

# MECANIZACIÓN DE LAS LABORES DE FUMIGACIÓN EN LA INDUSTRIA DE FLORES

José Ignacio Huertas<sup>1</sup>

Carlos F. Rodríguez<sup>2</sup>

Juan Esteban<sup>3</sup>

## Abstract

*Colombian flowers industry needs to automatize the fumigation labors. This kind of job is developed under bad condition against the operator, great quantity of water is used and it has problems in the uniformity aspersion. Besides operators health is in danger and environment problems due to pesticides use. For above mentioned problems and with the financial aid of ASOCOLFLORES, a new prototype machine has been designed and built which mechanizes fumigation labor. One 4 axis motion controller allows to set up the advance speed, pesticide quantity, drop size and aspersion system verticality*

## Palabras claves:

*Fumigación, aspersion, mecanización, flores.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de sistemas automatizados en la agricultura se ha motivado por la influencia del factor humano en la calidad de los productos y la poca productividad de los procesos actuales.

En la aplicación de sistemas automatizados a la agricultura se pueden independizar dos ambientes típicos: la plantación en campo abierto y el cultivo en invernadero. Así mismo la aproximación a las potenciales soluciones puede surgir de dos vertientes: como una aplicación novedosa de la robótica móvil o desde la perspectiva de modernización progresiva hasta la automatización de la maquinaria agrícola convencional.

Este trabajo esta enmarcado dentro de la segunda perspectiva para cultivos bajo invernadero.

Diversos grupos de investigación del mundo han abordado problemas de automatización de labores de producción agrícola. Entre los temas que se han estudiado figuran:

- Recolección de frutos
- Riego
- Fumigación
- Eliminación de malezas

---

<sup>1</sup> Profesor Asistente, Universidad de los Andes

<sup>2</sup> Profesor Asistente, Universidad de los Andes

<sup>3</sup> Estudiante de Magister, Universidad de los Andes



- Manipulación poscosecha
- Manejo integrado de fincas.

La fumigación es una de las actividades que requiere con mayor urgencia de ser automatizada por el riesgo que representa para los operarios el ser expuestos a los productos tóxicos usados durante el desarrollo de esta actividad. Un ejemplo muy ilustrativo es el caso de la industria floricultora de la sabana de Santafé de Bogotá, Colombia. Para 1997 esta industria ocupó el segundo renglón dentro de las exportaciones no tradicionales del país, en una cuantía cercana a los 10.000 millones de dólares. Se cuenta con alrededor de 4.000 hectáreas cultivadas y cerca de 75.000 empleos directos y 50.000 empleos indirectos generados. [1]

## 2. NECESIDAD DE AUTOMATIZAR LAS LABORES DE FUMIGACIÓN EN LA INDUSTRIA DE FLORES

Los métodos de fumigación utilizados por las empresas floricultoras están basados en la aspersión del fumigante a través del mecanismo de pulverización por presión hidráulica.

Las técnicas y equipos de fumigación usados en la mayoría de los casos son los mismos. Usualmente se cuenta con estaciones de bombeo que sirven en promedio a cuatro invernaderos. Allí se preparan y mezclan los fumigantes de acuerdo a lo estipulado por el agrónomo.

El sector floricultor de la Sabana de Bogotá ha desarrollado sus propios sistemas de aspersión comúnmente denominados aguilonos o lanzas de fumigación. Las lanzas de fumigación consisten de un arreglo de toberas espaciadas regularmente a ~30 cm y de hasta cinco salidas dependiendo de la altura del cultivo. Las toberas utilizadas normalmente son del tipo de cono hueco o de cono plano (cortina). Las lanzas se diseñan de acuerdo objetivo de la fumigación, caudal requerido, tipo y altura del cultivo.

Un aspecto importante que influye en la calidad de la fumigación es el desempeño del operario. Las lanzas y flautas se diseñan para reducir los errores ocasionados por el fumigador. De esta forma, la labor del operario está limitada a sostener el sistema aspersor a una altura y orientación constante, y a caminar con una velocidad constante por entre los surcos del cultivo. Sin embargo esta labor se complica teniendo en cuenta las condicio-

nes climáticas adversas dentro del invernadero, y que el operario esta completamente cubierto con un traje protector que incluye mascara de respiración, y que debe caminar por entre surcos no uniformes y con obstáculos.

Un problema típico que se presenta, son los saltos en la fumigación (denominados conejos), originados por el cansancio, movimientos inadecuados, o falta de entrenamiento del operario. Este es un problema común del ser humano al ejecutar procesos repetitivos. De otra parte, la estructura de los invernaderos impone restricciones físicas al tipo de máquinas que se pueden usar.

Es claro que la adaptación de nuevas tecnologías para la fumigación, debe ser el resultado de una estrategia estructurada de investigación, que demuestre su efectividad integrando además el perfil del operario, las técnicas de monitoreo, los factores de control pasivo ambiental, el tipo de agentes químicos, y las nuevas técnicas de aplicación de pesticidas. De igual manera los nuevos desarrollos deben probarse experimentalmente durante un tiempo prudencial antes de ser transferidos al sector.

El objetivo de este trabajo es adaptar y desarrollar tecnología para el manejo mecanizado e integrado de plagas en el sector de las flores, minimizando el uso de pesticidas. Para alcanzar este objetivo se busco desarrollar una máquina accionada eléctricamente y dirigida por un operario, con sistemas computarizados de control, que le dan la capacidad de poder ser programada en sus movimientos de desplazamiento y del sistema de aspersión de acuerdo a la labor a ejecutar.

## 3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Diversos grupos de investigación han buscado implementar sistemas que automaticen las labores agrícolas dentro de invernadero. Estos trabajos sirvieron como punto de partida para buscar la mejor alternativa de solución para el caso de la automatización de las labores de fumigación. Aquí se presentan algunos de los trabajos realizados.

### Agrobot:

Este robot fue desarrollado en Italia por el CIRAA (Centro Interuniversitario di Robotica Agricola e Ambientale). Originalmente está pensado para operación en invernadero, en particular en el cultivo de tomates. Las funciones que se pretende que realice son regar las plantas y recoger los frutos. Su estructura consta de un



vehículo eléctrico de 4 ruedas, un manipulador de 6 grados de libertad y una pinza de agarre.

#### Aurora:

Prototipo desarrollado por la Universidad de Sevilla (España), para operación en invernadero. El control de tareas se hace a distancia. Está dotado de sensores de visión y ultrasonido para reconocimiento y navegación. El vehículo posee un motor de combustión interna. El movimiento se transmite a través de 4 ruedas dispuestas en forma de diamante que funcionan por pares. Las dos ruedas laterales son para tracción, mientras las ruedas longitudinales ofrecen apoyo adicional y permiten controlar la dirección del movimiento.

#### Autonomous agricultural robot:

Desarrollado en Cranfield University (Inglaterra). Por el momento es un vehículo eléctrico autónomo con una potencia de 672 W, pensado para plantaciones en campo abierto. Posteriormente se le adaptarán manipuladores y herramientas que le permitan ejecutar funciones específicas.

## 4. DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES

Considerando las diferentes alternativas y teniendo en cuenta simplicidad, versatilidad, costos, volumen y peso de las alternativas consideradas se construyó un vehículo como el ilustrado en la figura 1. Este vehículo transportador consiste de un sistema de aspersión, una torre porta aspersores que porta 2 o más aspersores y un sistema de control. El peso total del vehículo fumigador es de ~90 Kg., dimensionado de tal manera

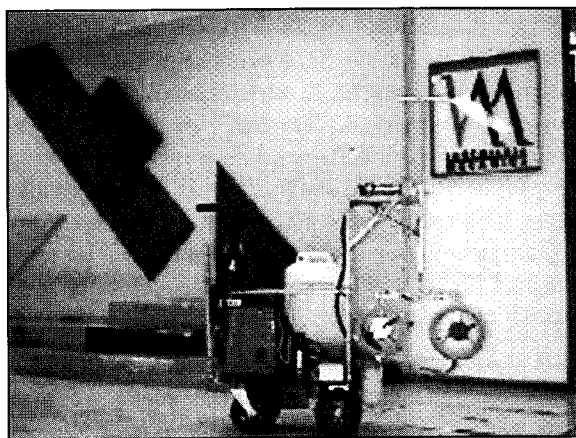


Figura 1.

Configuración del vehículo fumigador construido en UNIANDES

que tiene en cuenta las restricciones de espacio que existen en los cultivos de flores. Todos los sistemas eléctricos están alimentados por una planta eléctrica a gasolina portátil de 600 W de bajo nivel de emisiones y bajo nivel de ruido.

Tipo	Ancho camino [m]	Cultivo
1	0.50	Crisantemo, Pompón, Clavel
2	0.65	Rosa
3	0.45	Clavel, Gypso, Rosas, Pompón
4	0.50	Rosas
5	0.45	Diversas

TABLA 1

Ancho de los caminos por cultivo

### 4.1 Vehículo transportador

Para determinar las dimensiones del vehículo se consultó la disposición de espacio en los caminos de los cultivos. La tabla 1 relaciona los diferentes tipos de cultivo encontrados en la sabana de Bogotá y el ancho de camino típicamente usado.

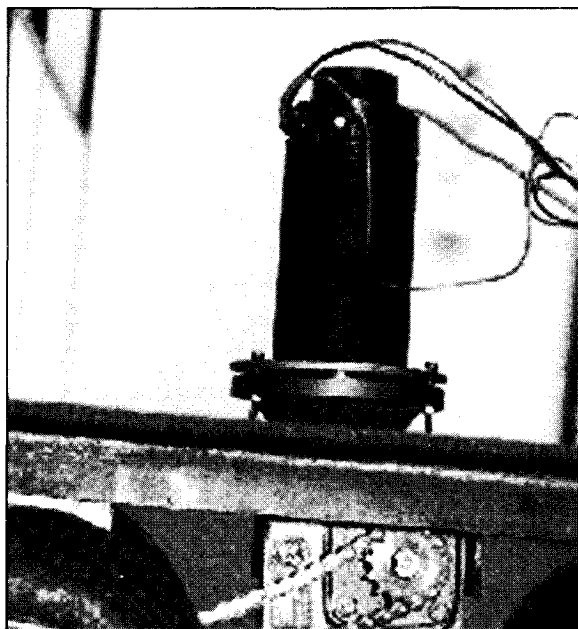
De la tabla 1 se puede concluir que la tendencia en cuanto al ancho mínimo de los caminos es de 450 mm. Con base en esta información se determinó que el vehículo debía tener un ancho máximo de 350 mm. De esta manera se construyó una plataforma de aluminio de 350 mm de ancho por 660 mm de largo, la plataforma va montada sobre un chasis construido en ángulo de acero estructural A36 de 1"1/4X1/4" que se encarga de soportar el peso total del vehículo. El vehículo posee cuatro ruedas neumáticas todo terreno de 220 mm de diámetro, el eje trasero es el encargado de dar la tracción.

La tracción del vehículo esta provista por un motor CC marca Galil acoplado a un reductor de ruedas dentadas marca Baldor con reducción de 20 para suministrar el torque y la velocidad necesarios (27.76 Nm, 5 Km/hr) al vehículo. El sistema de transmisión de potencia al eje trasero es por cadena y ruedas dentadas para evitar el deslizamiento y asegurar velocidad constante.

### 4.2 Sistema de dirección



La dirección está provista por un operario quien la manipula a distancia y por delante del vehículo. De esta forma se busca que el operario siempre este ade-



**Figura 2.**

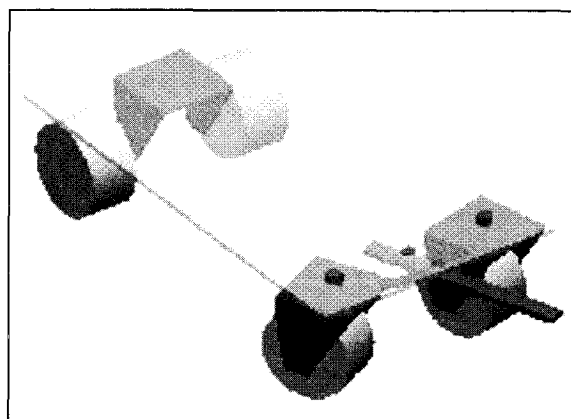
*Configuración del sistema de tracción del vehículo fumigador.*

lante de la nube de fumigante, reduciendo el grado de exposición del operario a los productos tóxicos.

En esta etapa los esfuerzos investigativos están concentrados en obtener un mayor control sobre el sistema de aspersión. En una segunda etapa se busca aumentar el grado de automatización del vehículo, controlando la dirección del vehículo con sistemas de radio control.

El tipo de dirección del vehículo fue escogida usando la teoría de números adimensionales, entre tres posibles soluciones; dirección tipo triciclo con timón donde las llantas giran el mismo ángulo que el timón; dirección diferencial acoplando un motor a cada rueda del eje de tracción y mediante la variación de velocidad entre ruedas se hace girar el vehículo; y la dirección mecanismo de 4 barras y timón. Los parámetros de comparación tenidos en cuenta fueron:

- Radio de giro del vehículo (R)
- Velocidad de rotación del vehículo ( $w$ )
- Sensibilidad del sistema de dirección



**Figura 3.**

*Configuración del sistema de dirección del vehículo fumigador.*

– Error del sistema de dirección

Después de analizar las relaciones obtenidas se encontró que la dirección de 4 barras era la más apropiada para el vehículo ya tiene el menor radio de giro, la menor sensibilidad permitiendo así el menor error en la dirección.

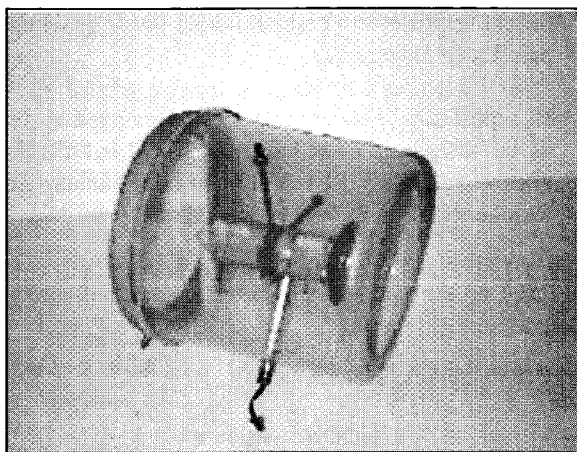
### 4.3 SISTEMA DE ASPERSIÓN

Después de considerar las diferentes alternativas comerciales de sistemas de aspersión se concluyó que la mejor opción por peso del equipo, potencia consumida y eficiencia, se encuentra en la tecnología de discos rotativos. Se desarrollaron dos prototipos de aspersores de disco rotativo, radial y axial [2].

Se realizaron un conjunto de pruebas para determinar las condiciones óptimas de operación (velocidad de viento, velocidad de rotación del disco, etc.) apropiadas para cada tipo de fumigación requerida y poder comparar el desempeño de estos sistemas de aspersión con el sistema usado actualmente y con otros sistemas alternativos. Se encontró que el desempeño del sistema de aspersión de disco rotativo tipo axial es muy superior a los otros sistemas y se ajusta plenamente a los requerimientos exigidos por los floricultores. La referencias [ ] y [ ] contienen los detalles del sistema de aspersión implementado.

En el aspersor de disco rotativo tipo axial, el fumigante es acelerado radialmente al establecer contacto con un disco que gira a ~3500 RPM. Cuando el agua logra el borde externo del disco un sistema dentado fracciona la cortina de agua formando gotas que salen expeditas tangencialmente al disco. Luego una corriente de aire de ~3 m/s redirige las gotas hacia el blanco desea-





**Figura 4**

*Aspersor de disco rotativo tipo axial.*

do. Este sistema crea turbulencia en el área alrededor del follaje de la planta, logrando impactar las gotas de fumigante en el envés de las hojas y logrando fumigaciones muy uniformes.

El sistema de aspersión está constituido por un tanque de almacenamiento de agua de 25 lts, una microbomba eléctrica de 0.1 galones por minuto, y sistemas de aspersión de disco rotativo tipo axial accionados por motores CC de bajo consumo de potencia. Este sistema de aspersión posee las siguientes características:

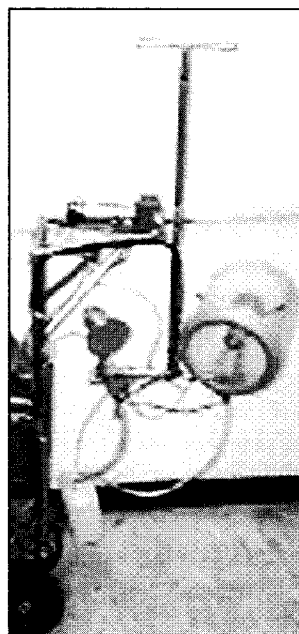
- Bajo consumo de potencia
- Posibilidad de realizar mezclas in situ
- Evita arrastre de mangueras de agua
- Posibilidad de manejar bajos volúmenes de fumigante
- Control del tamaño de gota
- Control sobre el caudal de aspersión
- Posibilidad de adaptar diferentes configuraciones de aspersores de acuerdo al diseño del usuario

#### 4.4 Torre portaaspersores

La función de la torre portaaspersores es graduar la altura del conjunto de aspersores de acuerdo a la labor de fumigación a realizar. Adicionalmente debe asegurar la verticalidad del sistema aspersor para que este no choque contra las plantas que por su valor exclusiva-

mente ornamental son delicadas. En este sentido la torre portaaspersores debe poseer un sistema que evite la influencia de los movimientos del vehículo sobre la verticalidad del sistema aspersor.

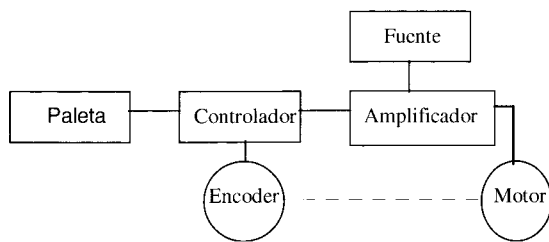
Para solucionar este problema fue propuesto un sistema que puede detectar cuando la plataforma del vehículo no está horizontal (momento en el cual los aspersores pierden su verticalidad) y seguidamente actuar sobre el brazo para mantenerlo vertical. El sistema implementado cuenta con un sensor de inclinación que detecta el cambio de posición de la plataforma del vehículo y un motor CC marca Galil acoplado a un reductor, mecanismo que mantiene la verticalidad del brazo. En la torre portaaspersores se encuentran monta-



**Figura 5**

*Torre portaaspersores implementada.*





**Figura 6**

*Diagrama de bloques del sistema de control implementado.*

dos el motor y el reductor, además va montada la micro-bomba de suministro de fumigante.

La torre portaaspersores posee mecanismos de sujeción rápida tal que se pueden acoplar fácilmente cualquier número de aspersores. Los brazos son extensibles, de tal forma que se pueden realizar fumigaciones con cubrimiento desde el nivel del suelo hasta 1.4 m de altura.

## 4.5 Sistema de Control

El sistema de control cuenta con una tarjeta marca GALIL capaz de controlar hasta 4 ejes simultáneamente, un módulo de interconexión entre la tarjeta y los motores, un amplificador (que es el elemento que cierra el lazo de control) por cada motor controlado, el encoder del motor el cual convierte movimientos en pulsos eléctricos para ser llevados al controlador.

El usuario al encender el vehículo se encuentra con la paleta controladora, la cual se encarga de comunicarlo con el controlador. La paleta esta provista de un teclado para que el usuario digite la información necesaria y una pantalla donde aparecen las opciones.

Antes de arrancar el vehículo, se deben seguir ciertos pasos para garantizar el buen funcionamiento del sistema. Primero se deben calcular los parámetros requeridos durante el proceso: tamaño de gota, y cubrimiento de la aplicación.

Después estos parámetros deben ser comunicados al sistema de aspersión para finalmente iniciar la marcha del vehículo.

Los niveles de control pueden expresarse de la siguiente forma:

- El operario tiene la capacidad de controlar el inicio y finalización del proceso y la trayectoria por la cual

deberá seguir el vehículo. También puede accionar paradas de emergencia.

- El supervisor se encarga de ajustar los parámetros de la fumigación en el vehículo: fija el tamaño de gota, la velocidad del vehículo y el cubrimiento de la aplicación.

Finalmente el agrónomo es el encargado de determinar el valor de los parámetros para garantizar la efectividad durante el proceso.

El sistema controla las siguientes variables:

- Velocidad de avance del vehículo
- Caudal de líquido enviado a los aspersores
- Caudal de la corriente de aire con que se envía el fumigante a las flores
- Tamaño de gota producida para la aspersión
- Posición del eje de la torres porta aspersores

Para realizar la labor de control el sistema cuenta con 4 sensores (encoders) conectados a los ejes de los motores controlados y seis actuadores (motores).

El sensor de inclinación del vehículo (inclinómetro) determina el ángulo de inclinación del vehículo y envía esta señal al controlador, este a su vez envía la orden al motor de la torre porta aspersores, que también cuenta con un encoder, para que corrija el desbalanceo y mantenga la verticalidad de los aspersores.

El encoder del motor de avance mide y envía la señal de velocidad al controlador para que este la mantenga constante, o la varíe dependiendo de la aplicación y de la información suministrada por el operario. Por último esta el encoder de la microbomba de suministro de fumigante que mide la velocidad del eje de la bomba y envía al controlador la señal de velocidad para que este controle el caudal de suministro de fumigante.

El tamaño de gota de fumigante y la velocidad de la corriente de aire con que este se envía a las flores son controlados desde una fuente de potencia regulada usando potenciómetros para variar la velocidad de los motores de los rompegotas y ventiladores.

## 4.6 Evaluación del prototipo

Con el fin de evaluar el desempeño del vehículo en su primera fase se realizaron diferentes pruebas obtenien-



do los siguientes resultados:

- Velocidad máxima constante: 4.5 km/hr
- Radio de giro: 58.47 cm
- Angulo de volteo horizontal: 22.5°
- Angulo de volteo vertical: 11.7°
- Potencia total consumida: 506 W
- Peso total : 91.5 kg.
- Pendiente máxima de arranque: 9.84°
- Autonomía de fumigación: 1 hr por cada 5 galones de mezcla.
- Autonomía energética: 7 hr por galón de gasolina.

## 4.7 Gestión de la Fumigación

Se diseñó e implementó un paquete computacional denominado "gestión de la fumigación," el cual es una herramienta de ayuda para el agrónomo en el proceso de toma de decisiones acerca de las especificaciones del tratamiento de fumigación a realizar en cada una de las camas del cultivo.

Por medio del programa computacional, el agrónomo puede conocer la condición de cada una de las camas de la finca. La información que se especifica para cada cama incluye: clase de flor, altura, edad, tratamientos previos, enfermedad, operario a cargo etc. Adicionalmente el programa proporciona una librería de las enfermedades más corrientes, con la posibilidad de agregar otras por parte del usuario. Para cada enfermedad se especifica sus causas, localización en la planta, producto recomendado para combatirla etc. Igualmente se incluye una librería para productos fumigantes, la cual incluye datos acerca de: proveedor, dosis recomendada, tipo de flor a la cual puede ser aplicado etc. Con esta información, el agrónomo decide el tipo de tratamiento a realizar y el programa elabora un orden de fumigación, que incluye datos como el producto a utilizar, y condiciones de la fumigación. Adicionalmente la orden de fumigación incluye las especificaciones propias para el control del vehículo fumigador que aquí se está desarrollando. Es de aclarar que este paquete computacional es de utilidad para gestionar las labores de fumigación aunque la finca no cuente con un vehículo fumigador y continúe usando los métodos tradicionales de fumigación.

## AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto se desarrolló gracias al financiamiento de ASOCOLFLORES. Se agradece los aportes de los ingenieros Jorge Mario Ramírez Juan Forero y Antonio Carmona estudiantes del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes.

## REFERENCIAS

- [1] CASAS, E. *Flores en Wall Street*. En revista Poder & Dinero. No. 51. Santafé de Bogotá. Pg. 86. Octubre 1997
- [2] RAMÍREZ, Jorge Mario. *Diseño y construcción de un sistema de fumigación de bajo volumen*. Tesis de grado. Magíster en Ingeniería Mecánica Universidad de los Andes. 1998.
- [3] CARMONA, Antonio *Caracterización de sistemas de aspersión de fumigantes*. Tesis de grado. Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes. 1998.