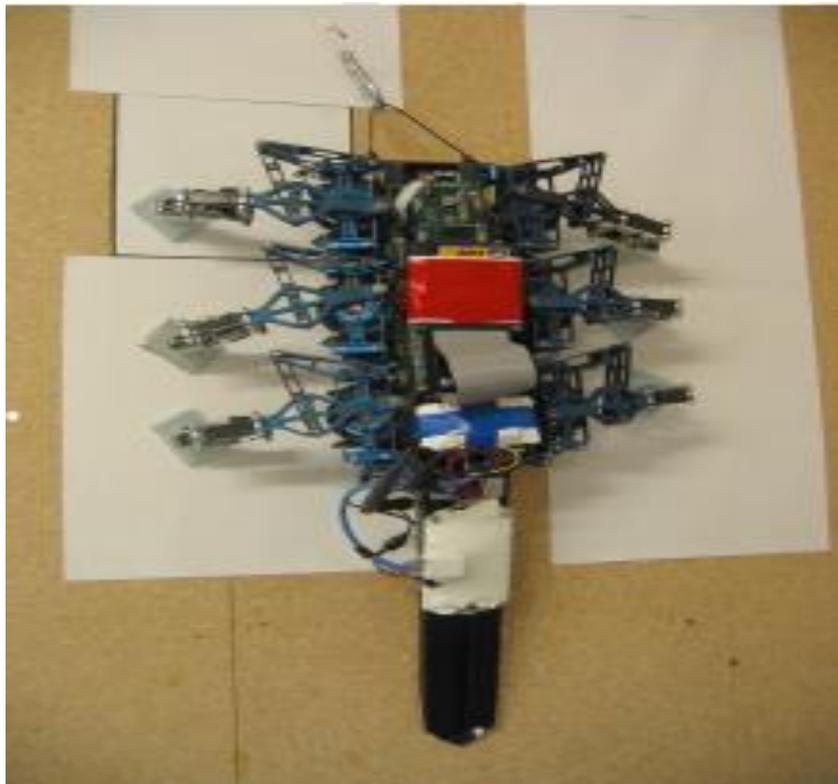


Imagen No. 15 Robot trepador

Elaborado por: Jorge García

Fuente: <http://sfproyectoiprobotica.blogspot.com/2013/01/robots-trepadores.html>

Robot Seguidor de línea

Los robots seguidores de línea son robots, que cumplen una única misión seguir una línea marcada en el suelo normalmente de color negro sobre un tablero blanco (normalmente una línea negra sobre un fondo blanco). Son considerados los "Hola mundo" de la robótica como afirma Toca (2016) “El torneo de seguidores de línea velocidad se celebra cada año en el Concurso Ecuatoriano de Robótica (CER), ... La tarea del robot es seguir una pista marcada con una línea negra en un fondo blanco” (p.6). La complejidad de la pista depende del reglamento de los organizadores del torneo.

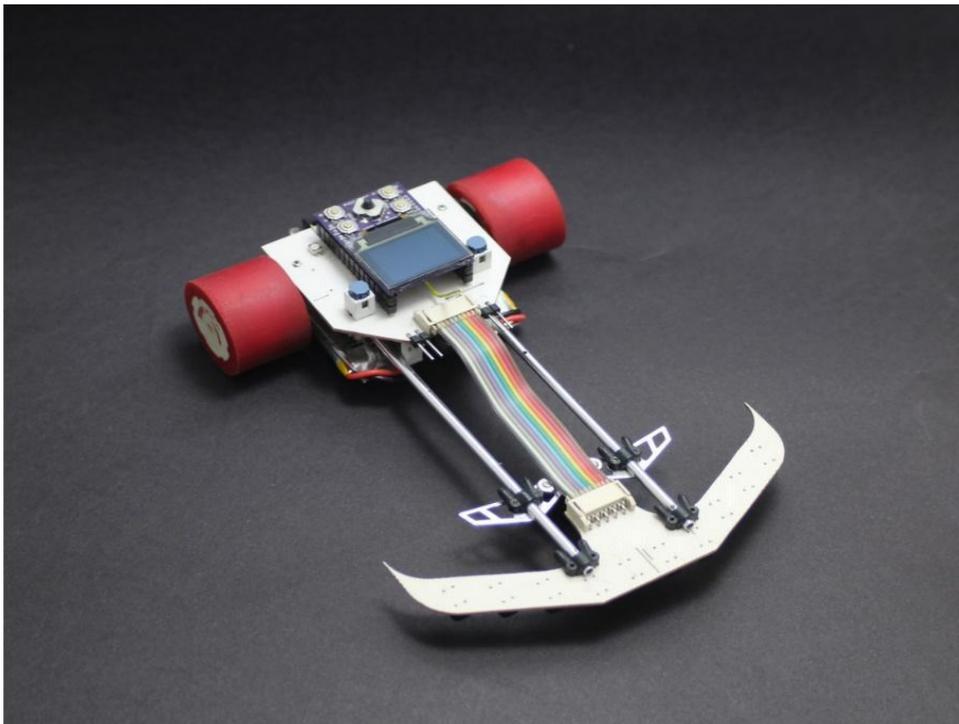


Imagen No. 16 Robot seguidor de línea

Elaborado por: Jorge García

Fuente: <https://teslabem.com/cursos-talleres/curso-seguidor-de-lineas>

Sin duda alguna este tipo de robots es ampliamente conocido por las competencias que realizan. Dentro de las competencias, como ya se abordó anteriormente, existe la competencia de los robots velocistas y la competencia del seguidor de línea. Existen diferentes torneos de robótica, en los que en algunos de ellos se incluyen a los robots seguidores de línea por la amplia capacidad e interés en su construcción para adentrarse en el mundo de la robótica en general.

Estudios de robots seguidores de línea de los últimos 5 años

Siendo este uno de los robots más conocidos, gracias al desarrollo de competencias nacionales e internacionales y al aporte de Stanford con su carro seguidor de línea. Diferentes estudiantes de universidades cada año innovan en mejorar este tipo de robots para que su funcionamiento sea óptimo, ya que no solo se puede aplicar para entretenimiento en escuelas sino también en la industria, donde son ampliamente utilizados.

Donde el algoritmo que se programa al robot es de suma importancia, para que los resultados que se esperan sean los adecuados. Por ello el crear algoritmos que ayuden al mejor desempeño del robot en competencia son necesarios conforme la ciencia de la robótica avanza y una de las mayores prioridades en la construcción de un robot es la ubicación de sensores ya que son los que permiten que el robot reconozca la ubicación de la línea. Torres (2017) afirma “Disponer de una locomoción que se adapte a su entorno. Por ello uno de los problemas clásicos en la navegación de robots es seguir trayectorias” (p.66).

Definición de términos básicos

Controlador PID

La señal de control resultante de un algoritmo que estaría compuesto por tres elementos que unidos da como resultado su nombre: “El término P (que es proporcional al error), el término I (proporcional a la integral del error) y el término D (que es proporcional a la derivada del error)” (Cova, 2005, p.52).

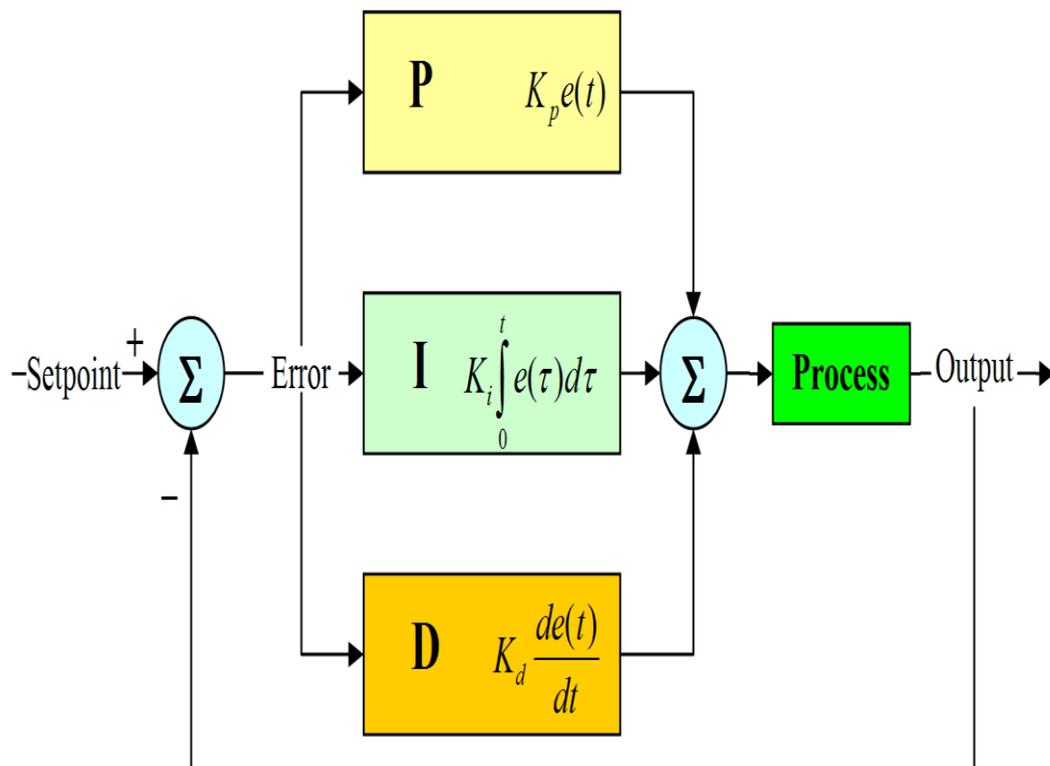


Imagen No. 17 Diseño de un controlador PID

Elaborado por: Iñigo Gútiez

Fuente: https://programacion Siemens.com/pid-en-step7/#PID_en_Step7

Reglas heurísticas para calibración de un PID

Tabla No. 1 Reglas para calibrar un PID

	Kp aumenta	Ti disminuye	Td aumenta
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error estacionario	No eliminado	Eliminado	No eliminado
Área de error	Se reduce	Disminuye hasta Cierta punto	Se reduce
Perturbación control	Aumenta bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta muy bruscamente
Frecuencia lazo	No afecta hasta Cierta punto	Disminuye	Aumenta

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

Motorreductor

Es pequeño de alta calidad destinado a ser utilizado con un voltaje de alimentación de 6 voltios, este tipo de motor puede funcionar a tensiones por encima y por debajo de este voltaje nominal, por lo que debe operar cómodamente en el rango de 3-9 V. “Todos los motores con engranaje de micro metal tienen las mismas dimensiones físicas, pero vienen en un amplio rango de trabajo, con características de engranajes de engranajes de 5:1 hasta 2981:1” (Carrillo Romero, 2016, p.120).



Imagen No. 18 Motoreductor metálico Pololu 10-1

Elaborado por: Pololu

Fuente: <https://electronilab.co/tienda/motorreductor-de-metal-hp-50-1/>

Tabla No. 2 Características del motoreductor Pololu 10-1

Nombre Técnico	Motorreductor
Marca	Pololu
Tamaño	24 x 10 x 12 mm
Peso	0.34 oz
Relación de engranaje	10:1
Diámetro de eje	3 mm
Velocidad sin carga 6V	630 rpm
Corriente sin carga	100mA
Corriente con carga	1600mA
Torque 6V	15 oz-in

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

Sensores infrarrojos QTR8a

La Tira de Sensores de Reflectancia Pololu QTR-8A tiene 8 pares de LEDs/fototransistores infrarrojos montados a un paso de 0,375", lo que lo convierte en un gran detector para un robot seguidor de líneas. “Los pares de LEDs están dispuestos en serie para reducir a la mitad el consumo de corriente y un MOSFET permite apagar los LEDs para obtener opciones adicionales de detección o ahorro de energía. Cada sensor proporciona una salida de voltaje analógica separada” (Anónimo, 2020, p.86).

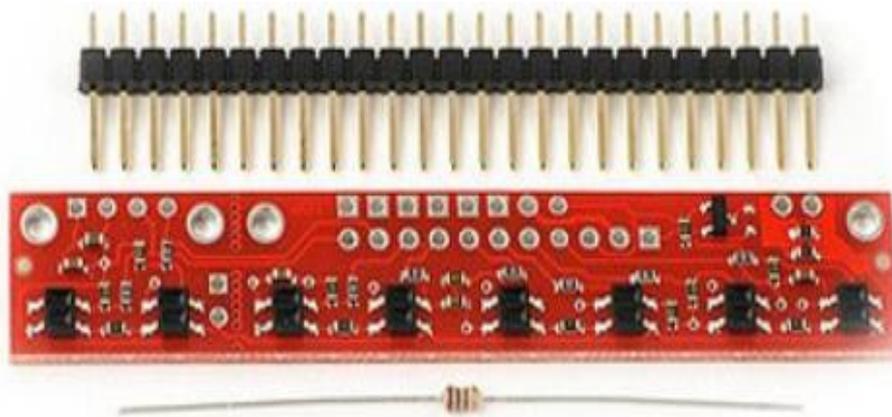


Imagen No. 19 Barra de sensores QTR8a

Elaborado por: Robotshop

Fuente: <https://www.robotshop.com/es/es/tira-sensores-reflectancia-pololu-qtr-8a.html>

Tabla No. 3 Características de sensores QTR8a

Nombre técnico	barra de sensores QTR8a
Cantidad	8 unidades
Voltaje	5-3.3VDC
Corriente	20-25 mAh
Tipo de control	PWM
Consumo de corriente	100mA

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

Batería LiPo

Es la fuente de voltaje utilizada para energizar toda la circuitería que el robot utiliza para su funcionalidad. Como afirman Anónimo y UdeSantiago Virtual (2020) “Las baterías LiPo (abreviatura de Litio y polímero) son baterías recargables usadas en aplicaciones que demandan consumo de corriente considerable en poco espacio y peso, por ejemplo, sistemas de radiocontrol, especialmente los aviones, helicópteros y multicopteros” (p.4).



Imagen No. 20 Batería Lipo

Elaborado por: Anónimo

Fuente: <https://www.vistronica.com/es/aeromodelismo/baterias/bateria-lipo-turnigy-nano-tech-300mah-7-4v-35c-detail.html>

Tabla No. 4 Características de batería Lipo

Nombre técnico	Batería Lipo
Marca	Turnigy
Número de celdas	2
Peso	17 gr
Dimensiones	44 x 12 x 17 mm
Voltaje	7.4VDC
Capacidad	300 mAh

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

Brackets

“Son accesorios utilizados para sujetar los motores al chasis del robot, estos soportes pueden tener diferentes materiales de elaboración y diferentes dimensiones dependiendo el motor y el tipo de sujeción” (Eduardo, 2016, p.24).



Imagen No. 21 Brackets Pololu

Elaborado por: Pololu

Fuente: <https://www.pololu.com/product/989>

Llantas

“Pieza circular mediante la cual los motores eléctricos ejercen tracción sobre la superficie en contacto, brindándole capacidad de movimiento y adherencia” (Eduardo, 2016, p.24).



Imagen No. 22 Llantas para eje de micromotor o motoreductor

Elaborado por: Superrobotica

Fuente: <http://superrobotica.com/S360175.htm>

Tabla No. 5 Características de llantas para micromotor o motor reductor

Nombre técnico	Llantas de Micromotor
Material	Nopreno
Diámetro	65 mm
Eje	3 mm

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

ESP32-wroom

Es un potente módulo que integra Wifi y Bluetooth, ideal para desarrollar productos de IoT.

La integración de Bluetooth, Bluetooth LE y Wi-Fi permite una amplia gama de aplicaciones, el uso de Wifi permite una comunicación de mediano alcance y conectarse a una red LAN y a través de un Modem Router conexión a Internet, mientras que el Bluetooth nos permite conectarse directamente a otro dispositivo como un celular (Anónimo, ESPRESSIF, 2020, p.16).



Imagen No. 23 ESP32-Wroom

Elaborado por: Bricogeek

Fuente: <https://tienda.bricogeek.com/arduino-compatibles/1274-esp32-wroom-wifi-bluetooth.html>

Tabla No. 6 Características del ESP32-Wroom

Nombre técnico	ESP32- WROOM
Voltaje de alimentación	3.3 VDC
Voltaje lógico de entrada /salida	3.3 VDC
Corriente de operación	80 mA
CPU	Dual core Tensilica Xtensa LX6(32bit)
Frecuencia de reloj	240 MHz
SRAM	520 KB
Memoria Flash Externa	4 MB
Pines GPIO	34 (incluyendo todos los periféricos)
UART	2
SPI	3
12C	2
Capacitive touch sensors	10
Timers	3
Interfaz	SD
PWM Led	16 canales independientes(16bit)
ADC	2 (12bit)
DAC	2 (8-bit)
Peso	3 gr
Dimensiones	18 x 25 *3.1 mm

Wi-Fi, Protocolo 802.11 b/g/n/e/i (802.11n up to 150 Mbps)
 Wi-Fi, certificación RF: FCC/CE/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
 Wi-Fi, rango de Frecuencia: 2.4 ~ 2.5 GHz
 Wi-Fi mode Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
 Wi-Fi Security WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
 Network protocols IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
 Bluetooth, Protocolos: V4.2 BR/EDR and BLE specification
 Bluetooth, Radios: NZIF receiver with -97 dBm sensitivity, Class-1, class-2 and class-3 transmitter, AFH
 Bluetooth, Audio: CVSD and SBC
 Stack de Protocolo TCP/IP integrado

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

FireBase

Se trata de una plataforma móvil creada por Google, cuya principal función es desarrollar y facilitar la creación de apps de elevada calidad de una forma rápida, con el fin de que se pueda aumentar la base de usuarios. “La plataforma está subida en la nube y está disponible para diferentes plataformas como iOS, Android y web. Contiene diversas funciones para que cualquier desarrollador pueda combinar y adaptar la plataforma a medida de sus necesidades” (Perez, 2017, p.2).



Imagen No. 24 Plataforma firebase

Elaborado por: Manuel Pérez

Fuente: <https://www.iebschool.com/blog/firebase-que-es-para-que-sirve-la-plataforma-desarrolladores-google-seo-sem/>

Robot seguidor de línea

“Los robots seguidores de línea son robots muy sencillos, que cumplen una única misión seguir una línea marcada en el suelo normalmente de color negro sobre un tablero blanco (normalmente una línea negra sobre un fondo blanco). Son considerados los "Hola mundo" de la robótica” (Barrientos, 1997, p.98).



Imagen No. 25 Despiece de un seguidor de línea

Elaborado por: Juan Mendoza

Fuente: https://MCO-451883120-robot-seguidor-de-linea-con-fotorresistencia-desarmado-_JM

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Diseño metodológico

Para la construcción del presente trabajo, se utiliza una técnica que fomenta la investigación experimental y se basa en la recolección de datos e información de fuentes teóricas fundamentadas en experiencias (antecedentes) que verifican los aportes académicos y los alcances técnicos aplicables a futuros proyectos. Por consiguiente, se procede a la recolección de información y datos que permitan la construcción de un chasis liviano, pero rígido, que soporte el uso de los componentes necesarios y a su vez permita el correcto funcionamiento de la programación basada en un algoritmo de PID el cual facilitará la autonomía del robot.

Variables y definición operacional

Las variables que se encuentran en el presente trabajo son de carácter experimental porque para el desplazamiento del prototipo podemos encontrar una variable dependiente como lo es la velocidad, ya que para obtener más velocidad debemos considerar la variable independiente del torque, porque esta se define en la construcción del motor y a menor torque se obtiene más velocidad.

Se considera también la variable dependiente de la aceleración, ya que si se agrega un chasis y elementos electrónicos con demasiado peso el torque, que se considera la variable independiente, no abastece para mover el prototipo.

Técnicas de recolección de datos

El presente trabajo utiliza dos métodos de recolección de datos cualitativos los cuales permiten llevar un registro de las técnicas usadas en el transcurso de su elaboración, estas técnicas son: el proceso de observación y el mantenimiento de registros. Estos se realizan basados en las experiencias (técnica de observación) generadas por la participación y visita a distintos concursos de robótica a nivel nacional, observación del funcionamiento de prototipos realizados con anterioridad en el Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva.

Diseño eléctrico y electrónico

Dentro del presente apartado se encuentra el diseño eléctrico y electrónico del prototipo, el cual se realiza en un software de diseño llamado Proteus de la versión 7 en cual tiene dos apartados que lo conforman: ISIS y ARES.

Para la elaboración del circuito impreso se sigue una secuencia de pasos que ayudan a la implementación de los componentes que conforman el robot seguidor de línea y posteriormente será estampado en una placa de baquelita de fibra de vidrio que tiene una capa de cobre, mediante la cual se generan las pistas del robot seguidor de línea para su posterior proceso de ensamblaje y soldadura de componentes electrónicos que se designaron con anterioridad.

1. Abrir el simulador de Proteus en el apartado de ISIS 7 profesional.

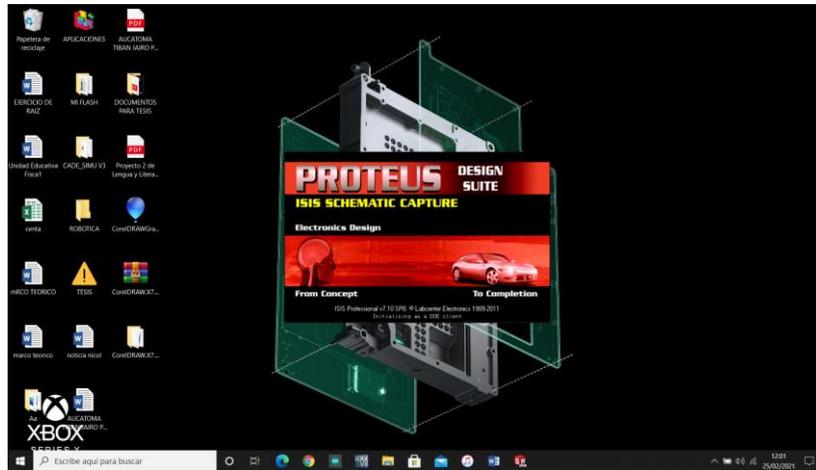


Imagen No. 26 Inicialización del programa
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

2. Para la selección de componentes debemos dirigirnos al apartado de Component Mode y a continuación seleccionamos la letra “P”.

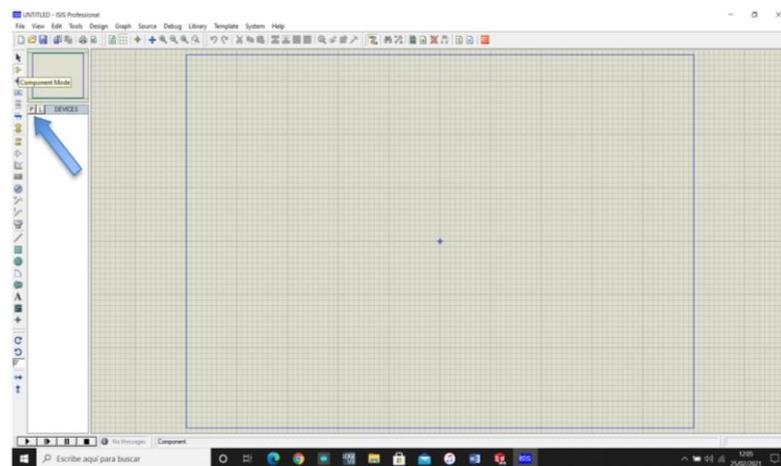


Imagen No. 27 Selección de componentes
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente se encontrará una ventana en la cual se debe introducir el nombre o código del componente para encontrarlo. Luego dar doble clic sobre el nombre para visualizarlo en la pantalla principal.

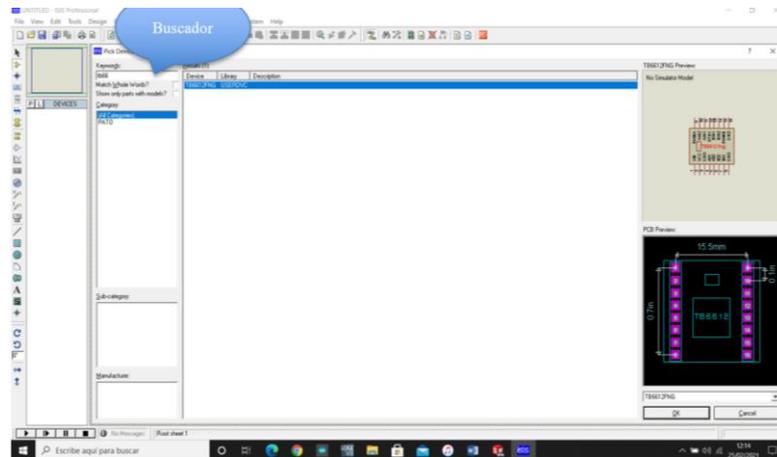


Imagen No. 28 Búsqueda de componentes
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

- Al tener todos los elementos en la ventana principal, se procede a arrastrar los elementos y conectar correctamente.

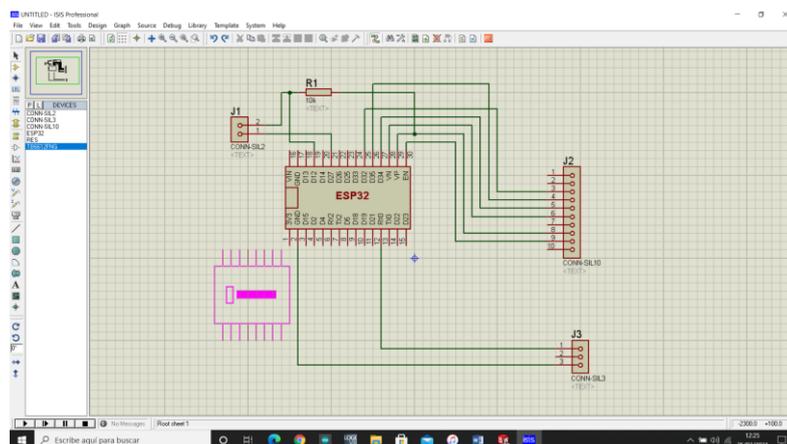


Imagen No. 29 Conexión de componentes
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

- Una vez se finalice de conectar nuestro circuito, se debe presionar el icono de ARES que se encuentra en la parte superior de la barra de tareas del programa ISIS, para transferir todo el esquema.

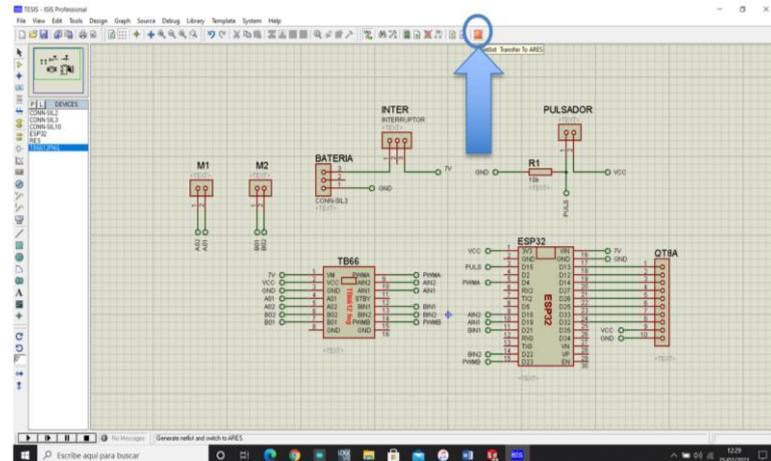


Imagen No. 30 Transferencia de esquema ARES
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

- Luego se abre la interfaz del programa ARES como se muestra en la figura.

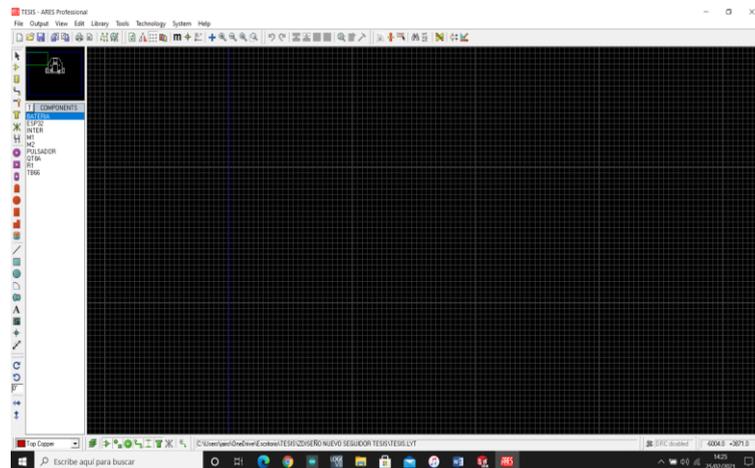


Imagen No. 31 Interfaz de ARES
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente se ubican los elementos y conectamos o generamos un autoroute de las pistas, estas pistas deben estar diseñadas en base a nuestro esquema anterior de ISIS.

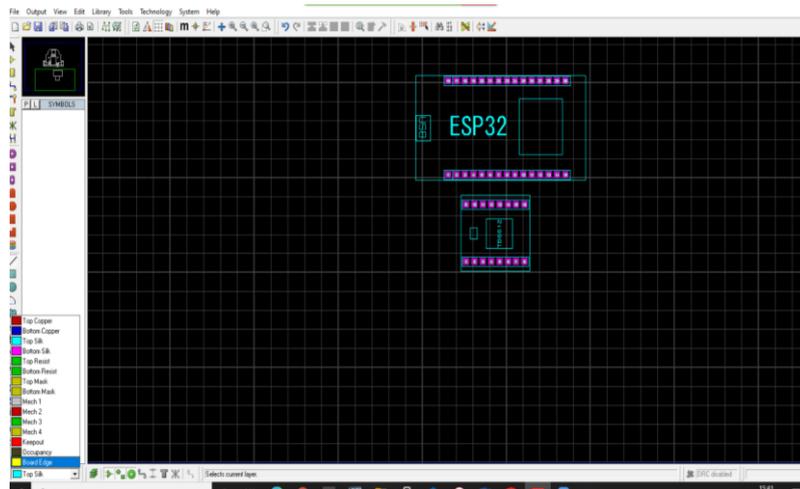


Imagen No. 32 Ubicación de los elementos en ARES

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

8. Después de conectar, se procede a diseñar la silueta o forma de la baquelita en la capa de Board Edge.

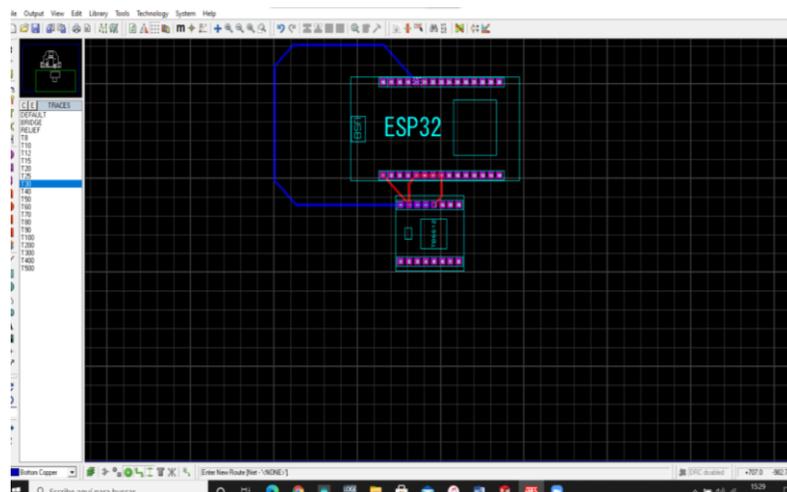


Imagen No. 33 Conexión de los elementos

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

1. Abrir el programa de SolidWorks.

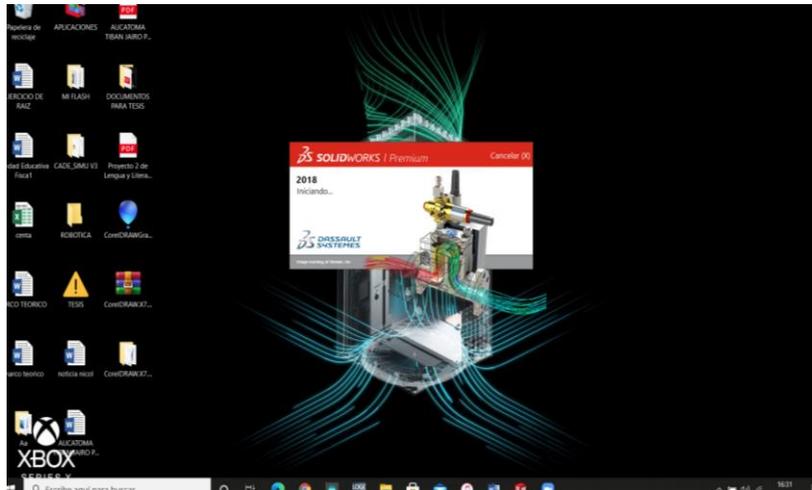


Imagen No. 35 Inicialización del programa SolidWorks

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

2. Dar un clic en el apartado de pieza para crear un nuevo sólido y luego elegir el plano en el que se desee crear la plantilla para iniciar a dibujar

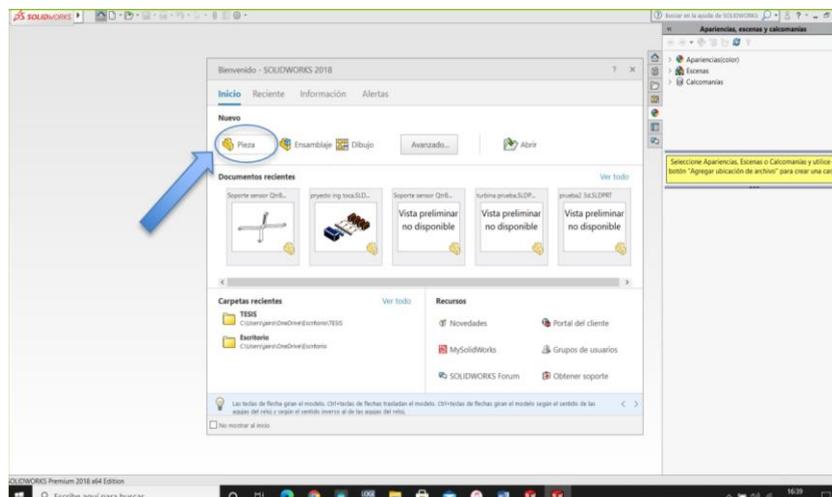


Imagen No. 36 Apertura del plano, para crear sólidos

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

- Elegir el plano de planta y se inicia a dibujar el soporte para el sensor, se utiliza las herramientas básicas que se encuentran en el apartado de croquis.

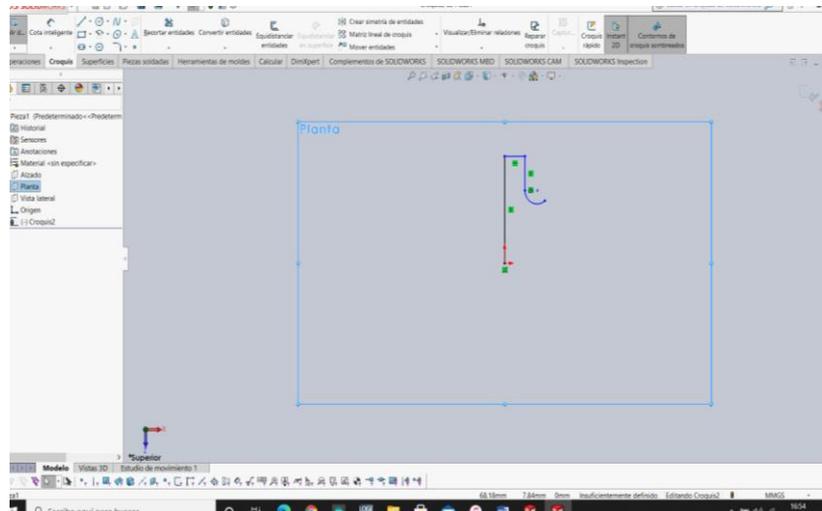


Imagen No. 37 Uso de herramientas básicas
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

- Luego de dibujar el croquis en el plano planta se procede a extruir el sólido 5 mm hacia arriba.

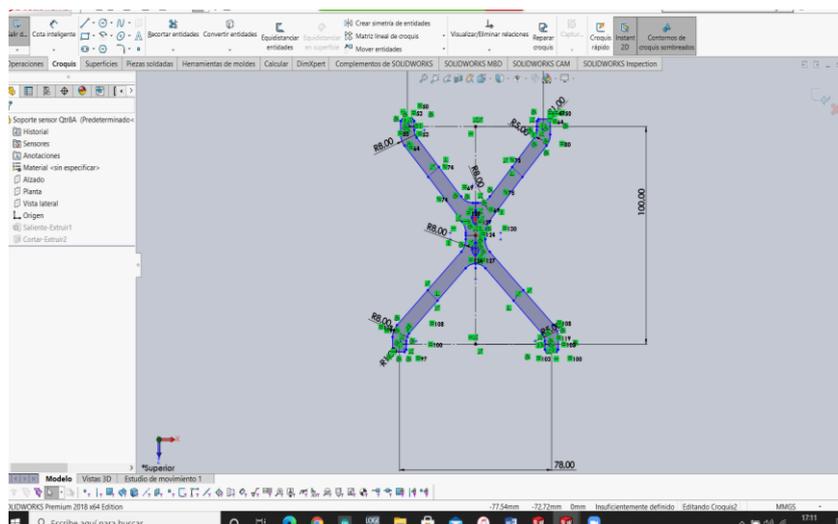


Imagen No. 38 Dibujo del croquis terminado
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

5. Al extruir el croquis se obtiene el sólido en 3 dimensiones, se agrega el texto requerido y se extruye de forma inversa para luego maquinar en el material a elegir en una máquina CNC ya sea por herramienta o corte laser.

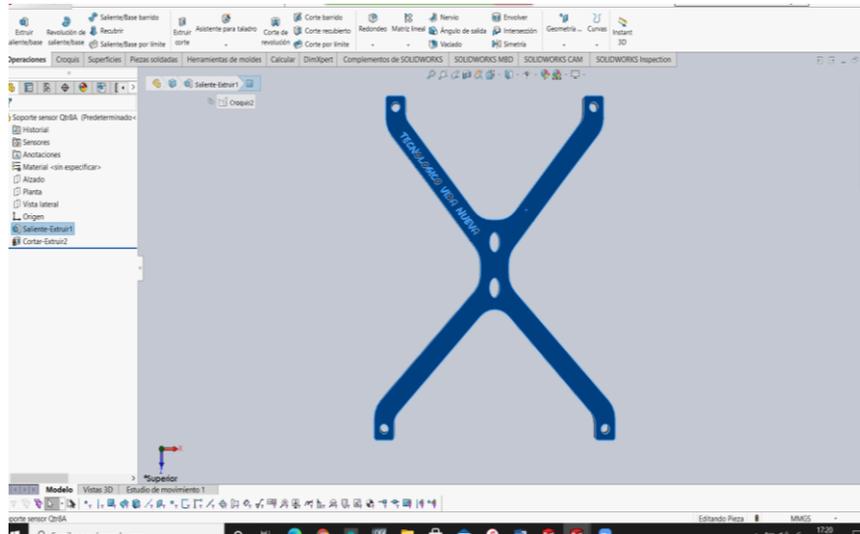


Imagen No. 39 Extrusión del soporte
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

6. Al finalizar tendremos el sólido 3D

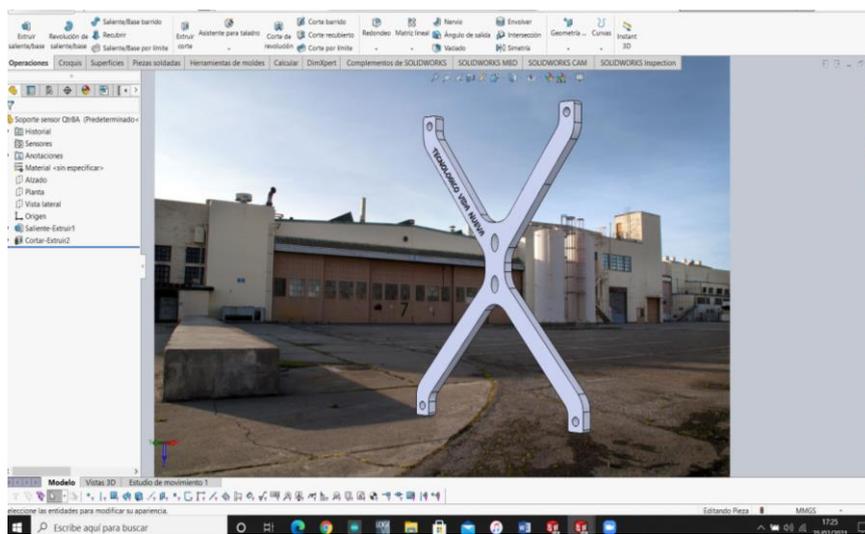


Imagen No. 40 Soporte en vista lateral 3D
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

Programación en Arduino IDE

La plataforma de arduino permite crear programas desde cero o también da la posibilidad de trabajar con librerías, que son códigos previamente diseñados para facilitar o reducir el tamaño del programa a crear.

Esto evita los errores más frecuentes dentro de la programación como fallas de lectura en sensores, escritura en pantallas o mala ubicación de símbolos para entender el programa lo cual no permite que compile y no pueda ser subido a la placa programable.

Importación de librerías

El primer paso que se debe realizar es la importación de librerías en caso de usarlas y la declaración de variables inicializándolas en 0 y dar nombre a cada pin a usar según la necesidad del programador.

```
1 #include <QTRsensors.h>
2 #include <FirebaseESP32.h>
3 #include <WiFi.h>
4 FirebaseData firebaseData;
5
6 #define PWMA 4
7 #define AIN2 18
8 #define AIN1 19
9 #define BIN1 21
10 #define BIN2 22
11 #define PWMB 23
12
13 #define LED 2
14 #define PULS 15
15
16 int pulsador1 = 0;
17 int activacion = 0;
```

Imagen No. 41 Importación de librerías
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

Declaración de variables

La declaración de variables nos permite generalizar o unificar cada variable para un proceso dentro de un bucle o generalizarlo para usarlo dentro del programa en general.

```
QTRSensors qtr;
const uint8_t SensorCount = 6;
uint16_t sensorValues[SensorCount];

const char* ssid = "FIBRAMAX_PATO";
const char* password = "1725872640";

const int freq = 5000;
const int channelA = 12;
const int channelB = 13;
const int resolution = 8;

//Variables del PID
float KP = 0.03; // 0.01
float KI = 0.0; // 0
float KD = 0.0; // 0 subir para oscilación

// Regulación de velocidad máxima
float VELMAX = 40; // 40

//Acumulación de errores
int error1 = 0;
int error2 = 0;
int error3 = 0;
int error4 = 0;
int error5 = 0;
int error6 = 0;
```

Imagen No. 42 Declaración de variables
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

Creación de la función Void Setup

En la función void setup se define e inicializa los pines a utilizar en el microcontrolador para que su funcionamiento sea óptimo cabe recalcar que esta función sólo se ejecutará una vez al inicializar o encender el robot.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(100);

  //Declaramos salidas y entradas al ESP32
  pinMode(AIN2 , OUTPUT);
  pinMode(AIN1 , OUTPUT);
  pinMode(BIN1 , OUTPUT);
  pinMode(BIN2 , OUTPUT);

  pinMode(LED , OUTPUT);
  pinMode(PULS , INPUT);

  //Declaración de PWMA y PWMB
  ledcAttachPin(PWMA, channelA);
  ledcAttachPin(PWMB, channelB);
  ledcSetup(channelA, freq, resolution);
  ledcSetup(channelB, freq, resolution);

  Serial.println();
  Serial.print("Conectando a la Red WIFI: ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);
```

Imagen No. 43 Creación de la función Void Setup

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Creación de la función Void Loop

La función void loop o también conocida como la función del bucle infinito permite ejecutar el programa escrito constantemente para que el funcionamiento del robot sea autónomo.

```
void loop() {

    if ((millis() - tiempo_actual) >= 50000) {
        //String alea = (String) random(0, 100);
        tiempo_actual = millis();
        // Serial.println(alea);
        // Firebase.setFloat(firebaseData, "/ESP32/aleatorio/Test", 7.77);
        Firebase.getFloat(firebaseData, "/Kp");
        KP = firebaseData.floatData();
        Serial.println (" KP: ");
        //Serial.println (KP, 5);
        Firebase.getFloat(firebaseData, "/Kd");
        KD = firebaseData.floatData();
        Serial.println (" KD: ");
        Firebase.getFloat(firebaseData, "/Ki");
        KI = firebaseData.floatData();
        Serial.println (" KI: ");
        Firebase.getFloat(firebaseData, "/Vel");
        VELMAX = firebaseData.floatData();
        Serial.println (" VELMAX: ");
    }

    uint16_t position = qtr.readLineBlack(sensorValues);
    for (uint8_t i = 0; i < SensorCount; i++)
    {
        Serial.print(sensorValues[i]);
        Serial.print('\t');
    }
    Serial.print(position);
    proporcional = position - 2500;
    Serial.print('\t');
    Serial.print(proporcional);
    delay(1);
    Serial.println("");

    // Firebase.getFloat(PROPORCIONAL, "/Kp");
    // KP = PROPORCIONAL.floatData();
    // Serial.print (" KP: ");

    pulsador1 = digitalRead(PULS);
    if (pulsador1 == HIGH)
    {
        delay(100);
        while (digitalRead(PULS) == HIGH)
```

Imagen No. 44 Creación de la función Void Loop
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS

En el actual capítulo se presentan las pruebas realizadas al prototipo las cuales indican que su funcionamiento es el adecuado. Y que se desempeñará correctamente debido a los análisis, mediciones y lecturas obtenidas de las pruebas de funcionamiento, también la electrónica que se eligió será un punto muy a favor para este desempeño obtenido de las cuales conoceremos a continuación.

Pruebas en el robot seguidor de línea

Al robot seguidor de línea se le realizan pruebas en el hardware, en el software para así obtener el resultado de su funcionamiento en conjunto y extraer datos los cuales permitan mejorar su rendimiento.

Pruebas de hardware

En las pruebas de hardware se debe contemplar la electrónica y la mecánica aplicada al diseño final del robot, para ello, debemos desglosar ambas partes o analizarlas de forma individual ya que la parte mecánica se prueba en la pista mientras que la parte electrónica se correlaciona con la programación para verificar su estado.

En la imagen No. 45 se puede observar un prototipo de prueba ya ensamblado en el cual se realizan las pruebas de los componentes para el robot y se determina que el peso que el robot adquiere solo en componentes no es excesivo para forzar los motores o dañarlos prematuramente. Por consiguiente, la placa del

circuito electrónico impreso si tiene un tamaño considerable que perjudica su desempeño.

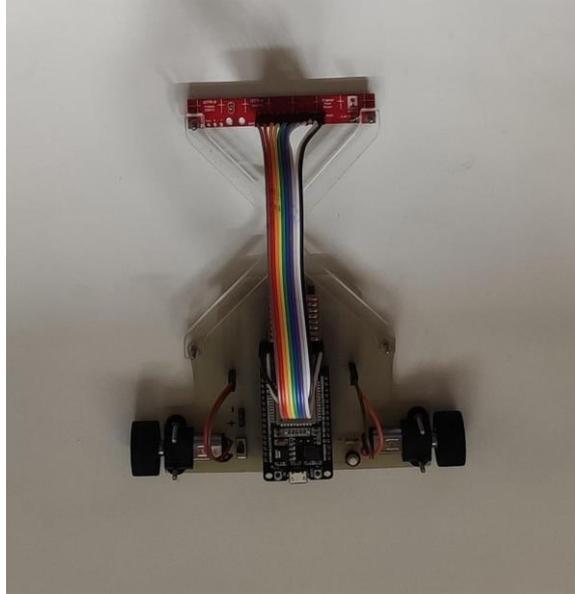


Imagen No. 45 Prototipo anterior, el robot tenía una placa grande que genera peso innecesario

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 7 Voltajes teóricos y medidos

Componentes	Voltajes	Voltajes en trabajo
Esp32 Wroom	3.3 VDC	3.3 VDC
TB6612fng (control)	5.5 – 2.7 VDC	3.3 VDC
TB6612fng (fuerza)	15 – 5 VDC	7.4 VDC
Sensores QTR8a	5 – 3.3VDC	3.3 VDC
Motores	7.4 – 0 VDC	7.4 – 0 VDC
Batería	7.4 VDC	7.2 VDC

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

Los voltajes presentados en la tabla son aquellos en los que el prototipo fue probado, pero se debe considerar que el consumo también depende de otros factores que afecten el rendimiento de la batería.

Tabla No. 8 Corriente teórica y medida

Componentes	Corriente teórica	Corriente en trabajo
Esp32 Wroom	80 mAh	80 mAh
TB6612fng (control)	3 – 1.2 A	1.2 A
TB6612fng (fuerza)		
Sensores QTR8a	20 – 25 mAh	20 mAh
Motores	100mAh	40 mAh
Batería	300mAh	300mAh

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

La base del sensor QTR8a que se diseñó para sujetarlo y mejorar el centro de gravedad del robot permite que la estabilidad de todo el robot no se vea afectada con la velocidad e inercia adquirida en una pista curvilínea. También se verificó el diámetro de 65mm de las llantas para el prototipo el cual resultó ser una afección en la adherencia a la pista ya que la capa de material adherente cedía ante el peso del robot

Tabla No. 9 Análisis de prototipo anterior

Desviación en pista	Causas
Tamaño del robot	Peso adicional
Posición de electrónica	Peso adicional
Diámetro de material de ruedas	Derrape de llantas

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

Pruebas de software

Mientras se avanza con mejoras en el hardware, el software cambia para adaptarse. Gracias a ello en la lectura de sensores se detectó una interferencia en 2 pines los cuales generan un promedio para centrar el robot en la línea de la pista,

pero al conectar con la base de datos en firebase se veían afectados por la conectividad wifi.

Tabla No. 10 Estimación del error analógico

Sensores	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Lectura1	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Lectura2	ERROR	1000	2000	3000	4000	ERROR	6000	7000
Lectura3	0	ERROR	2000	ERROR	ERROR	ERROR	6000	7000
Lectura4	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Datos de la investigación

En la tabla No. 10 se puede observar una estimación del error que genera la interferencia o ruido eléctrico en los sensores QTR8a al usar dos pines que no están diseñados para utilizarse en conjunto (D25 y D26), no se considera el tiempo de lectura sino la frecuencia del error. Por lo tanto, se reduce la utilización de 8 sensores para usar 6 sensores analógicos y modular la señal sin que esta genere inconvenientes o afecte al rendimiento del robot, reduciendo así su robustez en código y resolviendo el error por ruido o interferencia.

Tabla No. 11 Corrección del error de la lectura analógica

Sensores	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Lectura 1	0	1000	2000	3000	4000	5000
Lectura 2	0	1000	2000	3000	4000	5000
Lectura 3	0	1000	2000	3000	4000	5000
Lectura 4	0	1000	2000	3000	4000	5000

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Datos de la investigación

Posteriormente el resultante de los datos recolectados por el sensor tras realizar una modificación en el programa se obtiene como resultado una lectura limpia por cada sensor la cual se puede verificar en la tabla No.11.

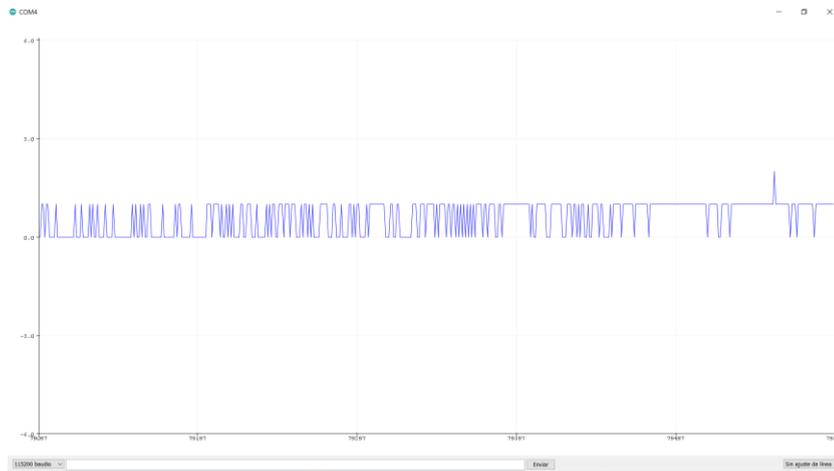


Imagen No. 46 Lectura del sensor en tiempo real
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

En la presente imagen No. 46 se puede observar el promedio de la lectura de los seis sensores en medio de una línea y se determina que la interferencia que genera los pines D25 y D26 se ha eliminado al no utilizarlos en la lectura analógica de los sensores, considerando que no se ven afectados por el número de sensores a utilizar.

Conexión del robot al firebase

La velocidad de internet (wifi) para la conexión bilateral es fundamental en este prototipo, ya que puede generar interferencia o retraso de la lectura de los sensores al demorarse en recolectar un dato enviado desde la firebase, por lo tanto, en el prototipo final se llegó a la conclusión de generar la consulta de la firebase mediante un intermediario (un pulsador) el cual se encarga de proporcionar la

interrupción temporal al ser presionado. De esta forma no se genera interferencia o desviación del robot mientras se hace la consulta a la base de datos.

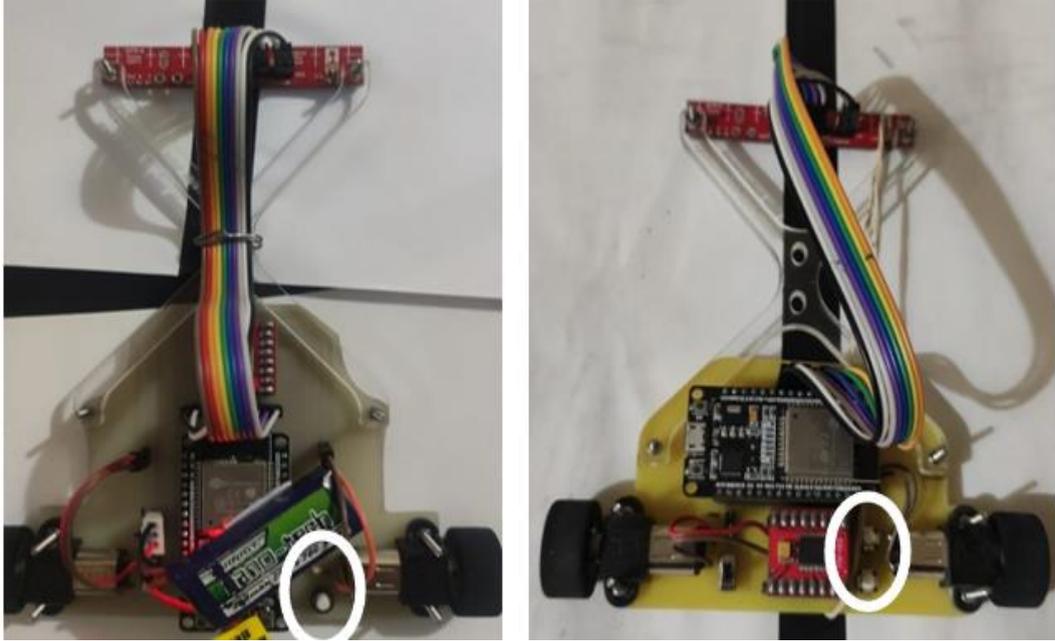


Imagen No. 47 Prototipo anterior y prototipo final con pulsador adicional

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la imagen No. 47 en el prototipo anterior carece un pulsador para generar la interrupción en el programa de la tarjeta programable (ESP32 Wroom), pero en el robot actual se instaló uno adicional para corregir el inconveniente de la revisión de datos de la firebase.

Control PID

Mediante el control PID se puede observar el desempeño del robot ya que al trabajar en conjunto con la conexión inalámbrica que proporciona el esp32 mediante wifi y la firebase resulta que los tiempos de calibración se reducen y proporciona mayor eficiencia en pista. Esto permite que se obtengan datos precisos de calibración en menor tiempo y que las variables P(proporcional), I(integral) y D(derivativa) sean modificadas inalámbricamente desde la base de datos.

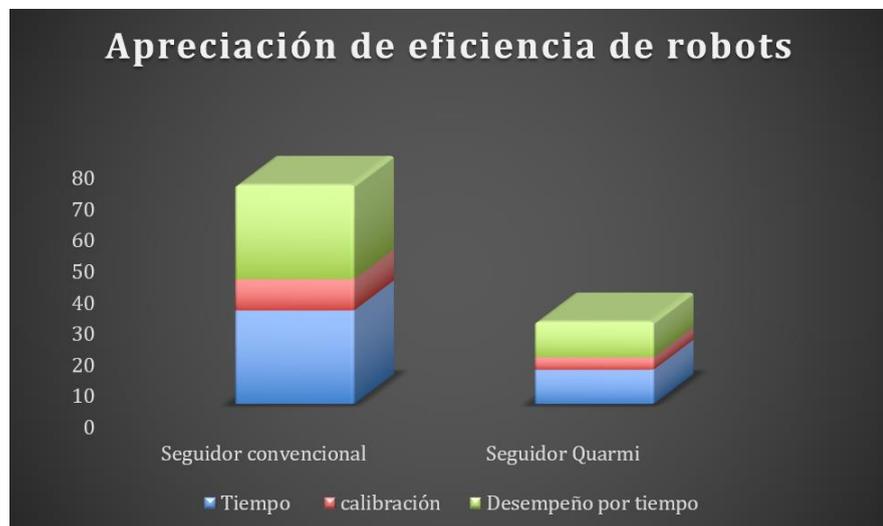


Imagen No. 48 Apreciación de eficiencia de robots seguidor de línea
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 12 Interpretación de las variables de datos estadísticos

	Descripción
Tiempos (seg)	El proceso que conlleva el subir un programa mediante comunicación serial y solo modificar variables mediante conexión wifi.
Calibración (min)	Recalibración en robot convencional y robot Quarmi.
Desempeño por tiempo (total)	Diferencia de reducción de tiempos por robot

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Datos de la investigación

En los datos estadísticos que se obtienen, se interpreta la diferencia en desempeño tanto de calibración, funcionamiento a corto o largo plazo. Mientras que un robot convencional tarda demasiado tiempo en subir un programa con variables de PID modificadas y después volver a calibrar los sensores para que se pueda probar su funcionamiento, el robot seguidor de línea Quarmi no desperdicia ese tiempo en calibrar o volver a subir un programa, sino que lo hace mediante la firebase y aprovecha ese tiempo para encontrar datos de calibración en menor tiempo.

Se puede decir en porcentaje que el robot seguidor de línea Quarmi aprovecha de manera eficaz el tiempo en un 70% más que un robot convencional para una competencia.

Pruebas en pista

Una vez que toda la electrónica esta funcionando perfectamente y que el programa que controla al robot no tiene problemas se procedió a probarlo en pista, para lo cual se creó una pista de pruebas, la cual está construida en una plancha de madera MDF de fondo blanco y con cinta aislante de color negro.

La pista es completamente plana, no tiene intersecciones ni discontinuidades que pueda interferir en el funcionamiento del robot, ya que se evalúa el tiempo que tiene que recorrer en la pista, el robot no tiene que perder pista o acortar camino.



Imagen No. 49 Pista de pruebas para el prototipo

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Tabla No. 13 Comparación de eficiencia de los prototipos mediante velocidad

Velocidad	Robot prueba Quarmi	Robot final Quarmi
30	6.19 s	5.75 s
40	5.15 s	3.55 s
50	4.10 s	2.86 s
60	3.92 s	2.37 s
70	3.05 s	2.27 s
80	2.67 s	1.80 s

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Datos de la investigación

En la tabla No. 13 se compara la eficiencia de los prototipos y se evidencia un mejor desempeño en la versión mejorada (final) del robot seguidor de línea.

Características del robot Seguidor de línea

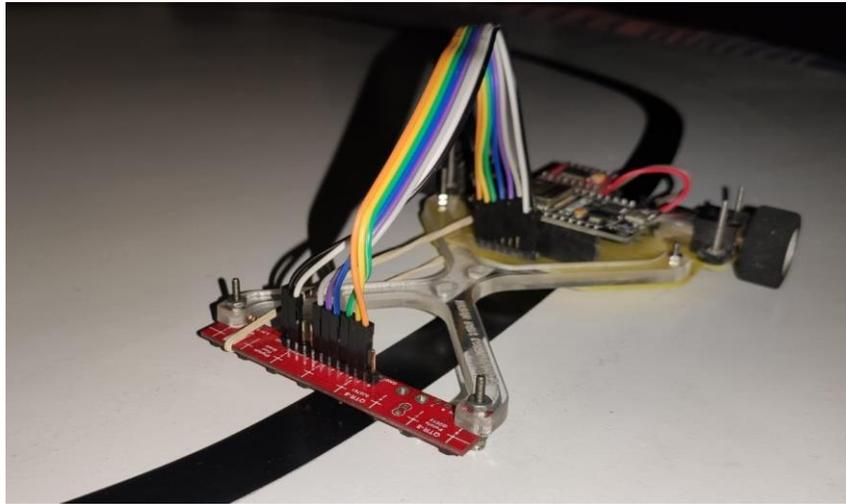


Imagen No. 50 Robot seguidor de línea Quarmi
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban
Fuente: Elaboración propia

Características

- Ancho: 120 mm.
- Largo: 147 mm.
- Alto: 26 mm.
- Peso: 150 g.
- Alimentación: A batería de corriente continua.
- Sensor: tiene un arreglo de 8 sensores infrarrojos analógicos para la detección de la línea, pero se usan 6.
- Procesamiento: Esp32-Wroom.
- Control de motores: Driver TB6612fng para control y potencia.
- Interacción o manejo: Tiene un interruptor para el encendido o apagado, dos pulsadores para el manejo o uso del robot en pista o calibración.

CONCLUSIONES

El diseño del esquema eléctrico del robot creado en proteus 7 se acomoda perfectamente a las necesidades de sujeción de los motores y del soporte del sensor ya que la estabilidad que refleja, evita fallas mecánicas derivadas de un mal diseño o ensamblaje.

El algoritmo del controlador PID permite la rápida acción de los actuadores (micromotores), ya que con cada paso en pista puede predecir los errores y usar los anteriores para mejorar su funcionamiento y, por tanto, la autonomía de sus funciones programadas para que el movimiento de cada motor sea independiente según lo requiera.

La calibración inalámbrica sin duda es revolucionaria en un robot de competencia en esta categoría, porque facilita en un alto porcentaje la rapidez y facilidad de la calibración, por tanto, su funcionamiento es superior al de los demás prototipos convencionales.

Las pruebas que se realizan al robot seguidor de línea cumplen un papel muy importante, porque así pueden detectarse con anticipación diferentes tipos de anomalías en el prototipo ya sean de hardware o de software, por ello es fundamental verificar y comprobar que su funcionamiento sea óptimo y no forzado.

RECOMENDACIONES

El reducir el tamaño del chasis lo más posible para reducir la mayor cantidad de peso del robot y que este pueda alcanzar más velocidad de ser requerida en competencia.

Utilizar un par de llantas de mayor diámetro y menor espesor de material de adherencia a las superficies lisas, ya que existe la probabilidad de que rose la base si está expuesto a superficies onduladas y se atasque.

Colocar baterías de litio de 7 V que se utilicen permanentemente en el prototipo, porque el peso y dimensiones de las baterías afectan la estabilidad, velocidad y calibración del robot con cada prueba.

Realizar mantenimiento continuo a los micromotores y a sus respectivas cajas reductoras, ya que estos suelen ensuciarse con frecuencia y sobrecalentar motores por esfuerzo.

Mejorar la mecánica del robot utilizando una turbina con la cual se aumenta la adherencia a la pista y por consiguiente se puede aumentar proporcionalmente la velocidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- Aldoradín, S., & Aparcana, M. (2014). *Nanobots*. Ica: mic.
- Anónimo. (18 de 05 de 2012). *El blog de todoelectronica.com*. Obtenido de RiSE: El robot trepador: <https://blog.todoelectronica.com/rise-el-robot-trepador/>
- Anónimo. (20 de 06 de 2020). *ESPRESSIF*. Obtenido de ESP32: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- Anónimo. (12 de 01 de 2020). *RobotShoop*. Obtenido de Sensores QTR8a: <https://www.robotshop.com/es/es/tira-sensores-reflectancia-pololu-qtr-8a.html>
- Anónimo. (2020). *UdeSantiago Virtual*. Obtenido de Desarrollo Histórico y Evolución de la Robótica: <http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/mod/book/tool/print/index.php?id=24899#fgl.6>
- Barrientos, A. (1997). *fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Carrillo Romero, M. (2016). *Sisitema de control y arquitectura de un robot seguidor de línea*. Chihuahua: Culcyt.
- CER. (2017). *Concurso ecuatoriano de robótica CER 2017*. Quito: CER.
- Cova, W. (2005). *Control PID*. La Rioja: UTN.
- Eduardo, M. (19 de 09 de 2016). *Robot velocista*. Recuperado el 24 de 12 de 2020, de Robot velocista: https://prezi.com/-tmor_mtnccoc/robot-velocista
- Fernández, J. (2009). *La locomoción bípeda de robots humanoide NAO*. Barcelona: creative commons.
- Fernando, N. (11 de 05 de 2016). *Principio de Pascal*. Recuperado el 22 de 12 de 2020, de Principio de Pascal: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa_ixtlahuaco/2017/optia.pdf
- Gómez, O. (2017). *Simulación Cinemática de un Robot Seguidor de Línea para el Desarrollo del Videojuego de Programación Rusty Roads en el Framework Unity*. Bucaramanga: Creative Commons.
- Gonzáles, J. (2008). *estimacion de la posicion de un robot movil*. Madrid: Universidad de Camplutense.

- Jose, B. (22 de 03 de 2015). *CONSTRUMÁTICA*. Recuperado el 16 de 12 de 2020, de [CONSTRUMÁTICA: https://www.construmatica.com/construpedia/Sistema_Hidr%C3%A1ulico](https://www.construmatica.com/construpedia/Sistema_Hidr%C3%A1ulico)
- Juan, B. (22 de 06 de 2016). *ELECTRÓNICA*. Recuperado el 16 de 12 de 2020, de [ELECTRÓNICA: http://aprendiendofacilelectronica.blogspot.com/2014/12/robot-velocista-de-competencia.html](http://aprendiendofacilelectronica.blogspot.com/2014/12/robot-velocista-de-competencia.html)
- Lara, V. (27 de 08 de 2017). *Hipertextual*. Obtenido de Un día en la historia: el momento en que nacieron los robots: <https://hipertextual.com/2017/08/robots-origen>
- Otero, C. (11 de 04 de 2018). *Betech*. Obtenido de Robot-Sumo, el deporte robótico que arrasa: https://as.com/meristation/2018/04/11/betech/1523477857_869374.html
- Papaleo, C. (10 de 05 de 2012). *DW*. Obtenido de Robots Voladores: <https://www.dw.com/es/robots-voladores/a-15940945#:~:text=Robot%20volador%20o%20minihelic%C3%B3ptero%20Oktakopter,de%20personas%20desde%20el%20aire>.
- Perez, M. (19 de 05 de 2017). *IEBS*. Obtenido de Firebase: <https://www.iebschool.com/blog/firebase-que-es-para-que-sirve-la-plataforma-desarrolladores-google-seo-sem/>
- Toca, L. (2016). *Diseño e Implementación de dos Robots de Competencia (Seguidor de Línea Especialidad Velocista, Laberinto)*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Torres, C. (2017). *Algoritmo Genético para la ubicación óptima de sensores en un robot seguidor de línea*. Pereira: Redalyc.org.
- Universidad de Alcalá. (2019). *Master en industria 4.0*. Obtenido de ¿Cuántos tipos de robots existen?: <https://www.masterindustria40.com/robots-master-robotica/>

ANEXOS

Anexo 1: Diseño de baquelita en Proteus en 3D.



Imagen No. 51 Diseño de baquelita en proteus en 3D

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Búsqueda de información en repositorios digitales de la EPN.

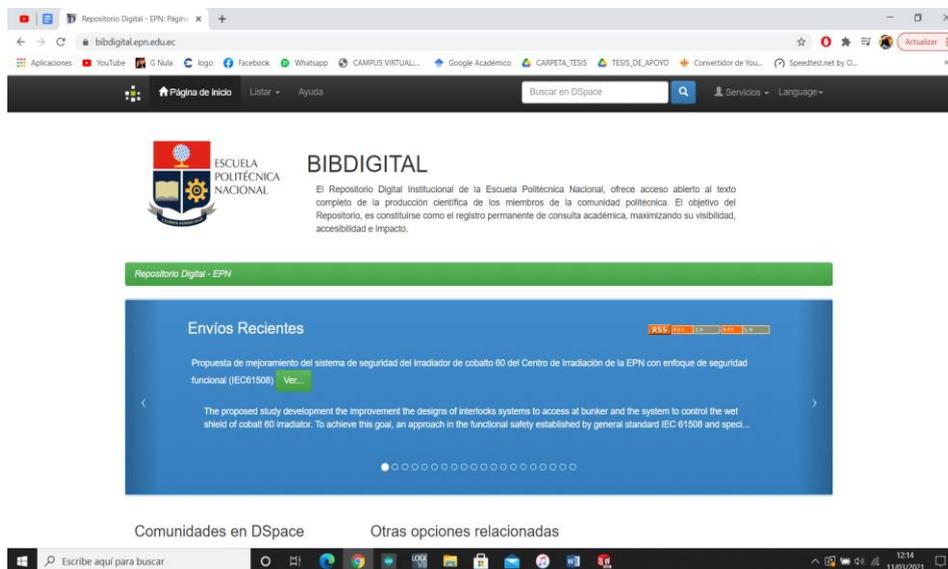


Imagen No. 52 Búsqueda de información en repositorios digitales de la EPN

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Búsqueda de información a través de Google Académico.

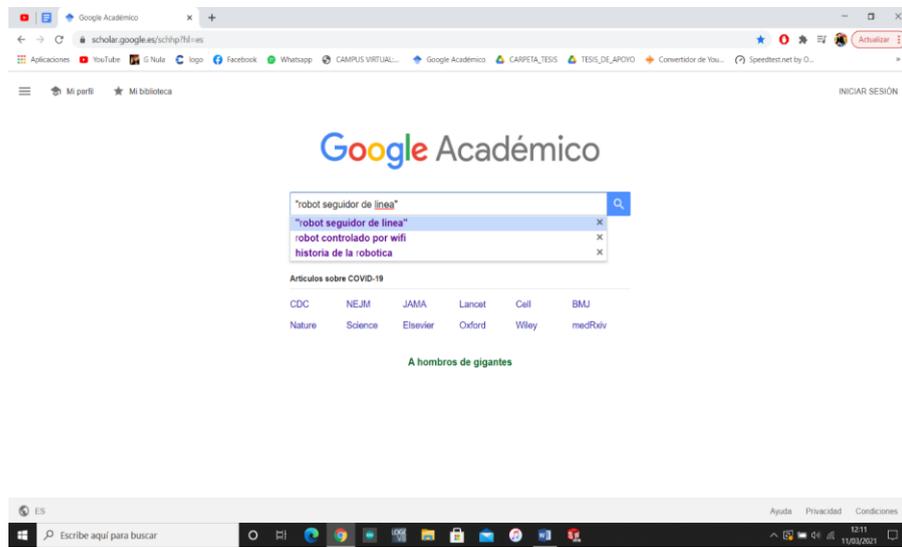


Imagen No. 53 Búsqueda de información a través de Google Académico

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Búsqueda de documentos científicos en la plataforma ProQuest.

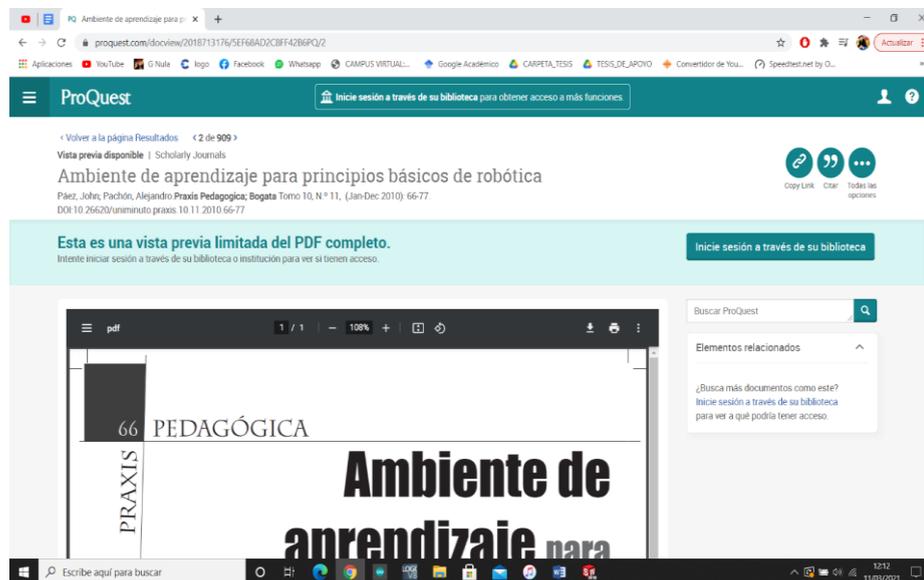


Imagen No. 54 Búsqueda de documentos científicos en la plataforma ProQuest

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Diseño de circuito para quemar en baquelita.

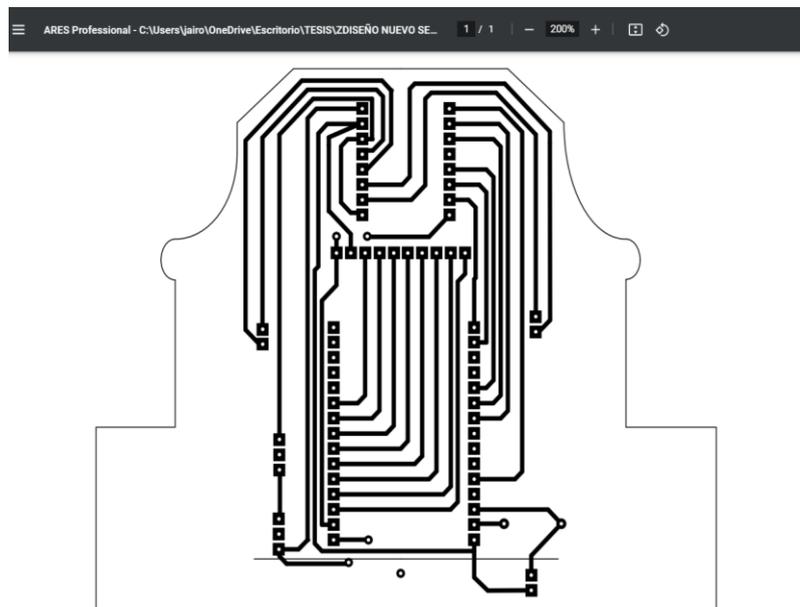
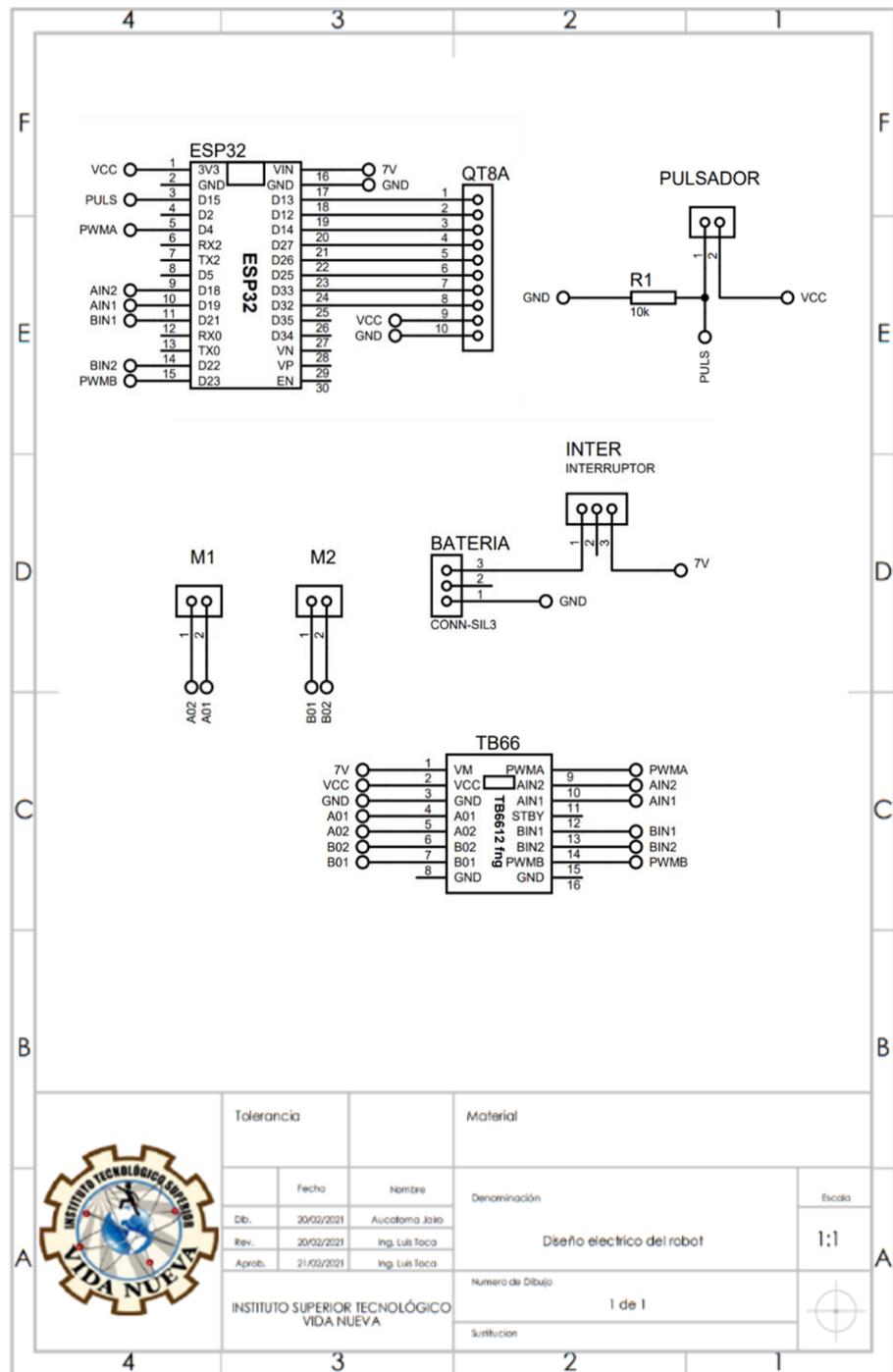


Imagen No. 55 Diseño de circuito para quemar en baquelita

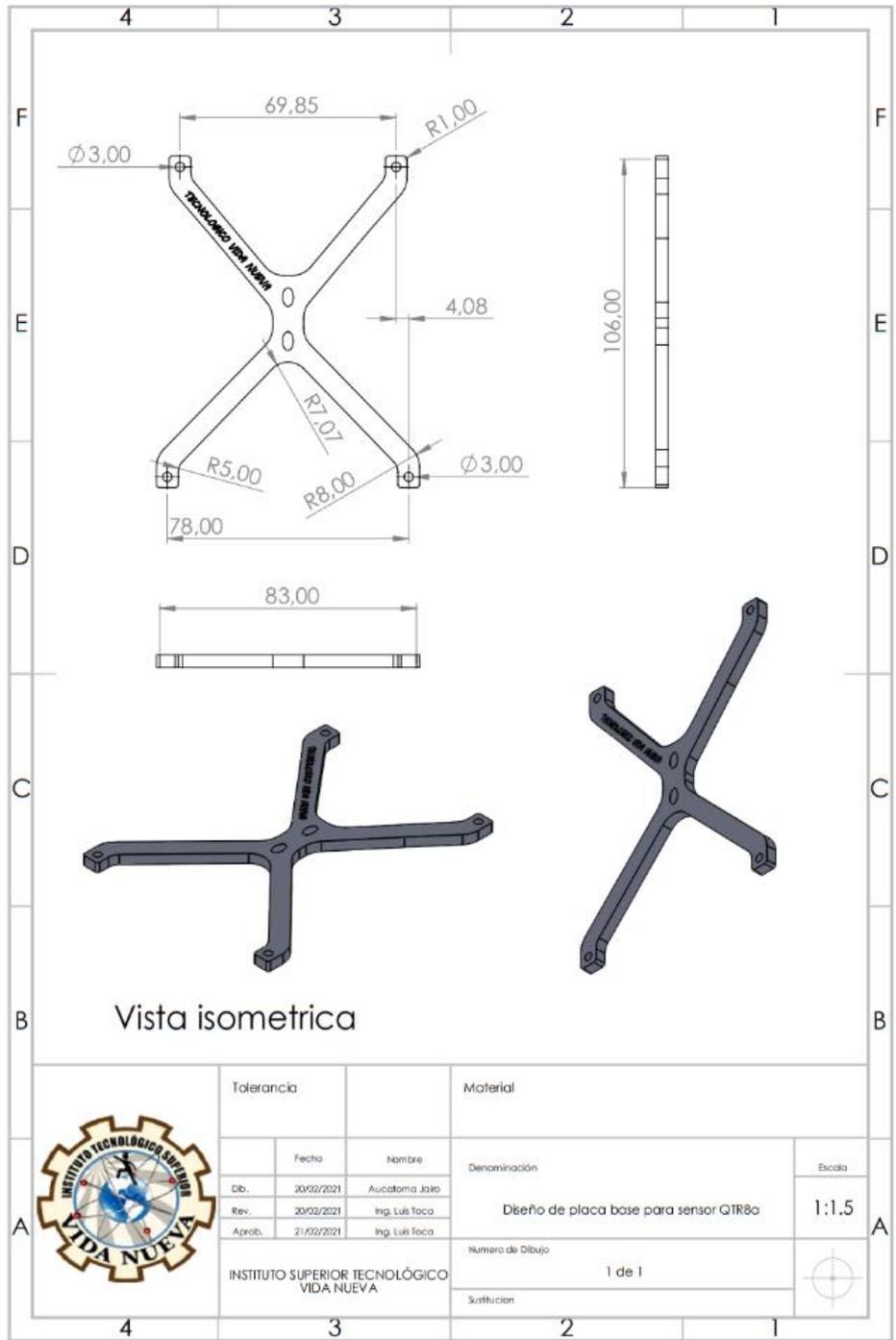
Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Plano del diseño eléctrico en el programa ISIS de Proteus.



Anexo 7: Plano del diseño mecánico de la base para el sensor QTR8a en SolidWorks.



Anexo 8: Visualización del soporte del sensor en 3D.

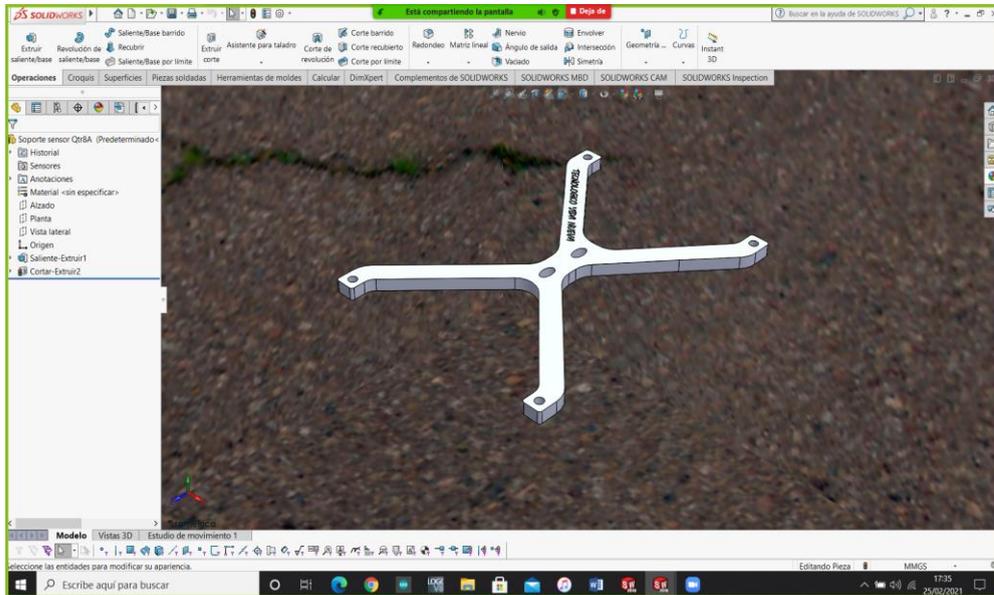


Imagen No. 56 Visualización del soporte del sensor en 3D

Elaborado por: Jairo Patricio Aucatoma Tiban

Fuente: Elaboración propia