



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“PLANIFICACIÓN DE RUTAS INTELIGENTES EN VEHÍCULOS
AUTÓNOMOS DENTRO DE INVERNADEROS MEDIANTE GESTIÓN DE
PROCESOS CON META SISTEMA OPERATIVO”**

AUTOR: CRISTIAN ANDRÉS PADILLA CALDERÓN

DIRECTOR: MSc. HERNÁN MAURICIO DOMÍNGUEZ LIMAICO

Ibarra-Ecuador 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO DE PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	100374242-4
Apellidos y Nombres	Padilla Calderón Cristian Andrés
Dirección	Atuntaqui, Abdón Calderón 12-28 y Bolívar
E-mail	capadillac@utn.edu.ec
Teléfono fijo	062909187
Teléfono móvil	0982046000
DATOS DE LA OBRA	
Título	PLANIFICACIÓN DE RUTAS INTELIGENTES EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS DENTRO DE INVERNADEROS MEDIANTE GESTIÓN DE PROCESOS CON META SISTEMA OPERATIVO
Autor	Padilla Calderón Cristian Andrés
Fecha	07/12/2020
Programa	Pregrado
Título	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	MSc. Mauricio Domínguez

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Atuntaqui, a los 07 días del mes de diciembre del 2021

EL AUTOR:

Padilla Calderón Cristian Andrés

CI: 1003742424



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGÍSTER MAURICIO DOMÍNGUEZ, CON CÉDULA DE IDENTIDAD Nro. 100237930-1, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que el presente trabajo de Titulación denominado: “PLANIFICACIÓN DE RUTAS INTELIGENTES EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS DENTRO DE INVERNADEROS MEDIANTE GESTIÓN DE PROCESOS CON META SISTEMA OPERATIVO”, ha sido desarrollado por el señor Padilla Calderón Cristian Andrés bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Msc. Mauricio Domínguez

CI: 100237930-1

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mi familia por mostrarme siempre el camino correcto, y que pese a los obstáculos siempre estuvieron presentes para llegar al objetivo final, a mis padres por todo el amor y apoyo brindado para que esta meta se cumpla, las palabras faltan para agradecer todo el sustento brindado en cada una de las decisiones de mi vida, son el eje principal y más grande inspiración para seguir adelante con todos mis objetivos planteados.

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y brindarme todo el conocimiento necesario para poder desempeñarme en el ámbito laboral, pero principalmente agradezco de manera especial a mi director y mentor Magister Mauricio Domínguez por estar siempre presente y brindarme todo el apoyo incondicional que un estudiante necesita en el desarrollo y culminación de este proyecto de manera satisfactoria.

Cristian Andrés Padilla Calderón.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a toda mi familia, por haberme permitido y abierto las puertas de seguir adelante siempre, especialmente a mi madre Rita Calderón por ser el eje principal del hogar y de mi formación personal a lo largo de mi vida. A mi padre y hermanos por estar siempre presentes en las buenas y malas, por ayudarme con los obstáculos y saber enfrentarlos, a todas las personas que estuvieron presentes en este difícil pero lindo camino de formación profesional.

Cristian Andrés Padilla Calderón.

ÍNDICE

Contenido

AUTORIZACIÓN DE USO DE PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	2
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	2
2. CONSTANCIAS	3
CERTIFICACIÓN	4
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
ÍNDICE	7
RESUMEN	12
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA	16
OBJETIVOS	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
ALCANCE	20
JUSTIFICACIÓN	22
FUNDAMENTO TEÓRICO	24

2.1	LA AGRICULTURA DENTRO DE INVERNADEROS EN EL ECUADOR	
		24
2.1.1	Estructura de un invernadero	25
2.1.2	Funcionamiento de un invernadero	26
2.1.3	Condiciones y características principales dentro de un invernadero	27
2.1.3.1	Dimensiones del Invernadero	27
2.1.3.2	Humedad del Invernadero	28
2.1.3.3	Temperatura del Invernadero	28
2.1.4	Beneficios en el uso de invernaderos	29
2.2	TECNOLOGÍAS ENFOCADAS AL MONITOREO DE INVERNADEROS	29
2.3	VEHÍCULOS AUTÓNOMOS	30
2.3.1	Beneficios del uso de vehículos autónomos	30
2.3.2	Sistema de posicionamiento global en vehículos autónomos	31
2.3.2.1	Navegación Autónoma en la Agricultura	32
2.3.3	Sistema WayPoint	33
2.4	METASISTEMA OPERATIVO (MSO)	35
2.4.1	Funciones de un MSO	36
2.4.2	Estructura de un MSO	37
2.4.2.1	Funciones de un MetaSistema Operativo	38
2.4.3	Funcionamiento de un Vehículo Autónomo en conjunto con un MSO	41
2.4.4	Estructura de Comunicación entre Nodos	42
2.5	RUTAS INTELIGENTES EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS	47

2.5.1	Áreas de muestreo y adquisición de datos para la navegación	48
2.5.2	Parámetros necesarios para el cálculo de rutas	49
2.5.2.1	Posición geográfica	50
2.5.2.2	Analizadores de entorno	52
CAPÍTULO III		54
DISEÑO DEL SISTEMA		54
3.1	Metodología	54
3.2	Situación Actual	54
3.2.1	Técnicas	55
3.3	Propósito y Ámbito del Sistema	55
3.4	Descripción del Sistema	56
3.4.1	Características del Sistema	57
3.4.1.1	Restricciones	57
3.4.1.2	Riesgos	58
3.5	Requerimientos	58
3.5.1	Stakeholders	59
3.5.2	Atributos de los requerimientos	59
3.5.3	Nomenclatura de requerimientos	59
3.5.4	Requerimientos de stakeholders	60
3.5.5	Requerimientos del sistema	60
3.5.6	Requerimientos de arquitectura	62
3.6	Recursos	64

3.6.1	Recursos humanos	64
3.6.2	Recursos económicos	64
3.6.3	Recursos tecnológicos	65
3.7	Elección de hardware y software para el diseño.	65
3.7.1	Elección del hardware	66
3.8	Diseño del prototipo inicial	67
3.8.1	Diagrama de bloques de funcionamiento	69
3.8.2	Diagrama de flujo de movimiento	73
3.8.2.1	Diagrama de secuencia sistema autónomo	75
3.8.3	Características de componentes	76
3.8.3.1	Arduino Nano	76
3.8.3.2	Módulo L298n	77
3.8.3.3	GPS SAM-M8Q (SparkFun)	77
3.8.3.4	Sensores ultrasónicos HC-SR04	78
3.9	Diagrama circuital	79
3.10	Integración y pruebas iniciales del sistema	81
3.11	Análisis de funcionamiento del diseño	84
CAPITULO IV		85
RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO FINAL		85
4.2	Pruebas de funcionamiento general y desplazamiento (Prueba 1)	87
4.2.1	Pruebas físicas del movimiento del robot.	87
4.2.2	Pruebas del microcontrolador inteligente.	88

4.3	Toma de datos GPS y análisis de ubicación y orientación (Prueba 2)	88
4.3.1	Análisis y verificación de datos GPS	89
4.3.2	Establecimiento de WayPoints dentro del entorno aplicativo.	90
4.4	Acoplamiento de la adquisición de datos con el MSO para planificar una ruta (Prueba 3)	92
4.4.1	Verificación de datos tratados de en el terminal de Arduino.	94
4.5	Procesamiento de los datos, cálculo y análisis de rutas (Prueba 4).	96
4.5.1	Elección de rutas.	97
4.6	Análisis final de resultados del sistema	99
	CONCLUSIONES	101
	RECOMENDACIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA	104
	ANEXOS	107
5.1	Código fuente de movimiento y detección de obstáculos	111
5.2	Código fuente de adquisición de datos GPS y elección de rutas	115
5.3	Sistema autónomo final	120
5.4	Áreas de muestreo	121
5.4	Anexos varios	122

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura de un invernadero.....	p. 25
Figura 2. Estructura y funcionamiento de un invernadero.....	p. 26
Figura 3. Funcionamiento de la cubierta de un invernadero.....	p. 27
Figura 4. Sistema embebido con modulo GPS.....	p. 32
Figura 5. Robot autónomo en un campo de cultivo.....	p. 33
Figura 6. WayPoints en distintas posiciones geográficas.....	p.34
Figura 7. Estructura simple de un MSO.....	p.37
Figura 8. Estructura de envío de información entre nodos.....	p. 41
Figura 9. Sistema Embebido con conexión RJ-45(Arduino Ethernet).....	p. 43
Figura 10. Antena 915Mhz para dispositivos LoRa.....	p.45
Figura 11. Sistema embebido con interfaz Wi-Fi.....	p. 47
Figura 12. Vehículo Autónomo realizando una ruta en un campo agrícola.....	p.48
Figura 13. Posición geográfica en base a latitud y longitud.....	p.51
Figura 14. Funcionamiento sensor ultrasónico HC-SR04.....	p.53
Figura 15. Vehículo Autónomo realizando una ruta en un campo agrícola.....	p. 56
Figura 16. Case de Movimiento del Sistema (Posterior).....	p.68
Figura 17. Case de Movimiento del Sistema (Superior).....	p.68
Figura 18. Diagrama de Bloques Funcionamiento.....	p.69
Figura 19. Diagrama de Bloques Funcionamiento GPS.....	p. 70
Figura 20. Diagrama de Bloques Procesamiento.....	p. 70
Figura 21. Diagrama de Bloques Movimiento.....	p. 71
Figura 22. Diagrama de Bloques Toma Datos.....	p. 72
Figura 23. Diagrama de Flujo de Movimiento.....	p. 73
Figura 24. Diagrama de Secuencia del Sistema Autónomo.....	p.74
Figura 25. Arduino Nano V3.....	p.75
Figura 26. Modulo L298n.....	p. 76
Figura 27. GPS SAM M8-Q.....	p. 77
Figura 28. Ultrasónico HC-SR04.....	p.77

Figura 29. Diagrama Circuital de prueba de componentes.....	p.78
Figura 30. Partes fundamentales de circuitería.....	p.79
Figura 31. Vehículo con placa electrónica de prueba.....	p. 80
Figura 32. Vehículo con placa electrónica de prueba.....	p. 80
Figura 33. Pruebas de Desplazamiento Inicial.....	p. 81
Figura 34. Pruebas de Desplazamiento Inicial.....	p.81
Figura 35. Estado de microcontrolador principal de movimiento.....	p. 86
Figura 36. Datos de ubicación del sistema autónomo.....	p.86
Figura 37. Comprobación mediante GoogleMaps.....	p. 87
Figura 38. Mapeo de WayPoints.....	p. 88
Figura 39. Mapeo de WayPoints en el campo aplicativo.....	p. 88
Figura 40. Ilustración de Interfaz MSO inicial.....	p. 91
Figura 41. Ilustración de muestreo de puntos críticos.....	p. 90
Figura 42. Ilustración de punto destino crítico.....	p. 91
Figura 43. Posición actual y objetivo establecido del vehículo.....	p. 92
Figura 44. Posición actual y futura MSO.....	p. 92
Figura 45. Recorrido de las 2 posibles rutas.....	p. 93
Figura 46. Cálculo de distancias posibles rutas MSO.....	p. 94
Figura 47. Transición de ruta correcta (Ruta1).....	p. 94
Figura 48. Transición de ruta correcta (Ruta2).....	p. 94
Figura 49. Elección de ruta Factible MSO.....	p. 94

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en solventar las necesidades presentes en el sector agrícola ecuatoriano, especialmente apuntando a erradicar la baja inclusión de tecnología y escasos recursos económicos e investigativos del sector, en el que el eje principal se basa en la movilidad de recursos y sistemas no estáticos dentro de invernaderos que permitan realizar un trabajo mas eficiente comparándolo con las tecnologías existentes.

El presente proyecto se dirige directamente al desarrollo de sistemas autónomos terrestres ubicados dentro de toda la extensión del cultivo, los cuales permitan movilizarse libremente y ejecutar acciones de toma y procesamiento de datos para efectuar predicciones de rutas factibles para el sistema, en donde la posición del dispositivo será el punto crítico para la obtención de datos del cultivo.

La finalidad del proyecto es que el dispositivo pueda moverse dentro de toda la extensión de cultivo a partir de la planificación de rutas ya procesadas basándose en los datos de ubicación GPS en tiempo real, y así llegar hacia cada punto crítico en los que las tecnologías estáticas no pueden estar presentes.

ABSTRACT

This research focuses on solving the present needs in the Ecuadorian agricultural sector, especially aiming at eradicating the low inclusion of technology and scarce economic and research resources in the sector, where the main axis is based on the mobility of resources and non-static systems within greenhouses that allow a more efficient work compared to existing technologies.

The present project is directly aimed at the development of land-based autonomous systems located within the whole crop extension, which allow the free mobilization and execution of data collection and processing actions to make predictions of feasible routes for the system, where the position of the device will be the critical point for obtaining crop data.

The purpose of the project is that the device can be mobilized within the entire crop extension from the planning of routes already processed based on GPS location data in real time, and thus reach every critical point where the static technologies can not be present.

CAPÍTULO I

CONTEXTO DEL PROYECTO

Este capítulo permite conocer el problema al cual se requiere dar una solución, con los aspectos teóricos necesarios y limitantes que se le aplicará a su desarrollo.

PROBLEMA

La agricultura en el Ecuador desempeña un papel muy importante tanto económico como productivo debido a que nos encontramos en una región rica en recursos naturales aptos para el desarrollo de esta práctica, en donde la condición natural de suelos, topografía y clima permite que toda la geografía del Ecuador sea apta para producir material agrícola, es decir, el Ecuador es un país en el que se puede desarrollar de manera eficiente un proceso de cultivo tanto de productos de clima tropical como aquellos que son de clima cálido. Por estas razones es que las condiciones de un invernadero deben ser totalmente controladas, para que así los productos allí cultivados puedan tener las características adecuadas y finalmente puedan ser comercializados, de este modo cada situación que presenta el invernadero como por ejemplo la luminosidad, temperatura, humedad y aireación, deberían ser supervisadas ya sea de forma manual o automatizada, siendo esta segunda opción la más idónea para poder mantener un control exhaustivo permanente, y así enfocarse en puntos críticos que se presentan a diversas horas del día y contar con una visión general y detallada del crecimiento del producto, en donde si las condiciones del invernadero no satisfacen las necesidades de un producto en específico, podría afectar de manera irreversible el ciclo de la planta, lo que conlleva a un tiempo de cosecha postergado afectando así de manera económica a los productores que utilizan

este método de siembra. Este ciclo vital que debe cumplir un producto en específico se establece desde que se da el primer proceso de germinación de la semilla sembrada hasta que la planta produce su primer fruto, y se basa en la cantidad de ciclos reproductivos que se dan en función de una referencia de tiempo, siendo estos divididos de acuerdo a su ciclo completo basándose en años, los cuales pueden ser anuales(un año), bienales(dos años), perennes(más de dos años) en condiciones ambientales no controladas, en dónde el uso de un invernadero en el cuál todas sus características son controladas, permitirán que estos tiempos de los ciclos reproductivos de los productos se vean reducidos hasta en un 40% comparado con el ciclo normal antes mencionado (Sánchez & Cardona, 2012).

Desde el punto de vista anterior, se puede decir que la problemática general se da en que, el Ecuador es un país en el que la inserción de tecnología en el sector agrícola es deficiente. Esto se debe principalmente a que no se desarrolla productos tecnológicos, lo que conlleva a que la implementación de estos recursos se vea influenciada por su precio elevado y principalmente por el escaso acceso a ellos (Chiriboga & Wallis, 2010). En consecuencia, la productividad en el sector agrícola se ve afectada debido a la poca explotación de tecnologías y baja tendencia de estudios correspondientes al avance agrícola. Como resultado, se cuenta con una baja cobertura en cuanto a asistencia técnicos (2%) y el acceso a recursos tecnológicos (6%) a más del 50% de las Unidades de producción agropecuaria (UPAS) que corresponde al segmento del Sector Agrícola en el Ecuador, es decir que, de cada 50 productores agrícolas tan solo 2 tienen asistencia técnica autorizada y 6 poseen recursos para dotar de tecnología a su área productiva (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018). En el país casi un 88% de todas las unidades productivas agropecuarias corresponden a la agricultura familiar en el Ecuador, también denominadas “Unidades de Producción Agropecuarias-UPAS”, que ocupan casi un 41%

de la totalidad de la tierra productiva en el país, dando como referencia que a menos del 50% de estas unidades se les ha brindado de conocimiento e inclusión tecnológica, sin embargo, no se han llevado a cabo procesos de innovación y transferencia a la hora de desarrollar proyectos en estas áreas (Delgado & Játiva, 2012).

En términos generales, la problemática principal se basa en que las distintas variedades de productos tecnológicos para el sector agropecuario que se encuentran en el mercado, se basan en la implementación de sistemas fijos e invariables en su posición, los cuales debido a sus características no pueden representar las condiciones de todo el cultivo de una manera más exacta, ya que toman muestras cada cierta cantidad de tiempo de un mismo lugar, dejando de lado así otras posiciones en las que las condiciones no van a ser similares y la toma de datos no va a reflejar lo que está pasando en el ciclo de vida de toda la extensión del cultivo. En este sentido se puede decir que el uso de sistemas cableados y estáticos de toma de datos a lo largo de un invernadero presentan desventajas considerables, haciendo que el uso de tecnologías inalámbricas ya sean de medio o corto alcance presenten características más versátiles en cuanto a movilidad comparándolas con dispositivos que usan un medio de transmisión guiado, apoyando así de manera directa a la inclusión de tecnologías no cableadas dentro de invernaderos, reduciendo los costos de implementación de manera general, y finalmente ayudando al ciclo de vida de toda la extensión del cultivo.

Por lo tanto, se presenta un conjunto de vehículos autónomos que establecerán una ruta independiente a lo largo de un invernadero en donde se podrán trasladar en un relieve de terreno irregular, tomando datos de toda la extensión de cultivo, en donde la administración grupal hacia los dispositivos viene a estar dada por un nodo principal con un meta sistema operativo (MSO), en el que irán tomando conjuntamente información

específica del invernadero, para más adelante poder enviarla de manera sincronizada hacia el servidor mencionado anteriormente, en el que cada uno de los vehículos va a estar conectado de manera inalámbrica hacia la misma red en la que el nodo principal se encuentra, brindando así características de manejo de información, administración y gestión de los sistemas inteligentes de una forma centralizada.

OBJETIVOS

Objetivo General

Establecer rutas óptimas e inteligentes en vehículos autónomos dentro de invernaderos por medio de gestión de procesos con un MSO para la toma de datos en puntos críticos del cultivo.

Objetivos Específicos

- Obtener fundamentos teóricos acerca de vehículos autónomos enfocándose al posicionamiento y establecimiento de rutas mediante algoritmos definidos que permitan definir el software como el hardware para el correcto funcionamiento de los nodos autónomos.
- Proponer un esquema de comunicación y movimiento para los nodos dentro del invernadero que permitan fijar las reglas, y procesos de análisis de información posteriores a realizar, para así establecer una ruta factible de movimiento autónomo dentro de cada sistema por medio de un nodo gestor basado en un MSO.
- Recopilar datos de posicionamiento para establecer una ruta óptima a través de las condiciones y restricciones del cultivo.

ALCANCE

Con el objetivo de desarrollar un dispositivo inteligente que ayude a la correcta planificación y establecimiento de rutas a lo largo de un invernadero, se realizará una previa investigación que permita abordar todas las bases teóricas relacionadas al cultivo de productos agrícolas dentro de estos ambientes, para así llegar a la elaboración de un vehículo que permita que todas sus características se adapten de manera eficiente al ambiente de trabajo. De esta manera el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) viene a ser primordial a la hora de ejecutar procesos de precisión en áreas definidas de terreno, gracias a que su servicio se encuentra disponible para cualquier usuario que lo necesite y consecuentemente para las distintas aplicaciones en las que se pueda incluir, ayudando así al estudio de sectores específicos dentro de un ambiente controlado como es un invernadero.

De este modo, partiendo de las características necesarias que el sistema requiera para cumplir todos sus objetivos, se fijará parámetros que ayudarán a la correcta elección tanto de hardware y de software, los que se verán reflejados en el dispositivo final. Una vez que todos los parámetros requeridos se hayan definido, el sistema pasará a la fase de prueba de su sistema de gestión y monitoreo centralizado, que va a estar establecido mediante un esquema de comunicación inalámbrico, en dónde un nodo central adaptado a un Meta sistema Operativo (MSO) será el que cumplirá con las funciones de control de cada nodo secundario, en este caso, de cada vehículo autónomo, haciendo que el sistema de posicionamiento global junto con un algoritmo de establecimiento de rutas, permita que la configuración del nodo gestor indique o establezca de manera exacta el camino o ruta que tomará cada vehículo hacia un sector en específico del área asignada.

Posteriormente se realizará el análisis de funcionamiento del nodo de gestión que viene a estar determinado por un MSO y el algoritmo de establecimiento de rutas a partir de su posición global (GPS), el que nos permitirá establecer diferencias entre los parámetros de los nodos secundarios, en donde el análisis de la ruta más corta viene a estar dada por métricas de calidad y desempeño del módulo GPS, haciendo el cálculo y análisis de todas las posibles distancias entre cada punto crítico, para posteriormente elegir la vía más corta y así posicionarse de manera correcta. El nodo gestor basado en MSO ayudará a diferenciar cada nodo secundario, permitiendo el monitoreo de cada uno de los procesos que se ejecutan dentro de cada sistema dentro del entorno, haciendo que cada vehículo trabaje de forma independiente del otro, pero a su vez ambos trabajen en forma conjunta con su nodo de gestión y monitoreo.

Finalmente, este proyecto de tesis tendrá como resultado dos vehículos autónomos (nodos secundarios) que permitan la detección y establecimiento de rutas óptimas e inteligentes dentro de invernaderos, basándose en las funciones de control emitidas por el nodo gestor MSO y por el sistema de posicionamiento global (GPS) junto con un algoritmo de establecimiento de rutas, el que permitirá la recolección eficiente de datos que serán tomados por medio de una red de sensores ubicadas en cada sistema autónomo, en la que una interfaz gráfica cumplirá las funciones de monitoreo e información de parámetros anormales recolectados por el sistema, brindado así una ayuda para una respuesta rápida del administrador, en donde se podrá hacer énfasis en posiciones específicas y críticas del terreno, ayudando a un análisis más dinámico y menos estático de los parámetros que se obtienen de un determinado cultivo en toda una extensión de terreno.

JUSTIFICACIÓN

La realización del presente proyecto viene orientada directamente al Plan Nacional Toda una Vida 2017-2021, en el que dentro del eje 3, específicamente en el Objetivo N.º 7, nos dice que los ciudadanos debemos fomentar una sociedad participativa, enfocándose a un estado al servicio de toda la ciudadanía, en donde la inclusión de tecnología juega un papel muy importante, tanto para el avance productivo como para el económico dentro de la sociedad (Plan Nacional “Toda una Vida”, 2017).

El uso e inclusión de nuevas tecnologías aplicadas al incremento de la productividad dentro del país ha ido evolucionando con el pasar de la última década, en donde las necesidades de la sociedad han ido aumentando y de manera directa se evidencia que el sector productivo crece y se enfoca en nuevos objetivos, haciendo que dentro del área tecnológica ocupada en el sector agrícola se vea una brecha de inclusión de tecnología debido a los grandes costos que se requiere, haciendo que el fomento de participación académica, tecnológica e investigativa dentro de este ámbito sea un referente de soluciones y que a la vez brinde una opción o alternativa mucho más económica comparándola con los demás sistemas.

De esta manera se puede decir que el país posee los recursos y plataformas para poder implementar y crear dispositivos o sistemas inteligentes mucho más económicos los cuales solventen necesidades que dentro de un invernadero sean evidenciadas, ya que el mayor problema del sector agrícola en el país es la falta de conocimiento de tecnologías y principalmente el aporte económico que una empresa debe adoptar para poder obtener estos recursos, y así mejorar su productividad ante la sociedad.

Es por eso que las distintas variedades de productos tecnológicos para el sector agropecuario que se encuentran en el mercado se basan en la implementación de sistemas fijos e invariables en su posición, los cuales debido a sus características no pueden representar las condiciones de todo el cultivo de una manera más exacta, ya que toman muestras cada cierta cantidad de tiempo de un mismo lugar, dejando de lado así otras posiciones en las que las condiciones no van a ser similares y la toma de datos no va a reflejar lo que está pasando en el ciclo de vida de toda la extensión del cultivo, en este sentido se puede decir que el uso de sistemas cableados y estáticos de toma de datos a lo largo de un invernadero presentan desventajas considerables, haciendo que el uso de tecnologías inalámbricas ya sean de medio o corto alcance presenten características más versátiles en cuanto a movilidad comparándolas con dispositivos que usan un medio de transmisión guiado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 LA AGRICULTURA DENTRO DE INVERNADEROS EN EL ECUADOR

El Ecuador es un país en el que el sector agropecuario ha ido evolucionando constantemente, haciendo así un modo de ingresos económicos como también un modo de vida, en donde el desarrollo de los sectores agroexportadores se ha tornado un punto muy determinante a la hora de evidenciar la economía ecuatoriana.

Como consecuencia a esto, el Ecuador es un país fundamentalmente agricultor, en donde el 60% de esta práctica se ha evidenciado de manera local, haciendo que la forma de obtener estos productos haya ido evolucionando, tomando en cuenta la demanda de consumo y viéndola como un recurso económico, dejando de lado el punto de vista del autoconsumo.

Es por eso que se ha visto necesario el uso de técnicas que aceleren el proceso de producción de los diversos cultivos, dejando de lado la época del año en la que estos se produzcan, en donde el uso de invernaderos para productos específicos se vuelve la herramienta más importante a la hora de tener resultados más favorables, en menos tiempo y mejorando su calidad.

De esta manera el uso de invernaderos en el país ha ido aumentando y siendo así una de las mejores alternativas a la hora de seleccionar un sistema de cultivo, permitiendo así que en el sector agropecuario ecuatoriano se vea reflejado en un 12 % de su totalidad el uso de sistemas basados en invernaderos (Delgado & Játiva, 2012).

2.1.1 Estructura de un invernadero

Un invernadero es una estructura cerrada como se muestra en la Figura 1, que está constituida por materiales transparentes como el plástico, los cuales forman una cubierta que permite el paso de luz solar, y a su vez la conservación y manejo de temperatura interna, siendo estos adecuados para diferentes tipos de cultivos.

Se encuentran constituidos por estructuras metálicas o de madera, en donde el uso de materiales transparentes, como el vidrio, plástico o el zinc, permiten el paso de los rayos ultravioleta, pero a su vez omiten el regreso de los mismos, ayudando a que el cultivo reciba la cantidad necesaria de luz solar, para así lograr la conservación de temperatura adecuada en ciertas épocas del año, permitiendo cultivar productos a cualquier temporada mediante este ambiente controlado (Espí, 2016).



Figura 1. Estructura de un Invernadero

Fuente (Agricultureros, 2019).

2.1.2 Funcionamiento de un invernadero

Un invernadero común posee la función directa de producción de cultivos de manera más eficiente, en el cual la cubierta traslúcida, sea de vidrio o plástico, permite el manejo de distintos parámetros, como son la temperatura, la humedad y otros distintos factores del ambiente que favorecen de manera directa el desarrollo y evolución del cultivo, evidenciando algunas de estas características en la Figura 2.

Como se muestra en la Figura 3, un invernadero aprovecha de manera directa los efectos que son producidos por los rayos ultravioleta, es decir la radiación, lo que permite calentar los cultivos y estos, a su vez, producen radiación infrarroja, la que es enviada de regreso con una longitud de onda mayor que la de los rayos incidentes, produciéndose así un efecto de no regreso de los rayos solares y por consecuencia el calentamiento del invernadero.

Tanto el cristal o plástico empleado para la cubierta de un invernadero trabaja como un medio selectivo del envío y recepción de diversas componentes de frecuencia, lo que permite un efecto de atrapar toda la energía posible dentro del mismo, y logrando finalmente el objetivo de evitar la pérdida de calor por el fenómeno denominado convección (Vega, 2014).

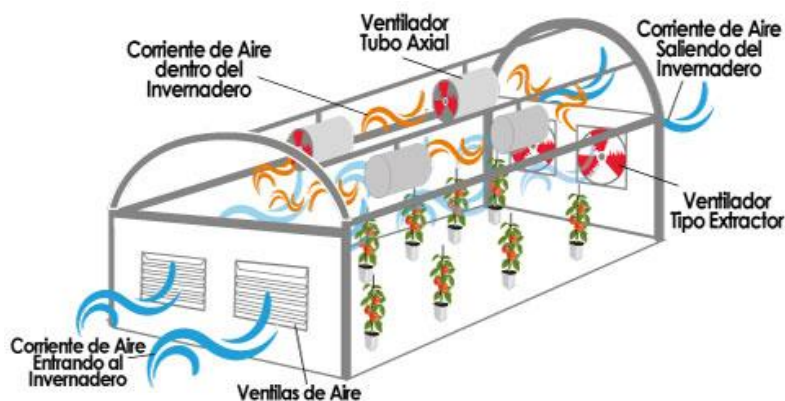


Figura 2. Estructura y funcionamiento de un Invernadero

Fuente (Agricultureros, 2019).

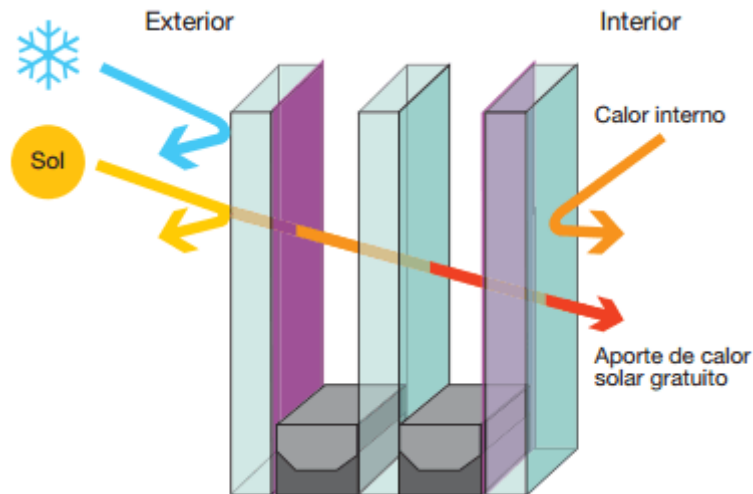


Figura 3. Funcionamiento de la cubierta de un Invernadero

Fuente (Espí, 2012).

2.1.3 Condiciones y características principales dentro de un invernadero

Dentro de un invernadero es necesario cumplir con distintos parámetros y consideraciones al cultivar un producto, estos factores van variando de manera directa con el cultivo a producir dentro del invernadero.

2.1.3.1 Dimensiones del Invernadero

Las dimensiones y la forma de elaboración de un invernadero tienen una razón lógica, en donde la forma rectangular de su superficie viene a ser usada con el propósito de aprovechar de la mejor manera el componente principal que es el plástico en la mayoría de los casos, ya que los rollos especializados para este recubrimiento son elaborados en dimensiones rectangulares.

El grosor del recubrimiento es determinado de acuerdo con la aplicación y el uso eficiente en el techo inclinado, mismo que varía de acuerdo con la zona geográfica en donde se encuentre establecido el invernadero, haciendo que en los sectores con mayores índices de lluvias el ángulo de inclinación vaya aumentando, por otra parte, el alto del

invernadero viene a ser determinado por el cultivo a sembrar, debido a que existen productos que tienen una proporción de altura mucho mayor que otras.

No existen de manera directa una norma establecida para dimensionar un invernadero, depende principalmente del espacio de terreno disponible y de hacer un uso efectivo de los materiales a usarse para la construcción del mismo.

2.1.3.2 Humedad del Invernadero

La humedad del invernadero es una de las variables indispensables a la hora de utilizar esta práctica con un cultivo, viene a estar monitoreada por sensores de humedad o sistemas de humificación, cuyo propósito principal es la de incrementar la humedad en los lugares en los que fueron instalados, ayudando de manera directa al proceso de fotosíntesis, es decir, cuando esta condición en el suelo es baja, disminuye este proceso de manera drástica, haciendo que el cultivo impida el intercambio de oxígeno, dióxido de carbono y nutrientes, impidiendo así el desarrollo normal del cultivo (Vega, 2014).

2.1.3.3 Temperatura del Invernadero

La temperatura dentro de un invernadero es el parámetro más importante a la hora de monitorear un cultivo, ya que es aquel que tiene mayor influencia en el crecimiento, desarrollo y evolución de las etapas de la planta, ya que se encuentra limitado de manera directa con la radiación solar que llega directamente al invernadero, en donde los parámetros de temperatura son obtenidos en base a la experiencia del agricultor, en el que por medio de pruebas ya sean empíricas o científicas, permitan conocer una temperatura mínima y máxima soportadas para cada uno de ellos, haciendo que se desarrollen en lo más cercano a tener condiciones óptimas, ya sea de CO₂, pH, entre otros, ayudando a mejorar la calidad de las cosechas y reducir el desecho de productos con deficiencias.

2.1.4 Beneficios en el uso de invernaderos

Los beneficios que son evidenciados de manera directa en un invernadero permiten una intensificación de producción en épocas distintas a las ideales, permitiendo establecer las condiciones necesarias para tener un buen desarrollo del producto, y a su vez una producción más rápida, haciendo que el uso de invernaderos consiga tres veces un mayor rendimiento por unidades de superficie que lo obtenido en un campo abierto común.

La posibilidad de cultivar durante todo el año es una ventaja en el uso de invernaderos, al tener cultivos protegidos bajo estructuras se minimizan los daños sufridos debido a la aleatoriedad de los fenómenos exteriores, permitiendo también un mayor control de las plagas y de las enfermedades que pueden ser adoptadas por los productos cultivados.

2.2 TECNOLOGÍAS ENFOCADAS AL MONITOREO DE INVERNADEROS

El margen y nivel tecnológico que presenta un invernadero viene a estar considerado por la cantidad de dispositivos auxiliares que hacen factible el control de variables que influyen en el desarrollo del cultivo, siendo así el sistema de riego controlado el sistema básico que debe tener un sistema de cultivo de este tipo.

A la hora de hablar de tecnología para invernaderos existen diversas opciones de acuerdo con el tipo de cultivo que se desee producir, yendo desde dispositivos simples que controlan la temperatura y humedad de manera general y local, hasta dispositivos que automatizan totalmente el control de los parámetros del invernadero y a su vez poseen interfaces de control local y remoto para que así un administrador del lugar pueda tomar decisiones o monitorear en tiempo real el desarrollo del cultivo.

El uso de las tecnologías permite una producción a gran escala, haciendo que los procesos que antes eran empíricos ahora se tornen más fáciles de realizar debido a la gran cantidad de alternativas que existen en el mercado.

El principal problema de estos sistemas inteligentes es que se basan en monitoreos estáticos, es decir, cumplirán su función en el lugar que se los instaló, dejando de lado muchas zonas del cultivo en la que la toma de datos no sea precisa y la información obtenida haga que las decisiones de los sistemas sean incorrectas y por ende el desarrollo del producto se vea afectado.

2.3 VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Un vehículo autónomo de forma general es un dispositivo robótico que no posee un ente de mando a tiempo real, es decir, puede tomar sus propias decisiones imitando las capacidades de manejo y control que un ser humano puede asumir. Estos pueden tener una percepción del medio que los rodea y realizar una navegación a través de los datos obtenidos previamente del ambiente que los rodea (Haboucha, 2017).

Estos vehículos realizan un escaneo y obtienen una percepción del entorno mediante un análisis y técnicas sofisticadas de manejo de sensores, como pueden ser, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de visión artificial o computarizada, o dispositivos más simples como un láser, sensores ultrasónicos (radares), o lidars.

En este sentido, el sistema de control de estos vehículos interpreta la información obtenida para realizar un procesamiento posterior y permitir la toma de decisiones correspondientes a ese momento, haciendo que el funcionamiento de un vehículo autónomo cumpla el mismo principio para todos los casos, ya sea este de gran escala o pequeña escala, independientemente del lugar o aplicación a la que se lo vaya a someter.

2.3.1 Beneficios del uso de vehículos autónomos

Desde la perspectiva empresarial y productiva, el uso de vehiculos autónomos ha ido evolucionando con el pasar de la última década, en donde la búsqueda de formas de

automatizar procesos e incrementar competitividad siempre ha estado latente, permitiendo que se vea necesario la implementación de sistemas que omitan procesos realizados manualmente, y así eliminar mano de obra innecesaria (Schwartzing, 2018).

El uso de sistemas autónomos permite aumentar la flexibilidad en los procesos de producción de cualquier aplicación en la que se vean sometidos, ya que ayudan a optimizar y personalizar las demandas de producción, ayudando de manera directa a reducir los tiempos de entrega de un producto o servicio.

En términos generales, la implementación de vehículos autosuficientes muestra varias ventajas que hacen que los procesos para los que se diseñaron vayan obteniendo ventajas comparándolas con métodos comunes, en donde la precisión, velocidad, reducción de costos y la inmunidad al cansancio son una de las ventajas que presentan estos sistemas.

2.3.2 Sistema de posicionamiento global en vehículos autónomos

Con el objetivo principal de orientarse y tomar decisiones acordes a la situación, un vehículo autónomo lo primero que necesita es recopilar la información necesaria que se encuentra en su entorno, para ello cada sistema debe estar equipado con un módulo de posicionamiento global (GPS) y un módulo de navegación inercial como el mostrado en la Figura 4.

El sistema autónomo utiliza el módulo GPS para poder conocer su posición actual relativa, debido a que puede ser errónea o tener un margen de error calculado en metros debido a una espera de emisión de datos proporcionados por el satélite, de esta manera pasa a jugar un papel fundamental el funcionamiento del módulo de navegación inercial, que permite tomar datos continuos de la orientación posición y en algunos casos de la velocidad del vehículo, para que así con la combinación del módulo GPS se pueda obtener

una orientación general del sistema mucho más acertada y por consecuencia tomar mejores decisiones (Schwartzing, 2018).

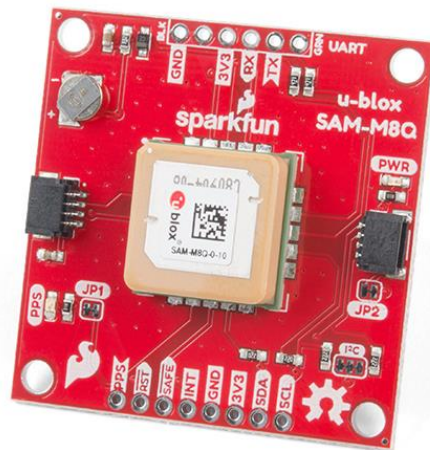


Figura 4. Sistema embebido con módulo GPS
Fuente (SparkFun, 2019).

2.3.2.1 Navegación Autónoma en la Agricultura

Con el pasar de los últimos 35 años se han ido automatizando de manera escalable las actividades agrícolas, en donde bien pueden ser sistemas automáticos transportados ya sea por un vehículo autónomo o conducido de forma manual para una tarea específica, permitiendo que las técnicas de posicionamiento global vayan adecuándose con las aplicaciones a las que se vayan a someter, de esta manera el sector agrícola se ve beneficiado con respecto al constante desarrollo de tecnología que permite a los robots realizar tareas que se hacían de forma manual anteriormente y que a su vez se tornan mucho más efectivas y rápidas.

La agricultura es un entorno adecuado y propicio para la utilización de sistemas autónomos o robots móviles como el mostrado en la Figura 5, los cuales que poseen sistemas mucho más complejos que un guiado simple debido al tipo de acciones que se realizan en ella, en donde las labores repetitivas, tediosas y principalmente perjudiciales

para el personal humano son evidenciadas, es por eso que el uso de estos sistemas han sido una opción latente para este sector, no obstante, la cantidad de investigación que se ha dado para la utilización de vehículos y sistemas autónomos en la agricultura es escasa, sin embargo las investigaciones realizadas en otros campos se basan en los mismos principios de guiado y posicionamiento, haciendo que la agricultura pueda ser beneficiada de manera directa con sistemas inteligentes, ya sea para la realización de tareas en campos con grandes extensiones de cultivo como también dentro de invernaderos.



Figura 5. Robot Autónomo en un campo de cultivo

Fuente (Agraria-Ramos, 2016)

2.3.3 Sistema WayPoint

El propósito principal de un vehículo autónomo es saber su posición y conocer la ruta para la que se encuentra programado, para así poder ejecutar las tareas de manera correcta, entonces a la hora de usar un sistema de posicionamiento global (GPS) los parámetros que se obtienen son tanto la longitud, latitud y altitud correspondientes a un punto específico del sistema, entonces un WayPoint viene a ser el conjunto de los datos mencionados anteriormente.

Un sistema de puntos de referencia como los WayPoint vienen a ser usados para trazar rutas específicas como las mostradas en la Figura 6 en sistemas inteligentes mediante el uso de una agregación secuencial de puntos geográficos, ya sean estos de destino o que se encuentren en medio de la ruta a trazarse, de esta manera el dispositivo conocerá las posiciones por las que debería pasar o posicionarse para llegar a un punto en específico, haciendo que el usuario o programador del sistema tenga un control completo del listado de puntos críticos que pueden ser marcados en una determinada área de terreno.

Los WayPoint's vienen a estar almacenados dentro de un sistema inteligente, independientemente del procesamiento que ellos reciban, es decir, un sistema inteligente puede estar programado para ejecutar un trazado específico de manera secuencial como también puede estar programado para ir a un punto crítico momentáneo con un cálculo de una ruta óptima previa, de este modo, cualquiera que sea el proceso que se lleve a cabo con la información que un WayPoint ofrece, el sistema siempre va a estar ligado a una lista o base de datos establecidas por el usuario (Greenwood, 2018).

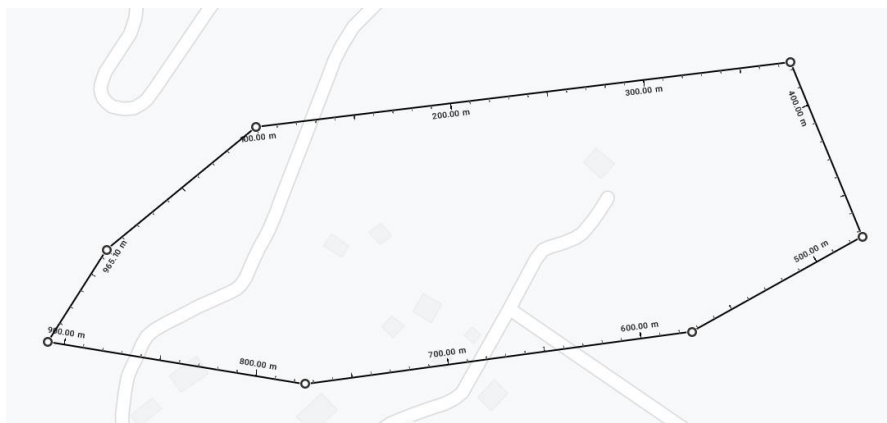


Figura 6. WayPoints en distintas posiciones geográficas

Fuente (Autoría Propia).

2.4 METASISTEMA OPERATIVO (MSO)

Desde la perspectiva de la evolución informática y todos los procesos que la componen, se ha visto una evolución con el pasar de la últimas décadas, hablando tanto de avances de software como de hardware, un ejemplo es el desarrollo de los metasisistemas operativos (MSO), los cuales vienen a ser denominados como una nueva técnica o tendencia de cómputo que permite a los ordenadores o usuarios disponer de recursos y aplicaciones que se encuentren divididos geográficamente de manera específica.

De manera que se establece una red de computación comprendida por varios dispositivos inteligentes que comprenden el mismo lenguaje, para así realizar funciones específicas y a su vez establecer comunicación con dispositivos específicos de la red mencionada anteriormente (Nedic & Despotovic, 2016).

Un metasisistema viene a hacer uso de redes de comunicación tanto de alta como de baja velocidad para la transmisión de datos, haciendo que los recursos se vuelvan heterogéneos para cada uno de los dispositivos, estos recursos vienen a estar distribuidos por toda la red de computación, siendo estos bases de datos, toma de datos, sensores, entre otros, que permiten que el sistema en general funcione acorde a las necesidades establecidas.

En términos generales, un Meta Sistema Operativo ayuda a compartir, generar y procesar recursos de manera establecida y ordenada, lo que permite aumentar la capacidad de cómputo tanto de manera local como de manera remota con cada uno de los nodos que se encuentran conformando el sistema, cada uno de estos nodos viene enlazado al sistema principal por redes de comunicación, confiables y no confiables, en donde cada nodo puede trabajar con modos de programación y hardware diferente, siendo la información transmitida la única que debe estar en un lenguaje específico para que todo el sistema pueda comunicarse y así resolver los procesos programados.

2.4.1 Funciones de un MSO

De este modo un MSO debe cumplir operaciones y funciones específicas acordes a la aplicación a la que vaya a ser sometido, en concreto, permite utilizar de manera ordenada los recursos que ofrecen cada uno de los nodos secundarios, siendo estos sujetos a las órdenes de un nodo principal, es decir un control centralizado.

De esta manera, este sistema de computación distribuida puede estar conformada por dispositivos de altas capacidades de procesamiento como dispositivos de bajos recursos, cubriendo distintas arquitecturas que van desde sistemas embebidos simples hasta supercomputadores.

Las funciones que un MSO ofrece van acorde a la aplicación a la que vaya a ser expuesto, en la que la capacidad de balanceo de procesamiento y recursos de sistema viene a ser el punto principal, ya que permite que un nodo maestro asigne o reasigne recursos a sus nodos secundarios, haciendo que la disponibilidad de la información que maneja el sistema en general aumente.

Un MSO permite la reducción de costos debido a que ya no es necesario que cada nodo posea un sistema complejo de cómputo para procesar sus datos, tan solo envían la información para que pueda ser procesada por el nodo principal, y así se crea un sistema centralizado en el cual los dispositivos secundarios no procesan, tan solo cumplen órdenes (Bottrighi & Terenziani, 2017).

2.4.2 Estructura de un MSO

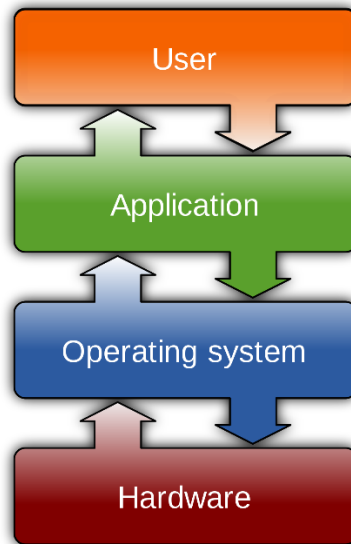


Figura 7. Estructura simple de un MSO

Fuente (Arpaci & Remzi, 2016).

Acorde a la Figura 7, un Sistema Operativo (SO) está definido por el software que trabaja en conjunto con el hardware de un dispositivo inteligente, el que ayuda a la coordinación y manejo de todos los recursos y acciones que ejecuta el usuario en un determinado tiempo, siendo este el eje principal y de conexión de los procesos y acciones de un sistema con el hardware.

Es importante destacar que la estructura de un MetaSistema Operativo y un Sistema Operativo simple poseen la misma jerarquía y distribución de procesos, pero la diferencia se basa principalmente en el hardware, en donde en un SO se encuentra ubicado geográficamente en un punto específico, es decir, las tareas se asignan en un mismo lugar tanto para hardware como software, mientras que en un MSO el hardware se encuentra distribuido en zonas geográficas diferentes, cumpliendo las funciones de recolección de datos que van a ser enviados posteriormente, para así ser procesados por el nodo principal, en el que se encuentra los más altos recursos de software y hardware.

De este modo un MSO viene a estar conformado por el hardware que permite la recolección de datos o de información necesaria, la que va a ser transmitida y recibida por un sistema centralizado de análisis de información (SO), el cual va a procesar todos los datos para así ejecutar una aplicación específica que puede ser evidenciada y comprendida por el usuario final.

1.4.2.1 Funciones de un MetaSistema Operativo

A la hora de hablar de un SO, viene de la mano sus procesos y funciones a ser ejecutadas, en donde cada una de ellas viene a ser fundamental para su consecuente permitiendo así elaborar una sucesión de procedimientos que posibilitan la culminación de un objetivo planteado por el SO.

Acorde a lo mencionado anteriormente, los SO's cuentan con una preconfiguración que permite llevar a cabo todas sus tareas, es por eso que la unidad central de procesamiento es el ente principal que distribuye cada una de esas tareas a los entes secundarios, formando así un conjunto de características que ayudan a cumplir las necesidades para las que fue diseñado.

En base a Hsu (2017), se detallan a continuación las funciones principales que un sistema operativo debe cumplir para ejecutar una cadena de tareas:

- **Gestión de Procesos**

La gestión de procesos dentro de la unidad central de procesamiento es la parte más importante a la hora de ofrecer los recursos necesarios a un programa que necesita ejecutarse, en donde el uso de la memoria ram, tiempos de ejecución de CPU, y acceso a archivos, son necesarios para la gestión de un determinado proceso.

El SO es el encargado de destruir, crear, iniciar y parar procesos de manera consecuente, acorde a una prioridad ya asignada, lo que permite ejecutar una línea de acciones de comunicación entre procesos. Esta línea de acción de prioridad antes mencionada es realizada por el sistema de una manera arbitraria, lo que es causante algunas veces de la no ejecución de procesos poco importantes.

Es importante destacar que el SO brinda habilidades de concurrencia a la hora de su asignación de procesos, lo que permite ejecutar varios hilos ordenados o desordenados parcialmente sin afectar de manera directa el resultado y objetivo general que plantea ese proceso.

- **Gestión de la Memoria**

Por otra parte, la memoria principal del sistema es otro de los componentes fundamentales para llevar a cabo una tarea en el SO, la que consiste en una recopilación de datos que es compartida en conjunto con la unidad central de procesamiento, y permite a cada proceso asignarle un espacio de memoria volátil adecuado para cumplir con todos sus requerimientos, obteniendo de esta manera un recurso compartido asignable de manera dinámica y aprovechable, sin desperdiciar así espacios de memoria innecesarios y permitiendo una eliminación instantánea de información no requerida.

- **Hilos de ejecución**

Los hilos de ejecución dentro de las funciones del SO son aquellos que conforman a proceso general, es decir, son subprocesos que ocupan un espacio de memoria y recursos de procesamiento para ser ejecutados, y por ende, un proceso general está conformado por uno o varios hilos de ejecución, dependiendo de su aplicación.

De esta manera, un hilo de ejecución puede estar en diversos estados, ya sea bloqueado, preparado, o activo en un determinado lapso de tiempo, lo que permite ejecutar una cadena de hilos que conforman una tarea en distintos procesadores del sistema de ser el caso, haciendo que las arquitecturas actuales de multiprocesadores sean aprovechadas de la mejor manera y las características de concurrencia de tareas sean evidenciadas.

- **Gestión del Almacenamiento Secundario**

Una vez se haya culminado un proceso general por medio de sus hilos de ejecución, es necesario tomar en cuenta la asignación de almacenamiento no volátil para el que fue desarrollado ese proceso, el cual permite una recopilación de información ya concretada anteriormente, para así obtener una base de datos no volátil que permita llamar a ciertos ficheros ya efectuados y de esta manera agilizar el desarrollo de un proceso, evitando la ejecución repetida e innecesaria del mismo.

Cabe destacar que este tipo de almacenamiento permite la recopilación de información de usuario que no es necesaria para la ejecución de procesos de sistema.

- **Administración del sistema de Entrada/Salida (I/O)**

La gestión de los distintos puertos de entrada y salida del sistema permite la interacción del hardware con el software, ya que mediante drivers específicos es posible interactuar en el sistema mediante distintos dispositivos externos, como pueden ser una antena, un monitor, un teclado, entre otros.

La gestión de los recursos de entrada y salida del SO son esenciales a la hora de la interconexión de distintos dispositivos de hardware con el software, permitiendo ampliar un sistema informático acorde a las necesidades y objetivos del usuario de manera física.

2.4.3 Funcionamiento de un Vehículo Autónomo en conjunto con un MSO

En este sentido, el uso de herramientas como un MSO viene a ser una alternativa totalmente factible a la hora de utilizar o programar uno o más vehículos autónomos, debido a que el procesamiento de datos o información va a ser realizada por medio del nodo principal, es decir, cada vehículo estará en la capacidad de toma de datos por medio de sensores, ya sean estos GPS, sensores de distancia, humedad, temperatura, entre otros, lo que permitirá un envío posterior de información, en donde el sistema principal hará su procesamiento con la información obtenida y dará una respuesta a cada nodo secundario.

Como consecuencia se estaría adoptando así un sistema centralizado de análisis y procesamiento de datos que envía órdenes a cada nodo secundario a partir de la información obtenida por cada uno de ellos, apoyando así a un sistema escalable de innumerables nodos secundarios que obedecen a un nodo maestro.

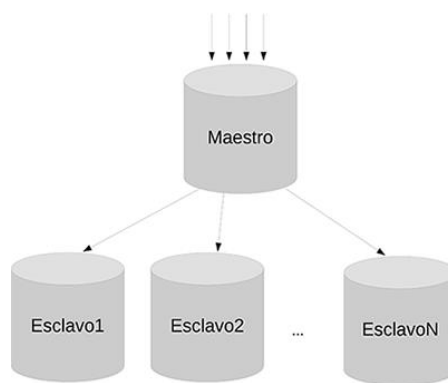


Figura 8. Estructura de envío de información entre nodos

Fuente (Combaudon, 2019).

Como se muestra en la figura 8, cada vehículo autónomo viene a ser un esclavo vinculado al maestro, que permite el intercambio de información tanto de entrada como de salida para cada nodo establecido dentro de un sistema general que forma una aplicación.

2.4.4 Estructura de Comunicación entre Nodos

Desde la perspectiva de la comunicación entre los nodos principales y secundarios se deben tomar en cuenta varios parámetros que permitirán la elección de un medio de comunicación correcto que ayude al funcionamiento integral del sistema completo.

Existen varios tipos de sistemas de comunicación tanto cableada como inalámbrica que se adaptan a distintas aplicaciones, ayudando a que cualquier sistema complejo pueda transmitir grandes cantidades de información sin ningún limitante de ancho de banda considerable, pero a su vez existen estándares que están enfocados a aplicaciones de bajo rendimiento, los cuales poseen una baja tasa de transmisión de datos pero ofrecen distintos recursos adicionales, como consecuencia a lo dicho anteriormente, es posible elaborar un esquema de comunicación entre nodos que cumpla con las especificaciones necesarias para cualquier tipo de aplicación, ya sea simple o compleja.

2.4.4.1 Estándares de comunicación Cableada

El propósito principal de una correcta elección de un medio de comunicación está ligado directamente con la aplicación a la que se va a someter, en donde un medio de transmisión cableado viene a ser efectivo a la hora de desplegar un sistema que va a ser totalmente estático, es decir, cada uno de los “nodos” que estén vinculados con el sistema va a estar ubicado geográficamente en una posición fija e inamovible a corto plazo, tomando datos del entorno y enviándolos por medio de un sistema de comunicación guiado, permitiendo así un ahorro en sistemas inalámbricos innecesarios.

El principal estándar al que se han acoplado los distintos fabricantes de dispositivos inteligentes que utilizan un sistema de comunicación guiado es el IEEE 802.3,

directamente enfocándose en las menciones que trabajan a partir de una interfaz RJ-45, el cual por medio del modelo TCP-IP ofrece distintas características y capacidades de transmisión que se adaptan a cualquier dispositivo, de esta manera las aplicaciones no estarán sometidas a pérdidas de datos o transmisiones lentas que afecten directamente al rendimiento del sistema (Stallings & Mounita, 2014).



Figura 9. Sistema Embebido con conexión RJ-45(Arduino Ethernet)

Fuente (Arduino, 2016).

2.4.4.2 Estándares de comunicación Inalámbrica

A la hora de hablar de comunicación inalámbrica entre nodos inteligentes se destacan 3 tecnologías y estándares que han ido evolucionando en conjunto con el pasar de la última década, como son el Bluetooth, Wi-Fi, y LoRa, los cuales poseen características muy diferentes tanto en el hardware como en las aplicaciones que van a ser usadas, es decir, un sistema debe ser diseñado de manera correcta para poder tener un criterio específico de elección de cualquiera de estas tecnologías, debido a que en cuestiones de funcionamiento carecen de similitudes y las ventajas que poseen unas son falencias de otras.

De este modo el estándar de comunicación Bluetooth viene a ser una especificación exclusiva para redes inalámbricas de área personal (WPAN) que ayuda a la transmisión de datos entre dispositivos por medio de enlaces de frecuencia que trabajan en 2.4Ghz, en el que su comunicación se da por radio frecuencia, es decir, los dispositivos conectados no deben estar alineados o tener línea de vista para que puedan intercambiar datos, haciendo que los obstáculos a corta distancia no sean un impedimento, en este sentido, el alcance que tendrán los dispositivos se reflejará en la potencia que emita la antena, alcanzando un rango máximo real de 50 metros sin obstáculos y 10 metros con la presencia de obstáculos (Gupta, 2016).

Por lo tanto, el estándar Bluetooth viene a ser idóneo para aplicaciones con un alcance corto y que no requieran un ancho de banda alto, ya que la tasa de transmisión máxima real puede llegar a los 32Mbps en condiciones idóneas, haciendo que los sistemas que desplieguen esta tecnología eliminen cables y conectores, pero no puedan emitir y recibir grandes flujos de información comparándolos con la tecnología Wi-Fi.

Por otra parte, la tecnología LoRa que es administrada por la comunidad LoRa-Alliance, viene a ser un estándar que permite comunicaciones para aplicaciones de baja potencia y área extendida (LPWAN), que utiliza modulaciones usadas en comunicaciones espaciales y también militares, las cuales fueron implementadas para usos de IoT (Internet de las Cosas), no obstante, es un tipo de tecnología que posee muchas ventajas, pero carece de una tasa de transmisión aceptable (255bps).

Los sistemas que desplieguen la tecnología LoRa son capaces de tener una mayor capacidad de tolerar interferencias con otras frecuencias y por ende su sensibilidad de recepción es mucho mejor gracias al tipo de modulación (chirp) que utilizan, permitiendo también un alcance teórico de 20 km con línea de vista y 2km con la presencia de obstáculos, éstas distancias se logran gracias a las frecuencias de trabajo que se

encuentran en el rango de 433 a 915 Mhz, es decir, poseen una longitud de onda parecida a la de un enlace de radio, lo que permite cubrir grandes espacios geográficos (Sinha & Wei, 2017).

El alcance que posee esta tecnología está ligado directamente a la potencia que pueda emitir la antena que posee, existen módulos con antenas fijas como también con antenas variables como los mostrados en la Figura 10, ayudando así a la elección acorde a las características de la aplicación a desplegarse.

En conclusión, el estándar LoRa permite implementar aplicaciones y sistemas que emitan información a grandes distancias, como pueden ser sensores o cualquier tipo de dispositivo de monitoreo, ayudando así a sistemas móviles o fijos ubicados a una distancia considerable a enviar información con un máximo de 255 bps de tasa de transmisión.



Figura 10. Antena 915Mhz para dispositivos LoRa
Fuente (RAK Technologies, 2017).

Por otra parte, la tecnología Wi-Fi viene a ser la más explotada a la hora de hablar de dispositivos inteligentes, debido a que se encuentra en cualquier sistema de uso personal como pueden ser, teléfonos, televisores, computadores portátiles y consolas que pueden tener una interconexión fácil y rápida por medio de un punto de acceso con el uso del modelo TCP-IP.

La tecnología Wi-Fi se basa en el desarrollo del estándar IEEE 802.11 que viene a estar relacionado con el despliegue de redes de área local inalámbricas, en el que su propósito principal es interconectar dispositivos inteligentes con una tasa de transmisión lo más cercana posible a lo que se obtiene con un medio guiado.

Permitiendo así que varios sistemas puedan enlazarse a un punto central (Access Point) y obtener una conexión que permita el flujo de datos de cualquier tipo con un ancho de banda considerable, el cual oscila entre 11, 54 y 300 Mbps para el estándar 802.11 b/g/n, y una tasa de transferencia de 1.3Gbps teórica con el uso del estándar 802.11 ac, siendo este último el menos utilizado en dispositivos actuales (Castillo & Medrano, 2019).

De esta manera, el desarrollo del estándar IEEE 802.11 ha permitido que las frecuencias de 2.4 y 5Ghz sean las bandas en las que los dispositivos se comunicarán, permitiendo alcances máximos de 100 y 90m respectivamente sin la presencia de obstáculos y de hasta 25m con la presencia de ellos, de este modo, la tecnología Wi-Fi viene a ser una alternativa mucho más robusta comparándola con las otras tecnologías.

En conclusión, la tecnología Wi-Fi está diseñada para aplicaciones más robustas en cuestiones de flujo de datos, permitiendo varios nodos como el mostrado en la Figura 11 puedan ser conectados a la vez a un punto central y emitir información de manera constante, en la que la distancia máxima alcanzable permite el diseño de sistemas tanto móviles como fijos en un rango medio de separación geográfica.

Es esencial destacar que esta tecnología es la más utilizada en dispositivos de monitoreo de mediano alcance (hasta 100m) que requieren grandes cantidades de flujo de información, como pueden ser datos, video, imágenes entre otros, mismos que no pueden ser emitidos por las tecnologías mencionadas anteriormente.

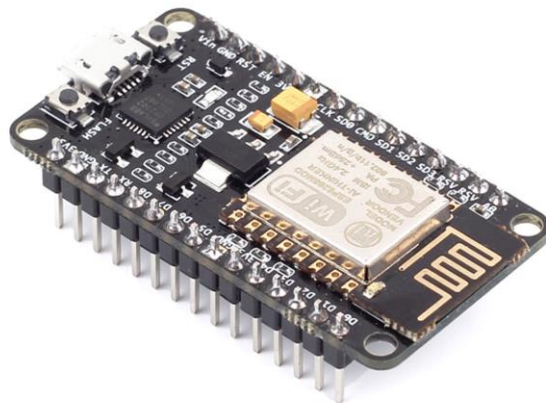


Figura 11. Sistema embebido con interfaz Wi-Fi
Fuente (NodeMcu, 2017).

Cada uno de los dispositivos inteligentes que desee conectarse a una red Wi-Fi tiene la necesidad de pasar por un dispositivo intermedio, que viene a ser un Access Point, el cual cumple el rol de emitir una señal con un SSID (“Nombre de la red”) y un acceso ya sea libre o por contraseña alfanumérica, en donde estos dispositivos poseen características para que la señal emitida sea de largo o corto alcance dependiendo de la potencia de las antenas que posea, y a su vez sean diseñados tanto para el uso en interiores como en exteriores.

2.5 RUTAS INTELIGENTES EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Desde la perspectiva de un sistema móvil autónomo es necesario tomar en cuenta el significado de navegación, que vendría a ser la ciencia de hacer un recorrido por medio de un robot móvil a la vez que atraviesa un entorno determinado, para así llegar de manera correcta a su destino sin tener ningún inconveniente con los obstáculos, ya sea que la navegación sea realizada de manera autónoma o controlada.

El proceso de navegación dentro de un vehículo autónomo involucra diversas herramientas que permiten establecer una trayectoria factible para el sistema, en donde prever y planificar los procesos ayudan a llegar a un sitio pertinente o deseable, en el cual el objetivo del vehículo es la obtención de una trayectoria hacia un punto posterior asignado, que va a depender directamente del entorno en cuestión y su análisis en tiempo real, cabe destacar que a la hora de planificar una ruta nunca se darán condiciones ideales ni tampoco iguales a un proceso anterior de cálculo (Schwartzing, 2018).

El objetivo principal a la hora de planificar trayectorias es realizar un análisis del entorno y así obtener una ruta que deberá cubrir el dispositivo (sea óptima o no), dejando de lado la parte mecánica del dispositivo, es decir, cada uno de los procesos se realizan de forma separada, tanto el cálculo de la ruta, como un posterior movimiento del dispositivo, lo que hace posible el funcionamiento de sistemas como el mostrado en la Figura 12.



Figura 12. Vehículo Autónomo realizando una ruta en un campo agrícola
Fuente (CNH Industrial, 2018).

2.5.1 Áreas de muestreo y adquisición de datos para la navegación

Es importante destacar que, a la hora de realizar un proceso de planificación de trayectorias dentro de un vehículo autónomo, es necesario la comprensión tanto del

entorno como de los procesos a realizar por parte del dispositivo, es por eso que las áreas de muestreo permiten que se pueda elaborar un “mapa” de los distintos puntos factibles por los que el dispositivo realizó un recorrido.

Cada vehículo autónomo puede tomar datos de un entorno de manera que vaya recopilando información para elaborar un mapa (2D o 3D) a partir de sensores que pueden ser de ultra sonido, láser o sistemas de radares, que ayudan a evidenciar los obstáculos que se presentan y por medio del movimiento del vehículo, intentar evitarlos de la mejor manera, sin dificultar la ruta de muestreo, para así finalmente tener una réplica del entorno traducida en datos comprensibles por el sistema, para posteriormente elaborar una aplicación que ejecute una acción específica dentro de sectores específicos del entorno.

Por otra parte, es posible analizar un entorno conocido por medio de un sistema Way Point, en el que, por medio puntos específicos de coordenadas geográficas, el dispositivo se moverá de manera lineal hacia cada punto establecido, permitiendo recopilar tan solo información mucho más superficial de los obstáculos, debido a que el entorno ya es conocido por el operador y el sistema solo deberá moverse de manera que cubra la ruta establecida.

2.5.2 Parámetros necesarios para el cálculo de rutas

A la hora de realizar un cálculo de una trayectoria específica para un vehículo autónomo, es necesario tomar en cuenta las variables que nos brinda el ambiente, como

se mencionó anteriormente, es posible tener un mapeo completo del entorno como también un base de puntos geográficos a los que dirigirse (WayPoints), para ambos casos es necesario tener siempre un sistema de sensores que permitan tener una “visión” específica de lo que lo rodea, para así posteriormente obtener los datos de posicionamiento geográfico y la orientación del dispositivo, con los que en conjunto logran obtener una base de datos completa para realizar un cálculo que permita obtener una trayectoria hacia otro punto geográfico.

El algoritmo de cálculo de esta trayectoria viene a ser una fusión entre un sistema de coordenadas y un sistema de movimiento físico del sistema, el que va a depender del vehículo, debido a que los sistemas de movimiento no son iguales para cada robot, entonces, una vez conocida una posición inicial y una posición de destino, el algoritmo viene a determinar el tipo de movimiento que se debe realizar y así mismo, la distancia que el sistema debe recorrer para llegar a sus destino, tomando en cuenta que si en el trayecto se encuentra con un obstáculo, el sistema tenga la capacidad de volver a calcular una ruta y por ende llegar a sus destino de cualquier manera, a continuación se detallan los parámetros importantes a la hora de procesar una ruta de movimiento.

2.5.2.1 Posición geográfica

Un vehículo autónomo es un sistema complejo que permite a un dispositivo acoplarse a un entorno y desempeñar tareas específicas en las que el control por parte de un ente administrador no sea constante, es por eso que a la hora del cálculo de rutas que ejerce un vehículo autónomo es necesario conocer su posición geográfica, que comprende la identificación de posición de un objeto en un lugar del planeta, haciendo el uso de coordenadas y mapas que permitan discriminar dicha posición.

La ubicación geográfica absoluta de un objeto ayuda en una localización más precisa, en la que el uso de coordenadas geográficas como son la latitud y longitud permite obtener un punto referente de posición. Tanto la latitud y longitud en un dispositivo inteligente son obtenidas por medio de un sistema electrónico GPS como el definido en el ítem 1.3.2 y mostrado en la figura 4, el que puede ser adaptado a cualquier tipo de aplicación y uso posterior.

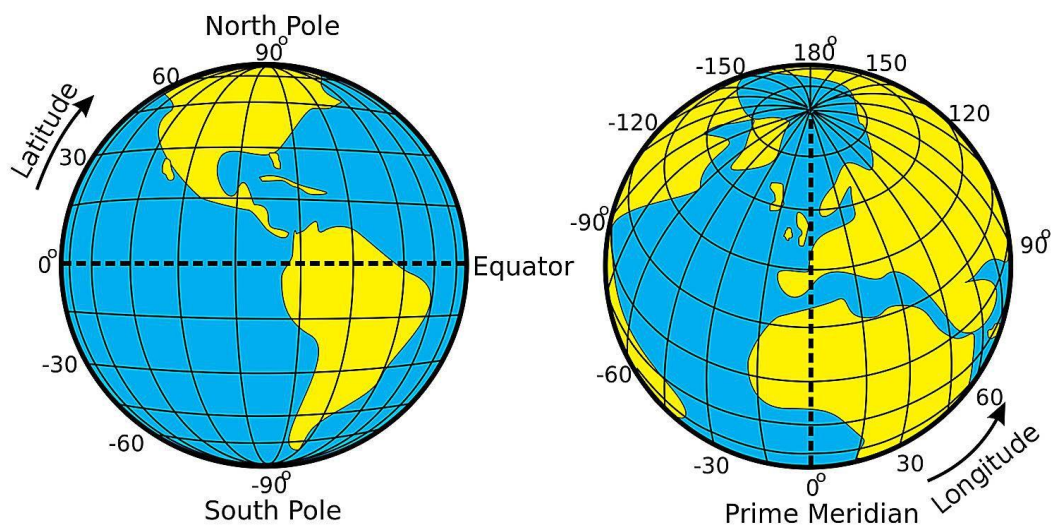


Figura 13. Posición geográfica en base a latitud y longitud

Fuente (Greelane 2019).

Las coordenadas geográficas mencionadas anteriormente pueden ser representadas de manera numérica o alfabética, dependiendo de la aplicación o lectura a la que vayan a ser sometidas; en el caso de sistemas autónomos es necesario conocer dichas coordenadas de manera numérica, para así poder procesar la información dentro del dispositivo, en la figura 13 se evidencia la orientación de los parámetros de latitud y longitud.

El parámetro de latitud obtenido por medio del GPS hace referencia al ángulo que se ubica en medio del plano ecuatorial y la línea que atraviesa ese punto, ayudando a distinguir posición norte o sur en el planeta.

El parámetro de longitud obtenido por medio del GPS hace referencia al ángulo conformado por el meridiano cero (Meridiano de Greenwich) en conjunto con el meridiano que atraviesa el punto en el que se encuentra el objeto a evaluar, ayudando a distinguir posición oriente u occidente en el planeta.

2.5.2.2 Analizadores de entorno

Un vehículo autónomo tiene por obligación obtener y procesar toda la información necesaria que se encuentra en su entorno para así desempeñar sus funciones correctamente, es por eso que los sistemas autónomos poseen una gama de sensores, cámaras y demás dispositivos que permiten obtener toda la información del entorno que los rodea.

Los dispositivos más utilizados en vehículos autónomos para analizar su entorno son los conocidos radares (láser o ultrasonido) o las cámaras de video; dependiendo de la complejidad del dispositivo se eligen cualquiera de éstas dos alternativas.

- **Cámaras de video**

Una cámara de video implementada en un sistema autónomo es la opción más exacta y paramétrica de identificar un entorno, pero a su vez es la más compleja debido a la gran cantidad de información que produce y si discriminación en software, es por eso que a la hora de implementar uno de estos dispositivos existe la necesidad de adaptar un programa de inteligencia artificial en conjunto con el procesamiento digital de imágenes.

- **Radares**

Un radar es un dispositivo electrónico que por medio de ondas infrarrojas o ultrasónicas ayuda a recopilar información del entorno que rodea a un vehículo autónomo, en el que su implementación es mucho más sencilla debido a que utiliza solamente el cálculo de distancias para conocer lo que rodea al sistema inteligente.

Los radares ultrasónicos simples poseen un sistema de emisión y recepción de ondas (transductores), en el que de manera simple el emisor produce destellos de ondas ultrasónicas y el receptor capta la onda reflejada de menor potencia (eco) y por medio del tiempo que esta onda reflejada tardó en llegar es posible calcular la distancia a la que se encuentra un objeto, para así obtener un “panorama en 2 dimensiones” del entorno, en la figura 14 se evidencia el funcionamiento de un sensor de ultrasonido común.

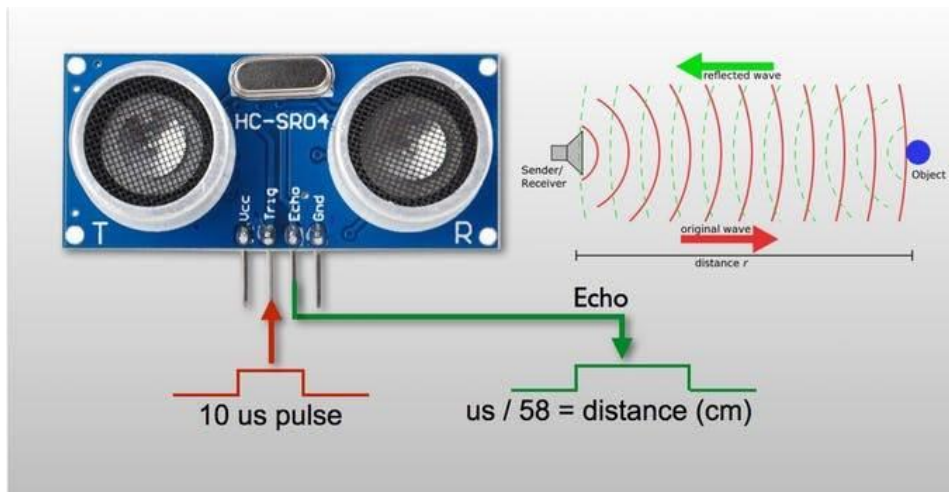


Figura 14. Funcionamiento sensor ultrasónico HC-SR04

Fuente (Geekfactory, 2015).

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

En el presente capítulo se detalla de manera específica tanto el Hardware como Software a utilizar, y así mismo las funciones que cada uno de estos cumplen frente a un previo diseño del sistema en base a los requerimientos del mismo.

3.1 Metodología

A la hora de hablar de un proceso netamente investigativo, es necesario tener en cuenta una metodología que de manera general permita organizar, recolectar y simplificar la información necesaria para dicha investigación, en donde el objetivo final viene a ser el otorgamiento de un alto porcentaje de validez científica para así obtener resultados favorables a la hora de cumplir cada uno de los objetivos específicos planteados.

Uno de los modelos favorables a la hora de emplear un método de selección a partir de características, requerimientos y objetivos finales, es el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018, el que permite de manera directa tener una visión general de todos los sistemas a fin de que puedan cumplir con los parámetros planteados y así elegir de manera correcta tanto software como hardware a usarse en el sistema.

Se tomará en cuenta éste estándar de manera general, en el que su principal propósito se establecerá en la obtención de hardware y software que permita el funcionamiento correcto del sistema y a su vez cumpla con los requisitos y objetivos planteados.

3.2 Situación Actual

Como primer objetivo de la investigación y por ende del sistema, se encuentra el abarcar de manera correcta toda la información referente a la problemática que va a solventar el dispositivo, en donde la adquisición de datos referentes a vehículos

autónomos y su posicionamiento dentro de invernaderos son el principal ítem de esta investigación.

El sistema que se presentará a continuación va a ser desarrollado y evidenciado en un vehículo que pueda adaptarse de la mejor manera en el sector planteado, en este caso el uso de un dispositivo tipo oruga será la propuesta presentada como sistema de movimiento del proyecto de investigación planteado.

3.2.1 Técnicas

El desarrollo del presente proyecto está basado directamente en propósitos investigativos, en donde todo lo planteado viene a ser una propuesta para el uso de sistemas inteligentes autónomos dentro de la agricultura, específicamente en el sistema de invernaderos.

En términos generales, el panorama de investigación local en esta área es escaso, es por eso que el proyecto planteado viene a ser un punto de partida a la hora de hablar de sistemas autónomos gestionados por un ente centralizado, de esta manera se puede decir que tanto hardware y software han sido elegidos acorde a consideraciones personales para así poder presentar una posible solución factible al problema ya antes planteado.

3.3 Propósito y Ámbito del Sistema

Se propone el desarrollo de un dispositivo inteligente que permita el cálculo de rutas favorables hacia puntos específicos de un invernadero, en donde cada sistema autónomo viene a ser controlado y gestionado por parte de un ente principal, el cual viene a ser un Metasistema Operativo (MSO).

El sistema de manera general permitirá el movimiento de un vehículo tipo oruga por medio del ambiente especificado, en donde un driver permitirá el acople de motores de potencia a la placa controladora Arduino, que viene a ser el ente de procesamiento de

datos obtenidos tanto de los sensores de proximidad como del módulo de posicionamiento global GPS.

El acople de todos los sensores con la placa inteligente permitirá el procesamiento posterior de rutas en base a los parámetros ya obtenidos de posición y orientación, para así desarrollar un sistema de movimiento calibrado y preciso en ambientes extensos con amplia cobertura de puntos específicos de toma de datos.

La investigación está limitada a la toma de datos y pruebas que conlleven una ejecución correcta de los objetivos planteados, la cual servirá de base para el posible desarrollo de sistemas que estén involucrados en esta área y así dar paso de manera directa a la investigación poco explotada de sistemas netamente autónomos.

3.4 Descripción del Sistema

El sistema inteligente desarrollado en la presente investigación viene a ser un robot que presenta sus movimientos dentro de un invernadero a partir de orugas accionadas por motores, las cuales permiten su desplazamiento correcto en condiciones adversas en este tipo de sistemas de cultivo.



Figura 15. Vehículo Autónomo realizando una ruta en un campo agrícola

Fuente (Autoría Propia).

El dispositivo final constará de módulos de detección de obstáculos (HC-SR04) y un sistema de posicionamiento global GPS (Sparkfun SAM M8Q), los cuales estarán posicionados y conectados a una placa base que servirá de circuito principal para el funcionamiento general del sistema, los cuales en conjunto permitirán que el dispositivo pueda saber su orientación y su punto de ubicación actual, de esta manera, por medio de algoritmos desarrollados en base a los WayPoints dentro del microcontrolador principal el sistema pueda saber cuál es la ruta óptima para su siguiente punto de toma de datos.

3.4.1 Características del Sistema

El sistema inteligente para cálculo de rutas en invernaderos evidenciado en la presente investigación viene a ser una propuesta a la hora de conocer nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas en un futuro en el sector agrícola en el Ecuador, es por eso que el dispositivo genera de manera directa restricciones y riesgos latentes a la hora de su implementación, en donde se define cada uno de estos parámetros tanto en su funcionamiento como en su aplicación.

3.4.1.1 Restricciones

- Sistema de prueba que permite el cálculo de rutas en base a un algoritmo personalizado expuesto a fallos.
- Microcontrolador de baja capacidad en donde el cálculo de algoritmos complejos es limitado.
- El movimiento del vehículo dependerá de los datos obtenidos del sistema de posicionamiento global, generando desorientación al momento de establecimiento de conexión con el satélite
- Sólo el administrador puede configurar y modificar el funcionamiento base del dispositivo
- Motores de gran capacidad que generan un consumo alto de corriente

- Sistema de batería limitado para el análisis de funcionamiento total del dispositivo, en el caso de pruebas de largo tiempo se verá afectado en su duración.
- Costos altos a la hora de implementar sensores de mayor precisión.
- Limitaciones con respecto a superficies lodosas o que poseen presencia de agua, debido a que el sistema no es impermeable.

3.4.1.2 Riesgos

- El vehículo puede variar en la toma de decisiones a la hora de calcular una ruta por el tema de estabilización del sistema de posicionamiento global.
- Batería insuficiente a la hora de toma de datos críticos y repercusión en el mal funcionamiento general del sistema.
- Generar falsos positivos en la presencia de obstáculos y se oriente de diferente manera
- Sistema de cableado posea inconvenientes a la hora de desplazarse en una superficie lodosa o con presencia de agua.
- Desconexión del sistema gestor en un caso de desorientación y posicionamiento lejano del nodo de comunicación.

3.5 Requerimientos

De esta manera, el estudio y análisis realizado anteriormente dio a conocer los requisitos necesarios que solventen la propuesta de investigación, en donde los requerimientos de Arquitectura y los requerimientos del Sistema son primordiales a la hora de elegir software y hardware de aplicación para solventar de manera correcta el funcionamiento del dispositivo planteado.

3.5.1 Stakeholders

En la tabla 1 se detalla la lista de personas involucradas de manera directa o indirecta en el desarrollo del proyecto de investigación.

Tabla 1. Lista de Stakeholders en el presente proyecto

Lista de Stakeholders	
1.	Ing. Mauricio Domínguez Director de Tesis
2.	Sr. Cristian Padilla
3.	Ing. Edgar Maya Opositor de Tesis
4.	Ing. Edgar Jaramillo Opositor de Tesis

Fuente: Autoría

3.5.2 Atributos de los requerimientos

Cada uno de los requerimientos planteados en este documento vienen dados en base a 3 ámbitos: Requerimientos de Stakeholders, Los Requerimientos de Arquitectura y finalmente los de Sistema. Cada requerimiento mencionado debe cumplir una verificación medible, en donde sus restricciones definen el funcionamiento y todo el rendimiento del dispositivo.

3.5.3 Nomenclatura de requerimientos

Los ítems mencionados en la Tabla 2, hacen referencia a una nomenclatura que permite la comprensión de la información de una manera ordenada, sintetizada y lo más coherente posible.

Tabla 2. Nomenclatura de los Requerimientos

Nomenclatura de Requerimientos	
Requerimiento	Nomenclatura
Stakeholders	STSR
Sistema	SYSR
Arquitectura	SRSR

Fuente: Autoría

3.5.4 Requerimientos de stakeholders

Cada requerimiento mencionado a continuación en la Tabla 3, viene a estar dado en base al cumplimiento y verificación de un objetivo, en donde la definición de los requisitos es obtenida en base a las necesidades que el sistema requiere para su correcto funcionamiento, los cuales podemos sintetizarlos como requerimientos operacionales.

Tabla 3. Requerimientos Operacionales del Sistema

StSR				
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES				
#	REQUERIMIENTOS DE USO	PRIORIDAD		
		Alta	Media	Baja
StSR1	Integración y tamaño reducido del sistema		X	
StSR2	Alimentación Portable y Recargable	X		
StSR3	Sistema Autónomo tanto en movilidad como recolección de datos	X		
StSR4	Sistema acorde al entorno de movilidad	X		

Fuente: Autoría

Los requerimientos mencionados en la Tabla 3, vienen a ser parte de una propuesta de investigación en la que se integra los sistemas autónomos junto con su capacidad de procesamiento en un entorno centralizado, combinando así la agricultura y toma de datos dentro de invernaderos junto con la robótica y electrónica avanzada, en la que se obtiene una idea general de los requisitos funcionales que debe cumplir el dispositivo para que sus tareas se den en base a los objetivos planteados.

3.5.5 Requerimientos del sistema

A continuación, en la Tabla 4, se detallan los requisitos del sistema, basándose en todo lo que comprende el funcionamiento del mismo, desde la parte de software hasta el hardware, los cuales se encuentran relacionados con los ítems detallados en la Tabla 3.

Tabla 4. Requerimientos del Sistema

SySR				
REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA				
#	REQUERIMIENTOS DE USO	PRIORIDAD		
		Alta	Media	Baja
SYSR1	Flexibilidad de adaptación y funcionamiento del vehículo	X		
SYSR2	Tiempos cortos a la hora de recolectar datos		X	
SYSR3	Rendimiento óptimo a largo plazo	X		
REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE				
SYSR4	Adquisición de datos GPS en tiempo real	X		
REQUERIMIENTO DE INTERFACES				
SYSR5	Conexión Satelital	X		
SYSR6	Puertos de comunicación Serial		X	
SYSR7	Puertos digitales de accionamiento y toma de datos	X		
REQUERIMIENTOS DE ESTADO				
SYSR8	Modos de Ahorro de Energía en Reposo	X		
SYSR9	Modo Encendido de Adquisición de Datos		X	
REQUERIMIENTOS FÍSICOS				
SYSR10	Integración de Placa de control con tamaño reducido	X		

Fuente: Autoría

Una vez analizado los requisitos necesarios para un funcionamiento ideal del sistema, se llega a la conclusión que se requiere de una placa versátil tanto en autonomía de puertos como en capacidad moderada de procesamiento, en donde cada uno de los requerimientos analizados en la Tabla 4, vienen a ser los roles que debe cumplir un dispositivo autónomo enfocado a la agricultura dentro de invernaderos, haciendo que la interacción usuario-robot sea casi nula, teniendo como resultado o enfoque final el objetivo común del proyecto de investigación.

3.5.6 Requerimientos de arquitectura

Los requerimientos detallados en la Tabla 5 se refieren a las cualidades electrónicas que deben cumplir cada uno de los dispositivos utilizados, en donde las características de hardware y software están ligadas y asumen un correcto funcionamiento del dispositivo.

Tabla 5. Requerimientos de Arquitectura

SRSH						
REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA						
#	REQUERIMIENTOS DE USO			PRIORIDAD		
				Alta	Media	Baja
REQUERIMIENTOS LÓGICOS						
SrSH1	Vinculación Posicionamiento con Microcontrolador	Sistema	de	X		
SrSH2	Funcionamiento de Puerto Serial RX/TX				X	
SrSH3	Convertor toma de datos	Análogo	Digital	para	X	
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO						
SrSH4	Posición adecuada de funcionamiento	placa	de	X		

SrSH5	Acople de batería recargable al vehículo	X
SrSH6	Acople Mecánico de componentes al armazón.	X
REQUERIMIENTO DE SOFTWARE		
SrSH7	Lenguaje de Programación Versátil	X
SrSH8	Acople de Librerías para toma de datos GPS	X
SrSH9	Acople de Librerías para manejo de Motores	X
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE		
SrSH10	Microcontrolador Programable adaptable a los sensores	X
SrSH11	Microcontrolador de bajo consume y capacidad media de procesamiento	X
SrSH12	Capacidad adecuada de puertos de entrada y salida.	X
REQUERIMIENTOS ELECTRÓNICOS		
SrSH13	Alimentación del Sistema recargable mediante baterías LI-PO.	X

Fuente: Autoría

Los requerimientos ya analizados anteriormente vienen a estar relacionados directamente con las necesidades propuestas en el proyecto de investigación, en donde el desarrollo del dispositivo debe ser ligero, compacto y capaz de procesar toda la cantidad de información requerida y tomada por medio de los sensores para su posterior movimiento.

Estos requisitos son el resultado de la investigación de características necesarias en sistemas de navegación autónoma y automática, en donde la gestión y administración de los datos juega un papel importante en el funcionamiento general del sistema centralizado.

3.6 Recursos

En el apartado de recursos vienen a ser referidos todos los elementos trascendentales a la hora de la elaboración total del vehículo de planificación de rutas inteligentes dentro de invernaderos, tomando como base el análisis previo de los requisitos ya documentados.

3.6.1 Recursos humanos

Conforme a la Tabla 6, se detallan las personas que conforman directamente el grupo de investigación para dar apertura a este proyecto.

Tabla 6. Recursos Humanos

RECURSOS HUMANOS	
Tutor	Ing. Mauricio Domínguez
Desarrollador	Sr. Cristian Padilla
Asesor 1	MsC. Edgar Maya
Asesor 2	MsC. Daniel Jaramillo

Fuente: Autoría

3.6.2 Recursos económicos

Haciendo referencia a la Tabla 7, se detalla cada uno de los dispositivos físicos a utilizarse junto a su precio aproximado final.

Tabla 7. Recursos Económicos

RECURSOS ECONÓMICOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO	COSTO
		UNITARIO	TOTAL
Kit Base TANK	1	120	120
Arduino NANOv2	1	10	10
Módulo GPS SAMm8Q	1	75	75

Ultrasonicos HC-SR04	2	4	8
Bases 3D	2	5	10
Batería	1	75	75
Set de Cables Jumper	20	0.15	3
Tornillería	1	5	5
		TOTAL	306

Fuente: Autoría

3.6.3 Recursos tecnológicos

Comprende todas las herramientas de software relacionadas con la investigación, las cuales están detalladas en la Tabla 8.

Tabla 8. Recursos Tecnológicos

RECURSOS TECNOLÓGICOS	
Software	COSTO
Ide Arduino	0
Fritzing	0
Google Maps	0
CURA-3D	0
TOTAL	0

Fuente: Autoría

3.7 Elección de hardware y software para el diseño.

La elección tanto del hardware y software viene a estar sujeto a los requerimientos ya antes mencionados, en el que mientras más sean los ítems acertados, habrá un mejor resultado de culminación de objetivos, en donde se propone una alternativa o propuesta investigativa de componentes que cumplan con las características necesarias para solventar el problema planteado que resolverá el sistema.

3.7.1 Elección del hardware

La elección del hardware es primordial a la hora de cumplir con las características específicas que un dispositivo debe solventar, es por eso que la unidad de procesamiento central del sistema es el componente de hardware más importante, seguidamente en la Tabla 9 se presenta los microcontroladores seleccionados que cumplen las características ya antes documentadas.

Tabla 9. Elección del Hardware

Microcontrolador	Características	
Arduino Nano	Microcontrolador	ATmega328
	Tensión de funcionamiento	5V
	Voltaje de entrada	7-12V
	Pines digitales de E / S	13 (de los cuales 8 proporcionan salida PWM)
	Pin PWM Digital I / O	6
	Pines de entrada analógica	8
	Corriente DC por Pin de E / S	40 mA
	Pin Corriente DC para 3.3V	50 mA
	Memoria flash	32 KB (ATmega328)
	SRAM	2 KB (ATmega328)
	EEPROM	1 KB (ATmega328)
	Velocidad de reloj	16 MHz
	LED_BUILTIN	13
	Longitud	101.52mm
	Anchura	53.3 mm
	Peso	25 g
Arduino Uno	Microcontrolador	ATmega328
	Tensión de funcionamiento	5V
	Voltaje de entrada	7-15V
	Pines digitales de E / S	13 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
	Pin PWM Digital I / O	6
	Pines de entrada analógica	6
	Corriente DC por Pin de E / S	20 mA
	Pin Corriente DC para 3.3V	50 mA
	Memoria flash	32 KB (ATmega328)
	SRAM	2 KB (ATmega328)
	EEPROM	1 KB (ATmega328)
	Velocidad de reloj	16 MHz
	LED_BUILTIN	13
	Longitud	220m
	Anchura	210.3 mm
	Peso	25 g

MICROCONTROLADOR DE PROCESAMIENTO PRINCIPAL														
Selección	Requerimiento												Valoración	
	S _t SR1	S _y SR1	S _y SR3	S _y SR4	S _y SR5	S _y SR6	S _y SR7	S _y SR10	SRSH1	SRSH7	SRSH8	SRSH9	SRSH10	
Arduino Nano	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Arduino Uno	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11

Nomenclatura: Cumple: "1"
No Cumple: "0"

Fuente: Desarrollado por el Autor en basado en nano-uno-que cuales- sus-diferencias

Tabla 10. Selección Microcontrolador

Acorde a la Tabla 10, el sistema de procesamiento central que el dispositivo final ocupará viene a ser un Arduino Nano, debido a que cumple con todas las características de sistema y arquitectura a implementarse, en la que la principal característica de elección de este microcontrolador es el espacio reducido de acople con los demás dispositivos electrónicos, haciendo que la placa final tenga atributos de procesamiento acorde a las necesidades y escalabilidad del sistema en cuanto a tamaño final.

3.8 Diseño del prototipo inicial

Es importante destacar que la selección de hardware y software basados en los requisitos generales del sistema permite el inicio correcto del diseño del mismo, en donde cada componente fue seleccionado de manera justificada en base a los objetivos planteados, el proceso de diseño se detalla a continuación:

El primer paso para el desarrollo del prototipo se encuentra consolidado por el sistema de desplazamiento, específicamente el "Case" en el que todos los demás componentes van a ser ubicados, el cual, por medio de dos motores de potencia en conjunto con un

sistema de orugas, permitirán mover el dispositivo dentro del invernadero soportando condiciones menos favorables en cuanto a el relieve del terreno como los mostrados en las figuras 16 y 17.



Figura 16. Case de Movimiento del Sistema (Posterior)

Fuente: <https://www.seeedstudio.com/TS100-shock-absorber-tank-chassis-with-track-and-DC-geared-motors-Kit-p-4107.html>



Figura 17. Case de Movimiento del Sistema (Superior)

Fuente: <https://www.seeedstudio.com/TS100-shock-absorber-tank-chassis-with-track-and-DC-geared-motors-Kit-p-4107.html>

3.8.1 Diagrama de bloques de funcionamiento

Como se observa en la Figura 18, se detalla el diagrama de bloques general de funcionamiento del sistema, en donde cada una de las etapas viene a ser una parte fundamental para el funcionamiento y desempeño total del vehículo, a continuación, se detallan brevemente las etapas en base a sus funciones y objetivos.

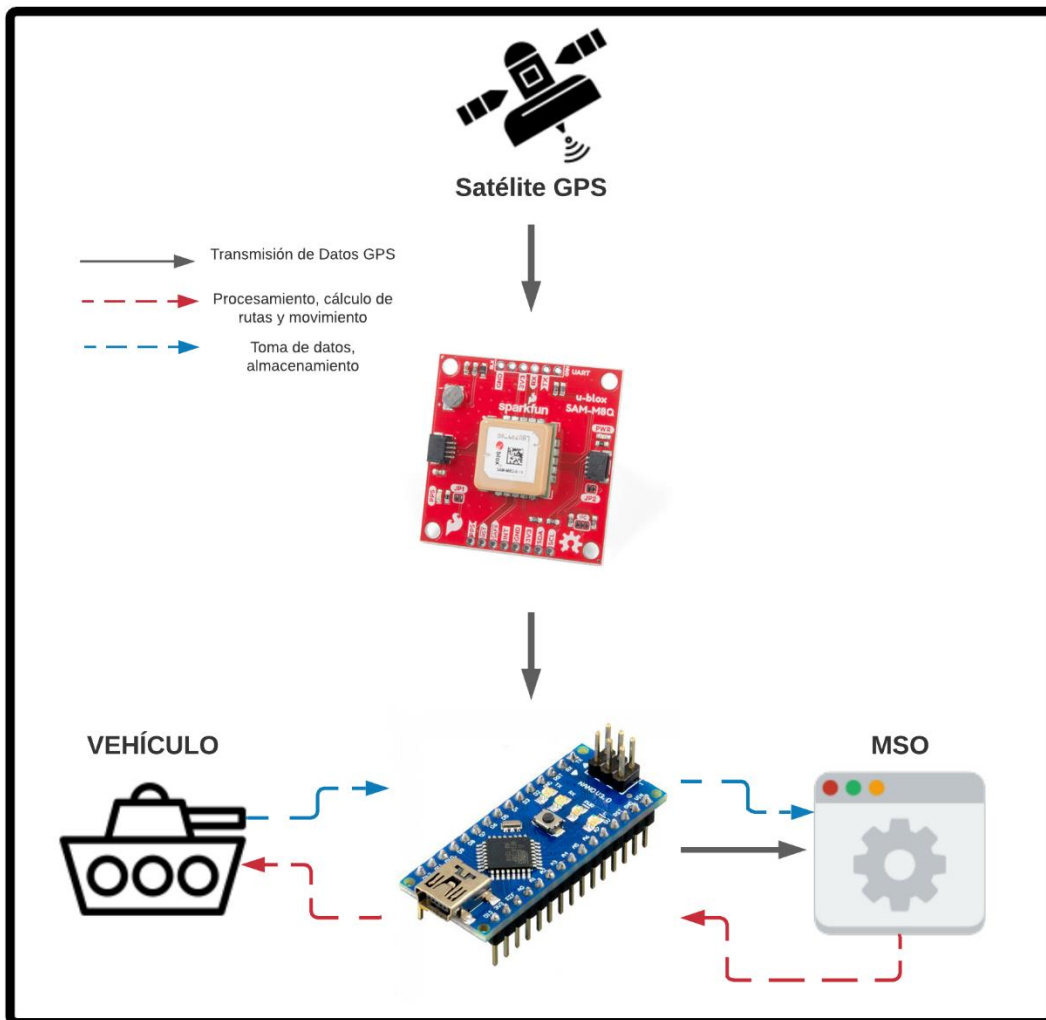


Figura 18. Diagrama de Bloques Funcionamiento

Fuente: Autoría

- Etapa 1-GPS:

El sistema de posicionamiento global juega un papel muy importante a la hora de ejecutar un movimiento en el vehículo, ya que con los datos que proporciona el satélite es posible ubicar y orientar de forma geográfica al sistema, no obstante, el módulo GPS toma un tiempo prudencial de establecimiento de conexión con el satélite (10-20s) para poder transmitir por comunicación serial hacia el Arduino los datos de Longitud, Latitud y Altitud que posteriormente serán procesados. En la figura 19 se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento GPS descrito anteriormente.

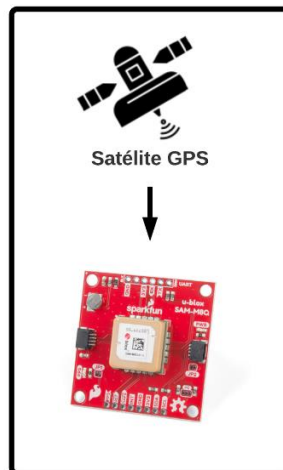


Figura 19. Diagrama de Bloques Funcionamiento GPS

Fuente: Autoría

- Etapa 2-Procesamiento:

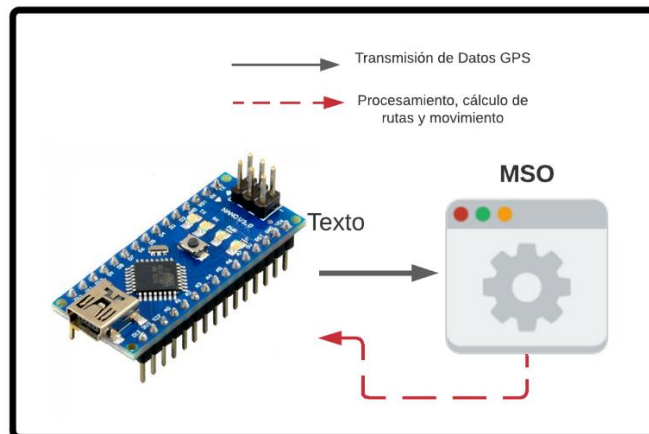


Figura 20. Diagrama de Bloques Procesamiento

Fuente: Autoría

Conforme a la figura 20, una vez que se estabiliza el módulo GPS, se obtienen los datos correctos de Longitud y Latitud dentro del Arduino Nano, los cuales van a ser enviados directamente al MetaSistemaOperativo, el que se encargará de procesar la información obtenida y posteriormente ejecutará las acciones necesarias con respecto a la ubicación, orientación y cálculo de rutas, en el que se hace una retroalimentación de datos hacia el Arduino para así poner en marcha las acciones de movimiento.

- Etapa 3-Movimiento:

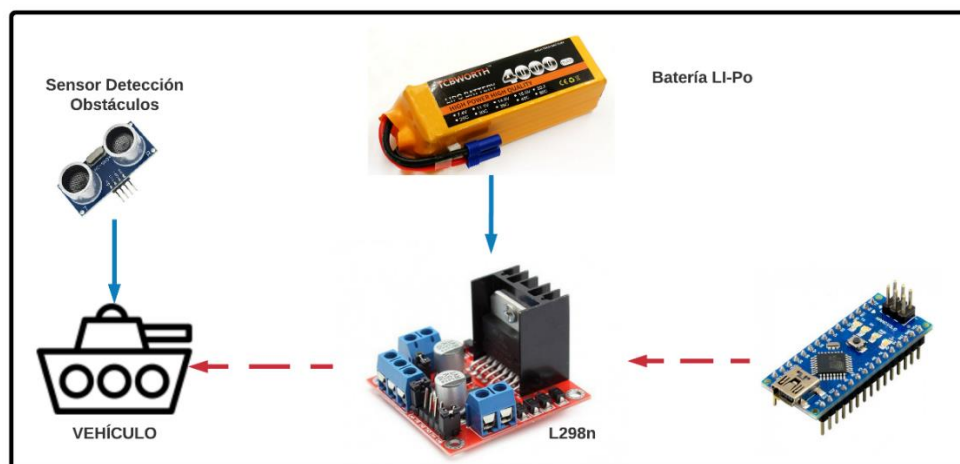


Figura 21. Diagrama de Bloques Movimiento

Fuente: Autoría

De esta forma, la figura 21 explica que una vez procesada la información de ubicación, el microcontrolador ejecuta las órdenes de movimiento acorde a las acciones emitidas por el MSO, en donde el módulo de accionamiento de motores permite el acople de los voltajes de baja potencia utilizados en el Arduino, junto con los voltajes de alta potencia emitidos por la batería LI-Po, la cual genera el movimiento de los motores de desplazamiento, permitiendo así establecer la ruta de un WayPoint a otro, en este caso en base a las acciones que el microcontrolador establece.

- Etapa 4-Toma de datos y almacenamiento:

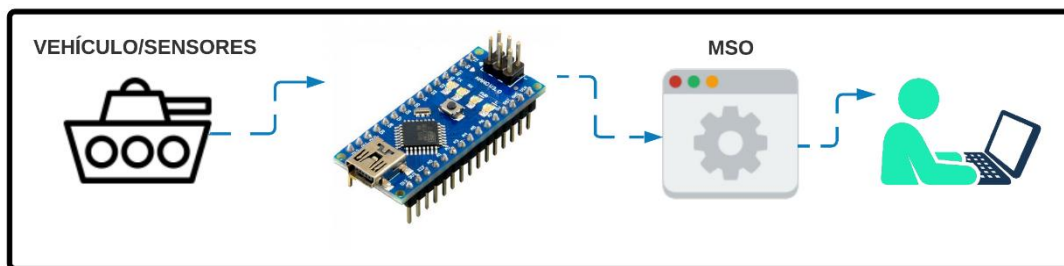


Figura 22. Diagrama de Bloques Toma Datos

Fuente: Autoría

De este modo, el vehículo una vez alcanzado su destino, en este caso su siguiente WayPoint, pasará a la etapa de reposo de movimiento y ejecutará las acciones de toma de datos, en la que los sensores pasarán a su estado activo y empezarán a recopilar información del entorno, la que va a ser obtenida y transmitida posteriormente por el microcontrolador hacia el MSO y finalmente será almacenada, procesada y analizada por el usuario final, en este caso el administrador del sistema, pasando así por cada una de las etapas mostradas en la figura 22.

3.8.2 Diagrama de flujo de movimiento

Una vez evidenciado el funcionamiento general con el diagrama de bloques, se pasa a la elaboración del código inicial junto con su diagrama de flujo, el que permitirá establecer parámetros y características que cumplan las condiciones necesarias para la realización de pruebas, es por eso que en la Figura 23 se puede evidenciar el proceso que deberá seguir todo el sistema para poder cumplir cada uno de los objetivos de todas las etapas comentadas anteriormente.

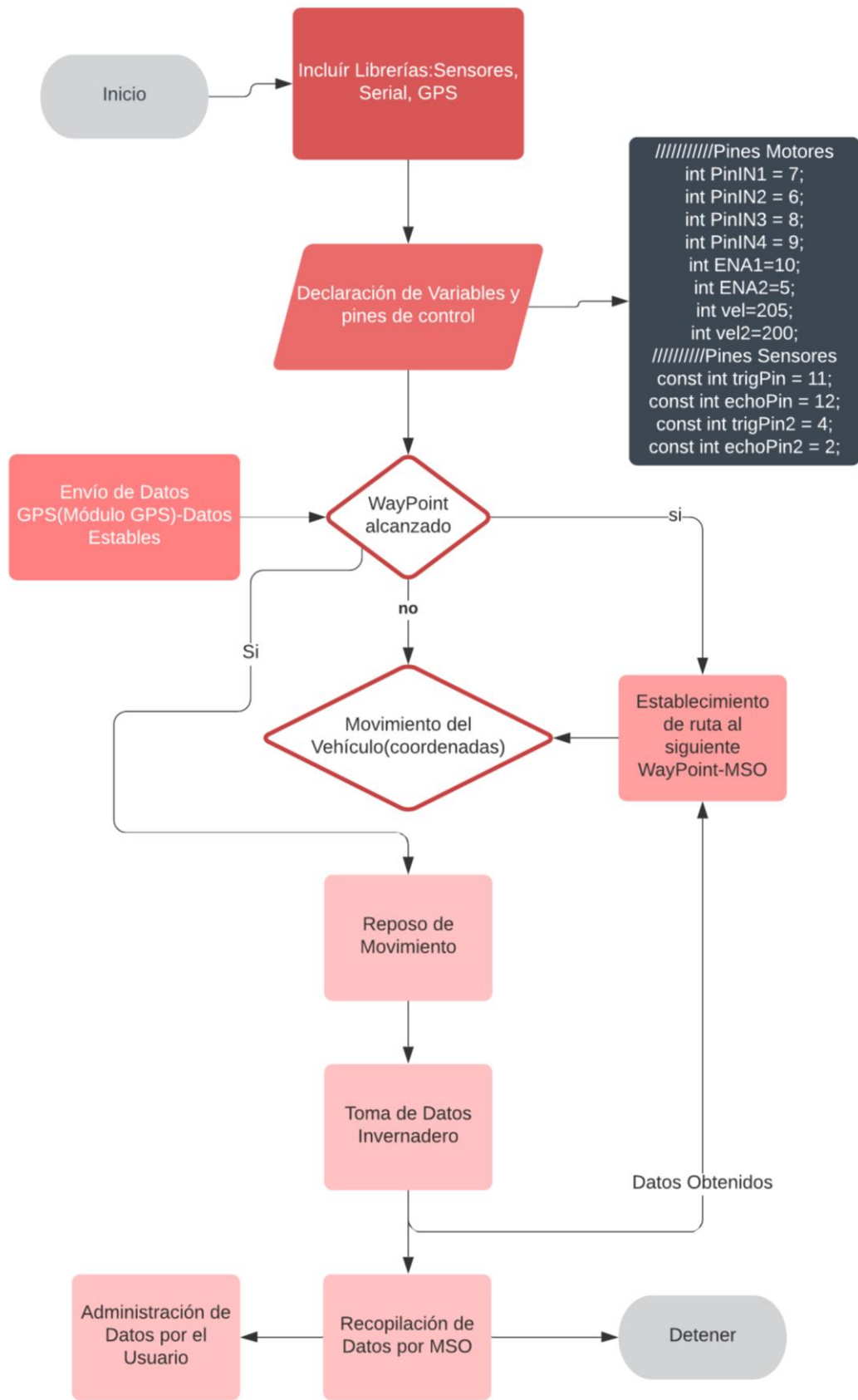


Figura 23. Diagrama de Flujo de Movimiento

Fuente: Autoría

3.8.2.1 Diagrama de secuencia sistema autónomo

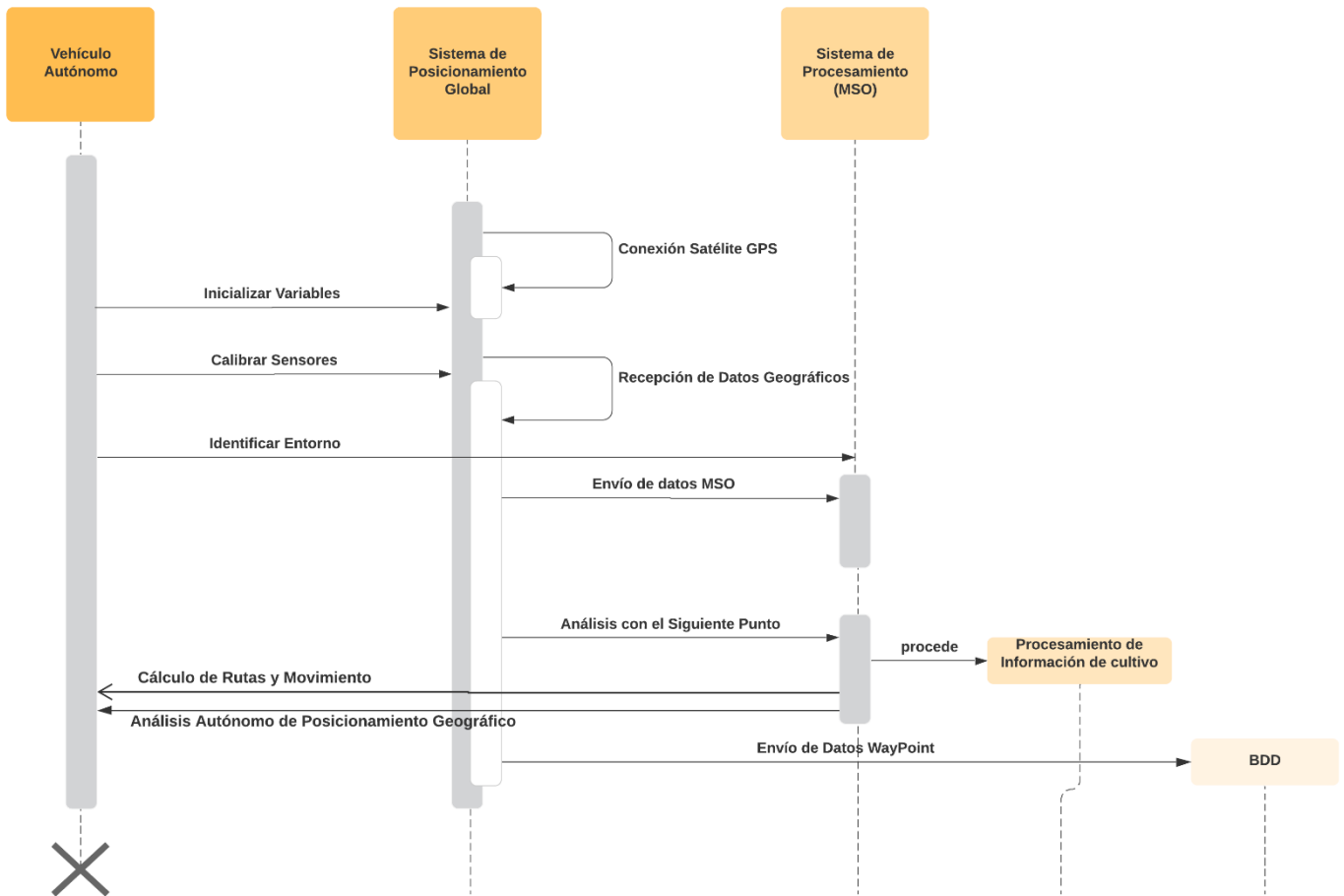


Figura 24. Diagrama de Secuencia del Sistema Autónomo

Fuente: Autoría

A la hora de comprender el funcionamiento de un sistema autónomo es necesario tomar en cuenta las secuencias y procesos a seguir en un determinado instante, es por eso que se recurre a la utilización de un diagrama secuencial como el mostrado en la figura 24, el que permitirá conocer el orden de los procesos llevados a cabo a la hora de planificar una ruta y monitorear el medio para así tomar la decisión correcta en cuanto al movimiento y posicionamiento del sistema.

3.8.3 Características de componentes

El proceso de conexión de dispositivos electrónicos requiere un análisis previo de características y especificaciones técnicas que permitan su uso y configuración, en el siguiente apartado se muestra cada uno de los dispositivos utilizados y sus características.

3.8.3.1 Arduino Nano

Es un microcontrolador de bajos recursos y tamaño compacto, que permite programarlo acorde a las necesidades requeridas para así aplicarlo en sistemas poco complejos hablando de procesamiento.

El microcontrolador que se evidencia en la Figura 25 permite el uso de variadas librerías para diversos componentes electrónicos, entre ellos los usados en la investigación presente, como son los sensores ultrasónicos y acoples de potencia para motores DC, de esta manera, el tamaño compacto y versatilidad de funciones de este microcontrolador permite un uso adecuado en el vehículo a usarse.



Figura 25. Arduino Nano V3

Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano-rev>

3.8.3.2 Módulo L298n

El módulo acoplador L298n mostrado en la Figura 26 es un controlador de motores tipo puente H, el que permite controlar de manera específica la velocidad, y sentido de giro de un motor DC, brindando así la posibilidad de adaptar un sistema de baja potencia (Arduino) con un sistema de alta potencia (Motores) junto con una batería lo suficientemente acorde a las necesidades del vehículo, que permita el movimiento correcto dentro del invernadero o en lugares específicos de terreno.

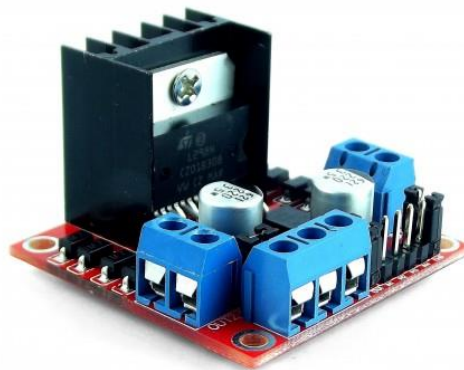


Figura 26. Modulo L298n

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>

3.8.3.3 GPS SAM-M8Q (SparkFun)

El módulo GPS SAM-M8Q mostrado en la Figura 27 es un dispositivo que permite la obtención de datos del Sistema de Posicionamiento Global de manera precisa, ya que es un controlador de alta fidelidad y baja latencia, que permite de manera conjunta trabajar con dispositivos autónomos y brindarles el servicio de recopilación y transmisión de datos de posición geográfica de manera rápida y concreta.

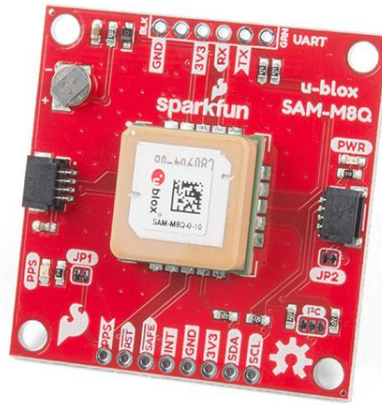


Figura 27. GPS SAM M8-Q

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/15210>

3.8.3.4 Sensores ultrasónicos HC-SR04

El sensor ultrasónico HC-SR04 es un módulo medidor de distancia de bajo costo que utiliza ondas de ultrasonido para establecer la distancia que tiene hacia un objeto ubicado de 2cm a 450cm gracias a su transmisor y receptor que cumplen con la función de detectar el tiempo de regreso de una onda y así obtener un estimado de distancia. Es importante destacar que gracias a su tamaño versátil, precisión y precio, es el módulo de medición más utilizado en el mercado.



Figura 28. Ultrasónico HC-SR04

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/15210>

3.9 Diagrama circuital

Una vez analizadas todas las consideraciones técnicas de cada uno de los componentes electrónicos a utilizar, es necesario conocer el diagrama circuital mostrado en la Figura 29 para así pasar a la parte de programación y pruebas del microcontrolador en conjunto de los dispositivos de acople.

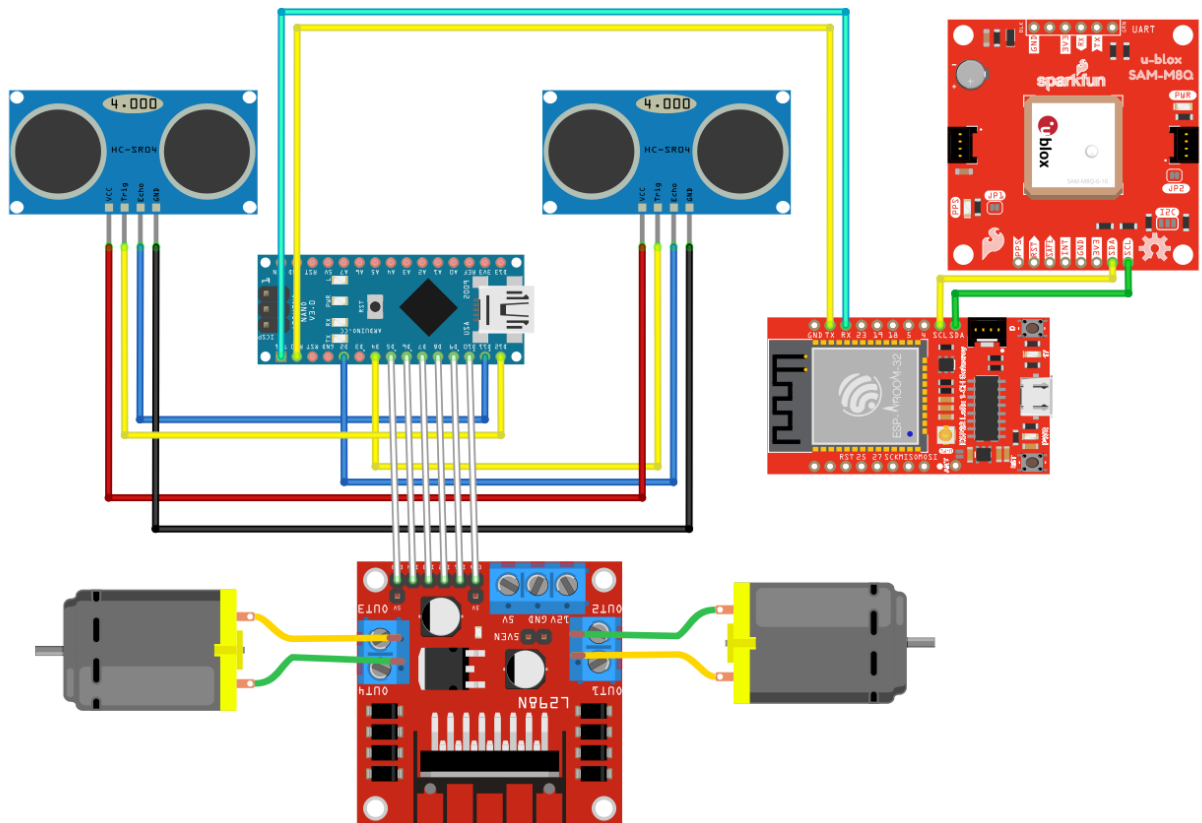


Figura 29. Diagrama Circuital de prueba de componentes

Fuente: Autoría

A partir de la consolidación del circuito principal y la prueba inicial de funcionamiento de componentes con cada uno de sus pines, es necesario la elaboración y diseño de la placa electrónica que permitirá el acople de todo el armazón del vehículo de manera organizada y escalable con los dispositivos del sistema, es por eso que se diseña la placa partir de un Software CAD de multiprocesos.

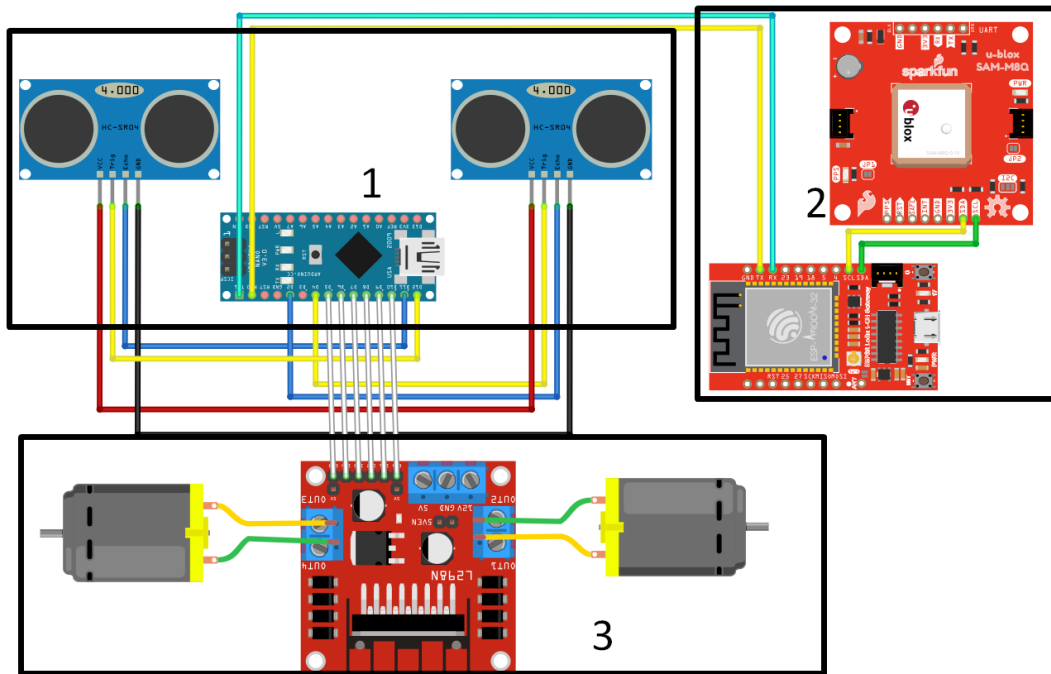


Figura 30. Partes Fundamentales del circuito

Fuente: Autoría

En base a la figura 29, podemos dividir en 3 partes fundamentales la circuitería del prototipo como la mostrada en la figura 30, en donde la parte 1 hace referencia directa a los dispositivos de muestreo de entorno, los cuales nos permiten concretamente la verificación, detección y prevención de obstáculos presentes en la trayectoria del sistema, pasando así a la parte 2, misma que es parte fundamental del sistema de comunicación de nodos con el ente principal, en éste caso el Raspberri Zero, mismo que recibe la información por parte del sistema de comunicación LoRa implementado tanto en los nodos secundarios como en el nodo principal del sistema, y como parte 3 final tenemos al conjunto de potencia y movimiento del sistema, mismo que está conformado por un acoplador de la parte eléctrica con la parte electrónica que a su vez permite el movimiento de motores ordenado en base a las necesidades del microcontrolador principal y el MSO.

3.10 Integración y pruebas iniciales del sistema

Siempre y cuando todas las etapas de programación y diseño del sistema se hayan completado, se puede pasar a las pruebas iniciales de integración del sistema, en donde todos los componentes electrónicos se juntan y la fase de pruebas indica si el diseño fue correctamente elaborado.

Las pruebas iniciales del prototipo corresponden a la integración de los componentes y la verificación de funcionamiento con el acople de cada uno de ellos hacia el microcontrolador, permitiendo así depurar los fallos y posibles falencias de diseño.

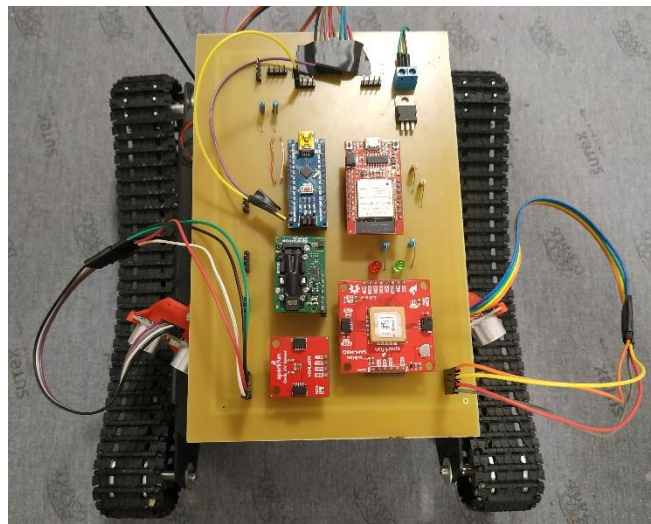


Figura 31. Vehículo con placa electrónica de prueba

Fuente: Autoría

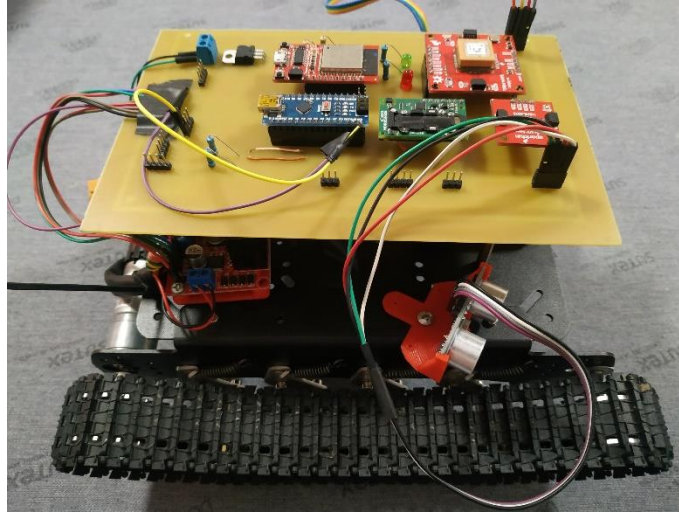


Figura 32. Vehículo con placa electrónica de prueba

Fuente: Autoría

Una vez ensamblado todo el hardware del sistema es posible pasar a las pruebas de funcionamiento iniciales, en donde el vehículo tomará datos del GPS e intentará moverse en un relieve de terreno lo más parecido al ambiente real como el mostrado en la Figura 33 y 34, para así obtener datos de calibración de motores, tiempos de recorrido y empezar a indagar sobre el algoritmo de rutas en conjunto del MSO.



Figura 33. Pruebas de Desplazamiento Inicial

Fuente: Autoría



Figura 34. Pruebas de Desplazamiento Inicial

Fuente: Autoría

3.11 Análisis de funcionamiento del diseño

Una vez culminadas las pruebas iniciales de acople de hardware y de software del sistema, se considera que el dispositivo cumple con las condiciones impuestas en los requerimientos iniciales, en donde todos los dispositivos electrónicos fueron probados para obtener las variables a tomar en cuenta a la hora de poner en marcha el sistema final.

El sistema de movimiento del vehículo cumple con todas las características necesarias para desplazarse dentro de un invernadero, gracias a que cuenta con un sistema de orugas accionado por dos motores de alta potencia que brindan un gran desempeño a la hora de movilizar un peso considerable.

El análisis previo de requerimientos brindó una visión general de los componentes electrónicos que debían ser utilizados, para así solventar las necesidades que un vehículo autónomo necesita a la hora de poner en marcha su sistema, empezando desde los sensores de toma de datos, hasta el funcionamiento correcto del sistema de posicionamiento global.

El GPS implementado permite obtener los datos de Latitud y Longitud de manera correcta y precisa, siempre y cuando el dispositivo se encuentre lo más despejado posible frente a obstáculos presentados con el satélite, en donde el establecimiento inicial de conexión y toma de datos correcta se da a partir de los 20 a 30 segundos de encendido del sistema.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO FINAL

En este capítulo se evidencia los resultados finales y pruebas de funcionamiento total del vehículo autónomo, en el que por medio del hardware implementado permitirá desempeñar de manera correcta las funciones tanto de hardware como de software del sistema, siendo así el movimiento y el procesamiento de los datos respectivamente. Esta fase de prueba se desarrolló en un entorno real (Invernadero), el que permitió analizar de manera exacta el comportamiento, precisión y funcionamiento de todas las características implementadas en el vehículo.

Una vez culminado el proceso del diseño del dispositivo, es necesario elaborar un cronograma de pruebas de funcionamiento como el que se muestra en la tabla 11, el que permita evidenciar de manera correcta cada uno de los parámetros a tomar en cuenta a la hora de desplazarse alrededor de una ruta, para así depurar las falencias finales tanto de hardware como de software.

El objetivo de los procesos de pruebas es el análisis minucioso de la ubicación, orientación, y procesamiento de los datos del sistema autónomo en un entorno real, dando así como resultado el análisis final de las ventajas y desventajas que presenta un proyecto de estas características, de este modo, las conclusiones finales y recomendaciones en base a un proyecto futuro se tornan más claras y concisas.

Tabla 11. Cronograma de Pruebas

CRONOGRAMA DE PRUEBAS			
TIPO DE PRUEBA	UBICACION DEL LUGAR DE PRUEBAS	RESULTADOS	DURACIÓN
Prueba 1. Pruebas de funcionamiento general y desplazamiento	Terreno con sembríos de muestra. Lugar: Atuntaqui-Imbabura	Se proyecta que el vehículo se desplace de manera correcta en un entorno no regular de tierra,	Del 3 al 11 de octubre
Prueba 2. Toma de datos GPS y análisis de ubicación y orientación	Terreno con sembríos de muestra. Lugar: Atuntaqui-Imbabura	Se prevé que el sistema pueda tomar los datos de ubicación de manera correcta para así orientarse y desplazarse	Una semana, 11 al 18 de octubre
Prueba 3. Acoplamiento de la adquisición de datos con el procesamiento	Domicilio. Atuntaqui-Imbabura	Se espera que el sistema de datos pueda comunicarse de manera correcta con el nodo principal e intercambiar información para su posterior procesamiento	Tres semanas, del 19 de octubre al 8 de noviembre
Prueba 4. Procesamiento de los datos, cálculo y análisis de rutas	Entorno Real Invernadero de ruscus y tomate. Iruguincho-San Rafael, Bolívar en la provincia de Carchi	La prueba final permitirá establecer los parámetros finales de funcionamiento y verificar todas las características implementadas en el sistema autónomo	5 días del 24 al 28 de noviembre

4.2 Prueba 1: Funcionamiento general y desplazamiento

Para evidenciar y validar el desplazamiento del vehículo dentro de un entorno de pruebas, en el que el terreno irregular permite tomar en cuenta las falencias iniciales tanto de movimiento como de comportamiento de hardware implementado, y de esta manera erradicar cualquier problema inicial para continuar con el protocolo de pruebas de manera satisfactoria; en esta fase se realiza: Pruebas físicas del movimiento del robot, pruebas del microcontrolador inteligente.

4.2.1 Pruebas físicas del movimiento del robot.

Se analizó cada uno de los movimientos programados en función de las características del vehículo, en el que el entorno de pruebas ayudó a determinar parámetros indispensables de movimiento con peso incorporado y duración de batería, los resultados se muestran en la tabla 12.

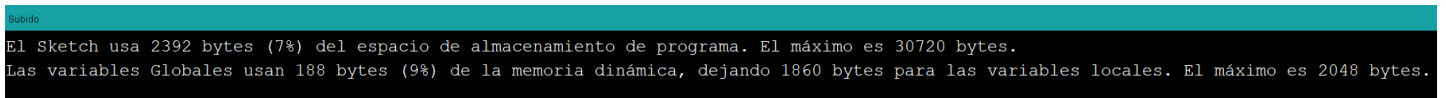
Tabla 12. Pruebas de movimiento

PRUEBA	DESEMPEÑO DEL SISTEMA
Función adelante	Correcto funcionamiento de desplazamiento
Función atrás	Correcto funcionamiento de desplazamiento
Función derecha	Correcto funcionamiento de giro
Función izquierda	Correcto funcionamiento de giro
Soporte de peso de los componentes	El sistema se comportó de manera correcta a la hora de llevar con el todo el peso de hardware implementado, debido a que los motores son de alta potencia no existió ningún problema. La implementación de una batería de alto amperaje permite que
Duración de la batería y detección de obstáculos	el dispositivo pueda moverse de manera constante durante 3 horas seguidas, tiempo suficiente para una correcta toma de datos. Los obstáculos fueron detectados satisfactoriamente en el entorno

4.2.2 Pruebas del microcontrolador inteligente.

Como se muestra en la figura 35, el microcontrolador principal encargado del movimiento del sistema utiliza tan solo el 7% del almacenamiento total y el 9% de la memoria dinámica, permitiendo así un correcto funcionamiento y sin sobrecarga a la hora de ejecutar acciones de movimiento.

El sketch de movimiento se encuentra dividido por métodos de acción, lo que permite establecer los tiempos de desplazamiento adecuados para la toma de datos iniciales, en el que las funciones de adelante, atrás, izquierda y derecha son independientes de la toma de datos GPS.



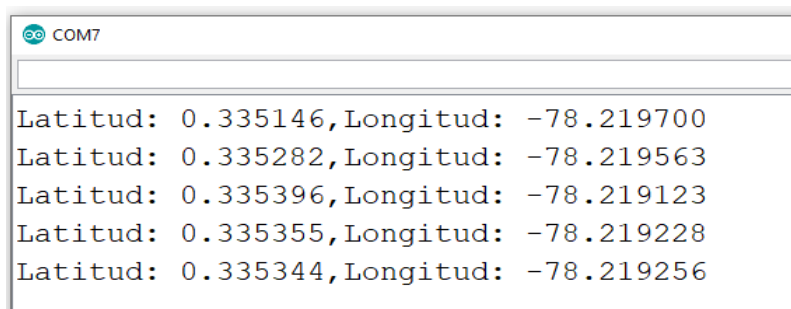
```
Subido
El Sketch usa 2392 bytes (7%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 30720 bytes.
Las variables Globales usan 188 bytes (9%) de la memoria dinámica, dejando 1860 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.
```

Figura 35. Estado de microcontrolador principal de movimiento

Fuente: Autoría

4.3 Prueba 2: Toma de datos GPS y análisis de ubicación y orientación

La prueba 2 se inicia específicamente con el módulo GPS SAM-M8Q, el que de manera nativa se conecta directamente a la red de satélites y permite mediante texto plano (String) extraer los datos de Latitud y longitud del dispositivo en movimiento, en este caso sería la ubicación inicial del dispositivo y sus respectivas marcas como las mostradas en la figura 36.



```
COM7
Latitud: 0.335146,Longitud: -78.219700
Latitud: 0.335282,Longitud: -78.219563
Latitud: 0.335396,Longitud: -78.219123
Latitud: 0.335355,Longitud: -78.219228
Latitud: 0.335344,Longitud: -78.219256
```

Figura 36. Datos de ubicación del sistema autónomo

Fuente: Autoría

4.3.1 Análisis y verificación de datos GPS

Una vez se establece la conexión de la antena GPS con el sistema de satélites, es necesario dar un tiempo de estabilización para que la información obtenida sea la correcta, de esta manera se procede a verificar los datos de latitud y longitud mostrados en la figura 36 con la ayuda de Google Maps, de este modo se comprobó que la ubicación del vehículo era la misma que la presentada por el módulo GPS, también mostrado en la figura 37.

De la misma manera se realizó la toma de datos de las ubicaciones del entorno real y sus respectivas marcas, para así tener una base de datos de WayPoints que permitieron el procesamiento de dicha información para un cálculo de distancias y rutas de desplazamiento del dispositivo.

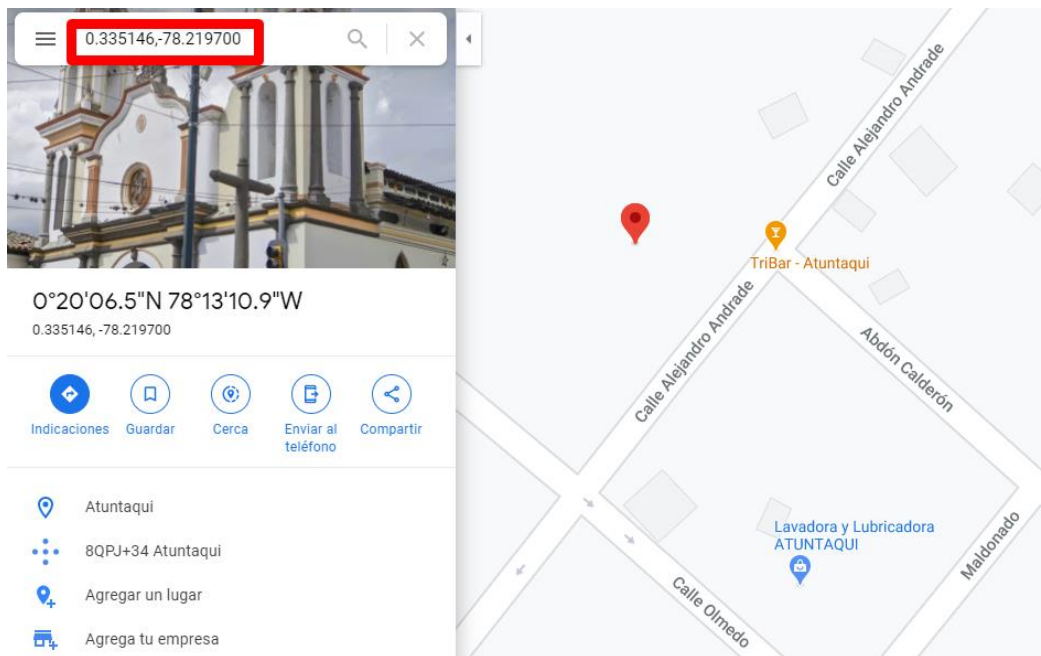


Figura 37. Comprobación mediante GoogleMaps

Fuente: Autoría

4.3.2 Establecimiento de WayPoints dentro del entorno aplicativo.

Al iniciar el proceso de mapeo se configuró al dispositivo con acciones de movimiento hacia adelante y hacia atrás, seguidas de pausas en puntos específicos de muestreo respectivamente, lo que permite una toma de datos correcta de cada WayPoint en cada zanja de cultivo dentro del invernadero como los mostrados en la figura 38, formando así una base de datos de ubicaciones críticas para un procesamiento posterior.



Figura 38. Mapeo de WayPoints

Fuente: Autoría



Figura 39. Mapeo de WayPoints dentro del campo aplicativo

Fuente: Autoría

Tabla 13. Ubicaciones Waypoints dentro del invernadero

ZANJA1		ZANJA2		ZANJA3		
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	-779179474	2136713	-779178088	2137289	-779180081	2136894
2	-779179188	2135986	-779178753	2136306	-779179622	2138027
3	-779178648	2137752	-779179238	2136915	-779179084	2137633
4	-779178224	2137588	-779179657	2137399	-779178623	2137477
5	-779177820	2137487	-779179968	2137328	-779178195	2137236

ZANJA4		ZANJA5		ZANJA6		
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	-779179316	2139230	-779180198	2137328	-779178530	2138631
2	-779179221	2138312	-779179888	2137118	-779178901	2137251
3	-779179462	2136221	-779179459	2136906	-779179318	2137357
4	-779179859	2136050	-779178910	2136061	-779179738	2137090
5	-779180076	2136613	-779178439	2136211	-779179965	2135632

ZANJA7		ZANJA8		ZANJA9		
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	-779178530	2138631	-779179971	2135406	-779179318	2140548
2	-779178901	2137251	-779179646	2134074	-779179070	2137944
3	-779179318	2137357	-779179229	2134614	-779179598	2137396
4	-779179738	2137090	-779178787	2134780	-779180100	2136526
5	-779179965	2135632	-779178421	2133986	-779180359	2136162

ZANJA10		
	Latitud	Longitud
1	-779180355	2136102
2	-779179948	2135963
3	-779179594	2136354
4	-779179220	2136263
5	-779178798	2135228

4.4 Acoplamiento de la adquisición de datos con el procesamiento para planificar una ruta (Prueba 3)

Una vez obtenida la base de datos de WayPoints que establecen los puntos críticos a recorrer dentro del invernadero, se procede a hacer el análisis de distancias existentes entre cada punto, para posteriormente enviarlos hacia el nodo central y así pueda procesar cada dato y elaborar una posible ruta a partir de la posición en la que se encuentra el vehículo en dicho momento gracias a la integración del MSO, en donde una interfaz gráfica como la mostrada en la figura 40 permitirá hacer la comprobación de cada una de las etapas dentro del invernadero.

The screenshot shows a software window titled "UTN-CristianPadilla MSO Vehículo Autónomo". The main content area has a header with "Universidad Técnica del Norte" in red and "Trabajo de titulación-Cristian Padilla" below it. The interface is divided into two columns, "NODO-A" and "NODO-B". Each column contains a "Posición Actual" section with "Latitud" and "Longitud" input fields. Below this is "Posición futura: - , -" and "Estado de Movimiento" with a red indicator. The "ZANJA #" is set to 8 for NODO-A and 2 for NODO-B. Each node also has "Distancia Recorrido 1" and "Distancia Recorrido 2" input fields. At the bottom of each column, it says "RECORRIDO FACTIBLE:" followed by a small blue dash.

Figura 40. Interfaz MSO inicial

Fuente: Autoría

Estas distancias se calculan a partir de la Ec.1 “distancia entre dos puntos”, la que utiliza como coordenadas X e Y la latitud y la longitud respectivamente, debido a que funcionan igual que la distribución cartesiana, permitiendo de manera general el análisis de cada WayPoint en base a la posición actual, en donde el término “X” representa la variable de latitud y el término “Y” a la variable de longitud.

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \text{ Ec.1}$$

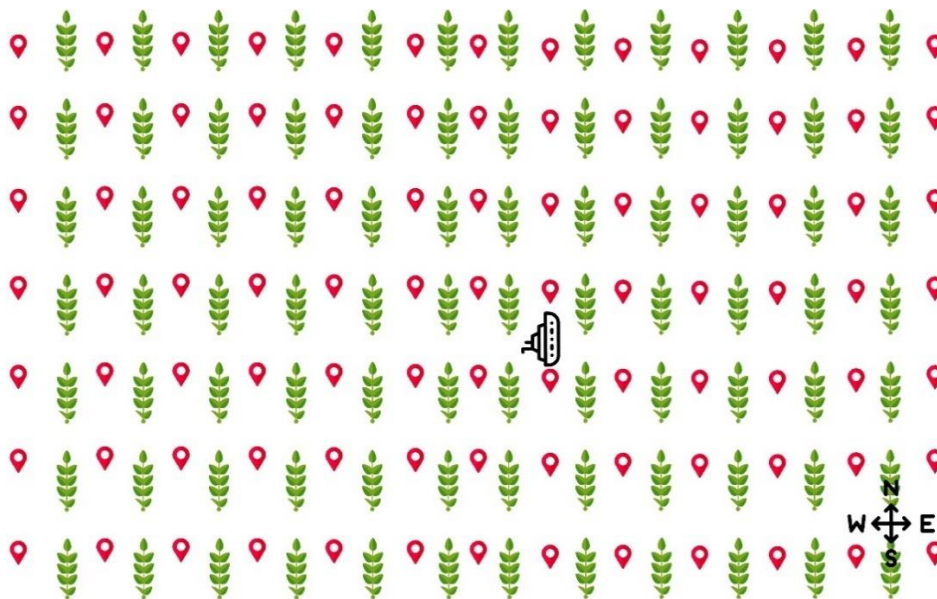


Figura 41. Ilustración de muestreo de puntos críticos

Fuente: Autoría

Tomando en cuenta que cada punto crítico va a tener una identificación, se realizó el cálculo de distancia de todas las posibles trayectorias sin regreso hacia un punto en específico, en donde la orientación del dispositivo permite descartar los puntos innecesarios como los mostrados en la figura 42, a los que no se debe acudir para un proceso de cálculo.

De esta manera es posible establecer una secuencia de puntos por los que el dispositivo deberá pasar para llegar a su destino y así acudir al reposo, tomar datos de cultivo,

enviarlos al nodo central, almacenarlos y esperar la confirmación para desplazarse hacia el siguiente punto crítico.

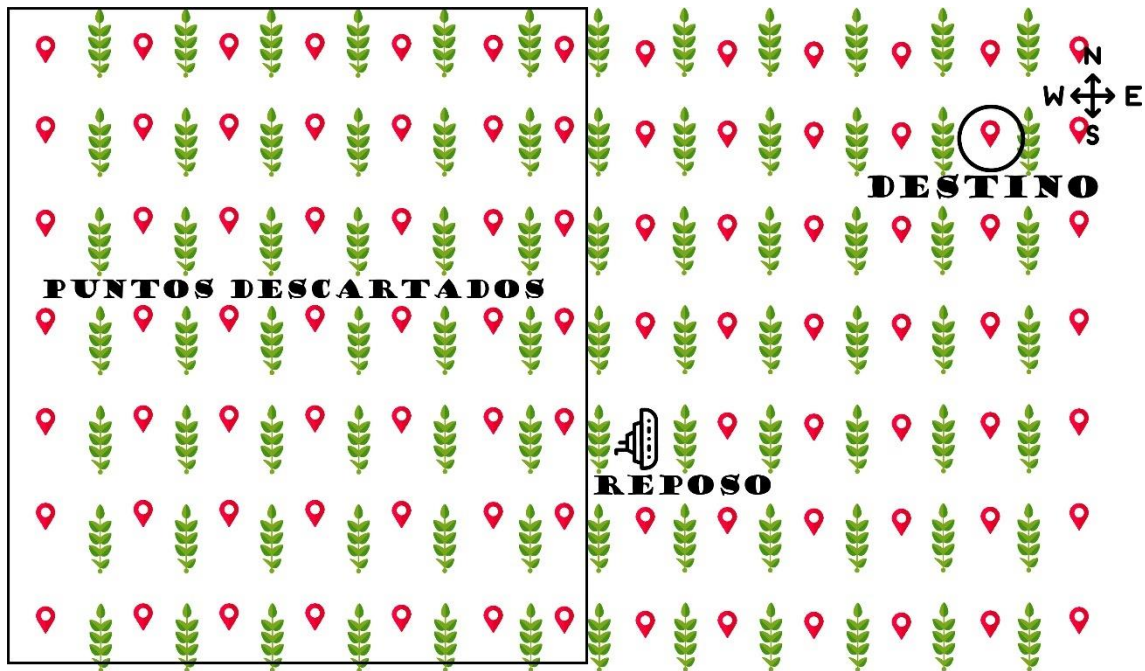


Figura 42. Ilustración de punto destino crítico

Fuente: Autoría

4.4.1 Verificación de datos tratados de en el terminal de Arduino y MSO.

Siguiendo el proceso anterior, el sistema autónomo estableció su posición y orientación actual, las mismas que le permitieron obtener los parámetros a tomar en cuenta para así elegir una ruta a futuro hacia un punto crítico del invernadero. Los WayPoints fueron muestreados en un campo de cultivo de 10 zanjas, con 5 ubicaciones respectivas por zanja, haciendo así un base de datos de 50 muestras totales que permiten analizar todo el proceso de desplazamiento del sistema autónomo.

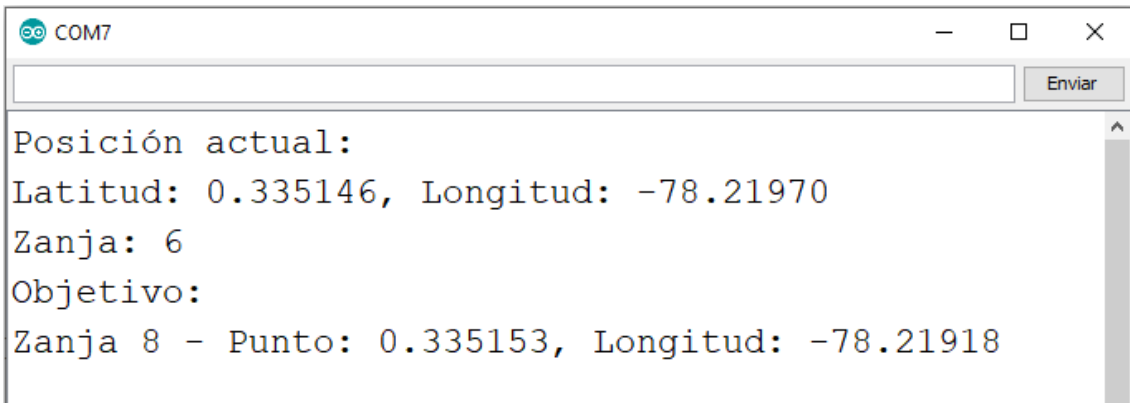


Figura 43. Posición actual y objetivo establecido del vehículo

Fuente: Autoría

Todos los datos mostrados en la figura 43 fueron enviados de manera simultánea al nodo central Raspberry por medio del módulo Lora, en el que de manera consecutiva analizó la información y la almacenó, para así realizar un cálculo posterior de las 2 posibles rutas siempre existentes hacia un objetivo planteado, gracias a la orientación del dispositivo y el descarte de puntos innecesarios fue posible el rápido envío y procesamiento de la información entre el nodo autónomo y el nodo central.

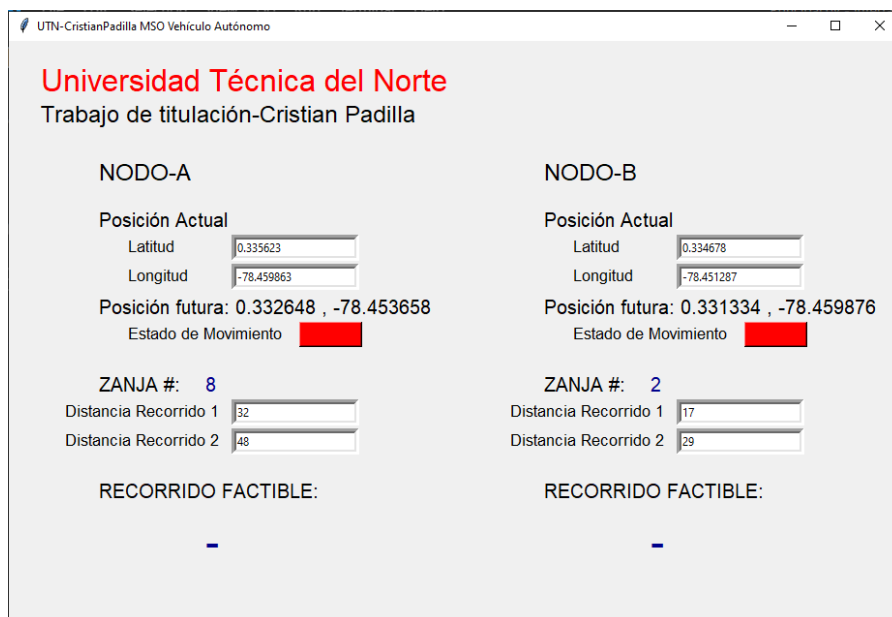


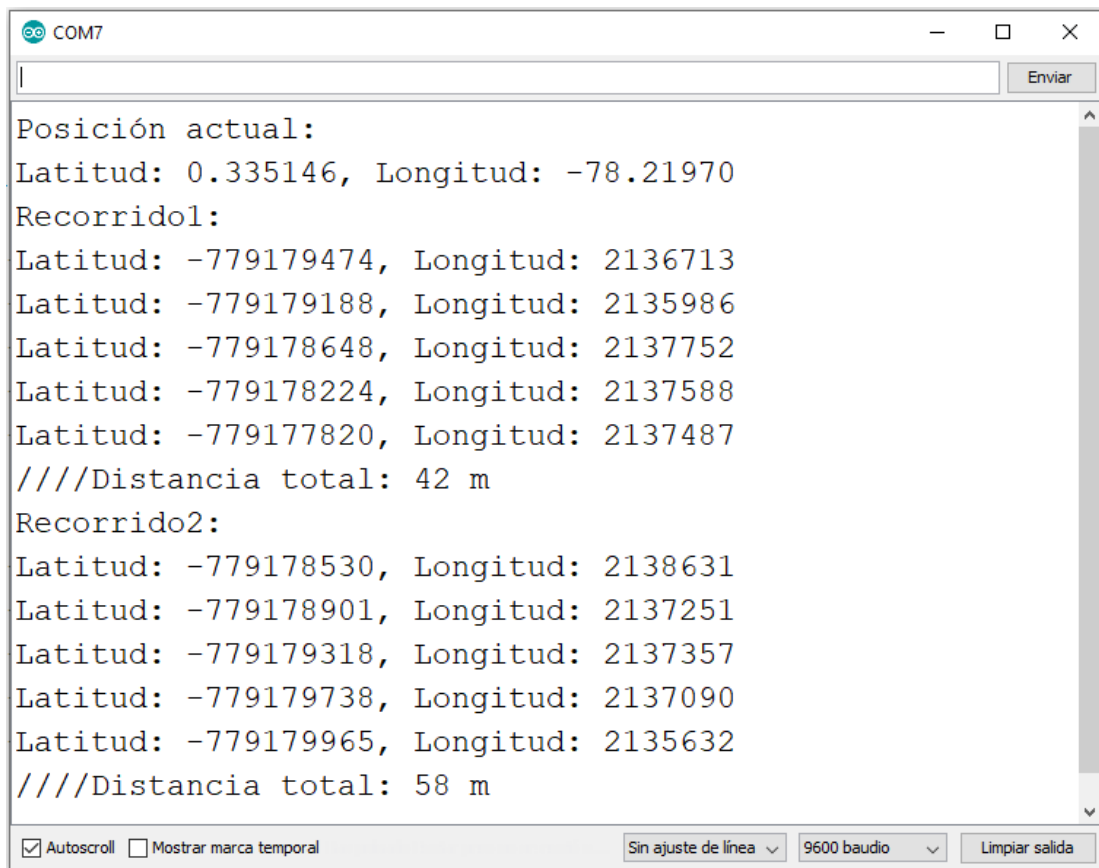
Figura 44. Posición actual y futura MSO

Fuente: Autoría

4.5 Procesamiento de los datos, cálculo y análisis de rutas (Prueba 4).

Una vez almacenados todos los datos mencionados anteriormente en el nodo central, comienza la fase de procesamiento, en la que se hizo el análisis de las dos posibles rutas existentes hacia un punto crítico, y de esta manera elegir la ruta factible y ejecutar las acciones de movimiento.

Las rutas fueron elaboradas a partir de las distancias mencionadas en el punto 4.4, las que posteriormente fueron enviadas hacia el nodo autónomo en forma de secuencia de Waypoints, permitiendo establecer el camino a desplazarse en términos comprendidos por el microcontrolador de movimiento del vehículo, en este caso, la longitud y latitud de los puntos a recorrer.



```
COM7
Posición actual:
Latitud: 0.335146, Longitud: -78.21970
Recorrido1:
Latitud: -779179474, Longitud: 2136713
Latitud: -779179188, Longitud: 2135986
Latitud: -779178648, Longitud: 2137752
Latitud: -779178224, Longitud: 2137588
Latitud: -779177820, Longitud: 2137487
////Distancia total: 42 m
Recorrido2:
Latitud: -779178530, Longitud: 2138631
Latitud: -779178901, Longitud: 2137251
Latitud: -779179318, Longitud: 2137357
Latitud: -779179738, Longitud: 2137090
Latitud: -779179965, Longitud: 2135632
////Distancia total: 58 m
 Autoscroll  Mostrar marca temporal Sin ajuste de línea 9600 baudio Limpiar salida
```

Figura 45. Recorrido de las 2 posibles rutas

Fuente: Autoría

UTN-CristianPadilla MSO Vehículo Autónomo

Universidad Técnica del Norte

Trabajo de titulación-Cristian Padilla

<p>NODO-A</p> <p>Posición Actual</p> <p>Latitud <input type="text" value="0.335623"/></p> <p>Longitud <input type="text" value="-78.459863"/></p> <p>Posición futura: 0.332648 , -78.453658</p> <p>Estado de Movimiento ██████████</p> <p>ZANJA #: <input type="text" value="8"/></p> <p>Distancia Recorrido 1 <input type="text" value="32"/></p> <p>Distancia Recorrido 2 <input type="text" value="48"/></p> <p>RECORRIDO FACTIBLE:</p> <p style="text-align: center;">-</p>	<p>NODO-B</p> <p>Posición Actual</p> <p>Latitud <input type="text" value="0.334678"/></p> <p>Longitud <input type="text" value="-78.451287"/></p> <p>Posición futura: 0.331334 , -78.459876</p> <p>Estado de Movimiento ██████████</p> <p>ZANJA #: <input type="text" value="2"/></p> <p>Distancia Recorrido 1 <input type="text" value="17"/></p> <p>Distancia Recorrido 2 <input type="text" value="29"/></p> <p>RECORRIDO FACTIBLE:</p> <p style="text-align: center;">-</p>
--	--

Figura 46. Calculo de distancias posibles rutas MSO

Fuente: Autoría

4.5.1 Elección de rutas.

Como parte final, el sistema autónomo elige la ruta factible hacia el punto crítico, permitiendo así el recorrido desde un punto actual hacia un punto objetivo establecido por el usuario, en el que el desenlace se basa en la toma de datos de cultivo de toda la extensión del terreno.

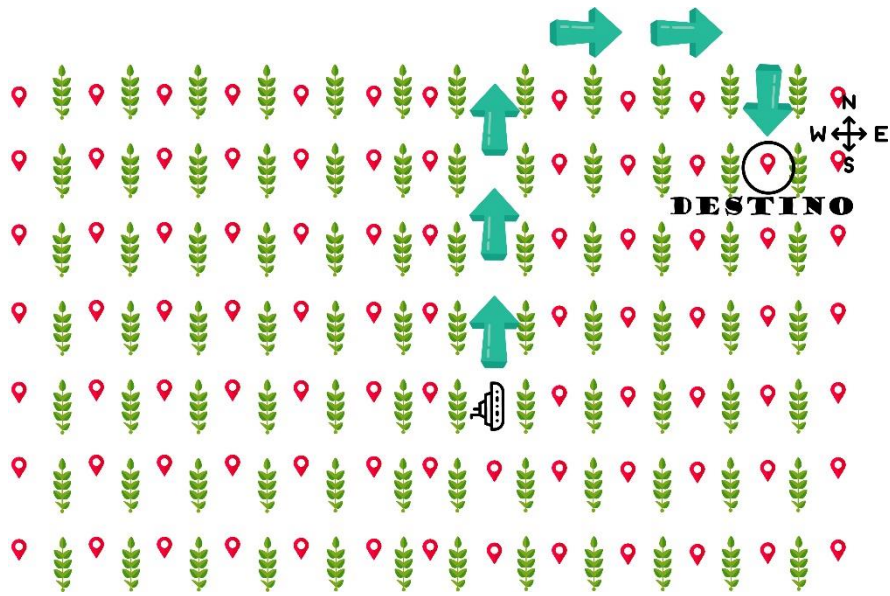


Figura 47. Transición de ruta correcta (Ruta1)

Fuente: Autoría

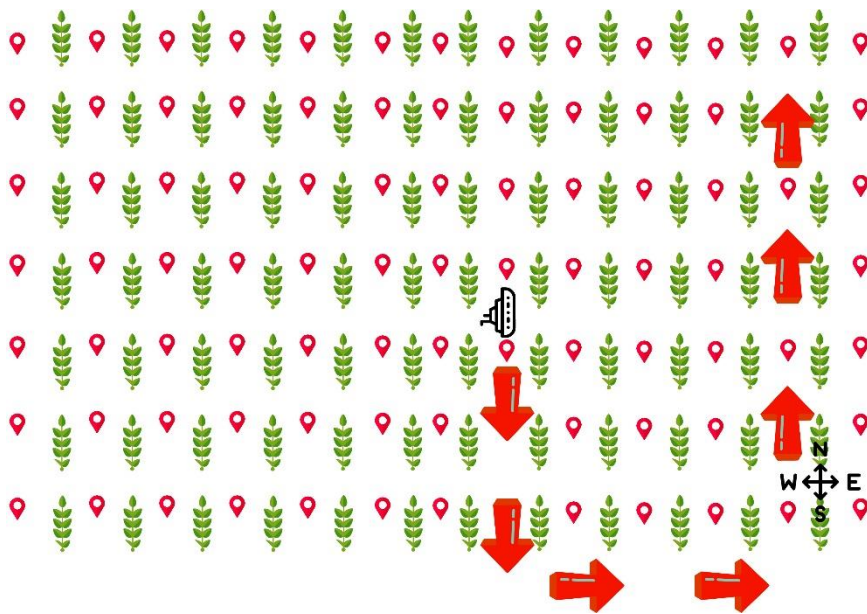


Figura 48. Transición de ruta incorrecta (Ruta2)

Fuente: Autoría

UTN-CristianPadilla MSO Vehículo Autónomo

Universidad Técnica del Norte

Trabajo de titulación-Cristian Padilla

NODO-A

Posición Actual

Latitud

Longitud

Posición futura: 0.332648 , -78.453658

Estado de Movimiento ■

ZANJA #: **8**

Distancia Recorrido 1

Distancia Recorrido 2

RECORRIDO FACTIBLE:

1

NODO-B

Posición Actual

Latitud

Longitud

Posición futura: 0.331334 , -78.459876

Estado de Movimiento ■

ZANJA #: **2**

Distancia Recorrido 1

Distancia Recorrido 2

RECORRIDO FACTIBLE:

1

Figura 49. Elección de ruta factible y posterior movimiento

Fuente: Autoría

4.6 Análisis final de resultados del sistema

Culminadas todas las pruebas establecidas en la tabla 11, se destaca que la utilización de vehículos autónomos dentro de invernaderos que aun funcionan con conocimientos empíricos de cultivo pueden ayudar al monitoreo del área total del terreno y así dar como resultado una mejor producción de alimentos, de esta manera, la inclusión de tecnologías móviles dentro de este tipo de sistemas de cultivo se ve mucho más factible que en el pasado, permitiendo el desarrollo e implementación de proyectos en el área.

Las pruebas del sistema se realizan en un ambiente real, lo que permite analizar las funciones de movimiento y envío de datos de manera más precisa, haciendo que los márgenes de error de GPS y detección de obstáculos puedan ser más bajos, de esta forma el vehículo se desplazó por medio de todos los puntos muestreados con el fin de crear una base de datos que permitió el análisis posterior de las rutas a seguir.

Una vez recolectado todos los datos necesarios GPS, el sistema pasa a la etapa final de procesamiento y cálculo de rutas, lo que permite a un vehículo autónomo moverse de manera rápida por una secuencia de puntos factible, ahorrando así recursos de hardware, en este caso el ahorro de batería, como consecuencia a esto, el sistema podría funcionar por mucho más tiempo y así cumplir con las necesidades de monitoreo general del cultivo en tiempo real y solventar las necesidades del agricultor.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo los fundamentos teóricos necesarios para desarrollar un sistema que permita la planificación de rutas factibles enfocándose directamente al campo aplicativo de la agricultura en conjunto de los vehículos autónomos, en donde cada uno de los parámetros analizados permitió la correcta elección de hardware y software del sistema.
- Del fundamento teórico que presenta el trabajo se pudo determinar que la comunicación satelital influye notablemente en el posicionamiento de los vehículos autónomos, debido a que si se desea realizar funciones en el menor tiempo posible es necesario un retardo muy bajo a la hora de cálculo y recepción de datos de posicionamiento, tomando en cuenta que estos datos serán procesados en el menor tiempo posible para poder ejecutar acciones posteriores de la mejor manera.
- En este sentido, un vehículo autónomo necesita funcionar de manera independiente, es por eso que se propuso un sistema de comunicación y movimiento para cada nodo expuesto dentro del invernadero, lo que permite fijar las reglas, parámetros y algoritmos de establecimiento de rutas que permitieron un análisis de la información obtenida, para así culminar con un correcto desplazamiento autónomo del vehículo dentro de toda la extensión de cultivo.
- Se concluye que la correcta elección del hardware permite la elaboración de un dispositivo autónomo eficiente y capaz de aprovechar todos los recursos que posee, en donde los stakeholders de arquitectura, diseño y comunicación permitieron elaborar un vehículo autónomo lo más compacto y eficaz posible.
- El uso de un nodo central de procesamiento permitió la correcta manipulación de la información que recibe por parte del vehículo autónomo, en este sentido, se

concluye que el uso de recursos de hardware centralizados con equipos más potentes permite la escalabilidad de los sistemas y evita la sobrecarga de procesos dentro de un mismo nodo, debido a que toda la información es almacenada, procesada y reenviada por parte del nodo central, evitando así la sobre carga de procesos para un dispositivo dotado de menor cantidad de recursos.

- Con la recopilación de los datos necesarios de posicionamiento GPS en toda la extensión de cultivo, se obtuvo permitió un análisis en condiciones reales del invernadero, como consecuencia se elaboró una base de datos geográficos que ayudó a la posterior elección de una ruta factible de desplazamiento del sistema autónomo, en el que las condiciones y restricciones del área de cultivo jugaron un papel fundamental a la hora trazar una ruta y moverse dentro de ella.
- Finalmente se estableció una ruta óptima en el vehículo autónomo dentro del invernadero a través de la gestión y procesamiento de los datos de ubicación enviados hacia el nodo central, permitiendo así la toma de muestras en puntos críticos del cultivo, en donde la distribución del nodo principal y el nodo secundario solventó las necesidades y funciones que debe realizar un vehículo autónomo dentro de un invernadero.

RECOMENDACIONES

- A la hora de ensamblar un sistema que va a estar destinado a movimientos dentro de terrenos irregulares, es recomendable asegurarse que todas las partes mecánicas se encuentren en buen estado para así realizar desplazamientos sin esfuerzo y que permitan un buen recorrido por la extensión del cultivo.
- Siempre es necesario verificar que el área del terreno a muestrear se encuentre lo más seca posible debido a que la implementación de dispositivos electrónicos puede verse afectada por la presencia de agua o residuos lodosos.
- Es recomendable realizar el muestreo de las posiciones geográficas de manera paralela y por un mínimo de 3 veces por ubicación, dando como resultado una tabla de WayPoints más acertada que servirá de mejor manera a la hora de establecer una ruta.
- La implementación de hardware de detección de obstáculos siempre es necesaria debido a que no todos los invernaderos presentan las mismas condiciones, es por eso que a la hora de toparse con un obstáculo los sistemas deben comprender lo que está pasando y tomar una decisión acertada para seguir con su funcionamiento normal.
- Se recomienda adquirir un sistema de baterías lo suficientemente potentes para alimentar el sistema completo por un período de tiempo prudente para tomar muestras acertadas, pero a su vez que tengan un peso que no afecte al movimiento del mismo a la hora de trasladarse de un punto a otro.

BIBLIOGRAFÍA

- Espí, E. (2012). *Materiales para cubierta de invernaderos. Cuadernos de estudios agroalimentarios*, (3),71-88,
Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5082656>.
- Vega, A. M. (2014). *Mantenimiento y manejo de invernaderos*. Ediciones Paraninfo, SA, Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5082654>
- Haboucha, C. J., Ishaq, R., & Shiftan, Y. (2017). *User preferences regarding autonomous vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 37-49.
Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X17300177>
- Shah, S., Dey, D., Lovett, C., & Kapoor, A. (2018). *Airsim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles. In Field and service robotics* (pp. 621-635). Springer, Retrieved from Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-67361-5_40
- Schwarting, W., Alonso-Mora, J., & Rus, D. (2018). *Planning and decision-making for autonomous vehicles. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*.
Retrieved from <https://www.annualreviews.org/eprint/d7k8kgZyfaxixyjrtqdq/full/10.1146/annur-ev-control-060117-105157>
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P. M., & Axhausen, K. W. (2017). *Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities?. Research in transportation economics*, 62, 80-91.

Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0739885917300021>

- Greenwood, B., & Scarr, J. L. (2018). *U.S. Patent No. 10,061,625*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US10061625B2/en>

- Nedic, V., Despotovic, D., Cvetanovic, S., Despotovic, M., & Eric, M. (2016). *Innovation of IT metasystems by means of event-driven paradigm using QDMS. Enterprise Information Systems, 10(8), 893-910*

Retrieved from

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17517575.2014.996779>

- Bottrighi, A., & Terenziani, P. (2017). *META-GLARE: A meta-system for defining your own computer interpretable guideline system—Architecture and acquisition. Artificial intelligence in medicine, 72, 22-41.*

Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S093336571530018X>

- Stallings W & Moumita M. (2014). *Data and computer communications.*

Retrieved from <https://www.worldcat.org/title/data-and-computer-communications/oclc/870646291?referer=di&ht=edition>

- Gupta, N. K. (2016). *Inside Bluetooth low energy. Artech House.*

Retrieved from

https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=3nCuDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=bluetooth&ots=rL_ao0wfnh&sig=mXT8C8Dog9k84wzL90hQ6jxE0r8

- Sinha, R. S., Wei, Y., & Hwang, S. H. (2017). *A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. Ict Express, 3(1), 14-21.*

Retrieved

from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517300061>

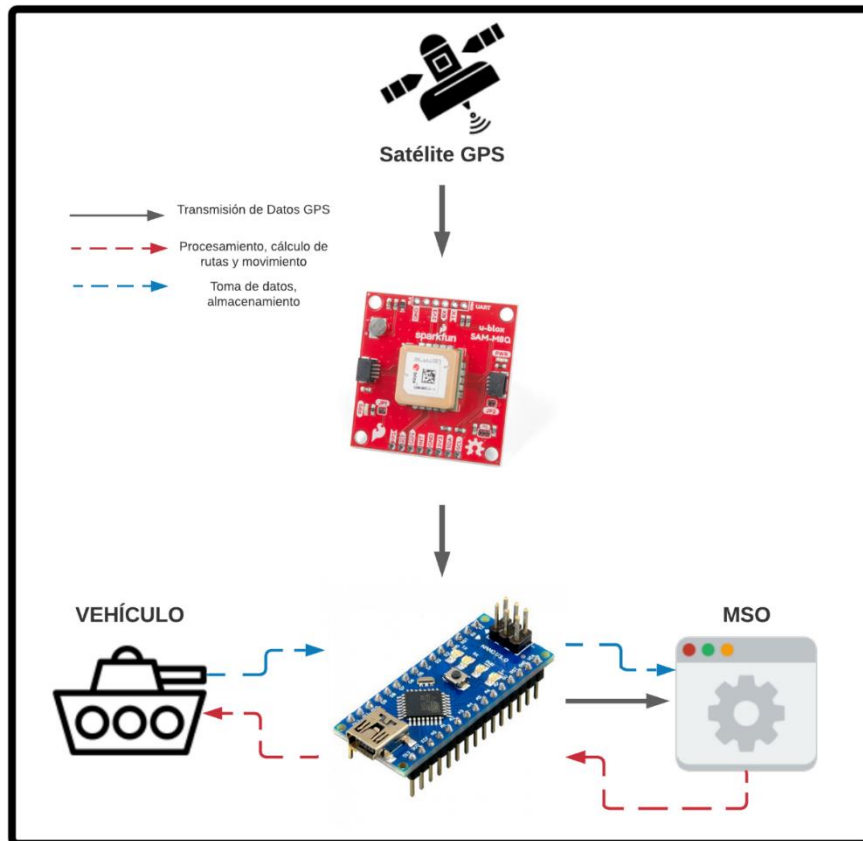
- Castillo, C. A., Medrano, J. F., Tejerina, M., & González, S. C. (2019, June). *Site survey para la implementación de una red WI-FI. In XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2019, Universidad Nacional de San Juan).*

Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/76963>

ANEXOS

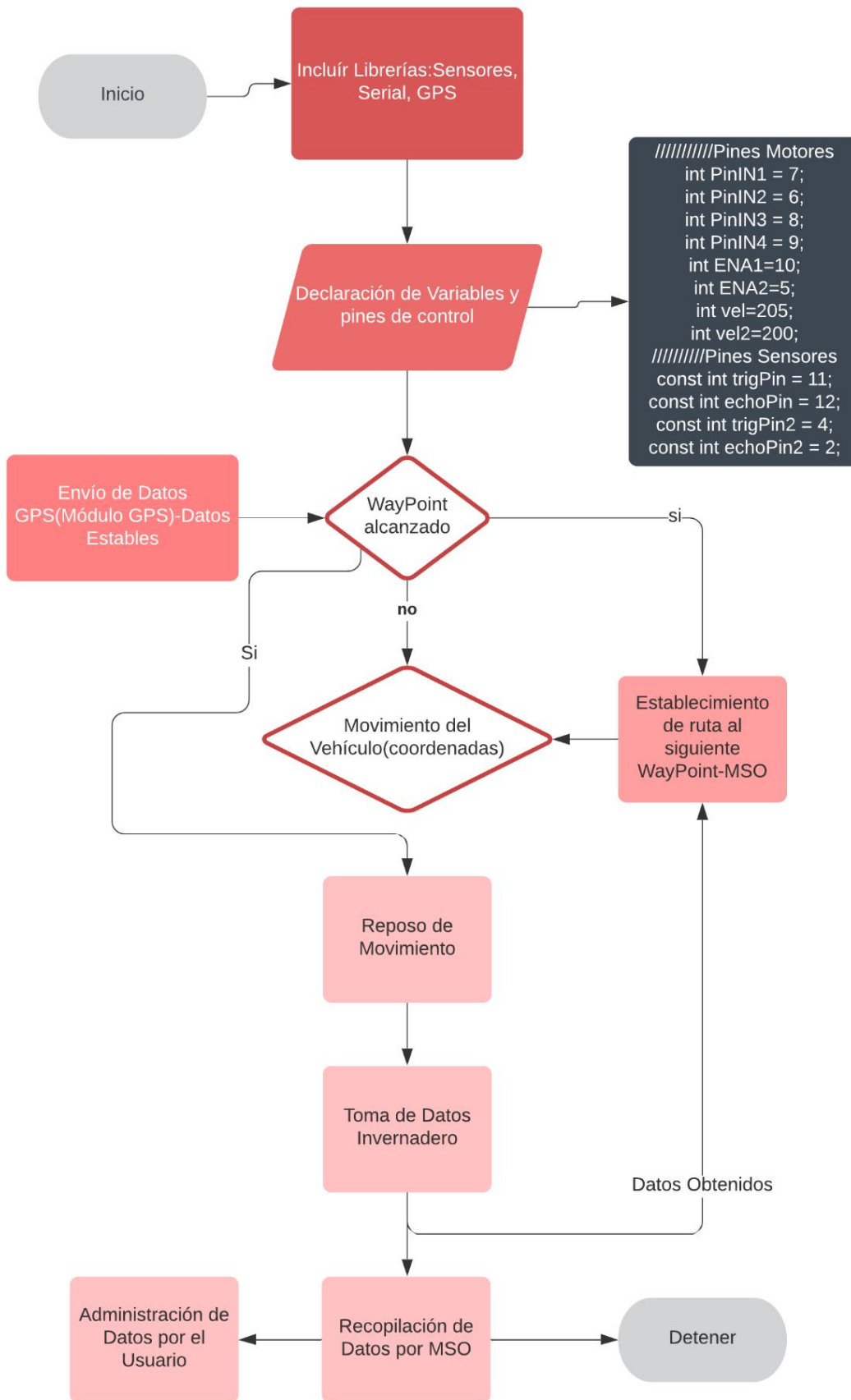
DIAGRAMAS IMPLEMENTADOS

- Diagrama de bloques del funcionamiento general del sistema

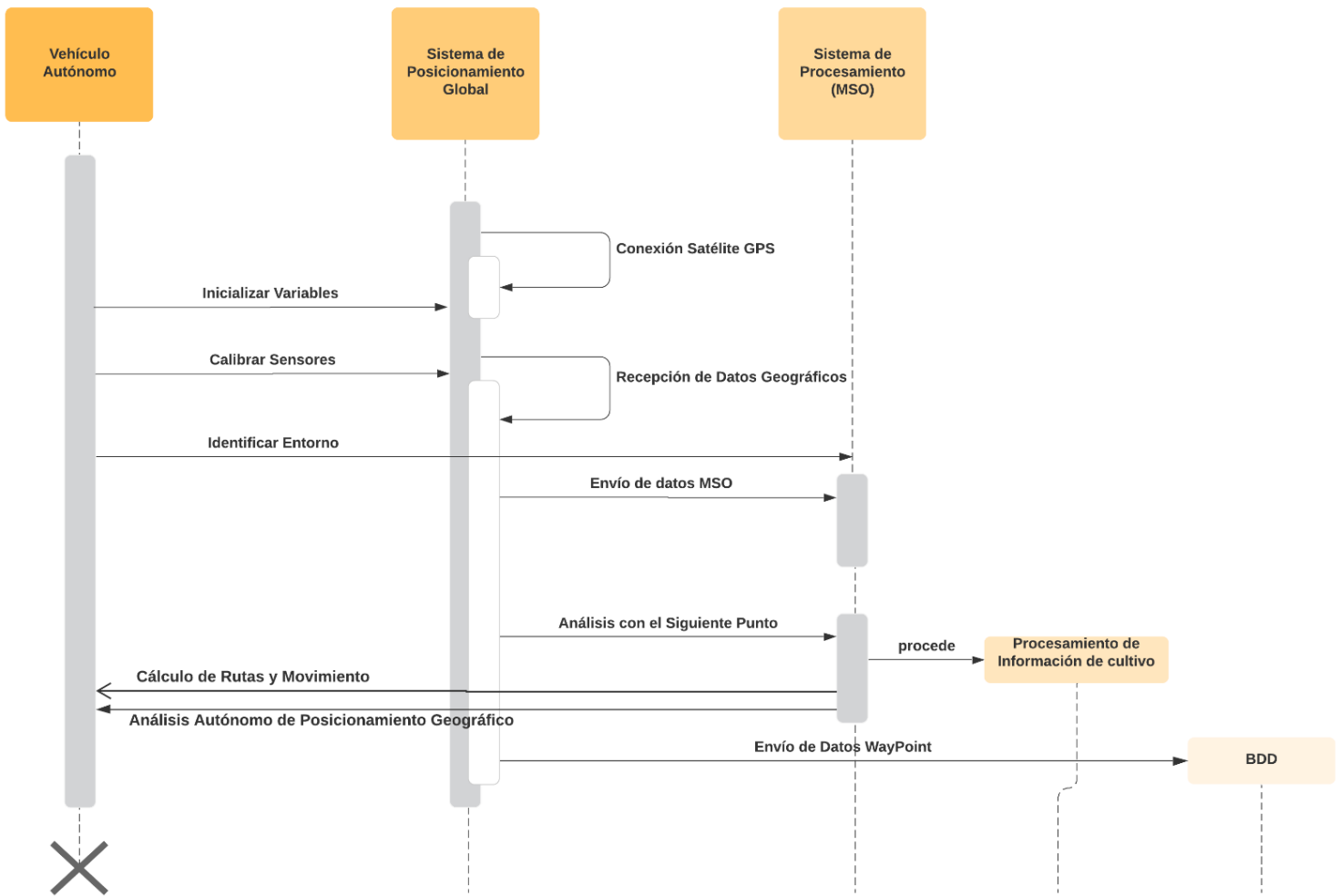


El diagrama de bloques general de funcionamiento del sistema permite observar cada una de las etapas dentro del dispositivo, en donde el funcionamiento en conjunto de estas es una parte fundamental para el desempeño y movimiento total del vehículo.

- Diagrama de flujo del movimiento del sistema

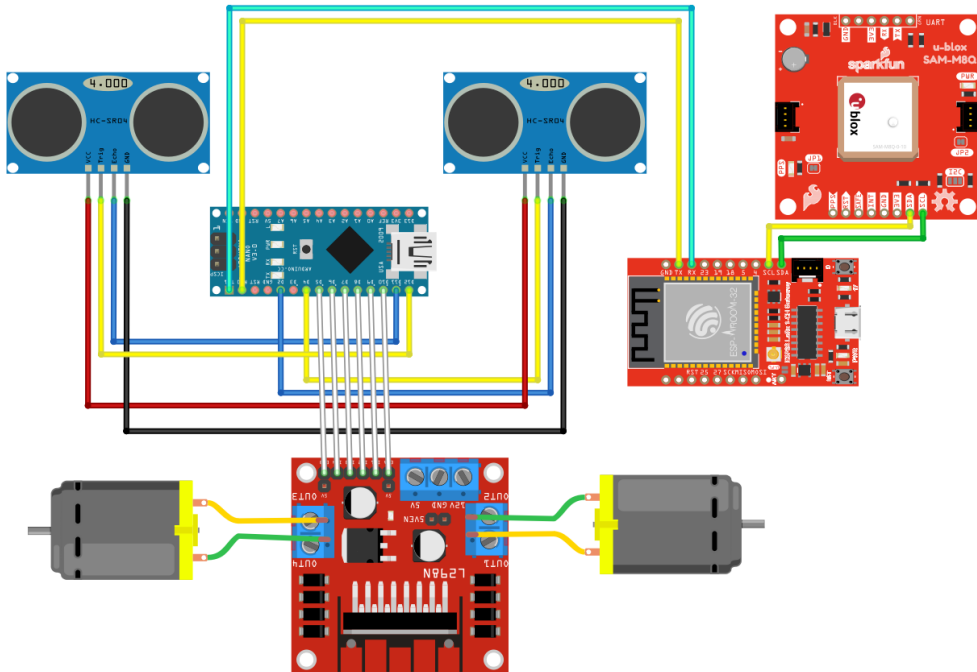


- **Diagrama secuencial del funcionamiento general del sistema**



A la hora de comprender el funcionamiento de un sistema autónomo es necesario tomar en cuenta las secuencias y procesos a seguir en un determinado instante, es por eso que se recurre a la utilización pde un diagrama secuencial y de flujo, mismos que permitieron conocer el orden de los procesos llevados a cabo a la hora de planificar una ruta y monitorear el medio para así tomar la decisión correcta en cuanto al movimiento y posicionamiento del sistema.

- Diagrama circuital esquemático de los componentes del sistema (Elaborado por: Cristian Padilla-2020-Software Fritzing- <https://github.com/Crisand071995/SistemaAutonomoInvernaderos>).



El esquemático principal se divide en 3 partes fundamentales, en donde la parte 1 hace referencia directa a los dispositivos de muestreo de entorno, los cuales nos permiten concretamente la verificación, detección y prevención de obstáculos presentes en la trayectoria del sistema, pasando así a la parte 2, misma que es parte fundamental del sistema de comunicación de nodos con el ente principal, en éste caso el Raspberri Zero, mismo que recibe la información por parte del sistema de comunicación LoRa implementado tanto en los nodos secundarios como en el nodo principal del sistema, y como parte 3 final tenemos al conjunto de potencia y movimiento del sistema, mismo que está conformado por un acoplador de la parte eléctrica con la parte electrónica que a su vez permite el movimiento de motores ordenado en base a las necesidades del microcontrolador principal y el MSO.

5.1 Código fuente de movimiento y detección de obstáculos (Elaborado por: Cristian

Padilla-2020-Software

IDE

Arduino-

<https://github.com/Crisand071995/SistemaAutonomoInvernaderos>).

```
int PinIN1 = 7; //pines de habilitación de motor
int PinIN2 = 6; //pines de habilitación de motor
int PinIN3 = 8; //pines de habilitación de motor
int PinIN4 = 9; //pines de habilitación de motor
int ENA1=10; //pines de habilitación de motor
int ENA2=5; //pines de habilitación de motor
int vel=205; //velocidad motor1
int vel2=173; //velocidad motor2
const int trigPin = 11;//pines sensores de movimiento
const int echoPin = 12;//pines sensores de movimiento
const int trigPin2 = 4;//pines sensores de movimiento
const int echoPin2 = 2;//pines sensores de movimiento
// variables de distancia de obstáculos
long duration;
int distance;
long duration2;
int distance2;

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // Entradas y salidas del sensor de movimiento 1
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(trigPin2, OUTPUT); // Entradas y salidas del sensor de movimiento 2
  pinMode(echoPin2, INPUT);
  pinMode(PinIN1, OUTPUT);
  pinMode(PinIN2, OUTPUT); // Pines de salida de los motores de potencia
  pinMode(PinIN3, OUTPUT);
  pinMode(PinIN4, OUTPUT);
  pinMode(ENA1, OUTPUT);
```

```

pinMode (ENA2, OUTPUT);
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
Serial.println('E');
}
void loop() {
///// Movimiento hasta encontrar un siguiente WayPoint
hcsr041();
hcsr042();
if(distance<=15)Derecha();
else
if(distance2<=15)Izquierda();
else Adelante();
if (Serial.available() > 0) {
char dato = Serial.read();
if (dato=='R'){
Adelante();
delay(1000);
MotorStop();
Serial.println('E');
}
}
Adelante();
delay(6000);
MotorStop();
Serial.println('E');
delay(4000);
}
//FUNCIONES DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS
void hcsr041(){
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);

```



```

digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
//Calculo de la distancia del obstaculo1
distance= duration*0.034/2;
//Serial.print("Distance: ");
//Serial.println(distance);
}
void hcsr042(){
digitalWrite(trigPin2, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin2, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin2, LOW);
duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
//Calculo de la distancia del obstaculo2
distance2= duration2*0.034/2;
//Serial.print("Distance-----2: ");
//Serial.println(distance2);
}
//FUNCIONES DE MOVIMIENTO
void Adelante()
{
digitalWrite (PinIN1, LOW);
digitalWrite (PinIN2, HIGH);
digitalWrite (PinIN3, LOW);
digitalWrite (PinIN4, HIGH);
analogWrite(ENA1,vel);
analogWrite(ENA2,vel2);
}
void Atras()

```

```

{
digitalWrite (PinIN1, HIGH);
digitalWrite (PinIN2, LOW);
digitalWrite (PinIN3, HIGH);
digitalWrite (PinIN4, LOW);
analogWrite(ENA1,vel);
analogWrite(ENA2,vel2);
}
void Derecha()
{
digitalWrite (PinIN1, LOW);
digitalWrite (PinIN2, HIGH);
digitalWrite (PinIN3, HIGH);
digitalWrite (PinIN4, LOW);
analogWrite(ENA1,vel);
analogWrite(ENA2,vel2);
}
void Izquierda()
{
digitalWrite (PinIN1, HIGH);
digitalWrite (PinIN2, LOW);
digitalWrite (PinIN3, LOW);
digitalWrite (PinIN4, HIGH);
analogWrite(ENA1,vel);
analogWrite(ENA2,vel2);
}
void MotorStop()
{
digitalWrite (PinIN1, LOW);
digitalWrite (PinIN2, LOW);
digitalWrite (PinIN3, LOW);
digitalWrite (PinIN4, LOW);

```

```
}
```

5.2 Código fuente de adquisición de datos GPS y elección de rutas (Elaborado por:

Cristian Padilla-2020-Software IDE Arduino-

<https://github.com/Crisand071995/SistemaAutonomoInvernaderos>).

```
float waypoint1[3][2]={ {0.333938, -78.125792},
                        {0.334093, -78.125809}, //WayPoints analizados
                        {0.334272, -78.125808}};

float distancias[3]={0,0,0}; //Distancias de referencia para ubicacion actual
float distanciaref=0;
float tolerancia=1;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
  //Adquisición de datos cada 1 segundo
  datosGPS();
  medidas();
  delay(1000);
}
//Funcion de Calculo de distancia entre punto actual y punto destino
float calc_dist(float flat1, float flon1, float flat2, float flon2)
{
  float dist_calc=0;
  float dist_calc2=0;
  float diflat=0;
  float diflon=0;
  diflat=radians(flat2-flat1);
  flat1=radians(flat1);
  flat2=radians(flat2);
  diflon=radians((flon2)-(flon1));
  dist_calc = (sin(diflat/2.0)*sin(diflat/2.0));
```

```

dist_calc2= cos(flat1);
dist_calc2*=cos(flat2);
dist_calc2*=sin(diflon/2.0);
dist_calc2*=sin(diflon/2.0);
dist_calc +=dist_calc2;
dist_calc=(2*atan2(sqrt(dist_calc),sqrt(1.0-dist_calc)));
dist_calc*=6371000.0; //Convertir a metros
//Serial.print("Distancia al WayPoint: ");
//Serial.println(dist_calc);
distanciaref=dist_calc;
delay(200);
//return dist_calc;
}
//Funcion de cálculo de pendiente para orientación del dispositivo
void medidas(){
  for(int c=0;c<=3;c++){
    calc_dist(pos0[0], pos0[1], waypoint1[c][0], waypoint1[c][1]);
    distancias[c]=distanciaref;
  }
  Serial.println(distancias[0]);
  Serial.println(distancias[1]);
  Serial.println(distancias[2]);
  Serial.println("////////////////////////////////////////");
  float pendiente=((-78.125792-(pos0[0]))/(0.333938-(pos0[1])));
  Serial.println(pendiente);
  Serial.println("////////////////////////////////////////");
}
//Funcion de lectura del modulo GPS
void datosGPS(){
  if (Serial.available())
  {
    str = Serial.readStringUntil('\n');

```

```

for (int i = 0; i < dataLength ; i++)
{
    int index = str.indexOf(separator);
    pos0[i] = str.substring(0, index).toInt();
    str = str.substring(index + 1);
    // delay(15);
}
pos0[0]=pos0[0]/10000000;
pos0[1]=pos0[1]/10000000;
// Serial.print("Latitud Actual: ");
// Serial.println(pos0[0],7);
// Serial.print("Longitud Actual: ");
// Serial.println(pos0[1],7);
}
}

```

5.3 Código fuente Interfaz MSO (Elaborado por: Cristian Padilla-2020-Software

Python **Visual** **Studio** **Code-**

<https://github.com/Crisand071995/SistemaAutonomoInvernaderos>).

```

from tkinter import *
window=Tk()
# titulos
window.title('UTN-CristianPadilla MSO Vehículo Autónomo')
window.geometry("900x600+10+20")
#btn=Button(window, text="Reporte", fg='black')
#btn.place(x=800, y=500)
lbl=Label(window, text="Universidad Técnica del Norte", fg='red', font=("Helvetica",
24))
lbl.place(x=30, y=20)
lbl=Label(window, text="Trabajo de titulación-Cristian Padilla", fg='black',
font=("Helvetica", 18))
lbl.place(x=30, y=60)
##Labels Nodos

```

```
#####NODO-A
```

```
lbl=Label(window, text="NODO-A", fg='black', font=("Helvetica", 18))
```

```
lbl.place(x=90, y=120)
```

```
lbl=Label(window, text="Posición Actual", fg='black', font=("Helvetica", 15))
```

```
lbl.place(x=90, y=170)
```

```
lbl=Label(window, text="Latitud", fg='black', font=("Helvetica", 13))
```

```
lbl.place(x=120, y=200)
```

```
lbl=Label(window, text="Longitud", fg='black', font=("Helvetica", 13))
```

```
lbl.place(x=120, y=230)
```

```
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
```

```
txtfld.place(x=230, y=200)
```

```
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
```

```
txtfld.place(x=230, y=230)
```

```
lbl=Label(window, text="Posición futura: - , -", fg='black', font=("Helvetica", 15))
```

```
lbl.place(x=90, y=260)
```

```
lbl=Label(window, text="Estado de Movimiento", fg='black', font=("Helvetica", 13))
```

```
lbl.place(x=120, y=290)
```

```
btn=Button(window, text="                ",bg='red')
```

```
btn.place(x=300, y=290)
```

```
lbl=Label(window, text="ZANJA #: ", fg='black', font=("Helvetica", 15))
```

```
lbl.place(x=90, y=340)
```

```
lbl=Label(window, text="8", fg='darkblue', font=("Helvetica", 15))
```

```
lbl.place(x=200, y=340)
```

```
lbl=Label(window, text="Distancia Recorrido 1", fg='black', font=("Helvetica", 13))
```

```
lbl.place(x=55, y=370)
```

```
lbl=Label(window, text="Distancia Recorrido 2", fg='black', font=("Helvetica", 13))
```

```
lbl.place(x=55, y=400)
```

```
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
```

```
txtfld.place(x=230, y=370)
```

```
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
```

```
txtfld.place(x=230, y=400)
```

```

lbl=Label(window, text="RECORRIDO FACTIBLE: ", fg='black', font=("Helvetica",
15))
lbl.place(x=90, y=450)
lbl=Label(window, text="1", fg='darkblue', font=("Helvetica", 32))
lbl.place(x=200, y=490)
#####NODO-B
lbl=Label(window, text="NODO-B", fg='black', font=("Helvetica", 18))
lbl.place(x=550, y=120)
lbl=Label(window, text="Posición Actual", fg='black', font=("Helvetica", 15))
lbl.place(x=550, y=170)
lbl=Label(window, text="Latitud", fg='black', font=("Helvetica", 13))
lbl.place(x=580, y=200)
lbl=Label(window, text="Longitud", fg='black', font=("Helvetica", 13))
lbl.place(x=580, y=230)
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
txtfld.place(x=690, y=200)
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
txtfld.place(x=690, y=230)
lbl=Label(window, text="Posición futura: - , -", fg='black', font=("Helvetica", 15))
lbl.place(x=550, y=260)
lbl=Label(window, text="Estado de Movimiento", fg='black', font=("Helvetica", 13))
lbl.place(x=580, y=290)
btn=Button(window, text="          ",bg='red')
btn.place(x=760, y=290)
lbl=Label(window, text="ZANJA #: ", fg='black', font=("Helvetica", 15))
lbl.place(x=550, y=340)
lbl=Label(window, text="2", fg='darkblue', font=("Helvetica", 15))
lbl.place(x=660, y=340)
lbl=Label(window, text="Distancia Recorrido 1", fg='black', font=("Helvetica", 13))
lbl.place(x=515, y=370)
lbl=Label(window, text="Distancia Recorrido 2", fg='black', font=("Helvetica", 13))
lbl.place(x=515, y=400)

```

```
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
txtfld.place(x=690, y=370)
txtfld=Entry(window, text="", bd=5)
txtfld.place(x=690, y=400)
lbl=Label(window, text="RECORRIDO FACTIBLE: ", fg='black', font=("Helvetica",
15))
lbl.place(x=550, y=450)
lbl=Label(window, text="1", fg='darkblue', font=("Helvetica", 32))
lbl.place(x=660, y=490)
window.mainloop()
```

5.4 Sistema autónomo final

A continuación, se muestran las ilustraciones del sistema final, el cual se está desplazando de manera autónoma por medio de cada una de las zanjas de muestreo, permitiendo así la recopilación de datos para documentación y evidencia.



5.5 Áreas de muestreo



El área de muestreo en la que se realizaron las pruebas de movilización está conformada por un invernadero cerrado de plástico en la que la superficie de movilidad está determinada por 10 zanjas de cultivo del mismo tamaño, mismas que comprenden una plantación de ruscus.

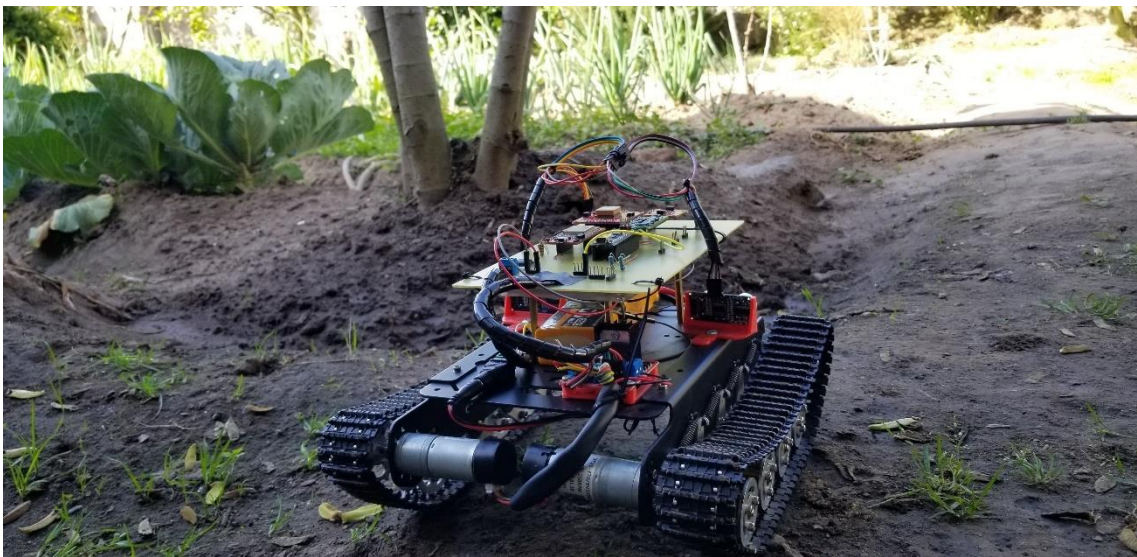


Dentro de cada zanja se tomaron 5 puntos de referencia para una correcta orientación y futura movilización del vehículo, en donde cada punto hace hincapié a la georreferenciación y toma de datos de cultivo por parte del sistema autónomo.

5.6 Anexos varios



Las pruebas de funcionamiento realizadas tanto en el invernadero como distintas áreas de cultivo permitieron la correcta toma de datos y calibración de sensores de georreferenciación para un posterior desempeño correcto de todas las etapas de movimiento del sistema, en las que cada una de las condiciones de suelo fueron necesarias para comprobar que el sistema puede moverse indistintamente del lugar en el que se encuentre.



Las pruebas del sistema se realizaron en un ambiente real fuera de un invernadero, lo que permite analizar las funciones de movimiento y envío de datos de manera más precisa, haciendo que los márgenes de error de GPS y detección de obstáculos puedan ser más bajos, de esta forma el vehículo se desplazó por medio de un terreno irregular con el fin de calibrar cada uno de los sensores antes de ponerlo en funcionamiento dentro de un invernadero.