

Fecha de presentación del Informe: Día  Mes  Año **1. Datos generales del proyecto**

|                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| Código del proyecto: C.I. 2915                                                |
| Título del proyecto: Rescate y exploración con una formación de multi-agentes |
| Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ingeniería                        |
| Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica         |
| Grupo(s) de investigación: Grupo de Investigación en Control Industrial GICI  |
| Entidades: Universidad del Valle                                              |
| Palabras claves: agentes, cuadricópteros, control, multiagentes               |

| Investigadores          | Nombre                        | Tiempo asignado (horas semanales) | Tiempo dedicado (horas semanales) |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Investigador Principal  | José Tomas Buitrago Molina    | 10                                | 10                                |
| Coinvestigadores        | Esteban Emilio Rosero García  | 5                                 | 5                                 |
|                         | Eval Bladimir Bacca Cortés    | 3                                 | 3                                 |
|                         | José Miguel Ramírez Scarpetta | 2                                 | 2                                 |
|                         |                               |                                   |                                   |
| Otros participantes     | Brenda Marcela Montoya Gómez  | 40                                | 40                                |
| Estudiantes de maestría | Alejandro Astudillo Vigoya    | 40                                | 40                                |
|                         | Juan Sebastián Ruiz Díaz      | 40                                | 40                                |
|                         | Luis Eduardo García Linares   | 40                                | 40                                |
|                         |                               |                                   |                                   |
| Estudiantes de pregrado | Gustavo Adolfo Silva Alarcón  | 10                                | 10                                |
|                         | Ian Mateo Rodríguez López     | 10                                | 10                                |
|                         | Pedro Luis Muñoz Murillo      | 10                                | 10                                |
|                         | Fredy Yamid Álvarez Palechor  | 10                                | 10                                |
|                         | Julio Ernesto Urbano López    | 10                                | 10                                |
|                         | Carlos Andrés Gálvez Calderón | 10                                | 10                                |

## **2. Resumen ejecutivo:**

El uso de drones es una disciplina en auge, con aplicaciones prometedoras para apoyo en decenas de campos del conocimiento, como en el rescate y la exploración. Las facilidades económicas y logísticas para conseguir de estos aparatos hacen que esta tecnología se masifique a unos pasos agigantados. Si al robot volador se le adosa un teléfono inteligente, se obtiene una plataforma con potencia computacional alta y rápida, así como una integración de sensores para interactuar con el ambiente. Para este proyecto se desarrollaron e implementaron estrategias de control y estimación de estados que se ejecutan en un teléfono inteligente con el fin de controlar las dinámicas de vuelo de un cuadricóptero. Se obtuvo el modelo dinámico de un cuadricóptero por medio de las aproximaciones de Newton-Euler y Euler-Lagrange. Los componentes del cuadricóptero se detallaron y sus parámetros específicos se identificaron de manera experimental. Se diseñaron dos estrategias de control óptimo a partir del modelo linealizado del cuadricóptero, las cuales son el regulador cuadrático lineal con realimentación integral (LQI) y el controlador  $H^\infty$ . Además, se diseñó un filtro de Kalman para estimar los estados no medibles del sistema. Con simulaciones se validaron estos controladores y se implementaron en Android. Los algoritmos de control, sensado y estimación de estados se ejecutan en el teléfono inteligente a bordo del cuadricóptero. Adicionalmente, se implementó una aplicación de escritorio para la gestión, supervisión y configuración del cuadricóptero. El cuadricóptero se probó bajo diferentes modos de vuelo. En modo estabilizante, sus tiempos de establecimiento y sobrepasos son inferiores a 1,31 s y 17,39 %, respectivamente. Por otro lado, tiempos de establecimiento y sobrepasos menores que 5,21 s y 8,71 % respectivamente, se logran en el modo de retención de altitud. Finalmente, en el modo dependiente del sistema global de navegación satelital (GNSS), el error medio de posición es menor que 0,234 m. Los resultados sugieren que el controlador  $H^\infty$  tiene un mejor desempeño que el controlador LQI para el prototipo desarrollado del cuadricóptero basado en teléfono inteligente. La separación entre drones se mide por medio de un sensor láser de rango, evitando las colisiones. Los drones volaron de forma controlada. Se desarrolló una plataforma para experimentación en control, procesamiento de señales, sensórica, entre otras disciplinas.

Palabras clave: agentes, cuadricópteros, control óptimo, controlador  $H^\infty$ , controlador lineal cuadrático, detección de proximidad, multiagentes, teléfono inteligente, sensores.

### **Abstract:**

Applications in aerial robotics are increasing as a support tool in tenths of knowledge fields such as rescue and exploration. The economical and logistic affordability to get these flying apparatus increases and massifs that technology hastily. You could obtain a powerful faster computational platform with sensors capable to exchange with several environments, if you append a smartphone to the drone. In this project, control strategies and state estimation were development and implemented in a smartphone to be applied in the control of the flying dynamics of a quadcopter. The quadcopter model was formulated using the Newton-Euler and Euler-Lagrange approaches. The components of the quadcopter were detailed and the specific parameters were identified by experimentation. Two optimal control strategies were designed using the linearized model of the quadcopter. These strategies are the linear quadratic regulator with integral feedback (LQI) and the  $H^\infty$  controller. To complete this, a Kalman filter to estimate the unmeasurable states of the system was implemented. The controllers and filters were validated by simulations and implemented in Android. The onboard smartphone is the mean to execute all the control, sensing, and state estimation algorithms. Also, there is a desktop application to support the management, supervision, and configuration of the quadcopter. The tests done were under several flying modes. The stabilizing mode shows setting times and overshoots lower than 1.31 sec. and 17.39%, respectively. In the other hand, the altitude retention mode reached setting times and overshoots lower than 5.21 sec. and 8.71%, respectively. Finally, in the global navigation satellite system (GNSS) dependent mode, the mean position error is lower than 0.234 m. The results imply that  $H^\infty$  controller has a better performance that the LQI one. To avoid collision between drones, their distance is measured by a range laser sensor. The quadcopters flew in a controlled way. An experimental platform was implemented and some of its uses are related to signal processes and sensors among other subjects.

Keywords: agents, control, distance sensing,  $H^\infty$  controller, LQI, optimal control, quadcopters, sensors, smartphone.

### **3. Síntesis del proyecto:**

Tema: Control de multiagentes, en este caso cuadricópteros al que se les integró un teléfono móvil inteligente para que se muevan en el espacio tridimensional y exploren su entorno de manera cooperativa.

Objetivo general.

Formular e implementar algoritmos de control cooperativo para una formación de cuadricópteros, dotados de teléfonos inteligentes, para realizar tareas de rescate y exploración.

Objetivos específicos

1. Revisar el estado del arte con relación a los algoritmos de control cooperativo para el mantenimiento de una formación de cuadricópteros, así como de las diferentes plataformas de experimentación y equipos asociados.

Se revisó y clasificó material bibliográfico relacionado con la plataforma de experimentación y los algoritmos de control para cuadricópteros.

2. Adquirir y modelar la plataforma de experimentación.

Se adquirió y armó la estructura mecánica de la plataforma de experimentación y sus actuadores, así como la implementación del hardware para interactuar con el entorno considerando los requerimientos analizados en el estado del arte. Igualmente, se programó y probó el software para manipular los cuadricópteros; para esto se usó el sistema operativo de un teléfono inteligente.

Se obtuvo el modelo dinámico de un cuadricóptero para análisis y diseño de estrategias de control.

3. Formular las estrategias de control cooperativo para la formación y seguimiento de trayectorias.

Se formularon e implementaron estrategias de control cooperativo para la formación y seguimiento de trayectorias, incluyendo un análisis de estabilidad y las pruebas funcionales.

4. Desarrollar el aplicativo de gestión de los cuadricópteros para tareas de rescate y exploración.

Se desarrolló un aplicativo de gestión para un cuadricóptero, así como la forma de hacer las medidas de distancia y las pruebas de funcionamiento.

5. Realizar las pruebas funcionales y de integración del sistema desarrollado.

Se especificó el ambiente de operación de los cuadricópteros, junto con la validación de su estructura, modelo y estrategias de control mediante pruebas funcionales y de integración, con un análisis de resultados.

#### Resultados obtenidos

##### - Elementos constitutivos y accesorios del drone

Cada drone está configurado como se ve en la figura 1, sus componentes son: el marco con cuatro hélices, sus fuentes de potencia y datos, el teléfono inteligente con su soporte al drone y su electrónica. Se le puede adicionar sensores, que van adosados al marco.

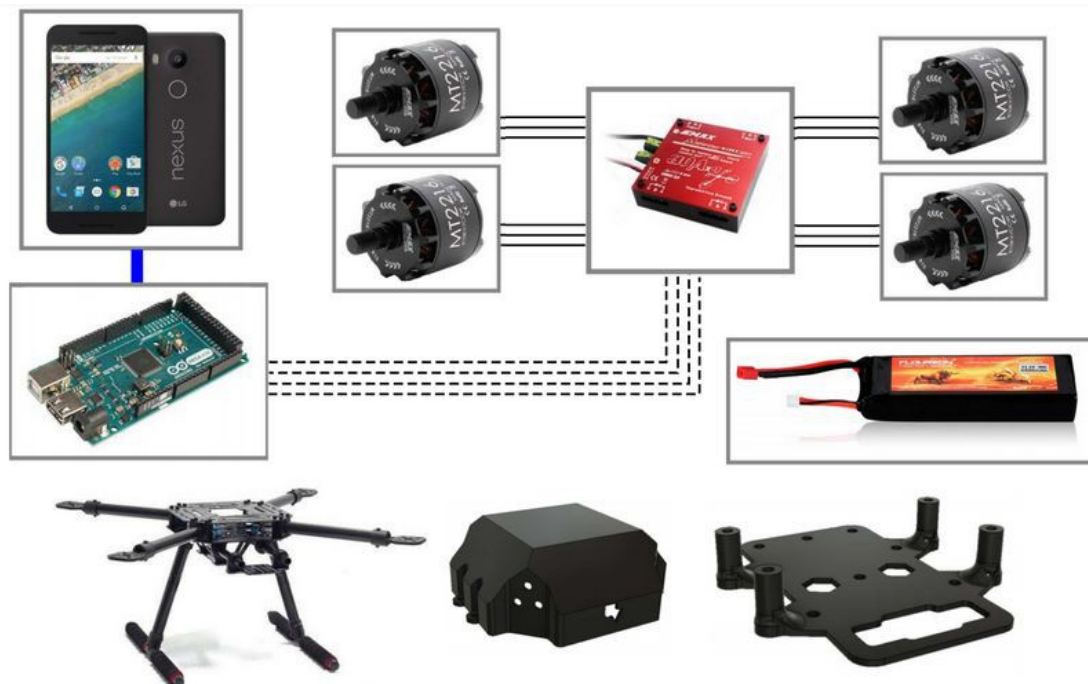


Figura 1. Componentes del cuadricóptero.

##### - Modelo matemático (cualitativo)

Por medio de los métodos de Lagrange-Euler y Newton-Euler, se llegó a un modelo no lineal con 12 variables generalizadas (posiciones y velocidades lineales y rotacionales en los ejes x, y, z). Los parámetros del modelo se obtuvieron por métodos de identificación. Se linealizó para poder aplicar estrategias de control lineal.

- Control y movimiento del dron

Se diseñaron dos estrategias de control óptimo a partir del modelo linealizado del cuadricóptero: el regulador cuadrático lineal con realimentación integral (LQI) y el controlador  $H^\infty$ . Para estimar los estados no medibles del sistema, se diseñó un filtro de Kalman y luego de verificar su funcionamiento, se implementó en Android el controlador de vuelo. Los algoritmos de control, sensado y estimación de estados se ejecutan exclusivamente en el teléfono inteligente a bordo del cuadricóptero. Para monitoreo del vuelo, así como para configurar el dron, se implementó una aplicación de escritorio, una interfaz de usuario en tierra desde la cual es posible seleccionar la dirección de sus movimientos, además de configurarlo y gestionar rutinas de vuelo por GPS. El sistema completo para cada cuadricóptero se muestra en la figura 2; incluye el dron con el teléfono inteligente, la estación de monitoreo en tierra y la interfaz de comunicación inalámbrica.



Figura 2. Sistema de vuelo para cada cuadricóptero.

En la figura 3 se muestra la ventana principal del aplicativo de gestión.

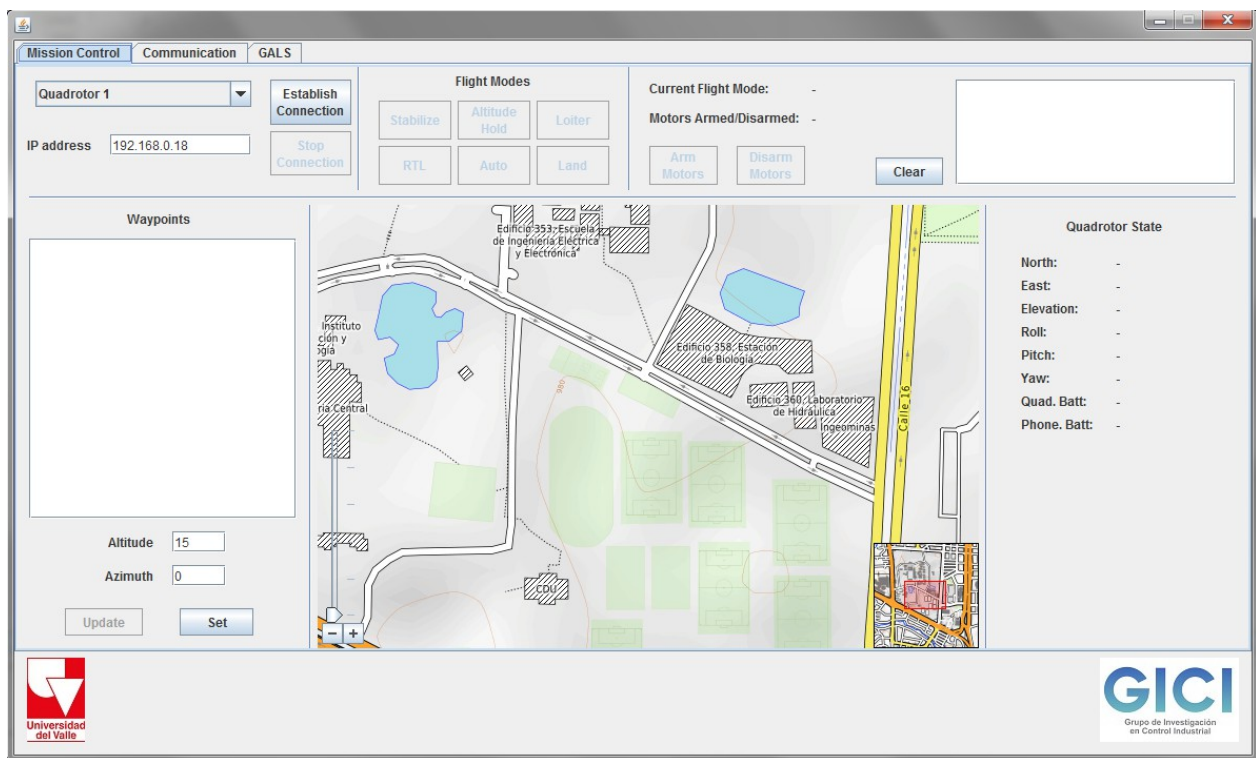


Figura 3. Interfaz de usuario para los cuadricópteros.

El cuadricóptero se probó bajo diferentes modos de vuelo. En modo estabilizante, se obtienen tiempos de establecimiento y sobrepasos inferiores a 1,31 s y 17,39 %, respectivamente. Por otro lado, tiempos de establecimiento y sobrepasos menores que 5,21 s y 8,71 % respectivamente, se logran en el modo de retención de altitud. Finalmente, el modo dependiente del sistema global de navegación satelital (GNSS), muestra un rendimiento cuyo error medio de posición es menor que 0,234 m.

Se adicionó a cada unidad un sensor láser de rango lateral, que detecta la posición relativa entre drones, esto permite el vuelo con una formación de cuadricópteros y se pueden ampliar las bondades de un solo elemento o agente. El sistema implementado lleva el nombre de GALS (Group Autonomous Location System/ Sistema autónomo de localización en grupo). Tiene dos componentes principales, el dispositivo sensor y el dispositivo de procesamiento. El dispositivo sensor escogido fue el Sweep V1 360 del fabricante Scanse. Se trata de un láser de rango que captura imágenes bidimensionales de 360° alrededor de su centro de coordenadas. A

continuación se muestran las características principales del sensor. El sensor se muestra en la figura 4.



Figura 4. Sensor de rango láser

En la figura 5 se muestra una captura tomada con el láser en una locación de prueba con forma rectangular.

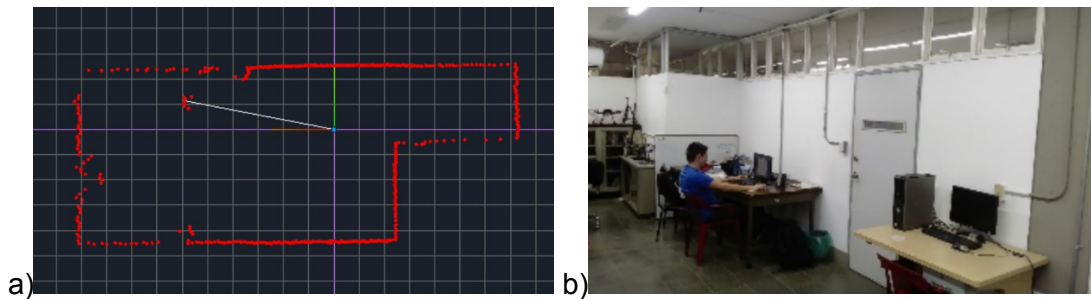


Figura 5. a) Captura realizada con el láser Sweep V1 360. b) fotografía del espacio capturado con el láser.

El segundo componente principal es el dispositivo de procesamiento. Para este propósito fue escogida la plataforma de desarrollo Arduino DUE. Actualmente es el Arduino con mayor potencia de procesamiento disponible. A diferencia de plataformas similares, el Arduino DUE no está basado en un microcontrolador sino en un procesador ARM. El Arduino DUE recibe, procesa y transmite la información capturada por el láser. Con este dispositivo se integra GALS con el sistema de control de vuelo presente en el cuadricóptero. En la figura 6 se muestra la estructura general de GALS integrado en el cuadricóptero.





Figura 6. Estructura general GALS integrado con el cuadricóptero.

Con el fin de identificar los drones que se encuentren en el rango de operación del sistema, se equipó cada cuadricóptero con un cilindro de madera en la parte superior mediante un adaptador para anclar el sensor. El proceso de identificación consiste en identificar formas cilíndricas en las lecturas de rango. El sistema diferencia los cuadricópteros de otros cilindros por medio del cálculo del diámetro del cilindro identificado. La figura 7 muestra el láser ubicado en el medio del cilindro.

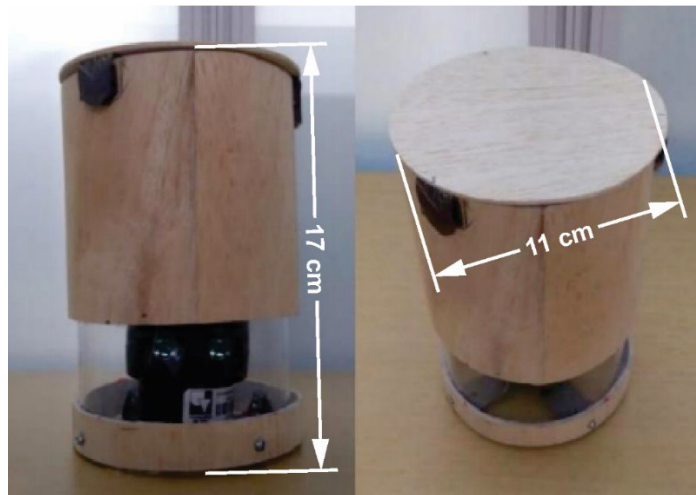


Figura 7. Láser Sweep V1 360 ubicado en el cilindro a identificar.

En la figura 8 se muestra una lectura del láser Sweep v1 360 en la cual se ejecutó el algoritmo de identificación, el cual identificó un cilindro en la captura, determinando su centro y su diámetro. En color azul se muestran los datos calculados por GALS.

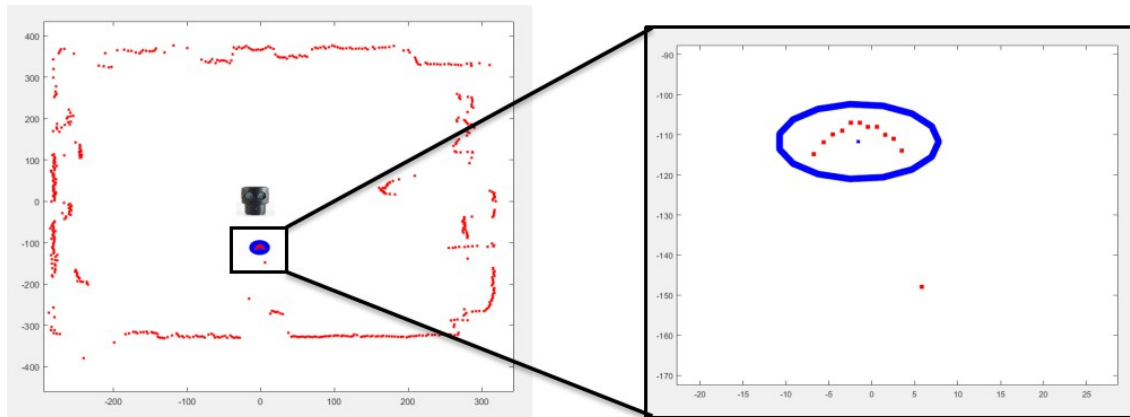


Figura 8. Lectura del láser Sweep V1 360. Acercamiento: Cilindro identificado en la captura por GALS.

GALS se integró con el sistema de control de vuelo, pudiendo configurar, gestionar y visualizar los datos generados por GALS utilizando la interfaz de vuelo del cuadricóptero. Interfaz que se modificó, adicionando una ventana dedicada a GALS (Figura 9)

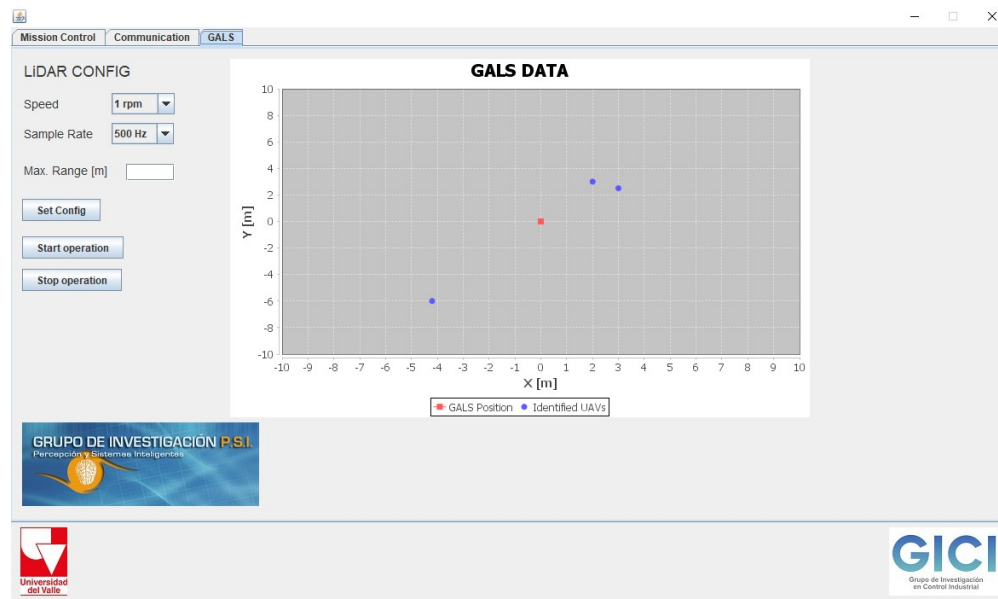


Figura 9. Ventana adicionada a la interfaz del cuadricóptero para configurar, gestionar y visualizar la información de GALS.

Los drones se utilizaron para hacer capturas de imágenes con cámaras integradas en los teléfonos inteligentes, con el fin de hacer mapas para exploración de lugares que con otro método prácticamente queda muy difícil hacerlo. Esto sirve para complementar labores de

rescate, para búsqueda o prevenciones de calamidades como incendios forestales, aludes y derrumbes, entre otras.

#### Conclusiones y recomendaciones

Los resultados sugieren que el controlador  $H^\infty$  tiene un mejor desempeño que el controlador LQI en el prototipo desarrollado de cuadricóptero basado en teléfono inteligente.

La interfaz del aplicativo de gestión GALS detecta la distancia entre drones y sirve para tener las referencias entre ellos para evitar colisiones en vuelo.

#### **4. Impactos actuales o potenciales:**

Impacto académico. Se desarrolló una plataforma de experimentación en control de drones de cuatro hélices que sirve para aplicar técnicas modelado de alto orden, no lineal, acoplado, así como la implementación de diversas estrategias de control avanzado. Tiene un potencial académico alto en cursos avanzados de pregrado y de posgrado, así como para proyectos de investigación y trabajos de grado.

Impacto de la investigación. Esta plataforma es idónea para hacer investigaciones relacionadas con el control de aeronaves, impactando en la industria aeronáutica. Se pueden hacer experimentos de diversa índole para analizar y evaluar el desempeño controladores con estrategias complejas.

Desarrollos futuros. Hay mucho potencial para investigar y desarrollar a partir de estas aplicaciones, teniendo el control de los drones, tanto para despegue, aterrizaje y maniobras en vuelo, con sensores que midan variables climáticas, aplicaciones concretas como detección y monitoreo de seres vivos y compuestos químicos, entre otras, muestran se pueden generar desarrollos futuros, en muchos campos del conocimiento.

**5. Productos:**

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados**

| TIPO DE PRODUCTOS                                                                               | No. de PRODUCTOS PACTADOS     |              |    |    | No. de PRODUCTOS PRESENTADOS  |              |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------|----|----|-------------------------------|--------------|----|----|
| Productos de nuevos conocimientos                                                               |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| Artículo en revista ISI-SCOPUS:                                                                 | Q1                            | Q2           | Q3 | Q4 | Q1                            | Q2           | Q3 | Q4 |
|                                                                                                 |                               | 1            |    |    | 1                             |              |    |    |
| Artículo completo publicado en revistas indizadas                                               | A1                            | A2           | B  | C  | A1                            | A2           | B  | C  |
|                                                                                                 |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| Libros de autor que publiquen resultados de investigación                                       |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| Capítulos en libros que publiquen resultados de investigación                                   |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados                                      |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| · Prototipos y patentes                                                                         |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| · Software                                                                                      |                               |              |    |    | 1                             |              |    |    |
| Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| Normas basadas en resultados de investigación                                                   |                               |              |    |    |                               |              |    |    |
| Formación de recursos humanos                                                                   | No. de estudiantes vinculados | No. de tesis |    |    | No. De estudiantes Vinculados | No. De tesis |    |    |
| Estudiantes de pregrado                                                                         | 1                             | 2            |    |    | 6                             | 4            |    |    |
| Semillero de Investigación                                                                      | 1                             | 0            |    |    | 1                             | 1            |    |    |
| Estudiantes de maestría                                                                         | 1                             | 1            |    |    | 3                             | 2            |    |    |

Elaborado por: Vicerrectoría de Investigaciones

|                                                                                 |                             |                                  |                             |                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Estudiantes de doctorado                                                        |                             |                                  |                             |                                  |
| Joven investigador                                                              |                             |                                  | 1                           | 0                                |
| <b>Productos de divulgación</b>                                                 |                             |                                  |                             |                                  |
| Publicaciones en revistas no indizadas                                          |                             |                                  |                             |                                  |
| Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)      | No. de ponencias nacionales | No. de ponencias internacionales | No. de ponencias nacionales | No. de ponencias internacionales |
|                                                                                 | 1                           | 1                                | 1                           | 1                                |
| <b>Propuesta de investigación</b>                                               |                             |                                  |                             |                                  |
| Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación. | 1                           |                                  | 1                           |                                  |

**Tabla No. 2. Detalle de productos**

|                       |                                                                                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Tesis de maestría. (Maestría en Ingeniería con énfasis en Automática)                                          |
| Nombre General:       | Design and implementation of flight dynamics control strategies for a smart-phone bases quadrotor.             |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                                                            |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia, fecha de sustentación: 8 de febrero de 2018.                                                   |
| Participantes:        | Estudiante: Alejandro Astudillo Vigoya. Directores: Esteban Emilio Rosero García y Eval Bladimir Bacca Cortés. |
| Sitio de información: | Biblioteca Mario Carvajal                                                                                      |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                                              |



|                       |                                                                                                                         |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Tesis de maestría. (Maestría en Ingeniería con énfasis en Automática)                                                   |
| Nombre General:       | Estimación de la posición en 3D para un cuadricóptero usando los sensores de un smartphone                              |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                                                                     |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia, fecha de sustentación: 8 de marzo de 2019.                                                              |
| Participantes:        | Estudiante: Juan Sebastián Ruiz Díaz. Director: Esteban Emilio Rosero García.<br>Codirector: José Tomas Buitrago Molina |
| Sitio de información: | Biblioteca Mario Carvajal                                                                                               |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                                                       |

|                       |                                                                                       |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Tesis de pregrado (Ingeniería electrónica)                                            |
| Nombre General:       | Cuadricóptero dedicado al seguimiento autónomo de un dispositivo celular inteligente. |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                                   |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia, fecha de sustentación: 21 de febrero de 2017.                         |
| Participantes:        | Estudiante: Fredy Yamid Álvarez Palechor. Director: Esteban Emilio Rosero García      |
| Sitio de información: | Biblioteca Mario Carvajal                                                             |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                     |

|                   |                                            |
|-------------------|--------------------------------------------|
| Tipo de producto: | Tesis de pregrado (Ingeniería electrónica) |
|-------------------|--------------------------------------------|



|                       |                                                                                                                                                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre General:       | Sistema de gestión de vuelo de un dron para la captura georreferenciada de imágenes.                                                             |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                                                                                              |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia, fecha de sustentación: 15 de febrero de 2017.                                                                                    |
| Participantes:        | Estudiantes: Ian Mateo Rodríguez López y Gustavo Adolfo Silva Alarcón.<br>Directores: Esteban Emilio Rosero García y Eval Bladimir Bacca Cortés. |
| Sitio de información: | Biblioteca Mario Carvajal                                                                                                                        |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                                                                                |

|                       |                                                                               |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Tesis de pregrado (Ingeniería electrónica)                                    |
| Nombre General:       | Control de elevación para cuadricóptero usando un celular inteligente.        |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                           |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia, fecha de sustentación: 8 de septiembre de 2017.               |
| Participantes:        | Estudiante: Pedro Luis Muñoz Murillo. Director: Esteban Emilio Rosero García. |
| Sitio de información: | Biblioteca Mario Carvajal                                                     |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                             |

|                   |                                                                                                                   |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto: | Tesis de pregrado (Ingeniería electrónica)                                                                        |
| Nombre General:   | Implementación de un método para la estimación de posición usando un teléfono inteligente y visión por computador |
| Nombre            | N/A                                                                                                               |



|                       |                                                                                                                          |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Particular:           |                                                                                                                          |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia, fecha de sustentación: 24 de abril de 2019.                                                              |
| Participantes:        | Estudiante: Julio Ernesto Urbano López. Director: Eval Bladimir Bacca Cortés.<br>Codirector: José Tomas Buitrago Molina. |
| Sitio de información: | Biblioteca Mario Carvajal                                                                                                |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                                                        |

|                       |                                                                                        |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Ponencia nacional.                                                                     |
| Nombre General:       | 3rd IEEE Colombian Conference on Automatic Control - CCAC2017                          |
| Nombre Particular:    | Optimal and Robust Controllers Design for a Smartphone-based Quadrotor.                |
| Ciudad y fechas:      | Cartagena de Indias, Colombia, 18-20 de octubre de 2017.                               |
| Participantes:        | Alejandro Astudillo Vigoya, Esteban Emilio Rosero García y Eval Bladimir Bacca Cortés. |
| Sitio de información: | Archivo del grupo de investigación GICI                                                |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                      |

|                    |                                                                             |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:  | Ponencia internacional.                                                     |
| Nombre General:    | 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems-ICUAS 2017.      |
| Nombre Particular: | Altitude and Attitude Cascade Controller for a Smartphone-based Quadcopter. |
| Ciudad y fechas:   | Miami, Florida, Estados Unidos, 13-16 de junio de 2017.                     |





|                       |                                                                                                                    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| fechas:               |                                                                                                                    |
| Participantes:        | Alejandro Astudillo Vigoya, Pedro Luis Muñoz Murillo, Fredy Yamid Álvarez Palechor y Esteban Emilio Rosero García. |
| Sitio de información: | Archivo del grupo de investigación GICI                                                                            |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI.                                                                 |

|                       |                                                                                                                    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Software                                                                                                           |
| Nombre General:       | SCGI, Sistema de Gestión de Vuelo de un Dron para la Captura Georreferenciada de Imágenes.                         |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                                                                |
| Ciudad y fechas:      | Cali, Colombia. Fecha de registro ante el Ministerio del Interior: 30 de junio de 2017.                            |
| Participantes:        | Eval Bladimir Bacca Cortés, Esteban Emilio Rosero García Ian Mateo Rodríguez López y Gustavo Adolfo Silva Alarcón. |
| Sitio de información: | Archivo del grupo de investigación GICI                                                                            |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI.                                                                 |

|                    |                                                                                                         |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:  | Propuesta de investigación para financiación externa.                                                   |
| Nombre General:    | Proyectos de ciencia, tecnología e innovación y su contribución a los retos de País.                    |
| Nombre Particular: | Detección de minas antipersona mediante inspección aérea del suelo, a partir de imágenes termográficas. |
| Ciudad y fechas:   | Bogotá, fecha de radicación: 22 de mayo de 2018.                                                        |
| Participantes:     | José Tomas Buitrago Molina (en ese proyecto, los demás proponentes no pertenecen a este proyecto)       |



|                       |                                                    |
|-----------------------|----------------------------------------------------|
| Sitio de información: | Vicerrectoría de Investigaciones                   |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI. |

|                       |                                                                            |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Estudiante en semillero de investigación                                   |
| Nombre General:       | N/A                                                                        |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                        |
| Ciudad y fechas:      | Cali, febrero-junio de 2018.                                               |
| Participantes:        | Estudiante: Julio Ernesto Urbano López, tutor: Eval Bladimir Bacca Cortés. |
| Sitio de información: | Archivo del grupo de investigación GICI                                    |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                          |

|                       |                                                                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Joven investigadora                                                                                  |
| Nombre General:       | Estimación del contenido de nitrógeno foliar empleando métodos ópticos integrado a un sistema aéreo. |
| Nombre Particular:    | N/A                                                                                                  |
| Ciudad y fechas:      | Cali, 2017-2019.                                                                                     |
| Participantes:        | Brenda Marcela Montoya Gómez. Tutor: Esteban Emilio Rosero García.                                   |
| Sitio de información: | Archivo del grupo de investigación GICI                                                              |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI                                                    |



|                       |                                                                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de producto:     | Artículo en revista indizada (Q1)                                                                                   |
| Nombre General:       | Mechatronics (revista de Elsevier)<br>En proceso de evaluación para su publicación, recibido el 9 de marzo de 2019. |
| Nombre Particular:    | Optimal controllers for autonomous navigation of a smartphone-based quadroto.                                       |
| Ciudad y fechas:      | Pendiente de publicar. Se le asignó el código de revisión MECH-D-19-00121                                           |
| Participantes:        | Esteban Emilio Rosero García, Eval Bladimir Bacca Cortés y Alejandro Astudillo Vigoya.                              |
| Sitio de información: | Autores, página web de Elsevier, Archivo del grupo de investigación GICI                                            |
| Formas organizativas: | Grupo de Investigación en Control industrial GICI.                                                                  |

---

Firma del investigador principal

---

VoBo. Vicedecano de Investigaciones