

VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO EMPLEANDO HARDWARE RASPBERRY PI 3 PARA APLICACIÓN EN MONITOREO REMOTO

*UNMANNED AERIAL VEHICLE USING RASPBERRY PI 3
HARDWARE FOR REMOTE MONITORING APPLICATION*

Roberto Román Ibarra García

IPN/Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
ribarrag1800@alumno.ipn.mx

Humberto López Marín

IPN/Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
hlopezm1800@alumno.ipn.mx

Hugo Barragán Vargas

IPN/Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
hbarraganv1800@alumno.ipn.mx

Moisés V. Márquez Olivera

IPN/Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
mvmarquez@ipn.mx

Gerardo A. Martínez Fernández

IPN/Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada
gmartinezf1300@alumno.ipn.mx

Resumen

En los últimos años, el área de investigación de la Robótica Móvil ha sido el centro de atención de varias investigaciones, productos y prototipos debido a los beneficios prácticos que esta línea de investigación brinda a la vida cotidiana de los seres humanos. Nuevos productos y prototipos de la Robótica Móvil que generan asombro al mundo surgen todos los días, desde robots móviles con la habilidad para asistir a ubicar a una persona en un edificio derrumbado hasta robots que asisten a los astronautas en la estación espacial internacional (Díaz Cantos, 2015). El objetivo de este trabajo es la elaboración de una herramienta que sea auxiliar en labores de monitoreo remoto en áreas cuya extensión sea mayor a las capacidades de desplazamiento humanas, o peligrosas para el

mismo. En este trabajo se compone por las siguientes etapas: en la introducción, se describe brevemente la evolución y clasificación de los vehículos aéreos no tripulados mencionando la necesidad resuelta por este proyecto, las posibles aplicaciones de los VANT y metodología que se siguió con los nuevos componentes empleados en la implementación del VANT. En el apartado de los métodos y materiales se mencionan los pasos correspondientes en el diseño empleando el ordenador de placa reducida Raspberry Pi 3 model B como controladora de vuelo, de video e interfaz, junto con los sensores que realizan el monitoreo de las variables del entorno de operación del VANT. Tales variables son: temperatura, presión barométrica, humedad, orientación (basado en los ángulos de navegación *roll*, *pitch* y *yaw*), la posición relativa (mediante el uso de un acelerómetro) y una cámara para capturar el video. En la sección de los resultados y discusión se aborda el impacto causado por el trabajo; la razón del porque la tarjeta Raspberry Pi 3 model B no es recomendada para ser utilizada como controladora de vuelo, transmisión de video y alojamiento de la interfaz gráfica, ya que sus recursos son insuficientes para tener un adecuado control del VANT.

Palabra(s) Clave: VANT, Control, Raspberry Pi, Monitoreo remoto, Interfaz.

Abstract

On last years, the investigation area of the mobile robotics has been the center of attention for several investigations, products, and prototypes due to the practical benefits that this investigation line provides to the daily life and the human beings. New products and prototypes of the mobile robotics that awesome the world are created every day; from mobile robots with the ability to locate a person in a collapsed building to robots that assist astronauts in the International Space Station. This work's objective is the elaboration of an auxiliary tool in remote monitoring tasks in areas in which extension are superior to the human displacement capabilities or dangerous for the human being. This work is composed by the next stages: Introduction briefly describes the evolution and classification of the unmanned aerial vehicles doing mention in the necessity

solved by this project; also the UAV possibles applications and the followed methodology with the new components used in the UAV implementation. In the Methods and materials section is mentioned the corresponding steps in the design using the reduced plate computer Raspberry Pi 3 model B as a flight controller, video controller, and user interface; which is implemented with a set of sensors that make a monitoring of the environment variables that intervene in the operation of the UAV such as temperature, barometric pressure, humidity, orientation (by the navigation angles roll, pitch, yaw), relative position (using an accelerometer) and a camera for capturing video. In the Results and Discussion sections, we approach to the impact caused by this work; the reason of why the computer Raspberry Pi 3 model B is not recommended for been used as a flight controller, video transmitter and graphic interface host, due to its resources are insufficient for having an adequate control for the UAV.

Keyword(s): *VANT, Raspberry Pi, remote monitoring, interface, Control.*

1. Introducción

La relevancia de los distintos tipos de vehículos aéreos que se han desarrollado a lo largo de la historia ha causado un gran impacto en la sociedad, desde darles un uso meramente recreativo hasta el uso militar, con el cual inició la línea de investigación de los drones. A los vehículos aéreos no tripulados se les suele conocer con muchos nombres, en el presente trabajo serán referidos como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), cuyo equivalente en inglés es UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos define a los UAV como: Un vehículo aéreo motorizado que no transporta un operador humano; utiliza las fuerzas aerodinámicas para proveerse de sustentación, puede volar autónomamente o ser pilotado remotamente, puede ser sustituido o recuperado, transporta una carga útil letal o no letal. Los vehículos balísticos o semi balísticos, misiles de crucero y proyectiles de artillería no se consideran UAV (JP 1-02 p. 571).

El sistema de aeronave no tripulada UAS (Unmanned Aircraft Vehicle) se conforma de tres elementos: Un VANT, un control del mismo en tierra y un sistema de comunicación entre ambos elementos (figura 1).

La tecnología actual de los VANT's se encuentra en crecimiento, en tiempos actuales su uso se ha diversificado de tal manera que la industria y la academia han propuesto nuevos productos, patentes e investigaciones, entre las cuales existen varios estudios que están específicamente centrados a resolver puntos de interés como lo son el control, tiempo de vuelo, autonomía, localización y navegación, por mencionar algunos.

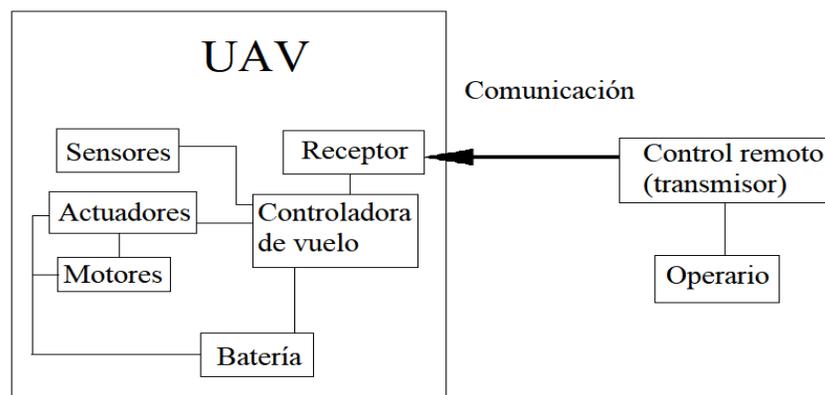


Figura 1 Esquema de UAS.

En recientes años los VANT's han demostrado ser una herramienta eficiente para sustituir al ser humano en tareas como son monitoreo de grandes extensiones, fotografía panorámica o lugares de difícil acceso, transporte aéreo de baja altura, herramienta topografía, monitoreo de agricultura, por mencionar algunas (Guerrero Ochoa & Coronel Arízaga, 2013). Cabe indicar que las aplicaciones en las cuales se ocupan los VANT's son de gran variedad y por tanto el mercado en el que se encuentran es muy productivo. Dicho esto, el diseño de un VANT no puede tomarse como una tarea sencilla, debido a su gran complejidad requiere de conocimiento experto en temas tan diversos como son mecánica electrónica, control, computación y aeronáutica; la implementación de componentes adicionado a la contemplación de las variaciones que sufre la aeronave durante su operación aumenta el grado de dificultad; teniendo así, que esta última es un área

fundamental en la que se debe contemplar la selección de hardware adecuado que pueda cumplir con las necesidades de las tareas designadas.

Hoy en día, los algoritmos de control para la regulación de las variables de vuelo son de suma necesidad para generar una autonomía en los VANT's. Existe una numerosa cantidad de controladoras de vuelo que pueden ser empleadas para mantener una estabilidad y un manejo suave y preciso de aeronaves. La autonomía de vuelo se puede conseguir de dos diferentes maneras:

- Que anteriormente se tenga conocimiento del entorno en donde se desenvolverá la aeronave para programar rutas de vuelo o rutinas sin que la aeronave tenga la necesidad de conocer su entorno. Esto es un primer grado de automatización, pues la aeronave ejecuta instrucciones de forma automática sin el conocimiento de su entorno.
- Dotar al vehículo de dispositivos externos que recolecten información acerca del entorno y midan variables externas como altitud, temperatura, inclinación y posición, con el fin de adecuar el funcionamiento de la aeronave para que se desempeñe correctamente. Estos dispositivos externos son sensores de altitud, acelerómetro, giroscopios, entre otros.

En el vuelo autónomo, la función del operario es sustituida por los sensores. Estos emiten las señales percibidas hacia la controladora de vuelo y así, el vehículo no necesita mando a distancia para poder operar (figura 2). Para ambos casos es necesaria una controladora de vuelo que desempeña el papel de cerebro del vehículo para tomar ejecutar acciones de control y conocer su entorno.

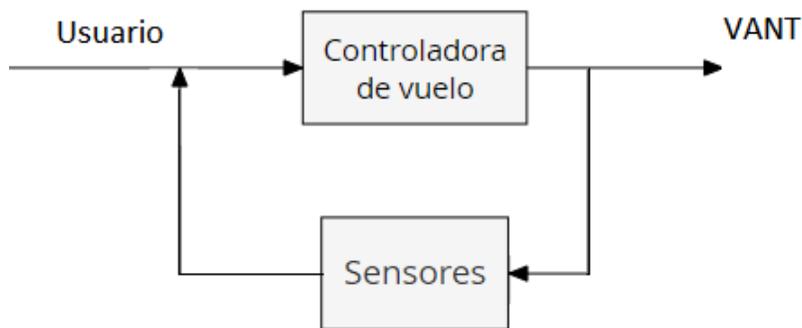


Figura 2 Diagrama de bloques de sistema retroalimentado.

Actualmente, ambas tecnologías son combinadas en los VANT para aprovechar lo mejor de cada una, así se obtienen máximos beneficios, con un control automático para que el operario se enfoque en otras labores menos repetitivas, o con un control a manual, cuando sea necesario un ajuste de trayectoria, un cambio en la planificación o ejecución de una misión (Escamilla Núñez, 2010).

Aunado a esto, para realizar labores de monitoreo es necesario vincular al VANT con un dispositivo de adquisición de imágenes (cámara), que envíe información al operador sobre las condiciones del entorno en donde este operará.

Dado su amplio campo de funcionamiento y operación, así como las diferencias en cuanto a construcción y características, dependiendo del objetivo del VANT, estos se clasifican bajo dos principales criterios que son: de acuerdo con su aplicación y de acuerdo a su altitud; y refiriéndose a aplicación, es aquí en donde un VANT de monitoreo remoto tiene lugar.

Clasificación por su aplicación

Inicialmente, este tipo de sistema de vigilancia fue implementado con fines militares, pero en los últimos años, los VANT han demostrado ser aptos para desempeñarse exitosamente en campos más allá del militar, como la filmación artística, la búsqueda de personas, control de incendios forestales, investigaciones arqueológicas o con simples fines recreativos. Dados estos campos de aplicación variados, y actualmente en constante crecimiento, los VANT están clasificados de acuerdo a su objetivo o las tareas que desempeña en tres grandes grupos:

- VANT's militares.
- VANT's estatales.
- VANT's civiles.

Los VANT's civiles son el campo más joven de los VANT's, el que se ha estado desarrollando en los últimos años con gran éxito. Algunas de sus aplicaciones son:

- Logística: Se han empleado en los últimos años VANT's como transporte de corto alcance y de cargas ligeras, como paquetería local o entrega de medicamentos en zonas de desastre o de difícil acceso.

- Agricultura y ganadería: Desempeñan funciones de fumigación, vigilancia del ganado, inventario de producción agrícola o localización de recursos específicos.
- Fotografía: Son usados para alcanzar ángulos aéreos para la fotografía o filmación de video.
- Exploración: Con fines cartográficos o de reconocimiento del área.
- Científica: Para la observación de actividades climáticas, flora, fauna, medio ambiente, estudio de la atmósfera y océano.
- Aplicaciones recreativas.

De acuerdo con la clasificación y al uso destinado del VANT y haciendo énfasis en los beneficios de la implementación en labores de vigilancia, cabe mencionar que no todos los VANT son aptos para llevar a cabo dichas labores de manera óptima ya que no cumplen con los parámetros adecuados. Por lo tanto, es importante recalcar el hecho de que el presente trabajo comprende el diseño de un VANT con fines de monitoreo, el cual está constituido por distintas etapas que serán integradas para conformar un prototipo que cumpla con los objetivos y funcione de una forma eficiente.

El punto clave del presente trabajo reside en la implementación de una computadora de placa reducida Raspberry Pi 3 model B como controladora de vuelo. La razón de emplear este tipo de hardware fue la intención de conjuntar el control de vuelo y la captura de video en un solo dispositivo facilitando la administración del vehículo durante su operación. El acceso a estas acciones del dispositivo se obtiene a través de una interfaz gráfica amigable con el usuario, programada en la misma computadora.

Se elige este dispositivo en específico porque cuenta con una gran capacidad de salidas, entradas y comunicaciones como se verá en la siguiente sección; además de manejar una interfaz gráfica y un lenguaje de programación de alto nivel (Python), dicho dispositivo está conformado por una placa que soporta varios componentes necesarios (sensores) en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal.

La Raspberry Pi 3 Model B como controladora de vuelo, será esta misma la encargada de administrar las señales de control a través una técnica de control PID. Este hardware se ha usado en el desarrollo de otros robots tanto terrestres como submarinos (Saha, y otros, 2018), así como en otro tipo de labores como agricultura o reconocimiento facial.

Otro factor destacable en el uso de este tipo de hardware es que es de código abierto, pudiendo así acceder al algoritmo de control y modificar las constantes de PID o implementar un *autotunnig*, en caso de ser posible. Además, la interfaz puede ser modificada por el usuario en caso de requerir acciones específicas, como programar rutas de vuelo a través de un GPS, acciones adicionales como un “regreso a casa” o botones extras para obtener lecturas de sensores varios.

2. Métodos

El desarrollo de la aeronave comprendió dos grandes etapas, siendo la primera el diseño y construcción y posteriormente la programación del control de vuelo y una interfaz usuario-VANT para poder acceder a las imágenes que se transmiten.

Diseño y construcción

En la figura 3 se muestra un despiece de un VANT para poder observar los elementos esenciales que lo componen:

- a) Marco.
- b) Controladora.
- c) Sensores.
- d) ESC
- e) Motores BLDC.
- f) Propelas.
- g) Cámara.
- h) Fuente de alimentación.

En este trabajo se propuso sustituir el elemento de control (figura 3b) por una minicomputadora Raspberry Pi 3 model B (Stepanov & Tishchenko, 2017) que

cuenta con una CPU ARMv8 quad-core de 1.2 GHz de 64 bits, LAN inalámbrica 802.11n, Bluetooth 4.1, Bluetooth de baja energía (BLE), 4 puertos USB, 24 pines GPIO (General Purpose Input/Output), puerto HDMI, puerto Ethernet, toma de audio combinada de 3.5 mm y video, compuesto, interfaz de la cámara (CSI), interfaz de visualización (DSI), ranura para tarjeta micro SD (ahora push-pull en lugar de push-push), Core de video 3D.

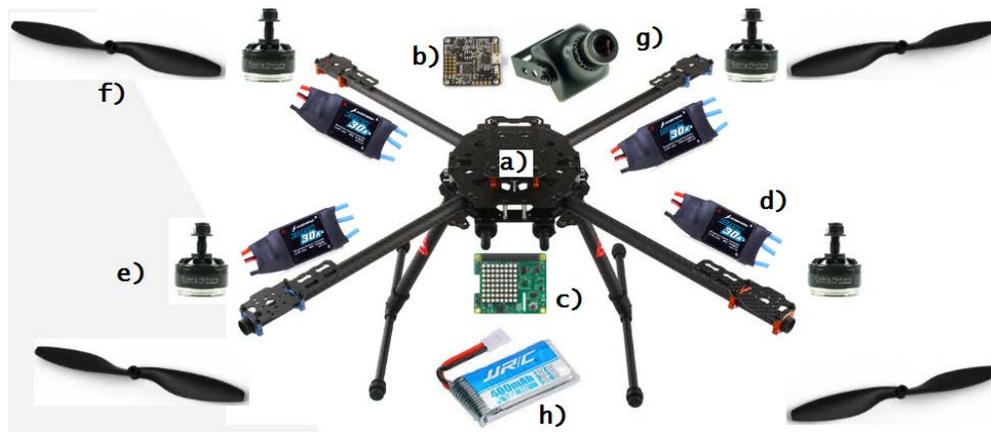


Figura 3 Arquitectura de un VANT.

Asimismo, las funciones de los sensores y la cámara (figura 3c y 3g) fueron solventadas empleando hardware compatible. Esto es, una placa de sensores acelerómetro LSM9DS1, magnetómetro LSM9DS1, giroscopio LSM9DS1, barómetro LPS25H, termómetro HTS221 y de temperatura HTS221 en un solo dispositivo *SenseHat (Hardware Attached on Top)* y la Cámara Picam module V2 con una resolución de 8 Megapíxeles, Tasa de transferencia máxima de la imagen de 1080p: 30 fps y 720p: 60 fps, control de exposición automático, balance de blancos automática, filtro de banda automático, detección de luminancia 50/60 Hz automático, nivel de negro automático (Safadinho, Ramos, Ribeiro, Caetano, & Pereira, 2017).

El criterio principal para la selección de un marco fue que existiera el suficiente espacio para que la tarjeta controladora y los sensores integrados fueran montados sin algún tipo de restricción; un material capaz de soportar impactos y que a la vez fuera ligero como la fibra de carbono 3k, que se caracteriza por tener

una baja densidad respecto a la fibra de vidrio y otros plásticos con los que son fabricados los marcos para VANT comerciales. Además de que la dimensión es ideal para las operaciones de fotografía para las cuales es requerido teniendo en cuenta que a mayor distancia de los efectores finales (propelas) del centro de masa del vehículo se obtiene mayor estabilidad, por lo que un VANT de dimensiones reducidas, más apropiado para acrobacias y velocidad, no es conveniente para la necesidad de estabilidad de imagen que se requiere en esta aplicación.

El uso de motores BLDC ofreció como ventaja un mayor rendimiento comparado con motores DC, ya que reducen pérdidas por vibraciones, tienen mayor eficiencia eléctrica y proporcionan un mayor empuje, el cual se requirió soportar todo el peso de la aeronave. El número de kV define la calidad de un motor debida a sus imanes, al número de vueltas de su bobinado y a su geometría (cuantas más vueltas disponga el bobinado o los imanes sean más potentes, más débil serán los kV).

El número de kV es entonces definido por el número de espiras y el diámetro del hilo de cobre utilizado para el bobinado. Si se disminuye el número de espiras, se podrá aumentar el diámetro del hilo, lo que creará una resistencia interna más débil y por lo tanto podrán circular más amperes, lo que proporciona un empuje mayor que a su vez se resume como una mayor capacidad de levantar peso.

Sin embargo, para el uso de motores de este tipo fue necesario un controlador que permitiera regular la velocidad durante la operación, por lo que los dispositivos encargados de realizar esta tarea, así como la carta de conmutación de los motores fueron los ESC, "Controlador Electrónico de Velocidad" por sus siglas en inglés. Estos dispositivos son diseñados para proveer un voltaje previamente estimado hacia los motores, dicho voltaje es modificado de manera periódica, ya que está en función de las señales de entrada del mismo ESC.

Las relaciones de tamaño de la estructura, número de motores, kV, y ESC están en función de la aplicación. Dado que el objetivo es monitoreo, se eligió el tipo cuadricóptero y la configuración en equis para que el ángulo de visión de la cámara no estuviera obstruido. La clase (referida a la distancia de rotor a rotor

medida diagonalmente en mm) es 650 con motores de 810 kV. En la figura 4 se observan los componentes montados en el VANT:

- a) Raspberry Pi 3 model B.
- b) SenseHat.
- c) Cámara module V2.
- d) Motor Emax 2216-810 kV.
- e) ESC Emax 30 A.
- f) Batería Tattu 5200 mAh.

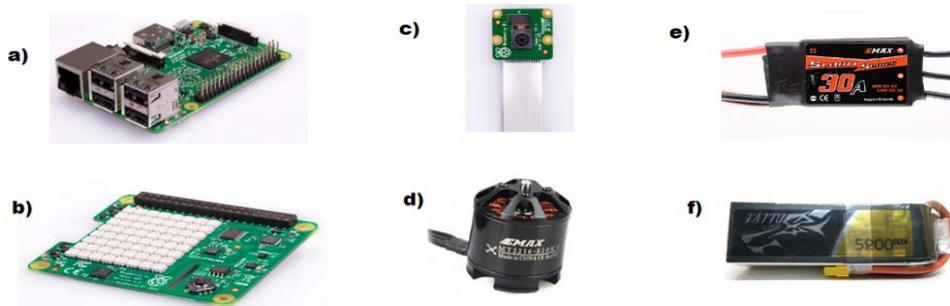


Figura 4 Arquitectura de un VANT.

El funcionamiento general con los componentes anteriormente descritos y una vez conjuntados es descrito a continuación y esquematizada la conexión en la figura 5.

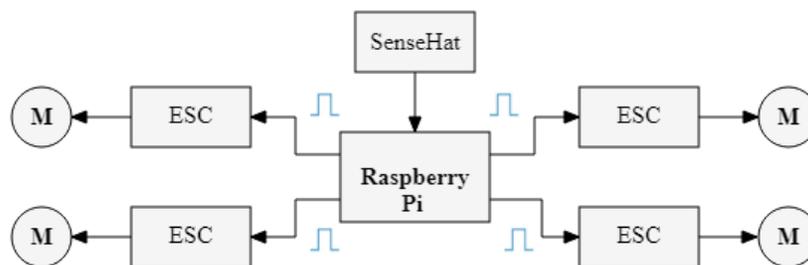


Figura 5 Diagrama de conexión.

Durante la operación del VANT, los cambios en la orientación e inclinación de la aeronave serán leídos por los sensores del *SenseHat* a bordo, dicha señal es enviada al algoritmo PID programado en la computadora Raspberry Pi 3 model B

que emite una acción de control sobre los motores conectados a sus GPIO's (figura 6).

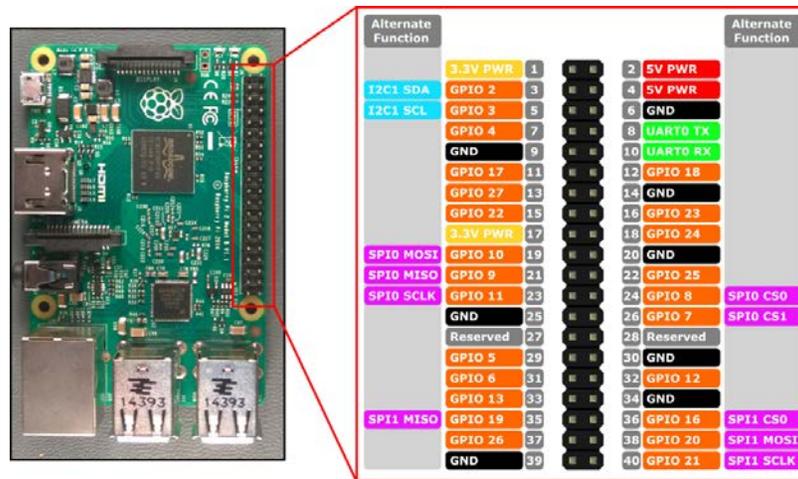


Figura 6 GPIO's de Raspberry Pi 3 model B.

Ya que el dispositivo Raspberry Pi 3 model B cuenta con 24 GPIO's, y no es necesario tener la conexión de todos ellos para hacer funcionar al Sense Hat, cuatro de ellos (GPIO 12, GPIO 16, GPIO 20 y GPIO 21) son usados como salidas de PWM, cuya señal de salida de 5 V es emitida hacia los ESC, que realizan la conversión entre 0-11.1 V y 0-5 V para dar una señal proporcional de PWM a los motores que lo requieran de acuerdo a los datos de entrada.

Mediante el dispositivo *SenseHat* acoplado en la Raspberry Pi 3 model B se realiza la medición de las variables de vuelo que sirven como retroalimentación a la técnica de control PID empleada en el VANT para conservar la estabilidad del vuelo permitiendo que las imágenes captadas por el dispositivo de video tengan una toma y fidelidad de calidad al ser leídas por el operador. El control de estabilidad y el hecho por el operario se describe con mayor detalle en el siguiente apartado.

Programación de control e interfaz

La segunda etapa del desarrollo de la aeronave comprende la programación de un algoritmo PID para lograr una estabilidad de vuelo.

Se puede subdividir esta etapa en la realización del algoritmo de control (encargado de la estabilidad) y la programación de la interfaz (que permite el usuario interactuar con el VANT). Es necesario que el algoritmo de control esté ejecutándose siempre a pesar de las señales que envíe el operador, lo cual no quiere decir que el uno interrumpa al otro, sino que son acciones complementarias. Mientras el usuario hace avanzar al VANT, el control PID corrige su inclinación para evitar que el VANT se desbalancee y caiga. Se abordará de nuevo esta cuestión más adelante.

En cuanto al algoritmo de control, el *SenseHat* es el encargado de recibir las mediciones del medio y enviarlas a la Raspberry Pi 3 model B para discretizar dichas mediciones, interpretarlas y poder aplicar una acción de control.

Las variables a medir son los cambios en los valores de *yaw*, *pitch* y *roll* que corresponden a ejes que se relacionan con la orientación del VANT como lo muestra la figura 7.

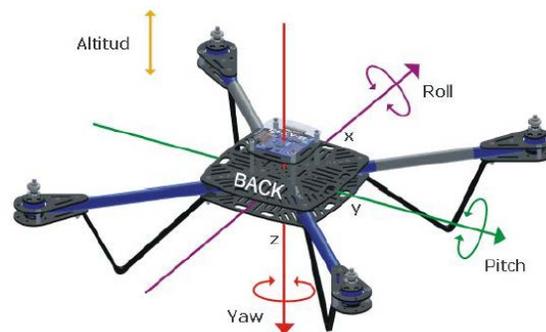


Figura 7 Ejes de un VANT.

El algoritmo de control forma parte de un programa principal programado en Python 3.3 en la tabla 1 se muestra el pseudocódigo de control.

Los valores de *x*, *y* y *z* en el paso 4 corresponden a la medición de valores en el sensor acelerómetro en el momento del despegue o bien, en estado estático. Si se verifica de nuevo la figura 7 se observa que para la orientación idónea que muestra el VANT, el eje *x* (*roll*) y el eje *y* (*pitch*) no experimentan aceleración alguna, ya que el VANT no está en movimiento. No ocurre lo mismo para el eje *z* (*yaw*) ya que, aun en reposo, al estar apuntando hacia el suelo, experimenta la

aceleración de la gravedad que es igual a 1G; mismo valor que es leído por el sensor y por eso $z = 1$. De esta forma, estos valores son los “ideales” que el algoritmo buscará obtener para mantener el VANT balanceado pues son valores en los que la aeronave está equilibrada.

Tabla 1 Pseudocódigo de control.

Algoritmo de control PID	
1	Configuración de puertos I/O
2	Calibración de ESC
3	Inicializar sensores
4	Verificar valores de sensores $x=0$, $y=0$, $z=1$ para acelerómetro
5	Ejecutar acción de control
6	Recibir acción de usuario
7	IR 4

Como se mencionó, otra de las funciones del programa es la creación de una interfaz amigable con el usuario. Dicha interfaz, al estar programada en la Raspberry Pi 3 model B a bordo del VANT debe ser accedida por medio de un protocolo de comunicación Wi-Fi a través del programa VNC server donde la Raspberry Pi 3 model B es el servidor y el usuario en tierra es el cliente. Pueden acceder hasta 5 clientes en dispositivos móviles al mismo servidor para verificar el funcionamiento del VANT así como acceder al video que transmite (Skobelev, Budaev, Gusev, & Voschuk, 2018). La figura 8 muestra el esquema de cómo funciona este método de comunicación.



Figura 8 Comunicación del VANT.

La interfaz, que puede ser observada en la figura 9, cuenta con comandos para obtener lecturas de los sensores, iniciar o detener la grabación de video y desplazar el VANT a voluntad. Este desplazamiento también se encuentra dentro del código de programación y se logra a través del incremento del valor del PWM en los pares de motores adecuados dependiendo de la dirección en la que se desee mover la aeronave como se muestra en la figura 10 donde las flechas verdes indican el incremento de PWM mientras que las naranjas, un decremento. Las flechas azules indican la dirección de movimiento del VANT (Campos López, Juárez Ortiz, & Vieyra Flores).

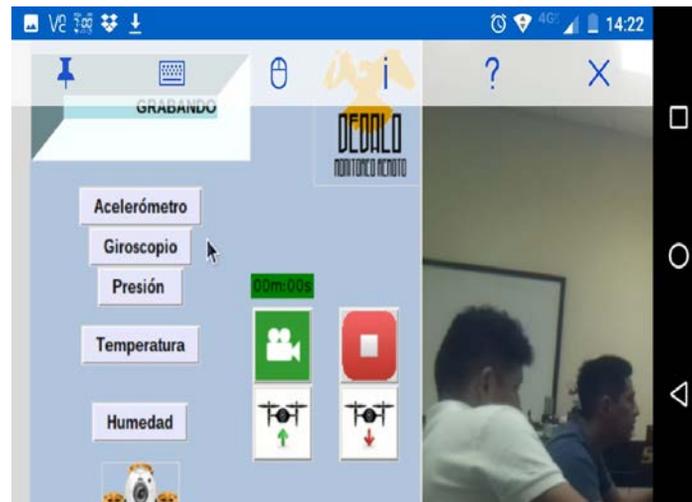


Figura 9 Interfaz gráfica capturando video.

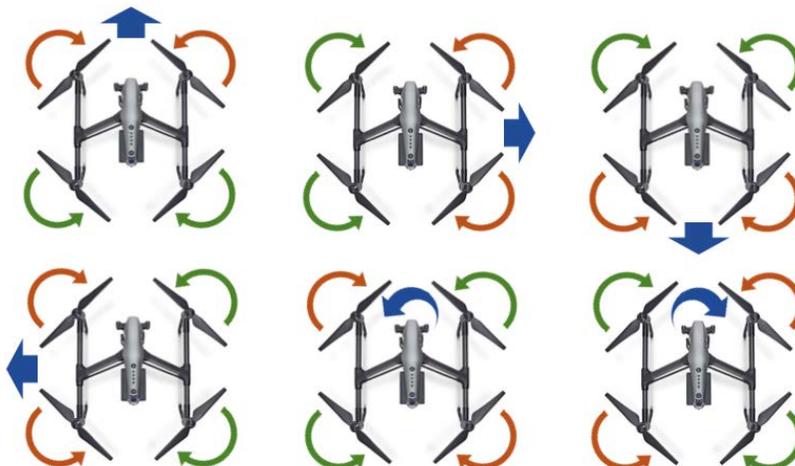


Figura 10 Coordinación de motores.

Resulta entonces, que el control PID es un programa que está ejecutándose continuamente pero que no es visualizado por el usuario. El VANT, como se ha visto, se desplaza en la dirección deseada gracias a una descompensación de equilibrio, es decir, un par de motores gira más rápido que el resto; es por ello, que una vez que se ha llegado al punto u orientación deseada por el usuario, el control corrige esa descompensación para devolver al VANT a un estado de equilibrio para así mantenerse en operación.

3. Resultados

La computadora Raspberry Pi 3 model B desempeñó la mayoría de las labores satisfactoriamente, como las tareas de comunicación al permitir visualizar la información de la computadora remotamente desde más de un dispositivo móvil; calibración de ESC; despliegue de la interfaz, inicio y detención de video y operación de los motores. Sin embargo, a pesar de haberse realizado una programación en multihilo para el control de la estabilidad del VANT, el dispositivo demostró no tener los recursos necesarios para monitorear los sensores y efectuar la acción de control pertinente de manera simultánea al par de motores necesario, ya que el dispositivo no es multiproceso. La acción de control experimenta un retraso de 0.75 segundos entre la ejecución en un motor y otro provocando y balance poco adecuado, lo que impide un vuelo estacionario adecuado a pesar de la sintonización de las constantes de PID.

4. Discusión

La variedad de aplicaciones dada a los VANT en los más recientes años, sin referirnos al ámbito militar han sido profundamente enfocadas a vigilancia, fotografía, cine, inspección estructural y arqueológica, inspección topográfica, agricultura, entre otros. Por lo que mantener la calidad de estos dispositivos y someter a sus componentes a una constante mejora es una tarea que debe llevarse a cabo en trabajos posteriores con la finalidad de que sean aún más eficientes en sus tareas.

En cuanto a las tareas realizadas por el hardware utilizado (Raspberry Pi 3 model B), se destacan la comunicación con el VANT durante la operación, ya que, debido a este, la manera convencional de controlar una aeronave de este tipo se renovó, dejando de lado al radio control y en su lugar tomar las lecturas y controlar el VANT por medio de una interfaz gráfica desde el dispositivo Raspberry Pi 3 model B.

Como era de esperar el desempeño de la Raspberry Pi 3 model B fue satisfactorio en cuanto a las labores de comunicación, interfaz, toma de fotografías y grabación de video, sin embargo, demostró no tener los recursos suficientes para las labores de control, ya que, a pesar de haberse realizado una programación en multihilo, el dispositivo no es multitarea ni multiproceso por lo que el control, es precario. El dispositivo requiere de un tiempo determinado para enviar señales de control a cada motor. Como el algoritmo de control trabaja en tiempo real, necesita una velocidad de respuesta mayor al tiempo en que el dispositivo Raspberry Pi 3 model B envía las señales de control.

El tiempo de retraso en que la Raspberry Pi 3 model B envía las señales de control genera que las correcciones no lleguen a tiempo, ocasionando que el trabajo de los motores respecto a las variables de vuelo, no sea sincronizado de acuerdo a la programación. Esto se ha documentado en publicaciones recientes de proyectos con objetivos similares al de este proyecto (Crespo, Idrovo, Rodrigues, & Pereira, 2017).

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Campos López, H. M., Juárez Ortiz, D., & Vieyra Flores, A. Y. (s.f.). Diseño de una aplicación Android para control a distancia de un Drone destinado a seguridad.
- [2] Crespo, C. B., Idrovo, G. G., Rodrigues, N., & Pereira, A. (2017). UAV flight simulator to improve elders' quality of life. World Conference on Information Systems and Technologies, (págs. 559-568).
- [3] Díaz Cantos, Ó. (2015). Drones y su aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo.

- [4] Escamilla Núñez, R. (2010). Diseño, construcción, instrumentación y control de un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Ph.D. dissertation.
- [5] Guerrero Ochoa, R. C., & Coronel Arízaga, F. X. (2013). Sistema de navegación de un cuadricóptero guiado por el movimiento de las manos para operaciones de búsqueda y rescate. B.S. thesis.
- [6] Safadinho, D., Ramos, J., Ribeiro, R., Caetano, R., & Pereira, A. (2017). UAV Multiplayer Platform for Real-Time Online Gaming. World Conference on Information Systems and Technologies, (págs. 577-585).
- [7] Saha, A. K., Roy, S., Bhattacharya, A., Shankar, P., Sarkar, A. K., Saha, H. N., & Dasgupta, P. (2018). A low cost remote controlled underwater rover using raspberry Pi. Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2018 IEEE 8th Annual, (págs. 769-772).
- [8] Skobelev, P., Budaev, D., Gusev, N., & Voschuk, G. (2018, June). Designing Multi-agent Swarm of UAV for Precise Agriculture. In International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (pp. 47-59). Springer, Cham.
- [9] Stepanov, D., & Tishchenko, I. (2017). Methods of Visual Navigation of the UAV Flying Over the Nonplanar District. En Robot Intelligence Technology and Applications 4 (págs. 551-561). Springer.
- [10] United States Department of Defense (2001). Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms. In JP 1-02 p. 571.