

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

### MTR240 METODOLOGÍA DEL DISEÑO MECATRÓNICO

### SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DE MALEZA EN EL CULTIVO DE ESPÁRRAGOS

INFORME 2 Grupo N° 4  
(Semestre 2021-1)

#### HORARIO:

08M3

#### PROFESOR:

Diego Martín Arce Cigüeñas

#### INTEGRANTES:

Malena Graciela Huancas Sánchez	20170364
Betzabe Abigail Atencio Echia	20167448
Antony Jesús Arévalo Cristóbal	20166293
Eliane Katherine Rodríguez Sánchez	20170070
Dyango De Vettori Tochio	20170536
Pedro Sebastian Jaimes Chacon	20162051

## **ÍNDICE**

1. LISTA DE REQUERIMIENTOS	<b>3</b>
1.1. Descripción de la lista de exigencias	5
2. CRONOGRAMA DE TRABAJO	<b>8</b>
3. ESTRUCTURA DE FUNCIONES	<b>9</b>
3.1. Caja Negra	9
3.2. Lista de Funciones	10
3.2.1. Dominio mecánico	10
3.2.2. Dominio energético	11
3.2.3. Dominio sensores	11
3.2.4. Dominio actuadores	12
3.2.5. Dominio de control	13
3.2.6. Dominio de comunicación	13
3.2.7. Dominio de interfaz	14
4. MATRIZ MORFOLÓGICA	<b>17</b>
4.1. Solución por dominios	17
4.1.1. Solución de dominio mecánico	17
4.1.2. Solución del dominio de actuadores	19
4.1.3. Solución del dominio de sensores	20
4.1.4. Solución del dominio de energía	21
4.1.5. Solución para el dominio de control	22
4.1.6. Solución del dominio de comunicación	23
4.1.7. Solución del dominio de interfaz	24
4.2. Solución por subsistemas	25
4.2.1. Subsistema de interfaz y comunicación	25
4.2.2. Subsistema de energía	26
4.2.3. Subsistema de navegación del vehículo	27
4.2.4. Subsistema de eliminación de maleza	29

## 1. LISTA DE REQUERIMIENTOS

En la Tabla 1, se observa la Lista de Requerimientos del sistema, la cual incluye tanto exigencias como deseos del cliente para la realización del proyecto.

Tabla 1. Lista de Requerimientos. Fuente: Elaboración propia

Lista de Requerimientos			Versión 3
Proyecto:	<b>Sistema Automático para el Control de Malezas en el Cultivo de Espárragos</b>		Fecha: 21/04/2021 Revisado por:
Cliente:	<b>Pontificia Universidad Católica del Perú</b>		Elaborado por: Grupo 4
Fecha (Cambios )	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
<b>Función Principal</b>			
21/4/2021	E	El sistema debe ser capaz de detectar malezas en cultivos de espárrago con una precisión mayor al 80%.	<b>Sebastian</b>
21/4/2021	E	El sistema debe aplicar herbicida directamente a toda maleza detectada.	<b>Sebastian</b>
<b>Geometría</b>			
21/4/2021	D	Los rociadores deben ubicarse a una altura exacta por encima de las ruedas.	<b>Sebastian</b>
21/4/2021	E	El sistema debe contar con ruedas con separación ajustable a la distancia entre filas del arado, las cuales varían entre 0.2 y 0.5 metros.	<b>Sebastian</b>
21/4/2021	E	El sistema debe tener unas medidas generales de máximo 1.50 m de ancho, 1.60m de altura y 1.60m de largo.	<b>Sebastian</b>
<b>Cinemática y fuerzas</b>			
21/4/2021	E	El sistema debe tener una velocidad lineal máxima de alrededor de 0.5 m/s	<b>Sebastian</b>
21/4/2021	E	El sistema debe ser capaz de soportar la fuerza ejercida debido al peso de la misma, el cual debe ser como mínimo 150 kg y como máximo 300 kg.	<b>Sebastian</b>
<b>Modo de operación</b>			
21/4/2021	E	Aplicación de pesticida de forma automática cuando se detecten plantas de maleza.	<b>Eliane</b>
21/4/2021	E	Monitoreo de funciones de pulverización y navegación de forma remota por un operador.	<b>Eliane</b>
21/4/2021	E	Navegación autónoma a través de las hileras de cultivo.	<b>Eliane</b>
<b>Condiciones de operación</b>			
21/4/2021	E	El sistema debe ser capaz de moverse por terreno arenoso (90% arena y 10% otro) para un buen drenaje sin dificultad.	<b>Antony</b>
21/4/2021	E	El sistema no debe verse afectado por trabajos a temperaturas entre 15° y 31°	<b>Antony</b>
21/4/2021	E	La altura de trabajo es de 0 msnm.	<b>Antony</b>
<b>Fabricación</b>			

21/4/2021	E	<p>Material:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Como características para la carcasa del diseño, debe tener resistencia a la corrosión y resistencia a las temperaturas extremas y una elevada maquinabilidad.</li> <li>- Como características para el chasis deben ser ligeros, resistentes y de fácil adaptación.</li> <li>- Para el eje de transmisión debe ser un material con alta resistencia para soportar altas potencias.</li> </ul>	<b>Abigail</b>
21/4/2021	D	Las piezas mecánicas necesarias para la implementación deberán ser adquiridas a través del mercado local para evitar costos de importación.	<b>Abigail</b>
<b>Transporte</b>			
21/4/2021	D	Se requerirá de un carro para su transporte antes o después de la operación.	<b>Abigail</b>
<b>Mantenimiento y limpieza</b>			
21/4/2021	D	El mantenimiento preventivo se debe realizar cada 10,000 horas de trabajo.	<b>Antony</b>
21/4/2021	D	El diseño del robot debe evitar que se acumule suciedad en lugares de difícil acceso.	<b>Antony</b>
<b>Costos y plazos</b>			
21/4/2021	E	Costo de diseño: 4,000 - 6,000 nuevos soles	<b>Antony</b>
21/4/2021	E	Costo de implementación: 1,000 - 2,000 nuevos soles	<b>Antony</b>
21/4/2021	E	Costo del equipo: 5,000 - 8,000 nuevos soles	<b>Antony</b>
21/4/2021		Entrega final: 7 de Julio de 2021	<b>Todos</b>
<b>Comunicaciones</b>			
21/4/2021	D	Protocolos de comunicación entre controlador, actuadores y sensores robustos.	<b>Malena</b>
21/4/2021	E	<p>Comunicación entre el equipo y el usuario: rango de alrededor de 100 metros.</p> <p>Se enviarán alertas si la máquina terminó de recorrer la parcela o si el camino fue bloqueado por algún obstáculo, cuánta batería le queda y el nivel de pesticida.</p>	<b>Malena</b>
<b>Seguridad</b>			
21/4/2021	E	La máquina estará diseñada para que el riesgo sea mínimo pues esta podrá funcionar autónomamente.	<b>Malena</b>
21/4/2021	E	La máquina contará con una parada de emergencia en caso de algún riesgo y habrá un aislamiento eléctrico.	<b>Malena</b>
21/4/2021	D	Se brindará un manual de usuario con el método de uso documentado y explicado de forma entendible.	<b>Malena</b>
<b>Ergonomía</b>			
21/4/2021	E	Se debe cumplir con la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico (2008).	<b>Malena</b>
21/4/2021	D	El vehículo deberá ser estético para su comercialización.	<b>Malena</b>
<b>Control</b>			
21/4/2021	E	La máquina debe ser capaz de procesar las señales de entrada de los sensores y enviar señales de salida a los actuadores de forma precisa para poder aplicar el herbicida sin dañar las hortalizas aledañas.	<b>Dyango</b>

21/4/2021	D	La máquina debe poseer un sistema de control de tipo realimentado.	Dyango
21/4/2021		Variables de control: - Velocidad y posición del vehículo - Flujo del pesticida	Dyango
<b>Energía</b>			
21/4/2021	D	Fuente de alimentación: panel solar y/o baterías de 24V recargables.	Eliane
21/4/2021	D	Autonomía de 8 h	Eliane
<b>Hardware</b>			
21/4/2021	E	La máquina requiere por lo menos una cámara que registre el entorno en el que se encuentra.	Eliane
21/4/2021	D	Motor eléctrico.	Eliane
21/4/2021	E	La máquina requiere un controlador para el procesamiento de señales análogas y digitales.	Eliane
21/4/2021	E	Sistema integrado de válvulas y boquillas para pulverización de precisión.	Eliane
21/4/2021	E	Sensores LIDAR y ultrasonido para la identificación de entorno.	Eliane
21/4/2021	E	Sensores de humedad y de nivel.	Eliane
<b>Software</b>			
21/4/2021	E	Implementación del algoritmo para procesamiento de imágenes en tiempo real que se encargue de activar el sistema de rociado únicamente cuando haya maleza, de forma que se evite dañar el cultivo de espárragos.	Dyango
21/4/2021	E	Interfaz humano - máquina para ingreso de comandos de operación.	Dyango

### 1.1. Descripción de la lista de exigencias

A continuación, se explican los requerimientos sobre los cuales se basa el diseño del proyecto.

#### Función principal

El sistema debe ser capaz de detectar, con una precisión de más del 80%, las malezas en los cultivos de espárrago y a continuación aplicar el herbicida directamente en la zona afectada detectada.

#### Geometría

El sistema debe contar con rociadores que estén ubicados a una altura exacta por encima de las ruedas. De igual forma, las medidas generales no deben sobrepasar los 1.5 m de ancho, 1.6 m de altura y 1.6 m de largo. Luego, la separación de las ruedas debe ser ajustable a la distancia entre las filas de arado, la cual varía entre 0.2 y 0.5 m.

#### Cinemática y fuerza

El sistema debe poder soportar su propio peso, el cual debe ser como mínimo de 150 kg y como máximo 300 kg. En cuanto a la velocidad, debe tener una velocidad lineal máxima de alrededor de 0.5 m/s

## **Modo de operación**

El vehículo deberá navegar a través de las hileras de cultivo de forma autónoma. En el transcurso, se desea contar con una función de monitoreo remoto para que durante su desplazamiento, un operario pueda observar el estado de la navegación y de la operación de rozamiento del pesticida. Asimismo, el mecanismo de rociamiento del pesticida deberá ser automático.

## **Fabricación**

El sistema a implementar deberá ser fabricado por materiales que sean adecuados para el entorno en el que se desenvolverá ya que debe soportar materiales ligeramente pesados, además no se debe oxidar por estar expuesto a la intemperie o tener contacto directo con la humedad que se genera en los terrenos de cultivo. Como características principales de los materiales tanto para la carcasa como para el chasis deben presentar facilidad para soldar, resistencia a la corrosión y elevada maquinabilidad.

## **Comunicaciones**

La máquina debe contar con protocolos de comunicación entre controlador, actuadores y sensores robustos, pues se enviarán todas las señales que permiten el funcionamiento del equipo. Asimismo, la comunicación entre el equipo y el usuario deberá estar en un rango no mayor a 100 metros. Se enviarán alertas si la máquina terminó de recorrer la parcela o si el camino fue bloqueado por algún obstáculo, cuánta batería le queda y el nivel de pesticida.

## **Seguridad**

La máquina estará diseñada para que el riesgo sea mínimo pues esta podrá funcionar autónomamente y, así, se evitará que el usuario se exponga a riesgos. También, la máquina contará con una parada de emergencia en caso de algún riesgo y habrá un aislamiento eléctrico.

## **Ergonomía**

El diseño propuesto debe cumplir con la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico (2008).

## **Control**

La máquina debe ser capaz de procesar las señales de entrada de los sensores y enviar señales de salida a los actuadores de forma precisa para poder aplicar el herbicida sin dañar las hortalizas aledañas, en cuyo caso se tiene al flujo del pesticida como variable de control.

## **Energía**

Se espera que la fuente de alimentación sea mediante baterías de 24V recargables, que ofrezcan un tiempo de autonomía de 8 h aproximadamente.

## **Hardware**

Se requiere por lo menos una cámara de alta resolución para registrar la maleza y cultivo. Además, se requiere un sistema integrado de boquillas y válvulas para la administración del herbicida. Además, se necesitan sensores de profundidad para de identificación de entorno, sensores de humedad y nivel y un controlador para procesar señales analógicas y digitales.

### **Software**

Implementación del algoritmo para procesamiento de imágenes en tiempo real que se encargue de activar el sistema de rociado únicamente cuando haya maleza, de forma que se evite dañar el cultivo de espárragos.

## 2. CRONOGRAMA DE TRABAJO

A continuación, se detalla el cronograma de trabajo con las actividades que se planean realizar para culminar el proyecto:

Actividad		Semana															Tiempo (horas)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Definición de problemática	■															4
2	Estado del arte		■														8
3	Lista de exigencias			■													8
4	Estructura de funciones				■												12
5	Matriz morfológica					■											12
6	Definición de concepto de solución						■										8
7	Evaluación técnica-económica							■									6
8	Proyectos preliminar óptimo								■								14
9	Memoria de cálculos aprox									■							8
10	Concepto de solución óptimo(3D)									■	■						8
11	Proyecto preliminar										■						8
12	Modelo 3D detallado/Circuitos eléctricos y electrónicos											■					10
13	Explicación del proyecto definitivo												■				8
14	Maqueta/prototipo/simulación													■			12
15	Planos de ensamble/planos eléctricos												■				10
16	Sustentación final													■			10
															<b>TOTAL</b>		146

### **3. ESTRUCTURA DE FUNCIONES**

#### **3.1. Caja Negra**

En la Figura 1, se observa el Black-Box del proyecto, es decir, solo se muestran las entradas (a la izquierda) y las salidas (a la derecha) del sistema. Las líneas delgadas y continuas corresponden a la energía; las líneas discontinuas, a las señales; y las líneas gruesas y continuas, a la materia. A continuación, se explica cada entrada y salida del Black-Box.

##### **Entradas:**

- Energía eléctrica: Fuente para energizar el sistema integrado.
- Posición inicial del vehículo: Coordenadas de inicio de recorrido del vehículo.
- Espacio de trabajo: El usuario deberá definir las dimensiones de la parcela de trabajo.
- Entorno del cultivo: Cultivo y maleza de analizará el sistema.
- Señal de encendido: Señal que encenderá el sistema.
- Señal de inicio: Señal que será accionada por el usuario para dar inicio al recorrido del vehículo.
- Señal de parada de emergencia: Señal que detiene al vehículo y al mecanismo de rociado en caso hayan emergencias.
- Pesticida: Pesticida para el tratamiento de maleza en cultivo de espárragos.

##### **Salidas:**

- Calor, ruido y vibraciones: Generados por el funcionamiento del prototipo.
- Alerta de fallo de sistema: Alerta en caso de fallas en el vehículo o el mecanismo de rociado.
- Posición del vehículo en el plano: Se debe visualizar la posición actual en la parcela de cultivo.
- Indicador de obstáculos: En caso se detecten obstáculos grandes que podrían ser animales, otros vehículos en medio del camino, personas, entre otros, se debe enviar una alerta para que el operario de una inspección y confirme si el vehículo puede continuar el recorrido.
- Estado del nivel de batería: Se debe indicar el porcentaje de batería restante.
- Nivel de pesticida: Se debe indicar el porcentaje de pesticida que queda en el tanque.
- Flujo de pesticida: Salida física del sistema.

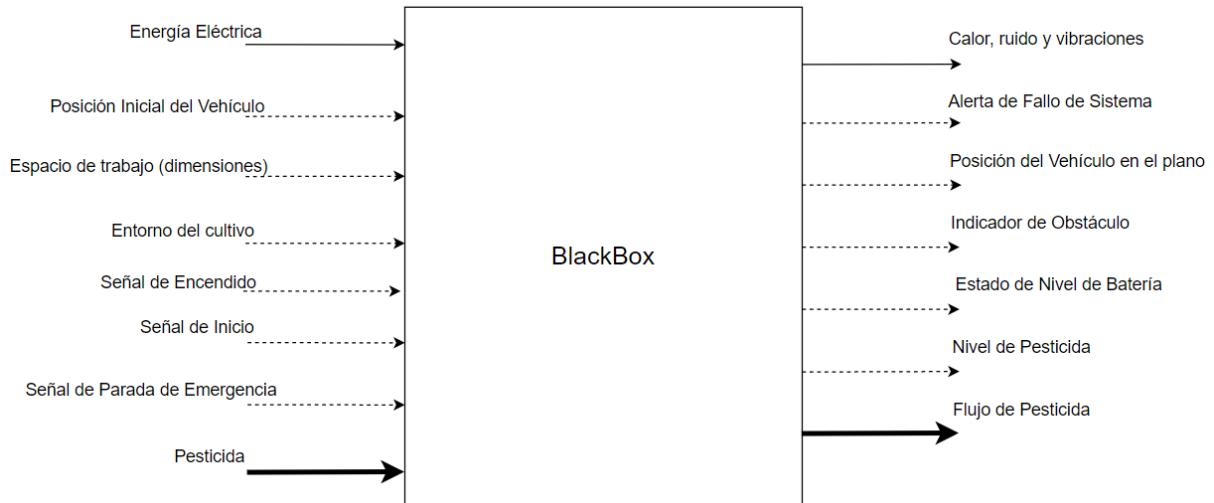


Figura 1: Black Box. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Lista de Funciones

A continuación, se explican las funciones parciales del sistema. Se dividen por dominios según la relación que guardan con el proceso.

#### 3.2.1. Dominio mecánico

En el dominio mecánico del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que están asociadas a componentes mecánicos. A continuación, se explican las nueve funciones mecánicas que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 2.

- **Proteger componentes electrónicos:** se encarga de que todos los componentes electrónicos del dispositivo estén agrupados en una estructura fija y estén protegidos de las condiciones ambientales.
- **Soportar componentes (chasis):** se encarga de soportar la carcasa que protege la parte electrónica.
- **Transmitir movimiento:** su función es transmitir el movimiento de los motores a las ruedas del vehículo.
- **Desplazamiento del vehículo:** se refiere al componente que permitirá que el vehículo se desplace.
- **Disipar las vibraciones:** su función es reducir las vibraciones ocasionadas por la irregularidad del sistema.
- **Almacenar pesticida:** este componente funciona como el contenedor en el cual estará almacenado el pesticida para su uso posterior.
- **Transportar pesticida:** componente encargado de transportar el pesticida desde el recipiente que lo almacena hacia los rociadores.
- **Rociar pesticida:** es el componente por el cual pasa el chorro de pesticida que elimina la maleza.
- **Dirigir vehículo:** se refiere al componente encargado de dirigir el movimiento del prototipo.

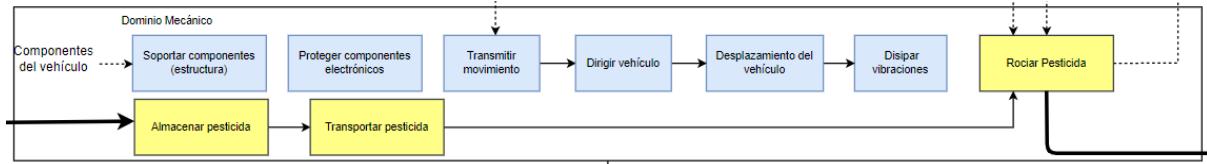


Figura 2: Dominio mecánico.

### 3.2.2. Dominio energético

En el dominio energético del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que ayudan a energizar los demás dominios. A continuación, se explican las siete funciones energéticas que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 3.

- **Acondicionar energía:** Esta función es importante ya que sirve para lograr que la energía eléctrica doméstica entregue un menor valor de energía porque el sistema deberá contar con una fuente de energía móvil.
- **Encendido de sistema:** Esta función trabaja con una señal de entrada(señal de encendido) la cual al estar habilitado permite energizar el sistema con sus dominios
- **Almacenar energía:** Esta función se encarga de guardar energía necesaria para el funcionamiento de este sistema de manera autónoma mediante baterías recargables con la ayuda de conexiones domésticas para energizar los dominios del sistema
- **Energizar controlador:** Se necesitará de un regulador para energizar este dominio que trabaja con los sensores, actuadores e interfaz.
- **Energizar interfaz:** Se necesitará un regulador de voltaje para el tipo de comunicación que tendrá el usuario con el móvil.
- **Energizar actuadores:** Se necesita energizar los actuadores para que ejecute las acciones de las propuestas del sistema.
- **Energizar sensores:** Se necesita energizar estos componentes para que nos ayuden a obtener características del entorno de cultivo.

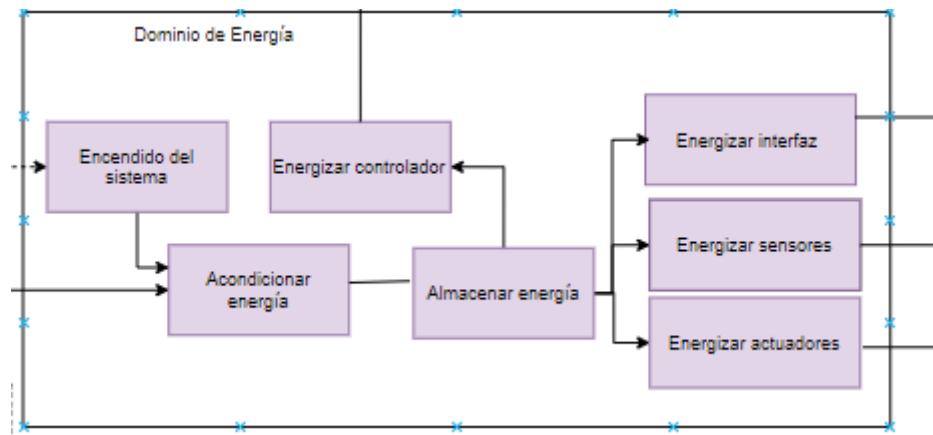


Figura 3: Dominio energético.

### 3.2.3. Dominio sensores

En el dominio de sensores del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que ayudan adquirir datos que son esenciales para desarrollar todas las funciones y procesos. A

continuación, se explican las siete funciones energéticas que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 4.

- **Detectar obstáculos:** Esta función se encarga de captar información del entorno frente al robot.
- **Detectar ubicación:** Esta función se encarga de establecer la posición actual del robot en la parcela.
- **Capturar imágenes de cultivo:** Esta función se encarga de sensar información relacionada con el cultivo presente en el rango de visión del robot.
- **Detectar nivel del tanque de herbicida:** Esta función se encarga de captar la cantidad de herbicida que se encuentra en el tanque.

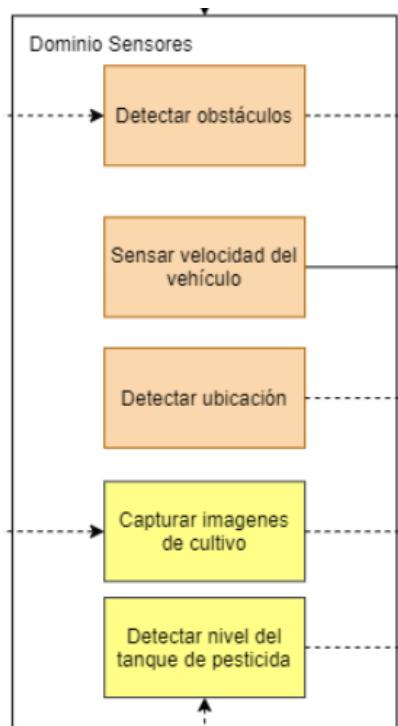


Figura 4: Dominio de sensores.

### 3.2.4. Dominio actuadores

En el dominio de actuadores del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que están asociadas a ejecutar acciones. A continuación, se explican las cuatro funciones de actuadores que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 5.

- **Accionar el mecanismo de movimiento del vehículo:** Se debe accionar un mecanismo para la navegación.
- **Encender indicador de fin de recorrido:** Culminado el recorrido del vehículo, se debe activar un indicador.
- **Accionar mecanismo de rotación de rociadores:** Direcciona los rociadores para que apunten al objetivo (maleza).
- **Accionar mecanismo de rociado:** Esta función debe controlar el flujo de pesticida cuando se detecte maleza.

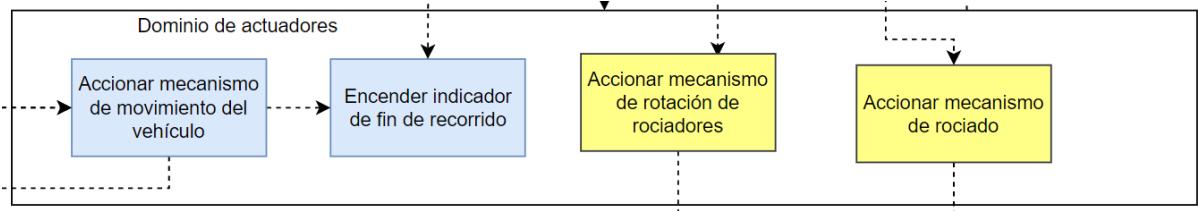


Figura 5: Dominio de actuadores.

### 3.2.5. Dominio de control

En el dominio de control del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que están asociadas al procesamiento de información de los sensores y la generación de señales para los actuadores. A continuación, se explican las nueve funciones mecánicas que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 6.

- **Cálculo de trayectoria:** En esta función se encarga de calcular la ruta que debe seguir el vehículo.
- **Identificar malezas,cultivos y surcos:** Esta función se encarga de identificar variables asociadas a las malezas, cultivos y surcos, para su diferenciación. Adicionalmente se identifican variables como el contorno y centroide.
- **Control de rociador:** Esta función se encarga de producir la señal de control del rociador( activación y ángulo de giro).
- **Control de posición del robot:** Esta función se encarga de producir la señal de control de los motores del robot para que siga los surcos.

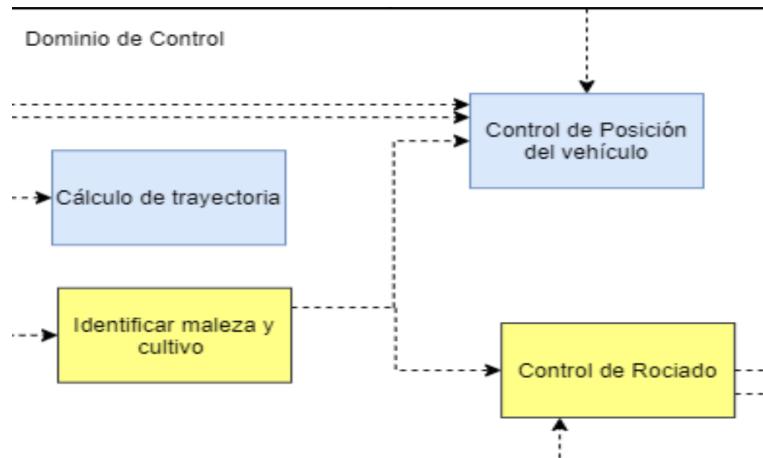


Figura 6: Dominio de control.

### 3.2.6. Dominio de comunicación

En el dominio de comunicación del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que están asociadas a comunicar el sistema con la interfaz. A continuación, se explican las dos funciones de comunicación que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 7.

- **Enviar Información:** Esta función se encarga de enviar información para que se pueda visualizar en la interfaz.

- **Recibir Información:** Esta función se encarga de recibir información para que pueda ser procesada.

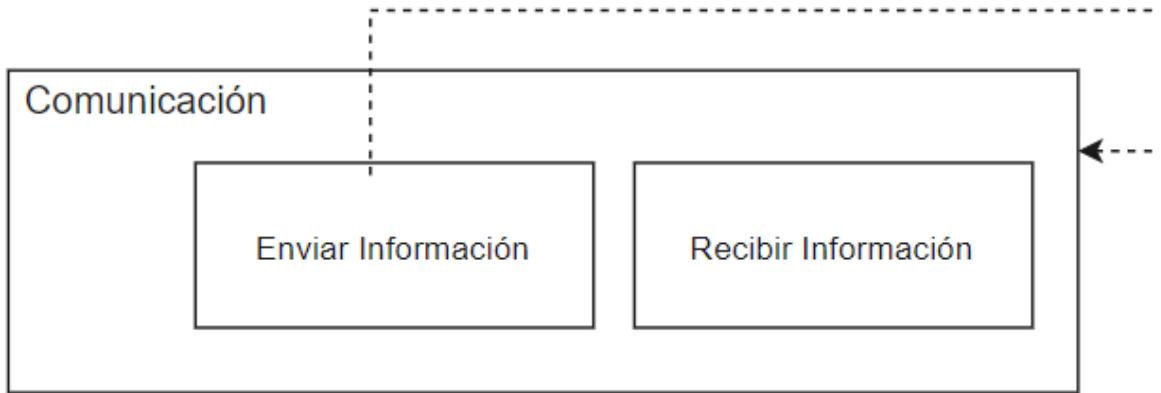


Figura 7: Dominio de comunicación.

### 3.2.7. Dominio de interfaz

En el dominio de interfaz del sistema, se encuentran todas las funciones parciales que se encargan de informar al usuario acerca del desarrollo del recorrido y otros factores de interés para este (fallos, presencia de obstáculos, nivel de la batería, etc). A continuación, se explican las cinco funciones de interfaz que desarrolla nuestro proyecto y estas se pueden observar en la Figura 8.

- **Mostrar Alerta de Fallo de Sistema:** Las fallas del sistema pueden deberse al recalentamiento del vehículo, fallo de las baterías, entre otros que impedirán el correcto funcionamiento del vehículo. Por ello, es importante enviar una alerta para que el operario se encargue de realizar el mantenimiento.
- **Mostrar Posición del Vehículo en el Plano:** Se debe mostrar información referente a el estado del recorrido del vehículo en el área de trabajo.
- **Mostrar Indicador de Obstáculo:** En el interfaz del sistema se debe enviar una alerta en caso se detecte un obstáculo durante la trayectoria, lo que implica que el vehículo deje de moverse y un operario deberá revisar la situación, pues podría tratarse de animales, personas, otros vehículos, etc.
- **Mostrar Estado de Nivel de Batería:** Se mostrará el porcentaje de batería del vehículo en tiempo real.
- **Mostrar Nivel de Pesticida:** Se mostrará el porcentaje de pesticida disponible en el vehículo en tiempo real.

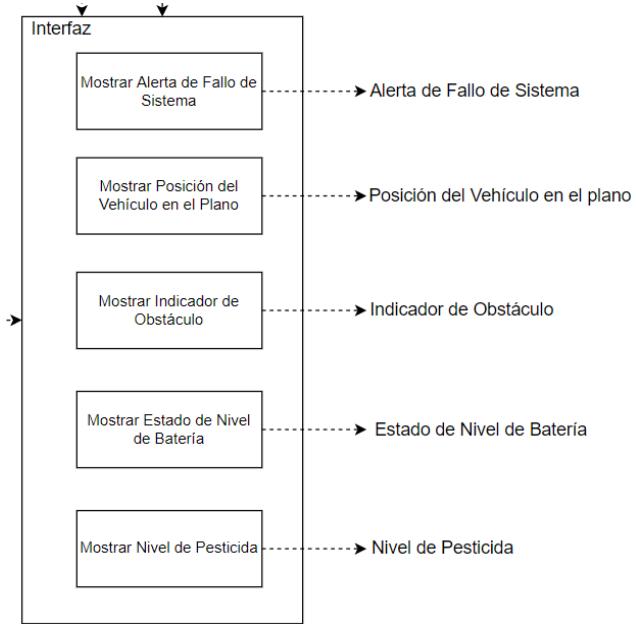


Figura 8: Dominio de interfaz

En la Figura 9, se presenta la síntesis de los dominios de control, actuadores, sensores, control, energía, comunicación e interfaz y la forma de interacción dentro del sistema integrado. Asimismo, se consideran las entradas y salidas de la caja negra presentada previamente.

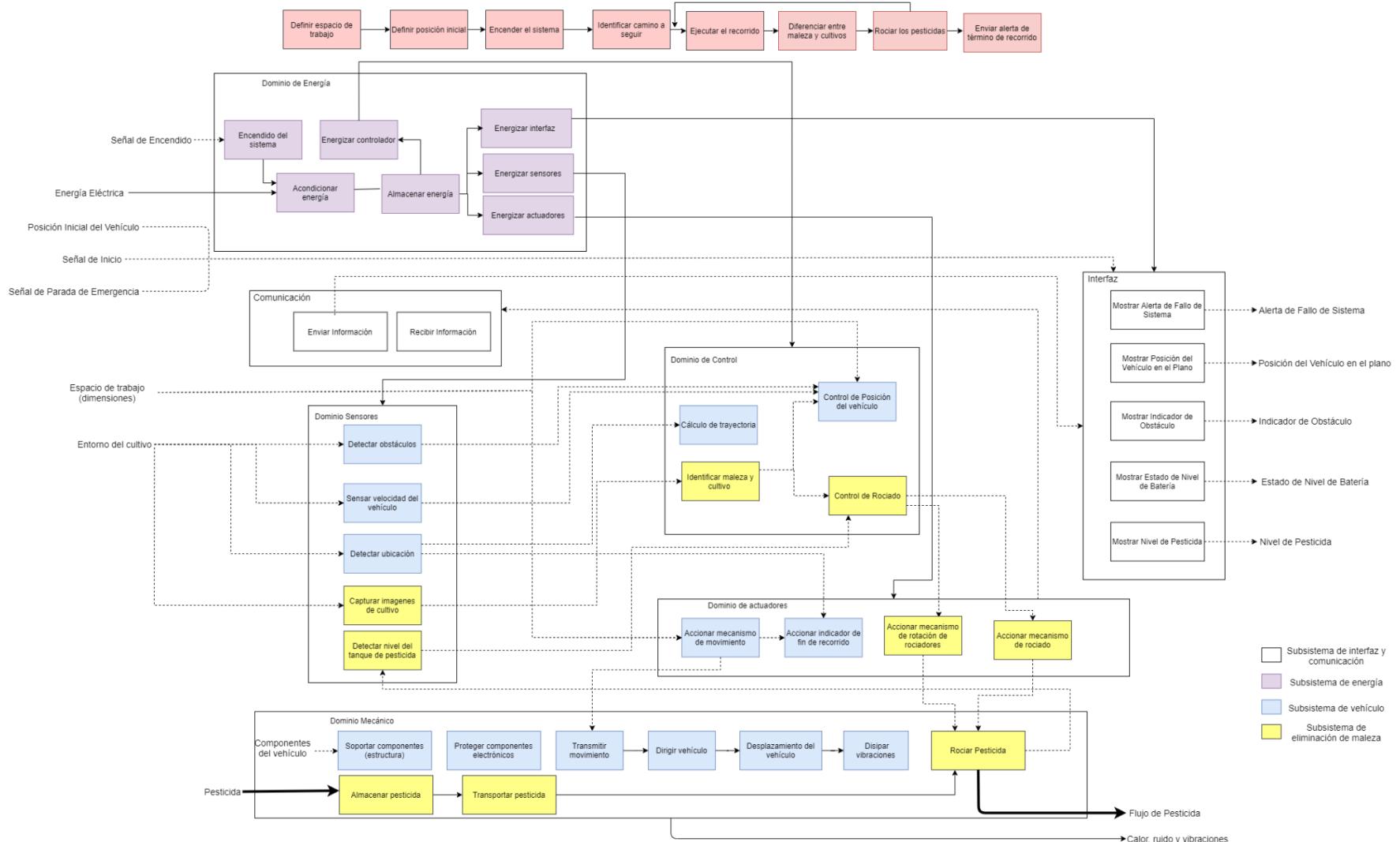


Figura 9: Diagrama de funciones. Fuente: Elaboración propia.

## 4. MATRIZ MORFOLÓGICA

La matriz morfológica incluye las alternativas de solución para cada una de las funciones parciales del sistema. Estas alternativas se han hallado considerando proyectos similares presentes en el Estado del Arte y por investigación adicional. A continuación, se presenta la división tanto por dominios como por subsistemas.

### 4.1. Solución por dominios

A continuación, se presentan las alternativas de solución por el dominio de funciones identificadas en el inciso anterior.

#### 4.1.1. Solución de dominio mecánico

El prototipo debe ser capaz de proteger los componentes electrónicos del sistema, es por ello que se plantea como solución utilizar una carcasa metálica, de plástico, de acrílico o de PTFE. Asimismo, debe contar con un chasis para soportar los componentes, este puede ser una estructura metálica (aluminio), de acero o de fibra de vidrio.

También, para transmitir el movimiento de los motores a las ruedas del vehículo, se utilizarán fajas, tren de engranajes, engranaje planetario o cadenas. Además, para el desplazamiento, se utilizarán ruedas, orugas o extremidades zoomórficas; y, como el terreno en el que se trabajará puede ser inestable, se deben disipar las vibraciones. Esto es posible con amortiguadores; el sistema de suspensión Rocker Bogie; un sistema de suspensión formado por un amortiguador y un resorte; o con una suspensión rígida. Asimismo, para dirigir el vehículo, se puede utilizar el sistema Ackerman, Explicit Steering Configuration, Skid Steering Configuration o el movimiento de las extremidades (en caso las tenga).

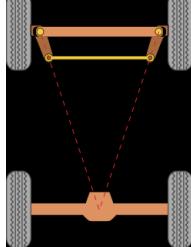
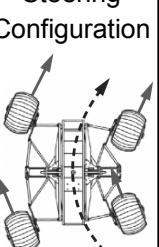
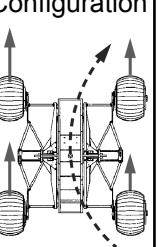
Por otro lado, en cuanto a lo relacionado al pesticida, este se puede almacenar en una galonera de plástico, un tanque de plástico o uno de metal; se transportará a través de tubos de plástico o mangueras de plástico; y se rociara a través de aspersores o rociadores.

Las alternativas de solución para este dominio se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Solución para el dominio mecánico. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio Mecánico					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Proteger componentes electrónicos	Carcasa metálica 		Carcasa de plástico 		Acrílico 	PTFE 
Soportar componentes (chasis)	Estructura metálica (aluminio)		Acero		Fibra de vidrio	

Transmitir movimiento	Fajas 	Tren de engranajes 	Engranaje planetario 	Cadenas 
Desplazamiento del vehículo	Ruedas 		Orugas 	Extremidades zoomórficas 
Disipar las vibraciones	Amortiguadores 	Sistema de suspensión Rocker bogie 	Sistema de suspensión 	Suspensión rígida 
Almacenar pesticida	Galonera de plástico 	Tanque de plástico 	Tanque metálico 	
Transportar pesticida	Tubos de plástico 		Mangueras de plástico 	
Rociar Pesticida	Rociadores 		Aspersores 	

Dirigir vehículo	Sistema Ackerman 	Explicit Steering Configuration 	Skid Steering Configuration 	Movimiento de extremidades 
------------------	---	--	---	---

#### 4.1.2. Solución del dominio de actuadores

Para el mecanismo de movimiento del vehículo, se consideraron motores DC, servomotores o motor a pasos. La función será transmitir movimiento mediante un mecanismo a los neumáticos.

Además, se debe activar un indicador de fin de recorrido. Las soluciones propuestas son mediante un led o consola android en el vehículo o una alerta en una tablet.

Cuando se detecte maleza, se debe dirigir los rociadores mediante movimientos de rotación. Para ello se pueden utilizar motores DC, servomotores o motores a pasos.

A continuación, se debe activar el flujo de pesticida por los rociadores. La solución puede implementarse con un arreglo de relé y electroválvula o una bomba eléctrica.

En la Tabla 3, se presenta la estructura de las soluciones identificadas para el dominio de actuadores.

Tabla 3. Solución para el dominio de actuadores. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio de actuadores					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Mecanismo de movimiento del vehículo	Motor DC 		Servomotor 		Motor a pasos 	
Indicador de fin de recorrido	Led 		Tablet 		Consola android 	
Accionar mecanismo de rotación de rociadores	Motor DC 		Servomotor 		Motor a pasos 	

Mecanismo de rociado	Relé	Electroválvula	Bomba eléctrica
			

#### 4.1.3. Solución del dominio de sensores

Para que el robot pueda realizar sus múltiples funciones, son necesarios diversos tipos de sensores para la adquisición de los datos requeridos. En primer lugar, para detectar si se presentan obstáculos en el camino del robot se pueden usar sensores de ultrasonido, sensores infrarrojos, Lidar 3D, cámara de profundidad y sensores capacitivos. En segundo lugar, para detectar la maleza que debe ser rociada con pesticida y el cultivo el cual no debe ser dañado se puede utilizar una cámara web, una cámara infrarroja, sensores de ultrasonido y sensores de radar. En tercer lugar, para detectar la ubicación del robot dentro de la parcela se puede utilizar GPS, IMU, un giroscopio, Wi-Fi por medio de triangulación y un sensor de brújula. En cuarto lugar, para detectar el nivel de pesticida presente en el tanque se puede utilizar un sensor de ultrasonido, un sensor de nivel hidrostático, un sensor capacitivo, un sensor de tipo Boya, un sensor de tipo radar o un sensor de nivel por vibración. En quinto lugar, para detectar la velocidad a la que se mueve el robot, se puede utilizar un encoder, un acelerómetro, un tacómetro, un sensor de imán permanente y un sensor de guaya. Las alternativas de solución para este dominio se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Solución para el dominio de sensores. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio de Sensores					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Detectar obstáculos	Sensores de ultrasonido 	Sensores infrarrojos 	Lidar 3D 	Cámara de profundidad 	Sensor capacitivo 	
Detectar maleza y cultivo	Cámara web 	Cámara infrarroja 	Sensores de ultrasonido 		Sensor de Radar 	
Detectar ubicación	GPS 	IMU 	Giroscopio 	Wi-Fi 	Sensor de brújula 	

Detectar nivel del tanque de pesticida	Ultrasonido 	Nivel hidrostático 	Sensor capacitivo 	Boya 	Radar 	Vibración 
Detectar la velocidad del robot	Encoder 	Acelerómetro 	Tacómetro 	Sensor de imán permanente 	Sensor de guaya 	

#### 4.1.4. Solución del dominio de energía

Para la implementación del sistema, se requiere que todos los dominios puedan estar energizados para cumplir las funciones que presentan. En primer lugar, se cuenta con la función acondicionar energía, la cual tiene como entrada la energía eléctrica que ayuda en la energización. En segundo lugar, el encendido del sistema, trabaja con una señal que permite identificar que el sistema ya está apto para empezar. En tercer lugar, la función de almacenar energía, es muy importante para que el sistema pueda ser autónomo en su recorrido. Las otras cuatro funciones sirve para energizar cada uno de los dominios, para ello se cuenta con reguladores de conmutación o reguladores integrado lineal. Las alternativas de solución para este dominio se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Solución para el dominio de energía. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio de energía						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Acondicionar energía	Fuente lineal 			Fuente switching 			
Encendido de sistema	Interruptor simple 			Botón de arranque 			
Almacenar energía	Batería Plomo ácido	Batería Niquel-Cadmio	Batería Electrólito alcalino	Pilas de combustible	Batería Polímero de litio		

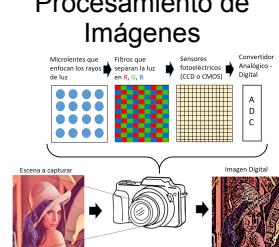
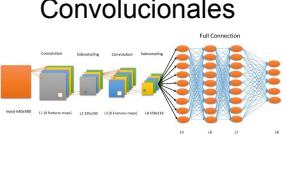
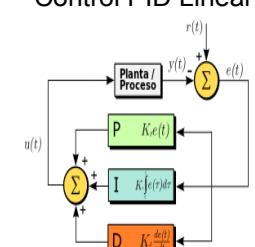
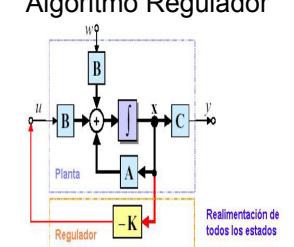
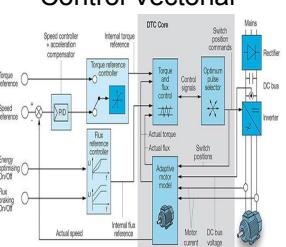
					
Energizar actuadores	Reguladores de conmutación				
Energizar sensores					
Energizar controlador	Regulador de conmutación				
Energizar interfaz					

#### 4.1.5. Solución para el dominio de control

Este dominio se centra en los algoritmos requeridos para realizar las funciones del robot, así como la capacidad computacional necesaria para estos. El control de posición y rociado se realizarán mediante algoritmos de control modernos, los cuales pueden ser procesados en tiempo real por alguna de las siguientes opciones: Microcontrolador, FPGA, Microprocesador. Finalmente, la función de identificación del cultivo presenta una complejidad mayor y las técnicas comúnmente aplicadas requieren una capacidad de cómputo mayor; por ende, se propone utilizar alguna marca específica de microprocesador que permita un desarrollo óptimo de acuerdo a la técnica específica a implementar. Las alternativas de solución para este dominio se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Solución para el dominio de control. Fuente: Elaboración propia.

		Dominio de control					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6

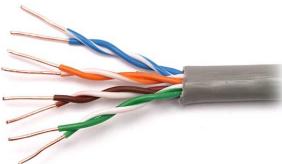
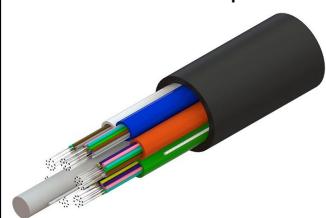
	Identificación de malezas, espárrago y surcos	Raspberry Pi 	Nano Pc T3 Plus 	Nvidia Jetson Xavier 	Asus thinker Board S	Odriod-XU4 	Banana Pi M3 
Hardware	Control de Posición	Microcontrolador 		FPGA 		Miniprocesador 	
	Control de Rociado						
Software	Identificación de malezas, espárrago y surcos	Procesamiento de Imágenes		Visión por Computadora		Redes Neuronales Convolucionales	
	Control de Posición	Control PID Lineal 		Algoritmo Regulador 		Control Vectorial 	
	Control de Rociado						

#### 4.1.6. Solución del dominio de comunicación

Este dominio se centra en el tipo de comunicación a emplear para conectarse con el sistema y a su vez con la interfaz. La comunicación con el sistema se llevará a cabo mediante un sistema alámbrico, el cual servirá para recibir información que necesite ser procesada para luego ser enviada mediante un sistema inalámbrico a la interfaz para su visualización por parte del usuario. Para el sistema inalámbrico se consideran opciones de cable como el coaxial, el de pares y el de fibra óptica. A su vez, para la comunicación inalámbrica se consideraron algunos tipos como el Bluetooth, Wifi, RFID, ZigBee, WiMAX y el UWB (Ultra Wide Band). Las alternativas de solución para este dominio se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Solución para el dominio de comunicación. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio de comunicación					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6

	Enviar Información	Bluetooth	Wifi	RFID	ZigBee	WiMAX	UWB (Ultra Wide Band)
Dominio de comunicación	Enviar Información						
	Recibir Información	Cable coaxial		Cable de pares		Cable de fibra óptica	
							

#### 4.1.7. Solución del dominio de interfaz

Para las funciones de mostrar alerta de fallo de sistema, mostrar posición del vehículo en el plano, mostrar indicador de obstáculo, mostrar estado del nivel de batería y mostrar nivel del pesticida se consideraron opciones de interfaz como programas para celulares, PC o tabletas. En la Tabla 8, se observan las alternativas de solución para el dominio de interfaz.

Tabla 8. Solución para el dominio de interfaz. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio de interfaz					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Mostrar Alerta de Fallo de Sistema	Aplicación de celular		Aplicación para PC		Aplicación en tablet	
Mostrar Posición del Vehículo en el Plano	Aplicación de celular		Aplicación para PC		Aplicación en tablet	
Mostrar Indicador de Obstáculo	Aplicación de celular		Aplicación para PC		Aplicación en tablet	
Mostrar Estado de Nivel de Batería	Aplicación de celular		Aplicación para PC		Aplicación en tablet	

			
Mostrar Nivel de Pesticida	Aplicación de celular 	Aplicación para PC 	Aplicación en tablet 

## 4.2. Solución por subsistemas

### 4.2.1. Subsistema de interfaz y comunicación

En la Tabla 9, se presentan las alternativas de solución para el subsistema de interfaz y comunicación que permitirán la interacción humano-máquina.

Tabla 9. Solución para el subsistema de interfaz y comunicación. Fuente: Elaboración propia.

		Función (funciones parciales)	Portadores de funciones (Alternativas de solución)					
			S1	S2	S3	S4	S5	S6
Dominio de comunicación	Enviar Información	Enviar Información	Bluetooth	Wifi	RFID	ZigBee	WiMAX	UWB (Ultra Wide Band)
	Mostrar Alerta de Fallo de Sistema	Mostrar Alerta de Fallo de Sistema	Aplicación de celular 	Aplicación para PC 	Aplicación en tablet 			
	Mostrar Posición del Vehículo en el Plano	Mostrar Posición del Vehículo en el Plano	Aplicación de celular 	Aplicación para PC 	Aplicación en tablet 			
Dominio de interfaz	Mostrar Indicador de Obstáculo	Mostrar Indicador de Obstáculo	Aplicación de celular	Aplicación para PC 	Aplicación en tablet			

				
	Mostrar Estado de Nivel de Batería	Aplicación de celular 	Aplicación para PC 	Aplicación en tablet 
	Mostrar Nivel de Pesticida	Aplicación de celular 	Aplicación para PC 	Aplicación en tablet 

#### 4.2.2. Subsistema de energía

En la Tabla 10, se presentan las alternativas de solución para el subsistema de energía que permitirá alimentar a los componentes eléctricos.

Tabla 10. Solución para el subsistema de energía. Fuente: Elaboración propia.

	Dominio de energía					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Acondicionar energía	Fuente lineal 			Fuente switching 		
Encendido de sistema	Interruptor simple 			Botón de arranque 		
Almacenar energía	Batería Plomo ácido	Batería Níquel- Cadmio			Batería Electrólito alcalino 	

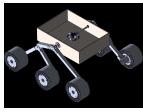
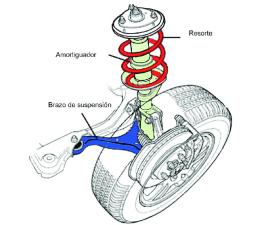
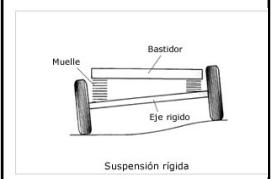
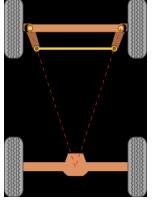
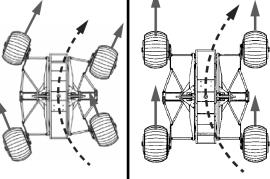
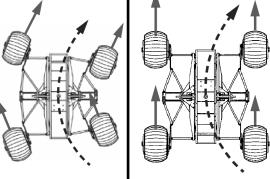
			
Energizar actuadores	Reguladores de conmutación 		
Energizar sensores	Regulador integrado lineal 		Regulador de conmutación 
Energizar controlador	Regulador de conmutación 		
Energizar interfaz	Regulador de conmutación 		

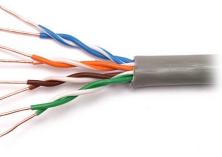
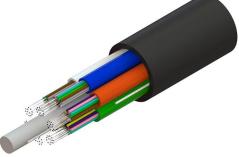
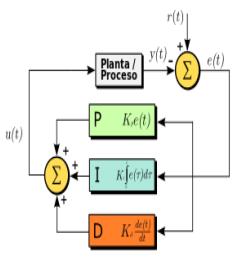
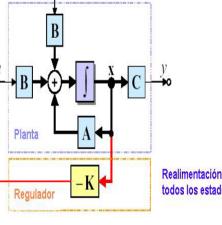
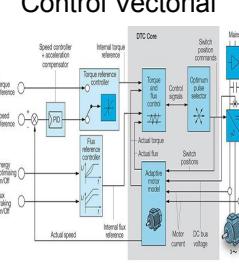
#### 4.2.3. Subsistema de navegación del vehículo

En la Tabla 11, se presentan las alternativas de solución para el subsistema de navegación del vehículo, el cual deberá hacer posible el recorrido de forma autónoma del sistema a lo largo de los surcos en la parcela de espárragos.

Tabla 11. Solución para el subsistema de navegación. Fuente: Elaboración propia.

	Función (funciones parciales)	Portadores de funciones (Alternativas de solución)					
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Dominio mecánico	Proteger componentes electrónicos	Carcasa metálica 	Carcasa de plástico 	Acrílico 	PTFE 		
	Soportar componentes (chasis)	Estructura metálica (aluminio)		Acero		Fibra de vidrio	

				
Transmitir movimiento	Fajas 	Tren de engranajes 	Engranaje planetario 	Cadenas 
Desplazamiento del vehículo	Ruedas 	Orugas 	Extremidades zoomórficas 	
Disipar las vibraciones	Amortiguadores 	Sistema de suspensión Rocker bogie 	Sistema de suspensión  Suspensión rígida 	Suspensión rígida
Dirigir vehículo	Sistema Ackerman 	Explicit Steering Configuration 	Skid Steering Configuration 	Movimiento de extremidades 
Dominio de sensores	Detectar obstáculos 	Sensores de ultrasonido 	Lidar 3D 	Cámara de profundidad 
	Detectar ubicación 	IMU 	Giroscopio 	Wi-Fi 
				Sensor de brújula 

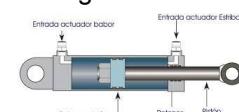
	Detectar la velocidad del robot	Encoder 	Acelerómetro 	Tacómetro 	Sensor de imán permanente 	Sensor de guaya 
Dominio de comunicación	Recibir Información	Cable coaxial 	Cable de pares 	Cable de fibra óptica 		
Dominio de actuadores	Accionar mecanismo de movimiento del vehículo	Motor DC 	Servomotor industrial 	Motor a paso 		
	Accionar indicador de fin de recorrido	Led 	Tablet 	Consola Android 		
Dominio de control	Hardware	Control de Posición 	Microcontrolador 	Miniprocesador 		
	Software	Control PID Lineal 	Algoritmo Regulador 	Control Vectorial 		

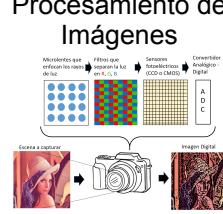
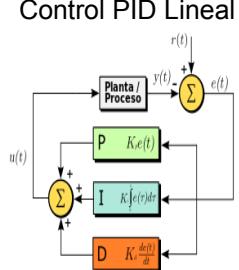
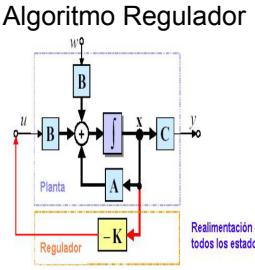
#### 4.2.4. Subsistema de eliminación de maleza

En la Tabla 12, se presentan las alternativas de solución para el subsistema de eliminación de maleza, responsable de la identificación de maleza y rociado de pesticida automático.

Tabla 12. Solución para el subsistema de eliminación de maleza. Fuente: Elaboración propia.

		Subsistema de eliminación de malezas
--	--	--------------------------------------

	Función(funciones parciales)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Dominio mecánico	Almacenar Pesticida	Galonera de plástico 	Tanque de plástico 	Tanque metálico 			
	Transportar pesticida	Tubo de plástico 	Manguera de plástico 				
	Rociar pesticida	Rociadores 	Aspersores 				
Dominio de sensores	Capturar imágenes de cultivo	Cámara web 	Cámara infrarroja 	Ultrasonido 	Radar 		
	Detectar nivel del tanque del pesticida	Sensores de ultrasonido 	Sensores infrarrojos 	Lidar 3D 	Cámara de profundidad 	Sensor capacitivo 	
Dominio de actuadores	Accionar mecanismo de rotación de rociadores	Servomotores 	Motor DC 	Motor a pasos 	Arreglo hidráulico 		
	Accionar mecanismo de rociado	Relé 	Bomba eléctrica 	Electroválvula 			

				
Dominio de control	Hardware	Identificar maleza y cultivo	Microcontrolador	FPGA
		Control de rociado		
	Software	Identificar maleza y cultivo	Procesamiento de Imágenes	Visión por Computadora
		Control de rociado		
		Control de rociado		
		Control de rociado	