

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO Y
TELEOPERADO PARA LABORES AGRÍCOLAS.
FASE 1: FUMIGACIÓN PARA PLANTACIONES DE ROSAS**

**IVÁN ANDRÉS LEÓN VÁSQUEZ
ADRIÁN JONATAN VÁSQUEZ TAPIA**

*Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador
sboy980@hotmail.com
adrianjvt86@hotmail.com*

Resumen.- El presente proyecto documenta los procesos desarrollados para el diseño y construcción de un robot prototipo autónomo y tele-operado capaz de realizar la fumigación en plantaciones de rosas. En un principio se muestran las características más relevantes en los campos de producción florícola; además de una breve reseña acerca de la robótica agrícola. Posteriormente se realiza un análisis acerca del sistema mecánico más adecuado para la aplicación. Se desarrollan los diseños electrónicos de las etapas de control, sensamiento, potencia y comunicación del sistema. Se realiza la programación del controlador, y de la interfaz visual que sirve de enlace entre operario y el robot. Se realiza la implementación física del sistema, basado en el análisis de todas las etapas antes mencionadas. Finalmente se realizan pruebas sobre un campo en condiciones ideales que simula una plantación de rosas, evidenciando el grado de efectividad que tiene la plataforma.

permiten captar características de su entorno, ganar experiencia y cumplir con un determinado objetivo para el que fueron diseñados.

Actualmente en el agro la población robótica es prácticamente nula, esto a pesar de que allí se realizan tareas repetitivas, y algunas incluso sumamente peligrosas para el ser humano, por las sustancias tóxicas que se esparcen en los campos. Según datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la explosión demográfica ha causado que los empresarios agrícolas, busquen formas de brindar a sus trabajadores nuevas herramientas de tal manera que faciliten su trabajo e incrementen la producción mensual, además de salvaguardar su salud. Varias compañías agrícolas han buscado por largo tiempo, la manera de mecanizar procesos dados los altos niveles de competitividad que se presentan en el mercado, pero no se ha logrado encontrar soluciones efectivas a esta medida.

I. INTRODUCCIÓN

La robótica es la ciencia y la tecnología de los robots, los cuales son un ejemplo bastante completo de un sistema artificial inteligente, puesto que, cuentan con sus propios receptores y efectores que les

La empresa floricultora HILSEA, admite que necesita ayuda robótica para la fumigación de sus campos, con el fin de salvaguardar la integridad física, y biológica de sus operarios, dado que los fungicidas e insecticidas son sumamente tóxicos para la salud, por este motivo muchos de sus

operarios se muestran renuentes a realizar esta actividad continuamente. La compañía de exportación de rosas Magnolia, indica que necesita optimizar el tiempo de sus operarios, dado que generalmente este tiempo se gasta en tareas repetitivas de alto desgaste físico. La fumigación es una parte de estas, dado que, se necesita recorrer grandes distancias sosteniendo las herramientas de fumigación que se realizan varias veces por semana e incluso algunas por día, lo cual admite que se podría mejorar utilizando una herramienta robótica. La necesidad de automatizar procesos en la agricultura como es la fumigación, constituye un método para optimizar los niveles de eficiencia tanto de mano de obra como de la producción, que implica mayores ingresos para las compañías, mejor calidad en el producto, lo que conllevaría a un mayor desarrollo del país.

Las plantaciones de rosas poseen terrenos irregulares de separación entre las camas, en el cual se debe desplazar la plataforma. Además, los operarios utilizan artefactos de aspersión que tiene un alto peso son incómodos de manipular, como se evidencia en las figuras 1 y 2.



Figura 1. Terreno de desplazamiento.



Figura 2. Fumigación de Rosas.

II. DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA ROBÓTICA

Al presente sistema robótico se lo denominará MI-T-NATOR y en la presente sección se enfocará en dar una idea generalizada acerca del sistema mecánico que deberá tener para desplazarse sobre el terreno de fumigación. De tal forma que provea la suficiente estabilidad para evitar fallos al momento de aplicar presión hidráulica para la aspersión.

Dadas las condiciones de terreno que las plantaciones de rosas poseen, se debe implementar un sistema robótico móvil con ruedas de tracción terrestres. Ya que un sistema guiado por rieles no sería viable en un campo de rosas, porque interferiría con la cosecha de las mismas. Por este motivo, es necesario diseñar una plataforma móvil que posea un sistema hidráulico de distribución y aspersión de fungicida hacia los rosales. Por ello, el diseño más adecuado para la aplicación, es un arreglo diferencial de tres ruedas como se observa en la figura 3.

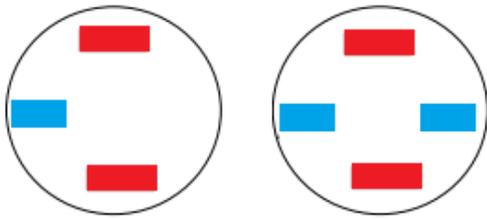


Figura 3. Configuración Diferencial de dos y tres Ruedas [1].

Este es uno de los esquemas más sencillos, básicamente consiste de dos ruedas con un eje común, donde cada rueda se controla independientemente. Además de esto sus movimientos son:

- Línea Recta.
- En arco.
- Vuelta sobre su propio eje.

Este esquema utiliza una o dos ruedas adicionales para mantener el balance, estas distribuciones tienen diferentes nombres dependiendo de las ruedas. Por ejemplo: Con 3 ruedas se denominan triángulo, este esquema puede presentar problemas de estabilidad, y con 4 ruedas se conoce como diamante [1].

Con este diseño, se pueden desarrollar las ecuaciones cinemáticas de este arreglo de ruedas. En la figura 4, se muestra una representación cinemática del mismo.

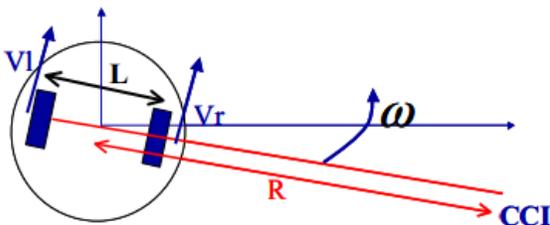


Figura 4. Representación Cinemática Arreglo Diferencial [1].

Dónde:

ω : Velocidad Angular.

R: Radio de Giro.

L: Distancia entre las Ruedas.

V_r : Velocidad Rueda Derecha.

V_l : Velocidad Rueda Izquierda.

Formula del radio de curvatura:

$$R = \frac{L}{2} * \left(\frac{V_r + V_l}{V_r - V_l} \right)$$

Ecuación 1. Radio de Curvatura

Instantánea.

Formula de velocidad angular:

$$\omega = \frac{V_r - V_l}{L}$$

Ecuación 2. Velocidad Angular.

Datos del robot:

L: 42cm

Giro hacia la Izquierda:

R estimado 15cm

Velocidad rueda derecha estimada es 0,39 m/s

Despejando velocidad rueda izquierda de la ecuación 1:

$$Vl = \frac{Vr(L - 2R)}{2R + L}$$

Ecuación 3. Velocidad Rueda Izquierda.

Remplazando valores en la Ecuación 3:

$$Vl = \frac{0,39(0,42 - 2 * 0,15)}{0,42 + 2 * 0,15}$$

$$Vl = 0,065m/s$$

Giro hacia la derecha:

Radio estimado 15 cm.

Velocidad rueda izquierda estimada es 0,39 m/s.

Despejando de la ecuación 1:

$$Vr = \frac{Vl(L - 2R)}{2R + L}$$

Ecuación 2.4. Velocidad Rueda Derecha.

Remplazando valores en ecuación 2.3:

$$Vr = \frac{0,39(0,42 - 2 * 0,15)}{2 * 0,15 + 0,42}$$

$$Vr = 0,078m/s$$

A más de esto, el sistema mecánico tendrá una configuración por pisos, de tal

forma que en el primero se ubique el contenedor de fungicida, en el segundo piso se encuentre la alimentación y en la parte superior la etapa de control. Los aspersores irán colocados en el último piso al igual que las válvulas de paso para que la fumigación se realice hacia cada costado de la plataforma de acuerdo a su ubicación en el campo de rosas. En la figura 5 se puede evidenciar una representación de la plataforma.

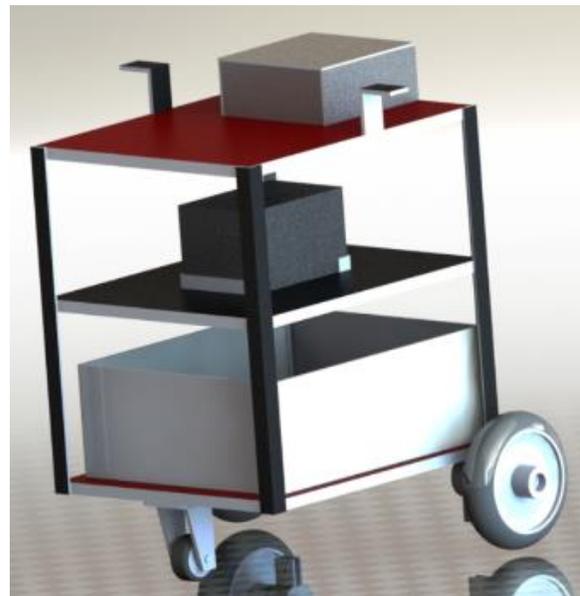


Figura 5. Representación de la Plataforma.

III. DISEÑO DE HARDWARE

Para saber el tipo de motor se debe utilizar se estudió los tipos de motores de corriente continua existentes y que se muestran a continuación. Se los encuentra de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento. Accionar un motor DC es muy simple y solo es necesario aplicarla tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con intercambiar la alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto.

A diferencia de los motores a pasos y los servomecanismos, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se lo permite. En el rotor (parte móvil) y el estator (parte fija), se ubican los demás componentes como:

- Escobillas y porta escobillas.
- Colector.
- Eje.
- Núcleo y devanado del rotor.
- Imán Permanente.
- Armazón.
- Tapas o campanas.

Para elegir el motor adecuado se estudió algunos tipos de motores de corriente continua (tabla contigua) para ver el más óptimo y de fácil acceso para nuestra aplicación. Considerando la velocidad y el torque se decidió usar un motor con moto-reducción de 67:1 ya que tiene una velocidad y un torque acuerdo a nuestra aplicación.

Para manipular los motores se usó un integrado de tipo puente H, ya que los motores deben de ser capaces de girar de manera horaria y anti horaria, para esto se eligió el integrado L298 debido a su buena corriente de salida y su capacidad de manejar voltajes TTL. En la figura 6, se muestra el circuito electrónico del puente H y las referencias de los puertos a los distintos circuitos.

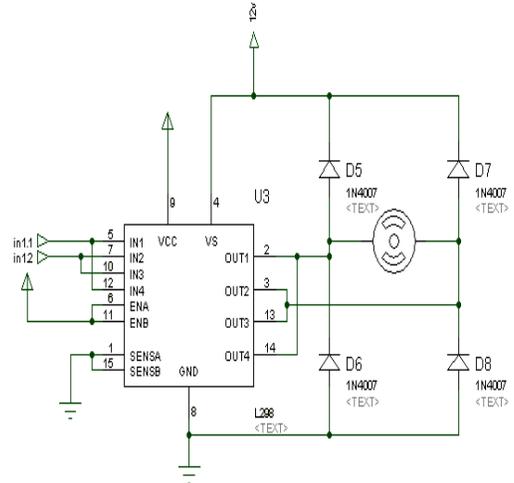


Figura 6. Conexión Puente H.

Para el control de fumigación se consideró el uso de tres elementos:

- Bomba.
- Electro válvulas.
- Elementos electrónicos de potencia.

Para nuestra aplicación se eligió una bomba sumergible de las siguientes características:

- Presión hasta 70 psi.
- Alta durabilidad.
- Bajo ruido, alto aislamiento contra interferencias.
- Garantía de flujo constante.
- Perfecto funcionamiento durante el suministro a alta temperatura.
- 2 litros por minuto.

El circuito utilizado para el encendido y apagado de la bomba centrífuga fue un transistor en modo emisor común, el cual funciona en las zonas de corte y saturación haciendo que la bomba se active o desactive. El circuito utilizado se muestra en la figura 7.

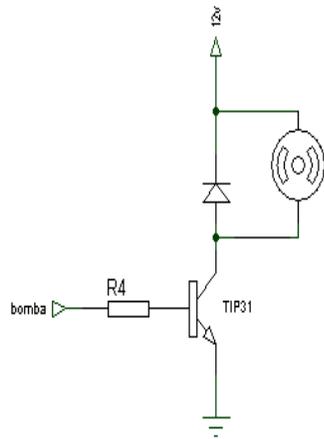


Figura 7. Circuito Electrónico de Activación

En muchas aplicaciones es necesario controlar el paso de algún tipo de flujo, desde corriente eléctrica hasta gases o líquidos. Esta tarea es realizada por válvulas. En particular, las accionadas por solenoides permiten su implementación en lugares de difícil acceso y facilitan la automatización del proceso al ser accionadas eléctricamente. Cabe destacar que, al momento de dimensionar la válvula, se debe tener en cuenta la cantidad de flujo a controlar, más que el ancho de la tubería. En este sentido, es recomendado consultar las especificaciones del fabricante para cada válvula. Por este motivo se adquirieron dos válvulas de solenoide de mediana presión para la aplicación.

Circuito Activación Electroválvula

El circuito utilizado para el encendido de la electroválvula fue un transistor en modo emisor común, el cual funciona en las zonas de corte y saturación haciendo que la bomba se active o desactive. El circuito utilizado se muestra en la figura 8:

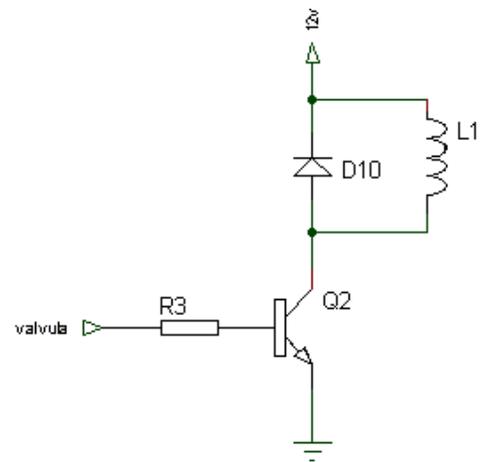


Figura 8. Circuito Electrónico de Activación Electroválvula.

Para la comunicación de datos se utilizó los módulos de comunicación inalámbrica Xbee, los módulos Xbee proveen 2 formas amigables de comunicación:

- Transmisión serial transparente (modo AT).
- Modo API.

Los módulos Xbee pueden ser configurados desde el PC utilizando el programa X-CTU o bien desde un micro controlador. Los Xbee pueden comunicarse en arquitecturas punto a punto, punto a multi-punto o en una red.

La elección del módulo Xbee correcto pasa por escoger el tipo de antena (chip, alambre o conector SMA) y la potencia de transmisión (2mW para 300 pies o 60mW para hasta 1 milla), pueden ser usados con adaptadores Xbee Explorer Serial o Xbee Explorer USB. Esta sección se utilizó de base la información que se encontraba en manuales online sobre estos dispositivos [3].

Para la etapa de control se utiliza un micro controlador PIC de la familia microchip modelo 18f452, debido a su gran

capacidad de memoria, a su fácil acceso y precio. Un microcontrolador es un sistema cerrado, lo cual quiere decir que, en un solo circuito, se encierra un sistema digital programable completo. Este dispositivo se destina a gobernar una sola tarea que no se puede modificar. Los microcontroladores disponen de los bloques esenciales: CPU, memorias de datos (RAM) y de programa (ROM), reloj, periféricos de entradas/salidas, etc. El micro controlador es un dispositivo dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada, sus líneas de entradas y salidas (I/O) permiten la conexión de sensores, relés y control de actuadores. Una vez programado y configurado, el micro controlador solamente sirve para gobernar la tarea asignada. Existen muchos modelos de micro controladores los cuales se diferencian por su cantidad de entradas/salidas, si tienen o no conversores analógicos/digitales, puertos de comunicación, temporizadores, entre otros. También la memoria de datos y de programa es otra de las diferencias que se debe tomar en cuenta al momento de elegir uno para la aplicación. Todas estas características hacen que uno pueda seleccionar el más adecuado al proyecto. Para la medición de la distancia se usaron los sensores Sharp 2D120X, este sensor permite medir la distancia a una superficie entre 4 a 30 cm, la señal de salida del sensor es análoga que varía de 3.1V a 4cm hasta 0.3V a 30cm (aunque en la practica el sensor es útil de 5cm a 26cm). “El sensor consta de un LED infrarrojo de alta intensidad que apunta de manera perpendicular al sensor. Un dispositivo opto-electrónico (llamado PSD, Position Sensitive Device) mide entonces el ángulo con el que este rayo se refleja en el obstáculo” [4].

La información de la distancia se extrae midiendo el ángulo recibido. Si el ángulo es

grande, entonces el objeto está cerca porque el triángulo formado es ancho si el ángulo es pequeño entonces el objeto se encuentra lejos porque el triángulo formado es largo y delgado. En la figura 9 se puede ver cómo se lleva a cabo la triangulación en el sensor. El LED infrarrojo emite el haz de luz a través de una pequeña lente convergente que hace que el haz emisor llegue de forma paralela al objeto. Cuando la luz choca con un obstáculo, una cierta cantidad de luz se refleja. Alguno de los haces de esta luz rebota hacia el sensor que es recibido por la lente. La lente receptora también es una lente convexa, pero ahora sirve para un propósito diferente, actúa para convertir el ángulo de posición. Si un objeto se pone en el plano focal de una lente convexa y los otros rayos de luz paralelos en otro lado, el rayo que pasa por el centro de la lente atraviesa inalterado o marca el lugar focal. Los rayos restantes también enfocan a este punto) [5].

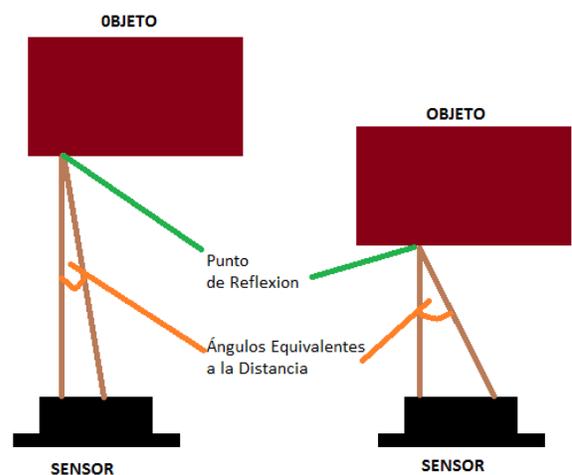


Figura 9. Forma de Medición Sensor Sharp.

Estos sensores son utilizados para medir la distancia entre la plataforma y la cama, así dependiendo en que cama se encuentre, este podrá mantenerse en una trayectoria lo mas recta posible y a la vez llegado el fin de la

cama determinar la dirección a la cual este va a girar. Para la medición de nivel se usaron sensores de humedad absoluta, los cuales conducen electricidad en la presencia del líquido. Esto usando las características físicas que poseen los líquidos como buenos conductores de electricidad. Estos sensores son cables sólidos, cuyos terminales poseen soldas de estaño y van sumergidos por pares dentro del contenedor de funguicida, de manera que se produzca continuidad al momento de que ambos terminales se encuentren sumergidos. En la figura 9 se muestra la conexión de dichos elementos.

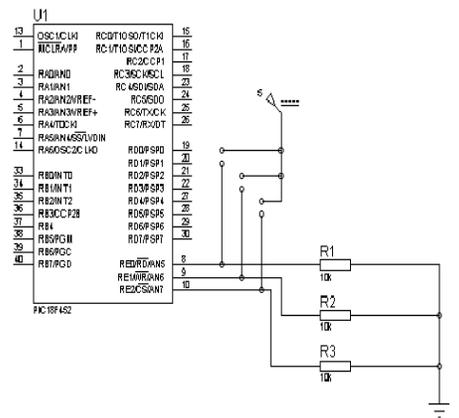


Figura 9. Conexión Sensores de Nivel.

La plataforma fue alimentada mediante una batería recargable de 12Vdc/10Ah y otra de 9Vdc, posteriormente, en el tablero de control se generan distintos voltajes por medio de reguladores para alimentar a los distintos circuitos se observan en la figura 10.



Figura 10. Distribucion de Voltajes.
IV. DISEÑO DE SOFTWARE

El diseño de software se divide en dos partes importantes, el software de control desarrollado en lenguaje C, y la interfaz humano-máquina desarrollada en lenguaje gráfico Java. La lógica de control se estructura en base a funciones, rutinas y subrutinas, con el fin de reducir las líneas de comando y optimizar la memoria del microcontrolador. La lógica de control es secuencial, y su estructura principal se muestra en la figura 11.

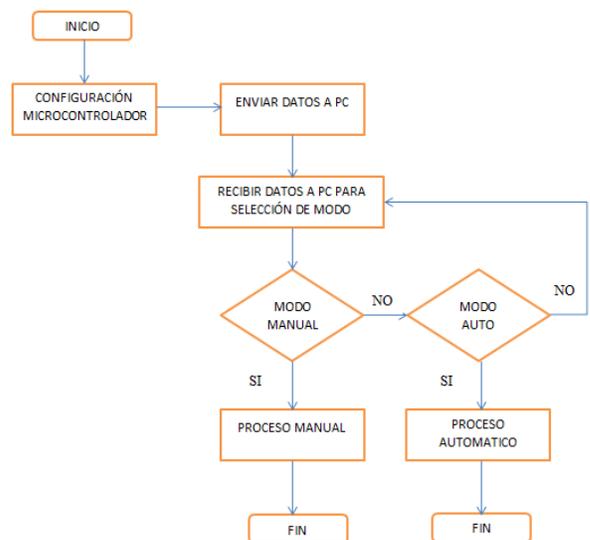


Figura 11. Diagrama de Flujo Principal.

La selección del modo de operación se la realiza en la interfaz HMI (Human Machine Interface o Interfaz Humano-Máquina), y consta de dos modos, el modo manual y el modo automático. Ambos modos se diferencian entre sí en que uno de ellos requiere que un operador indique las acciones que el robot debe ir realizando a lo largo del trayecto. Mientras que el modo automático simplemente necesita de una orden de inicio para comenzar el proceso de fumigación. Tanto el modo manual como el modo automático comparten en su

totalidad lo métodos que a continuación se explican.

Función Nivel.- La función nivel es la encargada de tomar datos del estado del contenedor de fungicida. Lo que se busca es validar estos datos, y prevenir así que se inicie el funcionamiento sin que exista el suficiente volumen de líquido para empezar la fumigación. Además, el peso de toda la estructura cambia acorde se realiza la fumigación, por lo cual levanta banderas de acuerdo al estado para futuros controles.

Función Adelante.- La función adelante es la encargada de activar los motores en el mismo sentido de giro, de manera que ambos muevan a la plataforma hacia adelante. Para esto previamente se debe verificar el estado de las banderas activadas por nivel, de tal forma que se controle la velocidad de giro mediante un porcentaje de los módulos PWM del controlador.

Función Alinea. - El método alinea es el responsable de corregir la dirección al momento que MI-T-NATOR se traslada hacia adelante o atrás. Debido a que los motores usados, pese a ser del mismo tipo, no son idénticos, la plataforma se desvía un poco hacia los lados. Para corregir esto se realiza un control en lazo cerrado de manera que se pueda corregir la dirección aumentando la velocidad del motor hacia el cual se dirige la desviación. Para ello se utilizan los sensores infrarrojos que se mencionaron anteriormente.

Función Atrás.- La función atrás determina el movimiento de la plataforma en reversa, para lo cual el controlador ordena a los motores girar hacia el mismo sentido, pero en dirección opuesta al método adelante.

Función Izquierda.- Esta función es la encargada de realizar el giro de la

plataforma hacia la izquierda, para lo cual activa solamente el motor de izquierdo. El motor derecho por otro lado permanecerá sin giro, provocando así que MI-T-NATOR gire adecuadamente sobre su eje. Cabe mencionar que para realizar este giro. Dado el peso que debe mover en el giro de acuerdo a la activación de banderas de la función Nivel. Si la bandera 1 se encuentra levantada, significa que el recipiente está lleno de fungicida, el motor izquierdo ira hacia adelante y el motor derecho hacia atrás. De esta manera se logra dar la suficiente fuerza para que la plataforma gire su propio eje. Al igual que la función adelante, la velocidad de giro de los motores estará establecida por la bandera que se encuentre activada.

Función Derecha.- La función derecha tiene una estructura similar a la función izquierda, mas difiere en invertir el sentido de giro de los motores, con lo cual la plataforma gira sobre su propio eje hacia la derecha cuando se realiza la llamada a esta función.

La Interfaz Humano Máquina o HMI, por sus siglas en inglés, es el medio por el cual un operador se puede comunicar con MI-T-NATOR para de esta forma controlar las acciones que la plataforma va a realizar. Dicha interfaz se caracteriza por la sencillez que tiene, de manera que sea entendible para cualquier operador que deba supervisar el proceso de fumigación. Existen muchas herramientas de programación que permiten desarrollar interfaces gráficas para realizar control. Pero se decidió escoger la plataforma de desarrollo Java, ya que es una plataforma libre que no necesita licencia para su uso. A más de esto, Java tiene la característica de ser un software multiplataforma, que incluso puede cargarse en dispositivos móviles. Esto permite que por medio de Java se dé una amplia versatilidad a la aplicación HMI, para que en

futuros desarrollos de la aplicación, se pueda realizar el control de MI-T-NATOR mediante un teléfono celular o una tableta personal.

El software Java utilizado para el desarrollo de la HMI es Netbeans IDE 7.2.1, y el compilador es el JDK (Java Development Kit) en su versión 7. Ambos programas son de libre acceso, y se los puede encontrar en internet en sus versiones más actuales.

Para realizar la distribución gráfica se usó la herramienta de Netbeans Jform, que permite crear aplicaciones gráficas únicamente arrastrando los distintos componentes que se deseen colocar en el formulario, o pantalla principal. En la figura 12 se muestra la distribución de las herramientas de Netbeans.

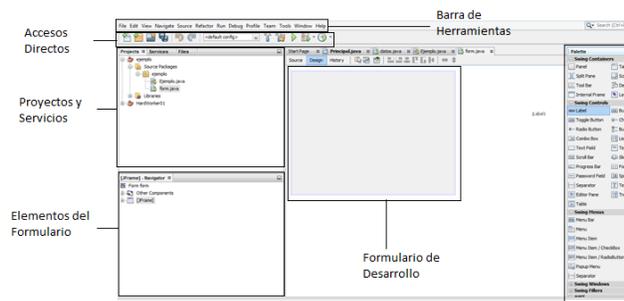


Figura 12. Distribución de Herramientas Netbeans.

En la sección derecha de la figura anterior se puede observar la paleta de componentes de Netbeans, los cuales deben ser arrastrados hacia el Formulario de Desarrollo para realizar la distribución adecuada de los mismos. De igual manera, se puede añadir eventos a estos componentes según sea necesario. De esta manera se fue dando forma a lo que hoy es la interfaz gráfica de MI-T-NATOR, buscando sencillez y funcionalidad en cada operación

que realice el operador. En la Figura 13 se muestra la HMI en su forma completa.



Figura 13. HMI Completa.

V. IMPLEMENTACION

Después de realizar el análisis de los requerimientos que necesita MI-T-NATOR para su operación, se realiza la implementación física de las distintas etapas del prototipo. Todo esto en base a los resultados que se han ido obteniendo a lo largo de los capítulos del presente proyecto. La construcción mecánica está ligada al sección 2 del proyecto, ya que de él se desprenden los distintos elementos mecánicos a ser implementados. Todo este análisis ya se lo ha realizado anteriormente, por lo cual la presente sección únicamente se enfoca en el modo en el cual se realizó el ensamblaje de las distintas piezas mecánicas, cuya construcción se la realizó en un taller metalmecánico con la ayuda de tornos, fresas y soldadoras. La estructura mecánica está compuesta de materiales metálicos en su totalidad, esto dado la resistencia que tienen los mismos. En un análisis a priori, se tomó en cuenta que el peso de la plataforma cargada de fungicida sería de aproximadamente 30 kg. Para la integración Eléctrica y Electrónica, se decidió usar una placa profesional con pistas

en ambos lados, y utilizando borneras de conexión, ya que usar “proto board” a más de ser antiestético, representaba un desorden por la cantidad de cables que se debía usar. Por ello, el diseño de la placa de control básica se detalla en la figura 14.

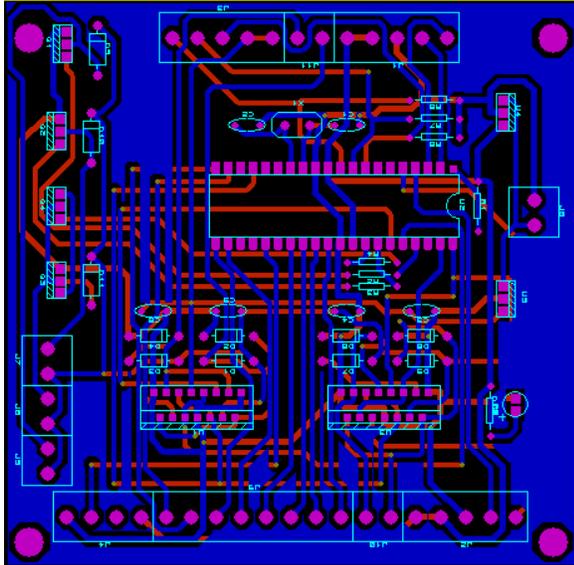


Figura 14. Diseño de la Placa de Control.

Para la puesta en marcha del proyecto, se debió iniciar por la construcción del campo de pruebas en condiciones ideales, para que el robot se desplace por un terreno sin muchas irregularidades y que las condiciones ambientales se estabilicen. Para la puesta en marcha del proyecto, se debió iniciar por la construcción del campo de pruebas en condiciones ideales, para que el robot se desplace por un terreno sin muchas irregularidades y que las condiciones ambientales se estabilicen. En primera instancia, se construyeron estructuras metálicas que sirven de soporte para las plantas que simularan los rosales. Estas estructuras además sirven como un elemento a ser medido, ya que su presencia indica al robot si se ha acercado demasiado a ese costado y deba corregir su dirección. En las figuras 15 y 16 se muestran los planos de

construcción y la representación de dichos soportes.

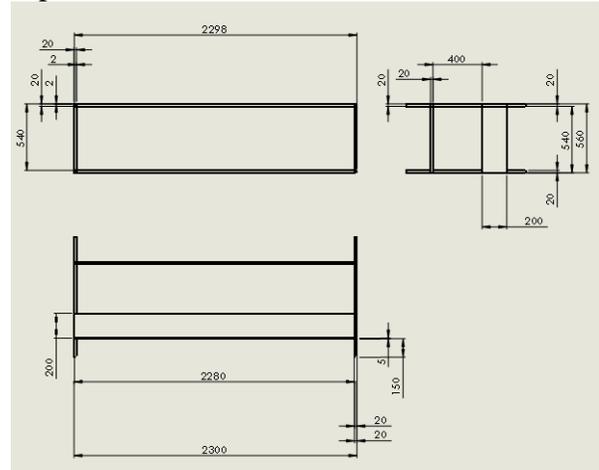


Figura 15. Plano de Construcción Estructuras Metálicas (mm).



Figura 16. Representación Estructuras Metálicas.

Se construyeron cuatro estructuras de este tipo, de manera que pueda cubrir los 5 m de largo que tendrán las camas simuladas. A más de esto, se encuentran colocadas dos masetas paralelas con las dos restantes, de

manera que el campo tenga dos camas de 5 metros cada una.



Figura 17. Distribución de las Masetas en el Campo de Pruebas.

En la Figura 17 también se puede observar la colocación de tablas de madera sobre el piso del campo, esto es para simular las condiciones ideales de un piso liso por donde debe moverse el robot. Estas tablas son de tipo industrial. Finalmente una vez implementadas todas las etapas de la plataforma, y luego de colocar amarras, guías y espirales plásticas en los cables, se obtiene la plataforma que se observa en la figura 18.



Figura 18. Estado Final MI-T-NATOR.

VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

Luego de haber implementado tanto el robot como el campo de pruebas, se procedió a realizar las pruebas de rigor para verificar el correcto funcionamiento. Se realizaron pruebas de cada una de las etapas del sistema por separado, para posteriormente realizar pruebas del sistema integrado en uno solo. El sistema mecánico presentó un pequeño viraje hacia ala derecha debido a que un motor era ligeramente más veloz que el otro, con lo cual la movilidad en línea recta y en los giros debía involucrar al sistema de instrumentación para realizar el control en lazo cerrado de la dirección.

Gracias a que el sistema de fumigación se lo implemento con materiales de alta calidad, se logró realizar la distribución de agua de manera que no se presenten fugas de ninguna índole especialmente en las juntas y uniones de las mangueras que van desde la bomba hacia las válvulas, y desde estas a los aspersores. En esta etapa, se debió añadir a los neoprenos de conexión entre las mangueras y las válvulas abrazaderas de presión metálicas, para de esta forma minimizar pequeños goteos que surgieron en las pruebas iniciales.

En cuanto a los aspersores, se debió colocar una gran cantidad de teflón y una mezcla de sello rosca con adhesivo industrial para fijar los aspersores a las mangueras, toda vez que los diámetros entre ambos no eran coincidentes. En las figuras 19 se observa el funcionamiento de los aspersores.



Figura 19. Funcionamiento Aspersor.

Los sensores usados, como se explicó, son sensores que miden el ángulo de reflexión de un haz infrarrojo sobre un objeto, pero son sumamente susceptibles a cambios climáticos como variaciones de luz, y vientos extremos. Por lo cual fue necesario estabilizar las condiciones lumínicas para simular de mejor manera las condiciones de un invernadero. En la figura 20 se aprecia la carpa plástica de protección que se instaló sobre el campo de pruebas para minimizar el efecto de la luz solar sobre los sensores.



Figura 20. Carpa Aislante de Luz.

Otro factor a considerar y que el mismo fabricante menciona en las hojas técnicas de estos sensores, es que cada valor de voltaje representa dos distancias. Esto sucede dado que la curva de transferencia de los sensores Sharp tiene una forma sinusoidal, por lo cual se debe verificar que el voltaje entregado por el sensor corresponde a la distancia

requerida. Por ello, los sensores se deben calibrar adecuadamente para que los valores de distancia que entreguen al microcontrolador sean los indicados y no exista una inconsistencia entre el valor de voltaje y la distancia necesaria.

Finalmente, en las pruebas integrales del sistema, se evidencio que el modo manual no presentaba inconvenientes al momento de su ejecución. Para la cualificación de resultados se realizaron 10 pruebas del modo automático dividiendo el campo de pruebas en 5 sectores como se muestra en la figura 21:

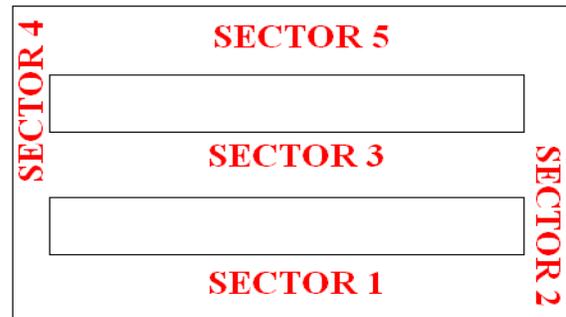


Figura 21. Esquema de Trayectoria Dividida en Sectores.

- Para el sector 1 los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados Sector 1.

Prueba No	Resultado
1	Sin colisión
2	Sin colisión
3	Sin colisión
4	Sin colisión
5	Sin colisión
6	Sin colisión
7	Sin colisión
8	Sin colisión
9	Sin colisión

10	Sin colisión
Porcentaje de error	0%

- El sector 2 se dividió en 3 partes, lo que se evidencia en la figura 22.

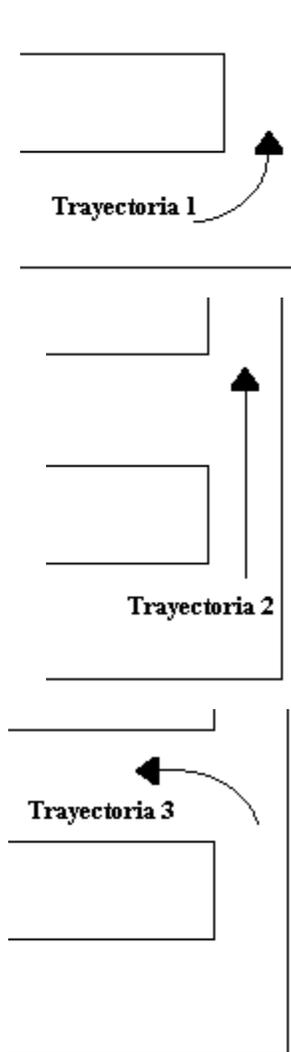


Figura 22. Trayectorias del Sector 2.

- Los resultados del sector 2 fueron los que se muestran en la tabla 2. En la tabla 3 se muestra una comparación

de los valores proporcionales de control en los motores.

Tabla 2. Resultados Sector 2.

Prueba No	Trayectoria 1	Trayectoria 2	Trayectoria 3
1	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
2	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
3	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
4	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
5	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
6	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
7	Sin colisión	Sin colisión	Sin Colisión
8	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
9	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
10	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
Porcentaje de error	0%	0%	0%

Tabla 3. Comparación de Valores PWM Sector 2.

Trayectoria	1	3
PWM calculado rueda izquierda %	13	13
PWM implementado rueda izquierda %	18	18
Error Rueda izquierda %	5	5
PWM calculado rueda derecha %	78	78
PWM implementado rueda derecha %	78	78
Error rueda derecha %	0	0

- Para el sector 3 se dieron los resultados obtenidos se encuentran tabulados en la tabla 4:

Tabla 4. Resultados Sector 3.

Prueba No	Resultado
1	Sin colisión
2	Sin colisión
3	Sin colisión

4	Sin colisión
5	Sin colisión
6	Sin colisión
7	Sin colisión
8	Sin colisión
9	Sin colisión
10	Sin colisión
Porcentaje de error	0%

- El sector 4 se dividió en 3 partes como se evidencia en la figura 21.

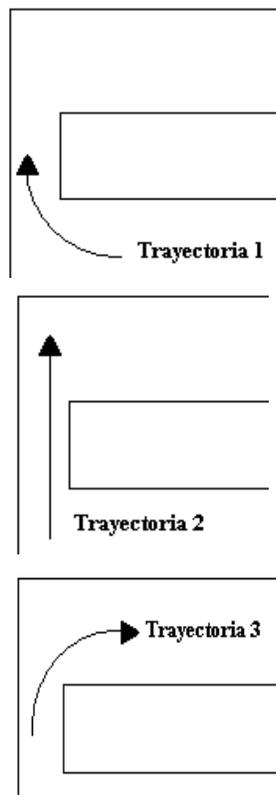


Figura 6.21. Trayectorias del Sector 4.

- Los resultados del sector 4 fueron los que se muestran en la tabla 5. En la tabla 6 se muestra una comparación

de los valores proporcionales de control en los motores.

Tabla 5. Resultados Sector 4.

Prueba No	Trayectoria 1	Trayectoria 2	Trayectoria 3
1	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
2	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
3	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
4	Sin colisión	Colisión	Sin colisión
5	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
6	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
7	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
8	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
9	Sin colisión	Sin colisión	Sin colisión
10	Sin colisión	Sin colisión	Colisión
Porcentaje de error	0%	10%	10%

Tabla 6. Comparación de Valores PWM Sector 4.

Trayectoria	1	3
PWM calculado rueda izquierda %	78	80
PWM implementado rueda izquierda %	80	80
Error Rueda izquierda %	5	0
PWM calculado rueda derecha %	18	80
PWM implementado rueda derecha %	18	80
Error rueda derecha %	0	0

- Para el sector 5 los resultados se encuentran tabulados en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados Sector 5.

Prueba No	Resultado
1	Sin colisión
2	Sin colisión
3	Sin colisión
4	Sin colisión
5	Sin colisión
6	Sin colisión

7	Sin colisión
8	Sin colisión
9	Sin colisión
10	Sin colisión
Porcentaje de error	0%

Finalmente con lo anteriormente expuesto, en la tabla 8 se muestra el porcentaje de eficiencia que la plataforma posee en el modo automático.

Tabla 8. Cualificación de Pruebas por Sector.

PRUEBA	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	SECTOR 5
1	OK	OK	OK	OK	OK
2	OK	OK	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK	OK	OK
4	OK	OK	OK	X	OK
5	OK	OK	OK	OK	OK
6	OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK	X	OK

Como se observa en la tabla 8, las filas sombreadas son aquellas correspondientes a las pruebas que presentaron fallas en el recorrido. Estas fallas fueron colisiones de la plataforma en los extremos de la trayectoria, debido a que los sensores fallaban en la medición de distancia. Como se puede observar, de 10 pruebas realizadas, 3 de ellas fueron intentos fallidos, con lo cual se concluye que la plataforma tiene un eficacia del 80%, que es un valor adecuado tomando en cuenta que es un prototipo.

VII. CONCLUSIONES

- El sistema robótico de fumigación después de haber sido sometido a pruebas de campo, se encuentra

funcional bajo condiciones ideales, dado que este prototipo se encuentra en su primera fase de desarrollo y se constituye en la base para futuras mejoras.

- Se realizó una investigación técnica – bibliográfica, de donde se extrajo información científica, que fundamenta el presente proyecto.
- Se realizó una investigación de campo que permitió conocer las condiciones bajo las cuales se realiza el proceso de producción florícola. Evidenciando que los químicos que se utilizan para eliminar plagas son altamente tóxicos, y son en gran medida perjudiciales para la salud de los operarios.
- Se diseñó una plataforma móvil utilizando elementos mayormente metálicos para dar soporte a todos los componentes que ella posee. Su configuración es de tres de ruedas en un arreglo diferencial, lo cual permite el giro sobre el propio eje del robot dado el poco espacio en el que se desplaza.
- El diseño de hardware de la plataforma emplea artefactos eléctricos y electrónicos que permiten, a más de la activación de sus componentes, elevar la potencia que genera el controlador, ya que de esto depende el torque para el desplazamiento y la presión de aspersión en la fumigación. Por otro lado la transmisión de datos utiliza módulos serie inalámbricos capaces de comunicarse entre ellos a una

distancia de hasta 40 metros, lo cual es idóneo para evitar que el operador este dentro del invernadero en contacto directo con el fungicida.

- Se concluye que la herramienta de desarrollo informático Java, constituye una de las más poderosas plataformas de programación. Ya que en ella se pudo realizar la distribución grafica de controles del robot en la interfaz humano-maquina, y además crear una conexión a una base de datos que realice reportes históricos del proceso de fumigación.
- Pese a que los motores que generan el movimiento de la plataforma poseen características similares, la construcción de ambos es distinta y esto se evidenció en los errores que se presentaron en el desplazamiento del robot. Traduciéndose en un desvío de la trayectoria rectilínea que debe cumplir la plataforma. Lo que quiere decir, que no se puede construir maquinas similares, con características idénticas.
- La distribución de peso en la plataforma es un aspecto crítico, dado que de esto depende la localización del centro de gravedad del robot, y esto afecta directamente a la movilidad del sistema, pero más aún a los giros que realiza.
- Es importante decir que la versatilidad del dispositivo controlador 18f452 permitió satisfacer los requerimientos de memoria del programa, toda vez que

un microcontrolador regular no habría superado estas expectativas.

- Los drivers L298 en configuración cascada provocan mayor cantidad de corriente hacia los motores, lo que se traduce en mayor potencia y torque para movilizar la plataforma, logrando mover los aproximadamente 22 Kg que la plataforma posee en carga máxima.
- La técnica de control más adecuada para el manejo de motores de corriente continua de baja potencia, es el control proporcional, dado que no se requiere controlar el arranque de los mismos, más si su velocidad de funcionamiento. Y esto se lo realiza mediante el uso de ancho de pulsos configurados digitalmente en el controlador.

AGRADECIMIENTO

A Dios y la vida por darnos la oportunidad de vivir en el tiempo que debimos, con las personas que debimos y los mejores amigos que pudimos.

A nuestros padres por el cariño amor y apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por acogernos en sus instalaciones y darnos la oportunidad de recibir una formación integral.

Al Ing. Hugo Ortiz por su apoyo y guía incondicionales a lo largo de nuestra carrera,

en especial en momentos difíciles de alta presión.

Al Ing. Manuel Freire, por ser nuestro tutor y mentor profesional, y compartir conocimiento de manera desinteresada.

A la Ing. Amparo de la Vega, por ser la guía en plantaciones de rosas, sin ti no hubiese sido esto posible.

A nuestros profesores por sembrar las bases para convertirnos en profesionales éticos y dignos.

REFERENCIAS

[1] Ruiz del Solar, Salazar. (2011). Robots Móviles. Recuperado de:

<http://robotica.li2.uchile.cl/EL63G/capitulo4.pdf>

[2] Blacio (2009). Bombas y Motores. Recuperado de:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6349/1/TNP%20Cap4%20Motores%20y%20Bombas.pdf>

[3] Ingeniería MCI. (2013). Módulos de Transmisión Inalámbrica. Recuperado de :

<http://www.xbee.cl/>

[4] MrGroup. (2009). Sensores de Distancia. Recuperado de:

<http://138.100.100.129/mrgroup/doku.php?id=teaching:sensors>

[5] (Simbaña, O.V. (2006). Medidor de Líquidos Controlado por un Microcontrolador. Tesis de tecnología no publicada EPN, Quito, Ecuador).

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Iván Andrés León Vásquez



Nace el 23 de Enero de 1989, en la ciudad de Quito, sus estudios primarios los realiza en la Unidad Educativa Borja 3 Cavanis, terminó e bachillerato en el Colegio Menor Universitario Cardenal Spellman especialidad en Ciencias en la ciudad de Quito.

Obtuvo su título de ingeniería en Electrónica Automatización y Control en el año 2013 en la Escuela Politécnica del Ejército

Adrián Jonatan Vásquez Tapia



Nace el 12 de Mayo de 1986, en la ciudad de Riobamba, sus estudios primarios los realiza en la Escuela Dr. Arnaldo Merino Muñoz, terminó e bachillerato en la Unidad Educativa Galileo Galilei especialidad Fisicomatemático en la ciudad de Quito.

Obtuvo su título de ingeniería en Electrónica Automatización y Control en el año 2013 en la Escuela Politécnica del Ejército.