

# **Estimación de posición y control de un vehículo aéreo no tripulado para su aplicación en sistemas de aterrizaje de emergencia.**

## **Estimation of position and control of an unmanned aerial vehicle for its application in emergency landing systems.**

Joaquín Domínguez Zenteno (1). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tecnológico Nacional de México, Chiapas, México. [quinolalo@gmail.com](mailto:quinolalo@gmail.com).

Julio Alberto Guzmán Rabasa (2). Estudiante I. T. de Tuxtla Gutiérrez. [quinolalo@gmail.com](mailto:quinolalo@gmail.com).

Francisco Ronay López Estrada (3). I. T. de Tuxtla Gutiérrez. [frlopez@ittg.edu.mx](mailto:frlopez@ittg.edu.mx).

José Ángel Zepeda Hernández (4). I. T. de Tuxtla Gutiérrez. [jzepeda@ittg.edu.mx](mailto:jzepeda@ittg.edu.mx).

Álvaro Hernández Sol (5). I. T. de Tuxtla Gutiérrez. [ing\\_sol10@yahoo.com.mx](mailto:ing_sol10@yahoo.com.mx).

**Artículo recibido en septiembre 20, 2017; aceptado en diciembre 18, 2017.**

### **Resumen.**

*Este trabajo está dedicado al estudio y control de vehículos aéreos no tripulados. El trabajo considera el diseño de sistemas de estimación de posiciones angulares y rotacionales en tiempo para el diseño de controladores de vuelo. El control tiene como objetivo incrementar la seguridad del vehículo y evitar que este caiga (se accidente) ante fallas de sus motores, además para demostrar la aplicabilidad de los métodos propuestos se considera ruido de medición, lo cual a su vez afecta la estabilidad y control de la aeronave. Estos algoritmos son implementados en tiempo real mediante y aplicado a un cuadrotor. Los resultados muestran la efectividad y aplicabilidad de los algoritmos propuestos.*

**Palabras clave:** Vehículo aéreo no tripulado, VANT, control PID, drones aéreos.

### **Abstract.**

*This paper is dedicated to the study and control of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Angular and lineal position estimation systems are considered in order to develop flight controllers. With the goal of shown the applicability of the proposed methods, measured noise is considered, which affects the stability and controllability of the UAV. These algorithms are implemented in real-time in a quadrotor UAV. The results show the effectiveness and applicability of the proposed algorithms.*

**Keywords:** Unmanned aerial vehicle, UAV, PID control, aerial drones.

## **1. Introducción.**

De manera general, los vehículos aéreos son clasificados por su aplicación (militar o civil), peso (micro, medio) y por su forma de ser operados (vehículo aéreo tripulado o no tripulado). Específicamente los vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones aéreos han adquirido gran atención en los años recientes debido principalmente a los avances tecnológicos que facilitan su construcción y control.

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) han sido usados principalmente para uso militar en aplicaciones de vigilancia o ataque de territorio enemigo. Sin embargo, en los últimos años se ha extendido su uso en aplicaciones civiles, por ejemplo, para la detección y monitoreo de incendios en bosques y ciudades (Salvo, 2014), inspección en la construcción de infraestructuras (Roca, 2014), toma de mediciones atmosféricas, inspección de líneas de alta tensión (Jiang, 2013), entre otros (Zhang, 2013). La ausencia total de piloto al interior de los VANT en conjunto con las nuevas tecnologías de diseño, por ejemplo, el uso de impresoras 3D ha permitido su miniaturización. En el mercado se pueden encontrar VANT de diferentes tamaños que van desde unos pocos centímetros de radio hasta algunos metros.

Entre los VANT más populares se encuentran los helicópteros, aviones de ala fija y los cuadrotoros. Este último se ha popularizado debido a que no requiere de constante mantenimiento, y además debido a que el diámetro individual de los rotores es más pequeño (comparado con un helicóptero) por la presencia de cuatro actuadores en lugar de uno solo. Esta característica permite que los cuadrotoros sean más estables que los helicópteros lo cual facilita su modelado y control (Zhang, 2013; Montes de Oca, 2012). Por otro lado, las ecuaciones diferenciales que describen su dinámica son altamente no lineales e inestables debido a que deben considerarse perturbaciones aerodinámicas (Raffo, 2010, Flores, 2014). Una de las desventajas de los cuadrotoros es el alto consumo de energía lo cual limita el tiempo de vuelo del vehículo. Esta desventaja es potencialmente subsanada en los vehículos de ala fija, sin embargo, el diseño de sistemas de control autónomo de este tipo de vehículos es más complejos debido a que elementos de control dependen de las alas, estabilizadores, alerones, rudders, elevadores, flaps, spoilers y del sistema de propulsión, mientras que en un cuadrotor depende de los rotores.

Por otro lado, los modelos matemáticos que representan las características dinámicas de este tipo de vehículos son altamente complejos y no lineales. Más allá del problema de modelado surge también el reto de diseñar VANT con sistemas de vuelo confiable y seguro. Como fue reportado por la secretaría de la defensa de los Estados Unidos, el desarrollo de sistemas que permitan detectar averías (fallas) y que contribuyan al desarrollo de sistemas de vuelo inteligentes es un paso crucial en el desarrollo de VANT autónomos y confiables (Secretary of Defense, 2002). Este tipo de comportamientos anormales pueden ser identificados, y en su caso aislados, mediante sistemas de detección de fallos, de manera que pueda garantizarse el desempeño y la seguridad del sistema durante todo el tiempo de vuelo (López-Estrada, 2014).



**Figura 1.** Vehículos aéreos diseñados en Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Sobre la base de conocimiento del proponente del proyecto, en el ITTG se diseñan vehículos aéreos no tripulados de diferentes clases (multirotores, helicópteros y aviones), así mismo sistemas de control de vuelo autónomo. Importante remarcar que este tipo de sistemas no ha sido investigado a fondo, y representa un área de oportunidad para desarrollar investigación de frontera (a nivel teórico y aplicada) que conlleve al desarrollo de sistemas que mejoren la confiabilidad y seguridad, que puedan ser aplicados no solo en VANT, sino también en sistemas similares. Este es el tipo de investigación que se desarrolla en este trabajo.

## 2. Métodos.

En ingeniería se utilizan modelos matemáticos para describir sistemas físicos, su iteración con el mundo real y su dinámica a través de relaciones matemáticas. En ingeniería de control existen dos razones principales para obtener el modelo matemático, por ejemplo, en el caso de VANT; un modelo permite evaluar las características del futuro de la aeronave en cuestión o su comportamiento en diferentes condiciones. Por otro lado, el modelo matemático permite diseñar algoritmos de control que garanticen el desempeño y la confiabilidad del dron aéreo en diferentes situaciones y condiciones, optimizar recursos, evitar daños o pérdidas totales del vehículo en experimentos reales, reducir los costos del mismo, explorar nuevas soluciones de control, incrementar los ciclos de innovación, entre otros. Lo anterior hace que las técnicas de control basados en modelos se vuelvan muy atractivas para la industria ya que se logra un ahorro de dinero y tiempo en el desarrollo de nuevos prototipos que acelerara la validación y ensamblaje de los mismos.

Los VANT usualmente son modelados como un conjunto de ecuaciones diferenciales de la forma siguiente (Bresciani, 2008):

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)) \quad (1)$$

Donde  $x(t)$  es el vector de estados,  $u(t)$  es la entrada de control y  $f$  es una función de  $x(t)$ ,  $u(t)$  y el tiempo  $t$ .

El modelo de un VANT está formado por tres partes principales que comprenden la dinámica de los motores, la aerodinámica y la dinámica del cuerpo. De forma general, las entradas del sistema son: las velocidades de los rotores o la entrada de voltaje a éstos motores, las velocidades actuales de los rotores, la dinámica de las propelas, fuerzas y momentos aerodinámicos actuando sobre el cuerpo y la velocidad rotacional. Sin embargo, debido a que un VANT tiene más grados de libertad que entradas de control, éste pertenece a una clase particular de sistemas subactuados (Zheng, 2014). Esta condición hace de un dron aéreo un sistema altamente inestable, no obstante el sistema sobreactuado puede estabilizarse y controlarse. Más aún, debido a la dinámica rápida del motor con respecto a la dinámica del cuerpo, éste no es necesario introducirlo en el diseño del controlador principal. En un enfoque inicial, un VANT se modela como un cuerpo rígido el cual se encuentra inmerso en un fluido y cuyo desplazamiento se realiza en un espacio tridimensional el cual es controlado mediante la fuerza de empuje a lo largo de una dirección que genera el movimiento de traslación y un torque que genera el movimiento de rotación. En un VANT real, estas entradas de control son generadas mediante propelas (por ejemplo cuadrotores y hexadrotores), elevadores o alerones (por ejemplo aviones), o mecanismos *swashplate* (por ejemplo helicópteros).

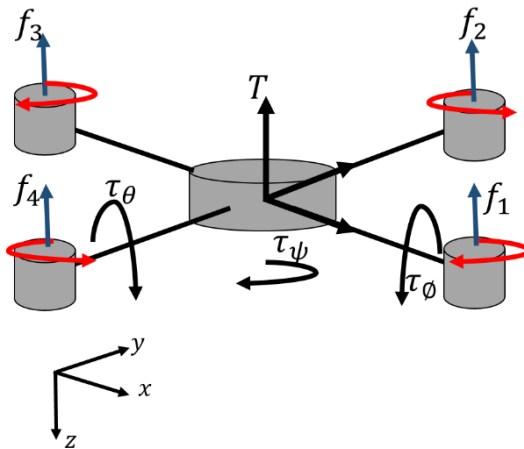
La dinámica traslacional se modela como la dinámica de un cuerpo rígido con masa  $m$ , el cual está sujeto a fuerzas externas aplicadas al centro de masa del vehículo. Estas ecuaciones son deducidas aplicando la segunda ley de Newton, de manera tal que:

$$\sum F_i = m\dot{v} \quad (2)$$

Donde  $F_i$  son las fuerzas externas aplicadas al vehículo,  $v=(v_x, v_y, v_z)$  las velocidades en cada uno de los ejes. Por otro lado, la dinámica rotacional se deduce mediante la aplicación de la suma de momentos, de manera que:

$$\sum M_B = J\dot{\Omega} + \Omega \times \Omega \quad (3)$$

Entre los VANT, el más popular es el de tipo cuadrotor. Este vehículo está compuesto por cuatro rotores, los cuales al cambiar la velocidad de cada motor producen el desplazamiento inercial y rotacional del vehículo. Por ejemplo, las fuerzas y momentos que actúan sobre un cuadrotor se aprecia en la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de fuerzas y momentos actuando sobre un cuadrotor.

Las ecuaciones de movimiento son obtenidas tras aplicar la sumatoria de fuerzas y momentos (2) y (3). El vector de posición es representado mediante las siguientes variables  $(x,y,z)$ , el vector de velocidad es dado por  $(v_x, v_y, v_z)$ , los ángulos con respecto a los movimientos “roll”, “pitch” y “yaw” están representados por  $(\phi, \theta, \psi)$ , de manera que la dinámica del vehículo es representada mediante un conjunto de 12 estados y cuatro entradas de control

$$x = [x, y, z, v_x, v_y, v_z, \phi, \theta, \psi, p, q, r], u = [T, \tau_\phi, \tau_\theta, \tau_\psi]$$

Considerando lo anterior, el modelo no lineal se obtiene de la forma

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= v_x \\ \dot{y} &= v_y \\ \dot{z} &= v_z \\ \dot{p} &= \frac{\tau_\phi}{I_x} + \frac{I_y - I_z}{I_x} qr + \tau_{Ax} + \frac{I_r}{I_x} q\Omega_r \\ \dot{q} &= \frac{\tau_\theta}{I_y} + \frac{I_y - I_x}{I_y} pr + \tau_{Ay} + \frac{I_r}{I_y} q\Omega_r \\ \dot{r} &= \frac{\tau_\psi}{I_z} + \frac{I_y - I_x}{I_z} pq + \tau_{Az} \\ \dot{\phi} &= r \tan \theta \cos \phi + p + q \tan \theta \sec \phi \\ \dot{\theta} &= q \cos \phi - r \sin \phi \\ \dot{\psi} &= r \sec \theta \cos \phi + q \tan \theta \sec \phi \\ v_x &= F_{Ax} - (\cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi) \frac{T}{m} \\ v_y &= F_{Ay} - (\cos \psi \sin \phi - \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{T}{m} \\ v_z &= F_{Az} + g - (\cos \theta \cos \phi) \frac{T}{m} \end{aligned} \right\} (4)$$

Donde  $\Omega_r$  representa las velocidades angulares  $I_r$  los momentos de inercia sobre los ejes (Hamel, 200; Jurado, 2008; Mahony, 2012). Note que el modelo dinámico en (4) es altamente no lineal y complejo.

Una variable importante a considerar en el diseño de sistemas de control de VANT es la medición de la posición rotacional y traslacional en tiempo real. En entornos abiertos esta información es proporcionada por el sistema de posicionamiento global (GPS), sin embargo en entornos cerrados o cuando se encuentran árboles o edificios cercanos no es posible obtener información de estos sensores.

Existen trabajos importantes que han logrado medir la posición de un VANT en un entorno cerrado mediante cámaras con alto grado de exactitud. Existen sistemas completos para este propósito como lo son los sistemas de cámaras infrarrojas de VICON, u OPTITRACK; su principal desventaja son los elevados costos, de alrededor de \$800,000 (ochocientos mil pesos), la versión modesta.

Una alternativa a estos sistemas es la utilización de la información que es proporcionada por el sistema inercial del cuadrotor, el cual mide desplazamientos angulares y lineales en pequeños instantes de tiempo. Asumiendo que la información de los sensores es transmitida en tiempo real hacia un centro de control, es posible estimar con aceptable grado de exactitud la posición y orientación del vehículo mediante la llamada matriz de inercia descrita por la siguiente ecuación:

$$R_I = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \theta & \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi \\ \sin \psi \cos \theta & \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \theta & \sin \psi \sin \theta \cos \phi + \cos \psi \sin \phi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (5)$$

Debido a la naturaleza inestable del VANT es necesario diseñar un sistema de control tanto para la parte rotacional como traslacional. En trabajos previos presentados en (López-Estrada et al, 2014, López-Estrada et al, 2015) se propuso un esquema de control retro-alimentado para seguimiento de trayectorias, detectar y compensar fallas como se muestra en la fig. 2. En este tipo de controlador la respuesta del sistema tiene la siguiente función objetivo:

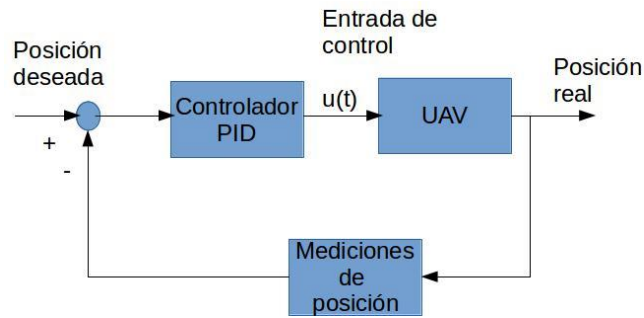
$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) := \omega(t) \quad (6)$$

Donde  $\omega(t)$  representaba la posición deseada.

Debido a que este tipo de sistemas dinámicos es afectado por perturbaciones externas o ruidos, por lo cual un sistema de control debe ser capaz de permanecer estable aún bajo éstas condiciones. Además, un sistema de control debe eliminar o atenuar estas perturbaciones, condiciones más importantes de robustez que deben de alcanzarse son:

- Perturbaciones aerodinámicas
- Ruido de medición

Para alcanzar estos objetivos las técnicas de control robusto  $H_\infty$  han demostrado ser las más eficientes como se discute en (López-Estrada, 2015). Una desventaja de los métodos  $H_\infty$  es que son difíciles de implementar en forma práctica. Una alternativa viable y fácil de implementar es mediante un controlador PID. Un controlador PID es un controlador de tres términos que tiene una larga historia en el campo de control automático, el nemónico PID se refiere a las primeras letras de los nombres de sus términos individuales, estos son P por la parte proporcional, I por la parte integral y D por la parte derivativa. Un esquema de control retroalimentado aplicado al cuadrotor considera mediciones en tiempo real de las posiciones lineales y angulares (ver Figura 3), y con base a esta información se realiza una acción de control para alcanzar una posición o posiciones deseadas de la aeronave.



**Figura 3:** Sistema de control retroalimentado.

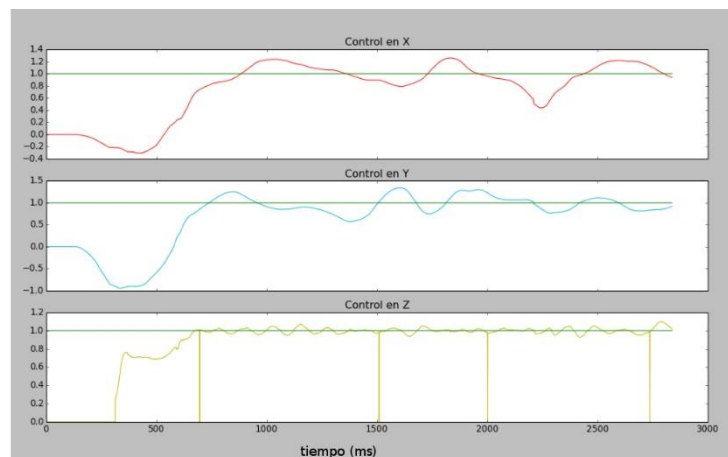
El éxito de los controladores PID también es debido al hecho de que usualmente representan el componente fundamental de sistemas de control más sofisticados, que pueden ser implementados cuando una ley de control básica no es suficiente para obtener el desempeño requerido. La siguiente ecuación define la acción de control de un controlador PID digital:

$$u(t) = K_p(X_{des} - X_{t-1}) + K_D(\dot{X}_{des} - \dot{X}_{t-1}) + K_I \int_0^t (X_{des} - X_{t-1}) dt' \quad (7)$$

Donde  $u(t)$  es la entrada de control al VANT,  $K_p$ ,  $K_D$ , y  $K_I$  son las ganancias proporcional, integral y derivativa, respectivamente.  $X_{des}$  es la posición deseada y  $X_{t-1}$  las posiciones reales estimadas por la matriz de rotación.

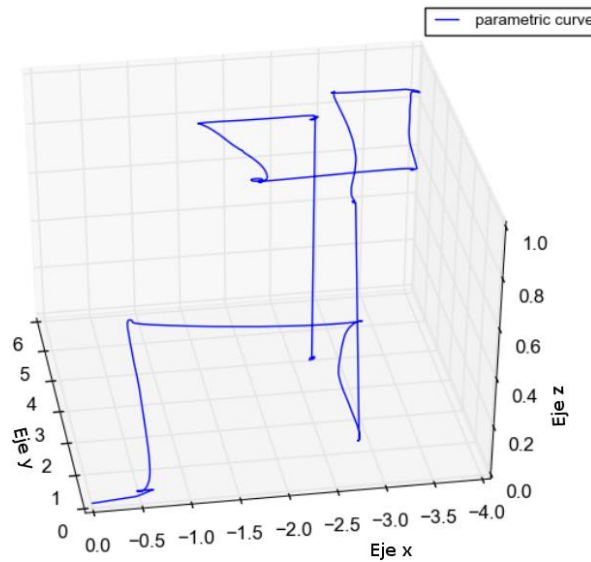
### 3. Resultados.

Con el objetivo de mostrar la efectividad del algoritmo de control en tiempo real se realizó un experimento considerando posiciones deseadas  $(x, y, z) = (1, 1, 1)$  metros. Los resultados se muestran en la Figura 4,



**Figura 4:** Resultados de control PID en tiempo real.

La Figura 5, muestra resultados obtenidos en tiempo real de la estimación de las posiciones del VANT.



**Figura 5:** Estimación de las posiciones rotacional y traslacional mediante la matriz de rotación.

En esta prueba a cada punto de trayectoria se le asigno 5m como referencia. Como se observa es posible estimar la posición en un espacio 3D utilizando la ecuación de rotación. Para validar los datos estimados, la trayectoria real fue medida con un flexómetro, el error entre las mediciones reales y estimadas es de 2%, el porcentaje de error es aceptable y por lo tanto muestra la efectividad de los algoritmos de estimación diseñados.

Como puede observarse en la figura 5 el VANT al realizar el desplazamiento necesario de forma autónoma para alcanzar las posiciones de referencia. A pesar de que existe un error en cuanto al control de posición en los ejes x y, este sigue siendo pequeño por lo que no afecta la efectividad del algoritmo propuesto.

Importante destacar que estos resultados fueron obtenidos en tiempo real. Para mejorar los resultados se realizarán trabajos futuros implementando controladores más avanzados como un  $H_{\infty}$  para reducir el error provocado por las perturbaciones aerodinámicas.

## Conclusiones.

Como se estudió en secciones anteriores, el uso de vehículos aéreos no tripulados con fines lúdicos o de investigación se ha extendido ampliamente en los últimos años. Esto ha generado el uso de drones aéreos en entornos urbanos donde la seguridad es un factor importante. La poca confiabilidad de los VANT actuales representa un obstáculo para aplicaciones que requieren alto grado de confiabilidad y precisión; por ejemplo, la toma de muestras en ambientes extremos (calor, viento, salinidad), misiones de reconocimiento, superstición de cultivos, paquetería, entre otros. La secretaría de la defensa de los Estados Unidos (EUA) reconoce esta deficiencia e identifica el desarrollo de sistemas de auto-reparación y control de vuelo inteligente como un paso crucial para lograr la autonomía de los VANT. Concluye que “mejorar la fiabilidad de los VANT es la única forma de garantizar su éxito a mediano y largo plazo” (Oficina de la Secretaría de la Defensa, 2002). Por su parte La Dirección General de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y transporte (SCT) emitió la circular CO AV-23/10 R2, en donde actualizó los criterios que regulan la operación de los drones aéreos a fin de preservar la seguridad del público y de los operadores. Para lograr estos objetivos es importante el diseño de controladores seguros y confiables que puedan implementarse en tiempo real como los presentados en este trabajo. En ese mismo sentido parte un aspecto fundamental es la aplicación de sistemas de aterrizajes de emergencia el cual es un tema de interés por el impacto en la seguridad de las personas, el vehículo y terceros que puedan estar en peligro potencial.

Como se demostró a través de los resultados presentados, mediante la información proporcionada por la central inercial y algoritmos matemáticos, es posible diseñar sistemas de vuelo seguro. Estos sistemas representan un paso importante al desarrollo de sistemas completamente autónomos que nos permitan navegar en entornos cerrados y abiertos. Al respecto en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, se realiza investigación de frontera incluyendo a estudiantes de licenciatura y posgrado, con los cuales se han obtenidos resultados prometedores en el diseño de sistema autónomos.

### Agradecimientos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto, por las facilidades y los materiales otorgados para llevar a cabo este trabajo a través del proyecto 6210.17-P de la convocatoria de Apoyos a la Investigación Científica y Tecnológica 2017.

### Referencias Bibliográficas.

- Flores Gerardo, Shuting Zhou, Rogelio Lozano, and Pedro Castillo. (2014).** *A vision and gps-based real-time trajectory planning for a mav in unknown and low-sunlight environments.* Journal of Intelligent & Robotic Systems, 74(1-2):59–67.
- Hamel, T., Mahony, R., Lozano, R., and Ostrowski, J. (2002).** *Dynamic modelling and configuration stabilization for an x4- \_yer.* International Federation of Automatic Control Symp. IFAC), 1(2):6.
- Jiang, W., Wenkai, F., and Qianru, L. (2013).** *An integrated measure and location method based on airborne 2d laser scanning sensor for uav's power line inspection.* In Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2013 Fifth International Conference on, pages 213-217. IEEE.
- Jurado, F., Castillo-Toledo, B., and Di Gennaro, S. (2008).** *Stabilization of a quadrotor via takagi-sugeno fuzzy control.* In *The 12th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics.*
- López Estrada F. R., J. C. Ponsart, D. Theilliol, Y. Zhang, C. M. Astorga-Zaragoza, (2015).** *Robust Sensor Fault Diagnosis and Tracking Controller for a UAV Modelled as LPV System.* Submitted to the Journal of Intelligent & Robotic Systems, Springer.
- López-Estrada F.R., J.C. Ponsart, D. Theilliol, C. M. Astorga-Zaragoza, and Y. Zhang, (2014).** *Robust Sensor Fault Diagnosis and Tracking Controller for a UAV Modelled as LPV System.* The 2014 IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS'14. Orlando, Florida, USA.
- Mahony, R., Kumar, V., and Corke, P. (2012).** **Multicopter aerial vehicles: Modeling, estimation, and control of quadrotor.** IEEE Robotics & amp Automation Magazine, (19):20-32.
- Mistler, V., Benallegue, A., & M'sirdi, N. K. (2001).** *Exact linearization and noninteracting control of a 4 rotors helicopter via dynamic feedback.* In *Robot and Human Interactive Communication, 2001.* Proceedings. 10th IEEE International Workshop on (pp. 586-593). IEEE.
- Montes de Oca, S., Tornil-Sin, S., Puig, V., & Theilliol, D. (2014).** *Fault-tolerant control design using the linear parameter varying approach.* International Journal of Robust and Nonlinear Control, 24(14), 1969-1988.
- Office of the Secretary of Defense.** *Unmanned aerial vehicles roadmap 2002-2027.* Technical report, Washington, DC, 2002.
- Roca, D. Lagüela, S. Díaz-Vilariño, L. Armesto, J. and Arias, P (2013).** *Low-cost aerial unit for outdoor inspection of building facades.* Automation in Construction, 36:128-135.



**Salvo, G., Caruso, L., and Scordo, A (2014).** *Urban traffic analysis through an UAV.* Procedia-Social and Behavioral Sciences, 111:1083–1091.

**V, Guilherme. Raffo, Manuel G. Ortega, and Francisco R. Rubio.** *An integral predictive/nonlinear  $H_\infty$  control structure for a quadrotor helicopter.* Automatica, 46(1):29–39, 2010.

**Wang, J. L. G-H. Yang, and J. Liu. (2007).** *An LMI approach to index and mixed fault detection observer design.* Automatica, 43(9):1656–1665.

**Zhang, Y.M. A. Chamseddine, C.A. Rabbath, B.W. Gordon, C.-Y. Su, S. Rakheja, C. Fulford, J. Apkarian, and P. Gosselin. (2014).** *Development of advanced FDD and FTC techniques with application to an unmanned quadrotor helicopter testbed.* Journal of the Franklin Institute, 350(9):2396–2422, November 2013.

### Información de los autores.



**Joaquín Eduardo Domínguez Zenteno** es Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica egresado del Instituto Tecnológico de Toluca, Ingeniero en Electrónica con especialidad en Instrumentación y Control por el Instituto Tecnológico de Nuevo León, en Cd. de Guadalupe, Nuevo León. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y Jefe de Proyectos de Vinculación de Ingeniería Electrónica. Es investigador desde 2009 y colabora en la línea de investigación de “Instrumentación” de Ingeniería Electrónica.



**Julio Alberto Guzmán Rabasa** tiene la Licenciatura en Ingeniería Mecánica y un Posgrado en Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica Egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, actualmente se encuentra cursando el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



**Francisco Ronay López Estrada** recibió su Doctorado en Ciencias en Control Automático por la universidad de Lorraine, France, en 2014, y su doctorado en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación (CENIDET) en 2015. Recibió

el grado de maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el CENIDET en 2008. Ha sido profesor del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez desde 2008 adjunto al departamento de Ingeniería Electrónica. Sus intereses de investigación son: Los sistemas lineales de parámetros variantes, sistemas de detección de fallas, sistemas descriptores, control de procesos y control de vehículos aéreos no tripulados.



**José Ángel Zepeda Hernández** es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder de la Línea de Investigación y Generación del Conocimiento “Instrumentación”.



**Álvaro Hernández Sol** es Ingeniero en electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y es investigador desde 1997. Siendo Jefe de proyectos de investigación de ingeniería electrónica desde el 2001. Fundó y asesora el “Club de robótica del ITTG”. Colabora en la línea de investigación de “Robótica” de Ingeniería electrónica. Dirige el área de trabajo en “sistemas aéreos autónomos”. Ha realizado investigaciones en el área de los sistemas alternativos de comunicación y en sistemas robóticos, Así como en sistemas traductores de lenguaje.