

Combinación de un controlador PID y el sistema Vicon para micro-vehículos aéreos

Roberto Munguía, Aldrich Cabrera, Oyuki Rojas, José Martínez-Carranza

¹ Instituto Tecnológico Superior de Atlixco,
México

² Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Puebla,
México

direccion@itsatlixco.edu.mx, carranza@inaop.mx

Resumen. El sistema Vicon es un sistema de captura de movimiento que permite estimar la posición, en forma de traslación y orientación, de un cuerpo en movimiento. El sistema Vicon se conforma de un conjunto de cámaras que se colocan alrededor de un área de trabajo en la cual, el cuerpo a seguir por el sistema se desplaza al interior de dicha área. De este modo, la posición y orientación del cuerpo de interés, son estimadas a través del sistema Vicon. Por lo anterior, en este trabajo presentamos la implementación de un controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID), siendo este uno de los controles más usados en los sistemas robóticos, para que un micro-vehículo aéreo no tripulado pueda ejecutar vuelo autónomo entre dos puntos. El control PID implementado en este trabajo utiliza la posición y orientación del vehículo proporcionada por el sistema Vicon a una tasa de 300 cuadros por segundo. Adicionalmente, el sistema Vicon que se utilizó en este trabajo puede operar en ambientes exteriores, por lo que el conjunto de resultados que aquí se reportan incluyen experimentos de vuelo autónomo en exteriores.

Palabras clave: Control, vuelo autónomo, VANTS, drones, Vicon.

On Combining a PID Controller and the Vicon System for Micro-Aerial Vehicles

Abstract. Vicon is a motion capture system that enables the estimation of translation and rotation of a moving object. The Vicon system is a set of cameras placed around a work area, the object to track moves within such area. Therefore, position and orientation of the object of interest can be estimated through the Vicon system. Motivated by this, in this work we present the implementation of a Proportional-Integral-Derivative (PID), Since this is one of the most used controllers in robotics, thus aiming at enabling a micro-aerial vehicle to perform autonomous flight between two points. The PID controller implemented in this work utilizes the position and orientation estimates from Vicon,

which runs at a frequency of 300 Hz. In addition, the Vicon system used in this work can also operate in outdoors. From the latter, our experiments include autonomous flight runs in outdoors.

Keywords: Control, autonomous flight, UAVs, drones, Vicon.

1. Introducción

Un sistema de localización es una herramienta que permite monitorear con una alta precisión la ubicación de un objeto. Actualmente los vehículos aéreos no tripulados cuentan con Acelerómetros, giróscopos y GPS. Los cuales se pueden utilizar como herramienta de localización. Sin embargo tienen limitantes, una de ellas es el deficiente funcionamiento en interiores o incluso la pérdida de comunicación, lo que evita controlar los movimientos bruscos que el vehículo aéreo pueda realizar durante la navegación.

Hoy en día, se implementan sistemas de localización en robots para la obtención de posición, para mejorar su control. Uno de los sistemas de localización más populares es el sistema Vicon [1], el cual proporciona una alta precisión en la medición de posición y el seguimiento de cuerpos rígidos utilizando cámaras infrarrojas. Al emplear un sistema Vicon como herramienta de localización externa e implementar un control PID en el vehículo aéreo, se mejora significativamente la navegación del vehículo al seguir una trayectoria entre dos puntos. Puesto que se reducen los movimientos bruscos que realiza durante la rutina.

Nosotros asumimos que el sistema Vicon resulta ser una mejor opción para capturar el movimiento del vehículo aéreo, ya que nos otorga datos concretos de la localización del objeto. Esto último se envía a nuestro algoritmo de control con el fin de calcular las señales de control, que serán enviadas a la computadora y posteriormente al vehículo aéreo. Los resultados preliminares indicaron que incluso con la pérdida de la trayectoria que puede tener nuestro vehículo aéreo llegaran los datos a nuestro controlador, el cual realizara los cambios necesarios para que el vehículo aéreo sea capaz de seguir la trayectoria con el objetivo definido.

Por lo tanto, a fin de presentar los resultados, este trabajo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 presenta los trabajos relacionados; sección 3 describe nuestra configuración del sistema a preparar; La sección 4 describe nuestros experimentos realizados con el controlador y resultados donde se describen ampliamente lo ocurrido al momento del vuelo autónomo y finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones.

2. Trabajos relacionados

Los trabajos más relevantes en este tipo de investigación, especifica que debe existir una cantidad de parámetros que se deben tomar en cuenta al momento

de que el vehículo aéreo entre en vuelo autónomo y gracias a los algoritmos de reconocimiento de un checkpoint marcado de un color se puede aplicar un control PID para corregir los errores que presenta el cabeceo y balanceo [2].

Sin embargo, al momento de mover un robot en una posición arbitraria cuyo destino es una línea recta que el robot no conoce como tal, se recurre a lectura de sensores y encoders con alta resolución capaz de calcular la posición y la velocidad angular de éste para posteriormente implementarlo a un control PID compensando las desorientaciones que presente el robot [3].

Algunos sistemas robóticos poseen un control dentro de sus sistemas lo cual es un apoyo para que el robot realice ciertas tareas. Se conoce que en el área de la robótica los sistemas deben poseer más de un control dentro de sus sistemas, para posibles saturaciones propias en etapas de control [4]. Un sistema similar al de los robots móviles son los tipo robots SCARA puesto que los errores que poseen estos son en sus articulaciones al momento de orientarse y trasladar objetos en un circuito circular que puede presentar señales turbias al momento de realizar una tarea. Los trabajos sobre robots móviles deben considerar como una posible solución un control PID o de lógica difusa que pueda permitir correcciones al momento de la orientación y trayectoria que realicen durante una rutina de movimiento o de un vuelo no tripulado [5] [6].

Entre la comunidad científica se encuentran trabajos que requiere que los vehículos aéreos permanezcan estables y equilibrados en vuelo. Eliminando los efectos de las perturbaciones que afectan a los helicópteros y Quadrotors. Uno de ellos añade una carga extra al vehículo aéreo puesto que debe transportar objetos. Este trabajo emplea un control que debe considerar los parámetros que ocasionan una desorientación, mediante tres controles PID (proporcional-integral-derivativo) [7].

Otro trabajo de interés con lo cual destaca por la utilización de la Validación de la Unidad de Medición Inercial (IMU) para la orientación del vehículo aéreo ofreciendo una robustez del control automático del cuadricóptero mediante señales de ruido que los IMU otorgan. Es importante debido a que el control PID requiere de señales de entrada para un correcto funcionamiento del sistema [8].

En algunos casos utilizan software de simulación como MATLAB o LABVIEW, ya que ayudan a leer datos de orientación como yaw, pitch y roll para posteriormente realizar la implementación de un control PID [9]. El controlador PID también puede ser implementado en sus motores con un sistema PWM, esto ayuda a corregir la inclinación manteniéndolo a un ángulo cercano a 0° [10].

En la tesis de David Melero [11] se utilizó un PID para control de la orientación de un micro helicóptero donde utiliza varias herramientas como pasos para diseñar el controlador, mediante ayuda de software como MATLAB obtuvieron los datos para pasarlos a un filtro donde la estabilidad sea mucho mayor y finalmente con ayuda de IMU simulan los valores de posición y orientación monitorean así al vehículo aéreo.

Tomando la misma idea del trabajo anterior, el autor de tesis Antonio Pico realizó un trabajo parecido, realizando su PID para cada uno de los parámetros de navegación, el autor realiza este controlador conectando IMU'S a una compu-

tadora *gunstix* implementada dentro de el vehículo aéreo. Sin embargo, comenta que para lograr un vuelo estable con apoyo del PID es necesario tener en cuenta cada [12].

Con los trabajos mencionados anteriormente se puede notar claramente que la diferencia de nuestro trabajo es la implementación del sistema vicon como herramienta de localización externa. Puesto que la mayoría usa sistemas IMU'S como herramienta de localización. Incluso utilizan cámaras de video que ayudaron a la creación de dichos trabajos.

3. Configuración del sistema

El proceso se realiza fuera del vehículo aéreo, en una computadora portátil con las siguientes especificaciones: procesador Intel Core i5 con 6 GB de RAM. El sistema de control se divide en dos etapas principales, las cuales funcionan dentro del sistema ROS. La primera etapa consiste en obtener la posición y orientación del vehículo aéreo mediante un sistema de localización Vicon. Los datos obtenidos por el sistema Vicon sirven posteriormente como entradas para el control PID, el cual es la segunda etapa. Las salidas del control PID son usadas para corregir la navegación del vehículo aéreo.

3.1. Control PID

El control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es un sistema que suministra entradas de control que son proporcionales a la diferencia entre las salidas actuales del sistema del vehículo aéreo y los valores de referencia del sistema Vicon. En la siguiente ecuación se muestra de manera generalizada los controladores PID en su forma matemática (1). Asimismo en la Fig. 1 se muestra en un diagrama a bloques el control PID, la planta (vehículo aéreo) y la retroalimentación (sistema Vicon). Introduciendo una retroalimentación se compensan perturbaciones como: desequilibrio y desorientaciones.

$$u(t) = Kp \left[e(t) + Ki \int_0^t e(t)dt + Kd \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (1)$$

donde:

- *t: Corresponde al tiempo transcurrido, o tiempo instantáneo.
- *u (t): Corresponde a la salida del controlador.
- *e (t): Corresponde al error (valor deseado-salida real del sistema).
- *kp: Corresponde a la ganancia proporcional del controlador.
- *ki: Corresponde a la ganancia integral del controlador.
- *kd: Corresponde a la ganancia derivativa del controlador.

Se emplearon dos controles PID uno para corregir rotación del vehículo (*yaw*) y el segundo para corregir la traslación del vehículo (*pitch*), puesto que sólo se requería que el vehículo aéreo se desplazara en el plano *x,y*. Debido a que no se tiene un modelo matemático del vehículo aéreo, no se emplearon métodos analíticos para la obtención de ganancias. Por lo que las ganancias Kp, Ki y Kd

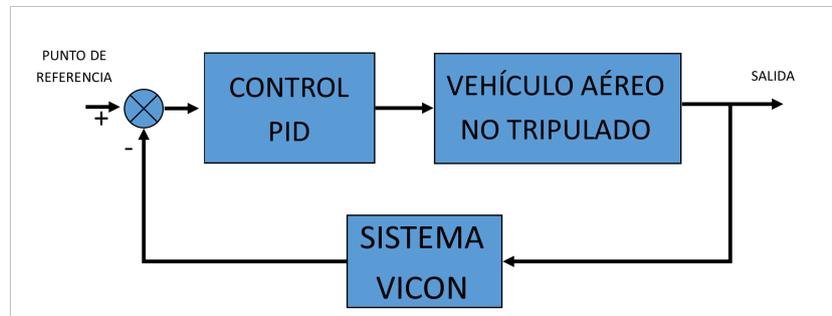


Fig. 1. Diagrama a bloques del control PID

de cada controlador PID se obtuvieron mediante experimentación, hasta obtener mejores resultados.

3.2. Sistema de localización Vicon

El sistema de localización Vicon es una solución al seguimiento de objetos de gran alcance, ya que proporciona una precisión de datos sin igual para la integración en aplicaciones 3D. El tipo de rastreo puede procesar datos en tan sólo 1,5 ms. a más de 500 cuadros por segundo, cinco veces más rápido que otros sistemas. Con la capacidad de reconocer los cuerpos rígidos en 2D, los datos continuarán incluso si los marcadores se hacen visibles a una sola cámara [1].

Este sistema de localización nos ofrecerá una experiencia de realidad virtual que se puede crear al momento de montar las cámaras en un área donde sus límites de enfoque no sean obstruidas por objetos dentro del sitio donde se localizará el vehículo aéreo, esta área debe contener al menos 3 cámaras que puedan seguir al vehículo en todo momento, generando así 3 parámetros de posición, x, y, z, así como también 3 parámetros de orientación, yaw, pitch, roll, de los cuales estos datos son almacenados en un archivo de texto que nos servirán como una herramienta para la creación del control PID al momento de vuelo autónomo.

4. Experimentos

Se realizaron dos tipos de experimentos en condiciones distintas, ambos con el objetivo de demostrar el vuelo autónomo en línea recta variando el ángulo inicial del vehículo con respecto al punto final. La primera prueba se realizó en interiores en un ambiente controlado, colocando en el vehículo aéreo una carcasa para prevenir colisiones y así proteger las hélices (Figura 2a). La segunda prueba se realizó en exteriores, en el cual no se incluyó en el vehículo la carcasa protectora, debido a que al usarla generaría arrastre a causa del viento y perturbaría en mayor medida la trayectoria seguida por el vehículo aéreo (Figura 2b).

Para ambas pruebas se generó un sistema de coordenadas de referencia por medio del software "tracker 2.2 — VICON", donde es posible visualizar los ejes x , y , z , nos obstante el eje z no fue necesario para el control puesto que al vehículo aéreo se le definió una altura de 70cm en interiores y 1.5m en exteriores, debido a que se requería probar la efectividad del control PID en navegación a baja altura. El control PID comienza a ejecutarse después del despegue del vehículo aéreo. Éste al ubicarse sobre el punto final o al cruzar a $-x$, aterriza y el registro de los datos de la ubicación obtenidos por el sistema Vicon se detiene. Una vez obtenidas las señales de control se normalizan para que el valor se encuentre dentro del rango de -1 a 1, dado que es el rango permitido para controlar al vehículo aéreo.



(a) Vehículo Aéreo para Interiores



(b) Vehículo Aéreo para Exteriores

Fig. 2. Muestra de los vehículos aéreos preparados para los experimentos en el interior y exterior del laboratorio de robótica

4.1. Pruebas en interiores

Se realizaron pruebas de vuelo del vehículo aéreo dentro del laboratorio, fue necesario conocer los límites en cuanto a maniobrabilidad y desplazamiento que se tenían al realizar el vuelo en interiores. Se estableció un área dentro del laboratorio donde se colocaron las cámaras Vicon, una vez montadas al rededor del área, se calibraron para obtener mayor precisión de la localización del vehículo aéreo. Para esta prueba se realizaron 10 experimentos en los que se utilizó el punto $(0,0)$ como referencia para así calcular las señales de control para pitch y yaw del vehículo aéreo. Dichas pruebas consistieron en lo siguiente: el vehículo aéreo se posicionó a 2.5m sobre el eje x , a una altura de 70cm, con una orientación de 90° respecto del punto final. Éste debía llegar hasta un punto previamente determinado, en este caso el punto $(0,0)$.

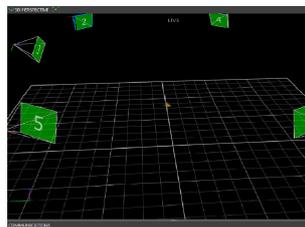
En la Fig. 4a se muestra una vista superior de la trayectoria seguida por el vehículo aéreo al ser pilotado por el control PID, nótese que el punto de aterrizaje en los 10 experimentos realizados se encuentra en promedio a 2.32cm del punto $(0,0)$, con una desviación estándar de 0.82cm. Con estos datos se pudo notar que nuestro controlador posee precisión.



(a) Área de pruebas en Interiores

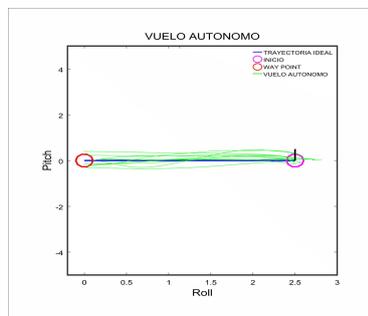


(b) Área de pruebas en Exteriores

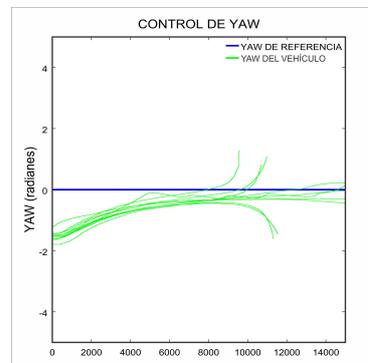


(c) Área de coordenadas generada por el sistema Vicon

Fig. 3. Muestra del área donde se realizaron los experimentos y el área de referencia con el sistema de coordenadas que genera el Vicon



(a) Experimentos de vuelo autónomo en una trayectoria en línea recta



(b) Yaw del vehículo aéreo durante el recorrido hacia el punto (0,0)

Fig. 4. Muestra de los experimentos realizados dentro del laboratorio de robótica donde se puede apreciar la trayectoria recorrida por el vehículo aéreo (imagen izquierda), y la corrección del Yaw desde el momento en que se despega el vehículo aéreo (imagen derecha). Nota las variaciones en las gráficas pueden ser arbitrarias debido al efecto suelo, esto es porque los experimentos se realizaron en un lugar cerrado

En la Fig. 4b se muestra el yaw del vehículo aéreo a lo largo de la trayectoria hacia el punto (0,0), donde se puede notar que el control PID intenta corregir el ángulo del vehículo procurando que éste apunte directamente al punto final. Sin embargo, en algunos experimentos a pesar de que el vehículo apuntaba al punto final, al momento del aterrizaje el ángulo final se veía afectado por la inercia sin afectar la posición final.

4.2. Pruebas en exteriores

El propósito de estas pruebas fue el observar el comportamiento del vehículo aéreo siendo pilotado por nuestro control PID en un ambiente dinámico. Para esta prueba se retiró la carcasa protectora del vehículo aéreo, para así disminuir el peso y el arrastre generado por el viento, con el fin de mejorar la estabilidad y maniobrabilidad. Al igual que en las pruebas en interiores se estableció un área de trabajo, donde se colocaron las cámaras Vicon al rededor del área de trabajo. Posteriormente se calibraron las cámaras. El vehículo se posicionó para todos los experimentos en un punto cercano al (0,0), variando su orientación inicial y se realizaron 3 series de experimentos, donde los puntos finales a alcanzar se ubicaron a 4m, 5m, 6m respecto al punto inicial. Es importante mencionar que en estas pruebas existieron perturbaciones del viento. Sin embargo, nuestro control PID consiguió compensar esas perturbaciones logrando los resultados que se mencionan a continuación.

En la Fig. 5a se muestra una vista superior de la trayectoria seguida por el vehículo aéreo, donde el punto final estaba ubicado a 4m del punto inicial. El promedio del punto de aterrizaje de los 3 experimentos realizados se encuentra a 1.65cm del punto final, cuya desviación estándar es de 0.53cm.

Para la trayectoria mostrada en la Fig. 5b el punto final estaba ubicado a 5m del punto inicial. Los resultados oscilan entre 4.7m y 5.4m, debido a las ráfagas de viento. No obstante el promedio de aterrizaje se encuentra a 5.85cm del punto final, con una desviación estándar de 4.45cm.

La Fig. 5c muestra una vista superior de la trayectoria seguida por el vehículo. Se realizaron 2 experimentos ubicando el punto final a 6 m del punto inicial. Para esta serie de experimentos se obtuvo un promedio de aterrizaje de 5.89cm del punto final cuya desviación estándar fue de 3.57cm.

La Fig. 6a se muestra el yaw del vehículo aéreo a lo largo de las trayectorias hacia los puntos finales. Se puede apreciar que el control PID cumple al corregir el ángulo del vehículo, ya que éste apuntaba hacia el punto final.

La Fig. 6b muestra el yaw del vehículo aéreo recibiendo ráfagas de viento a lo largo de la trayectoria hacia el punto final. A pesar de que en periodos de tiempo cortos la orientación se ve seriamente afectada y que existen pérdidas de información, se puede apreciar que el control intenta mantener al vehículo apuntando hacia la ubicación final.

5. Conclusiones

En este artículo se presentó la combinación de un controlador PID y el sistema Vicon para micro-vehículos aéreos. Esta combinación controla el cabeceo y la traslación de un micro-vehículo aéreo, con el objetivo de que éste pueda navegar entre dos puntos en un espacio de manera autónoma. Para esto, se utilizó el sistema de captura de movimiento Vicon como retroalimentación, el cual opera en ambientes interiores y exteriores. Los resultados obtenidos indican que la metodología aquí presentada es funcional y permite que el vehículo ejecute el vuelo autónomo de manera estable. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios a pesar de que el vehículo aéreo era poco estable. Sin embargo, es necesario mejorar el control PID para utilizarlo en condiciones ambientales adversas.

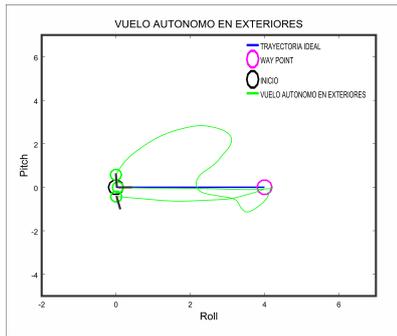
Como trabajo futuro se contempla la implementación de este tipo de control para vehículos aéreos con un sistema de localización eficaz para lograr vuelos autónomos. También cabe recalcar que para que un vehículo aéreo pueda volar de manera autónoma y segura, es necesario implementar un sistema de visión con sensado para que el vehículo aéreo pueda evitar posibles obstáculos.

Agradecimientos Este trabajo fue financiado por la Royal Society-Newton Advanced Fellowship con referencia NA140454.

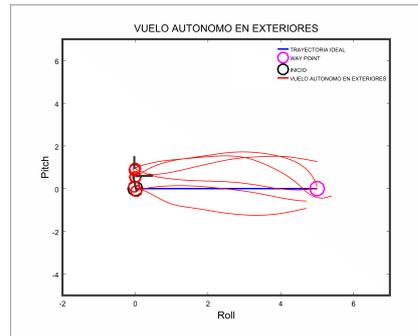
Referencias

1. Vicon Tracker 3 Fast. Flexible. Precise, <http://www.vicon.com/products/software/tracker>
2. Ávila, D., Lorusso, S.F., Pereira, G., Mazza, N., Iribarren, J., Meda, Rodolfo., Ierache, J.: Robótica Situada Aplicada al Control de Vuelo Autónomo de un Cuadricóptero. Instituto de Sistemas Inteligentes y Enseñanza Experimental de la Robótica (ISIER), pp. 3–8, Morón, Buenos Aires, Argentina (2009)
3. Cortés, U., Castañeda, A., Benítez, A., Díaz, A.: Control de Movimiento de un Robot Móvil Tipo Diferencial Robot uBop-32b. En: Congreso Nacional de Control Automático, AMCA 2015, pp. 3–6, Cuernavaca, Morelos, México (2015)
4. Jorge, O.S, Victor, S.: Controlador PID lineal para robots manipuladores considerando saturaciones propias de las etapas de control y de los actuadores. En: Congreso Anual 2009 de la Asociación de México de Control Automático, pp.1-4. Zacatecas, México.
5. E., Gaviria, C.A.: Control PID Multivariable y Modos Deslizantes de un Robot SCARA. pp. 3–5, Popayán, Cauca, Colombia (2009)
6. Garijo, D., López, J.I., Pérez, I.: Control de un vehículo aéreo no tripulado. Madrid, España, pp.116–118 y pp.143–146, S.S.I.I. (2009)
7. Paul, E.I., Pounds, D. R., Bersak, A. M.: Dollar Stability of small-scale UAV helicopters and quadrotors with added payload mass under PID control. *Autonomous Robots*, Volume 33, Issue 1, pp 129–142, August (2012)
8. Núñez, B. D.: Diseño e implementación de un cuadracóptero con sistema de control automático de estabilidad y comunicación inalámbrica de datos utilizando plataformas de hardware y software libre. Costa Rica, pp. 52–64 (2012)

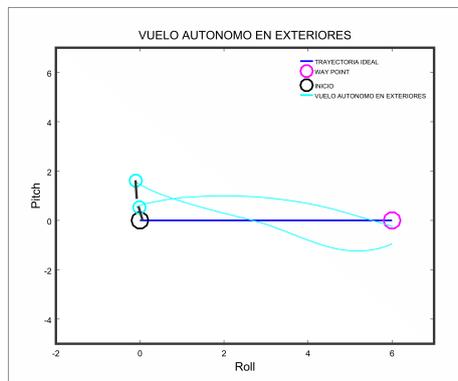
9. González, L. M.: Diseño del sistema de control de un UAV de ala fija para vuelo autónomo en exteriores. Madrid, España, pp. 3–4, Junio (2015)
10. Parada, P, E.: Quadcopter: Construcción, control de vuelo y navegación GPS. Madrid, España, Universidad Carlos III de Madrid, pp. 49–58, Octubre (2012)
11. Melero, C. D: Modelado dinámico y diseño de estrategia de control mediante estimadores para el vuelo autónomo de un quadrotor. Almeria, España, pp. 27–30 y pp. 59–77, Septiembre (2012)
12. Pico, V. A.: Diseño e implementación de un sistema de control para un cuadricóptero. México, Distrito Federal, pp. 17–29 y pp. 39–45, Diciembre (2012)



(a) Experimentos con una trayectoria de cuatro metros

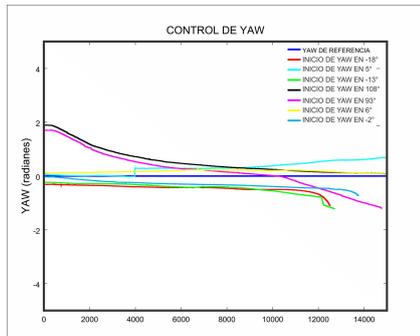


(b) Experimentos con una trayectoria de cinco metros

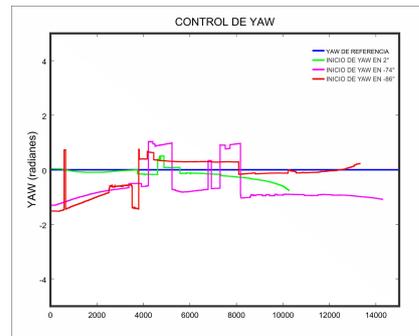


(c) Experimentos con una trayectoria de seis metros

Fig. 5. Muestra de los experimentos realizados en el exterior donde se puede apreciar la trayectoria a distancias diferentes donde es posible ver el cumplimiento del PID



(a) Experimentos del Yaw cumpliendo el ángulo de orientación



(b) Experimentos del Yaw con ráfagas de viento

Fig. 6. Muestra de los experimentos realizados donde se puede apreciar el yaw con y sin las perturbaciones que presentaba el vehículo al entrar en vuelo