

# Control para drone como periférico de entrada en sistema de medición de humedad y temperatura

## Control for drone as input peripheral in humidity and temperature measurement system

**Diego Felipe Torres Garzón**

*Maestría en Educación con Énfasis en Educación Superior, conocimiento y comunicación (C)*  
Corporación Tecnológica Industrial Colombiana TEINCO  
diego.torres@teinco.edu.co  
Bogotá- Colombia

**Paola Andrea del Pilar Fonseca Flórez**

*Ingeniera en Mecatrónica*  
Corporación Tecnológica Industrial Colombiana TEINCO  
chupiga10@hotmail.com  
Bogotá- Colombia

**Bryam Alexander Sánchez Duque**

*Tecnólogo en Gestión de Procesos Mecatrónicos*  
Corporación Tecnológica Industrial Colombiana TEINCO  
brayamision@hotmail.com  
Bogotá- Colombia

### Resumen

Este artículo describe el diseño y simulación de un sistema de control para las variables de vuelo de un drone, con el fin de crear rutas de desplazamiento autónomo en un área conocida, también se incluyen al desarrollo de los objetivos, la capacidad del drone para recolectar y almacenar los datos de humedad relativa y temperatura durante su recorrido; en cuanto a la metodología, se realiza la aplicación de un diseño electrónico que implementa el Arduino como elemento controlador y un análisis funcional de los sistemas de control propuestos por medio simulaciones en programas como Matlab, Labview, como también proyecciones de vuelo en el software de robótica V-REP. Los principales resultados y conclusiones son: El análisis funcional de los sistemas propuestos por medio de la interpretación de los datos obtenidos en las simulaciones, la propuesta de estrategias de control que pueden ser implementadas en diferentes aplicaciones y la innovación tecnológica en procesos de monitoreo de variables ambientales en espacios cerrados.

**Palabras clave:** Automatización; control; drone; simulación, variables.

### Abstract

This article describes the design and simulation of a control system for the flight variables of a drone, in order to create autonomous displacement paths in a known area, also include the development of objectives, the drone's ability to collect and storing the relative humidity and temperature data during its travel; In terms of methodology, the application of an electronic design that implements the Arduino as a controller element and a functional analysis of the control systems proposed by means of simulations in programs like Matlab, Labview, as well as flight projections in the software of Robotics V-REP. The main results and conclusions are: The functional analysis of the proposed systems by means of the interpretation of the data obtained in the simulations, the proposal of control strategies that can be implemented in different applications and the technological innovation in processes of monitoring variables environmental conditions in enclosed spaces.

**Keywords:** Automation; control; drone; simulation; variables.

---

**Revista Mundo Fesc, 13, Enero- Junio 2017.**

*ISSN (Printed) 2216-0353, ISSN (Online) 2216-0388*

**Forma de citar:** Torres, D.F., Fonseca P.A.P. y Torres, D.F. (2017). Control para drone como periférico de entrada en sistema de medición de humedad y temperatura. Mundo Fesc, 13, 73-85.

**Recibido:** 11 Julio de 2016.

**Aceptado:** 23 Octubre de 2016.

## 1. Introducción

Actualmente los drones conocidos también como UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o vehículos aéreos no tripulados (Iglesias, M., 2016), tienen gran popularidad en procedimientos industriales que van desde la toma de fotos hasta la visión artificial, como también el trazado de rutas de desplazamiento para supervisión, mantenimiento o detección de objetos y en algunos casos toma de datos de variables. En el desarrollo de este documento se propone una solución a una necesidad de las industrias farmacéuticas, los sistemas de registro y monitoreo de humedad y temperatura son una parte fundamental en cualquier sistema de almacenamiento de productos alimenticios o farmacéuticos, procedimiento guiado a cumplir con la normatividad vigente de la resolución 1403 de 2007 del Ministerio de protección social, el cual menciona que se deben llevar registros diarios de estas variables con un termómetro e higrómetro.

Los elementos de monitoreo generan cambios para hacer más precisas sus mediciones, el uso de termohigrómetros inalámbricos, ubicados en los puntos más críticos de una bodega o farmacia, denota una oportunidad de automatización en la que se muestre la movilidad de estos elementos en un espacio controlado para contar con un único sensor que realice todas las mediciones lo que predispone el diseño de un sistema de control de vuelo inteligente.

Se propone entonces una metodología fundamentada al desarrollo de los objetivos propuestos, en primer lugar, el diseño de estrategias de control para cada uno de los grados de libertad (GDL) del drone, en el que se especifican los cálculos realizados para la sintonización de los controladores, algoritmos de programación, materiales y procedimientos para realizar conexiones eléctricas de las pruebas que se llevaron a cabo para control de dichos movimientos, como también las Gráficas de resultados que se realizaron con ayuda de software como Matlab y lavbiew.

En segundo lugar, se especifica la propuesta para la toma y almacenamiento de datos de humedad relativa y temperatura, basada en la selección del sensor similar al desarrollo que muestra el artículo de Rodal, Joosen, Sanz, Del Cerro, & Barrientos (2015), como también los elementos necesarios para almacenar dicha información en una micro SD, la cual permite ser exportada a un programa informático (Excel) para la el manejo de los datos, finalmente y en tercer lugar, con implementación del software de robótica V-REP se propone la realización de una simulación de vuelo del drone, con el fin de tener una proyección del desplazamiento y la verificación de funcionalidad de los sistemas de control diseñados.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Aporte al desarrollo tecnológico

La tecnología que se presenta en este artículo, es realizada en base a propuestas de desarrollo tecnológico en torno a la temática de los Drones. Principalmente, se muestra el aporte del departamento de biología y ciencias de la Universidad Nacional de Singapur en la cual se desarrolló un proyecto para reducir la pérdida de biodiversidad y de gases de efecto invernadero, con el objetivo de hacer seguimientos de actividades forestales ilegales y topografía de grandes especies y animales al desarrollar un vehículo no tripulado "Drone" capaz de volar misiones programadas de manera autónoma por un tiempo de 25 minutos, (Pin Koh y Wich, 2012). Este trabajo muestra los diferentes alcances a los que se pueden llegar con el desplazamiento autónomo (también para áreas abiertas), aplicando el mismo principio de recolección de variables ambientales.

En la Universidad Politécnica de Catalunya en el año 2014, se propone un proyecto para el seguimiento de trayectorias, el cual tenía como objetivo, dar una solución al control autónomo de la trayectoria en X y Y para un vehículo de cuatro motores cuyo comportamiento es no lineal; Para

el modelamiento de cuatro motores, estudiaron un modelo no lineal estático, un modelo dinámico lineal y un modelo para las fuentes de ruido, donde se concluyó finalmente un polinomio inverso grado 5 para eliminar la no linealidad de este sistema y la compensación, la fuente de ruido y un controlador de compensación en paralelo (Aguilar, Costa, Angulo y Molina, 2014). El modelo matemático que se presenta en esta investigación proyecta una manera o estrategia la cual se puede tomar como referencia, cuando se realice la integración del control de todos los grados de libertad para lograr el modelamiento lineal dinámico y eliminar los ruidos del sistema y de esta manera aplicarlos a la estrategia de control de este proyecto.

Al año 2015, Investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid desarrollaron un mini-UAV para medir las variables ambientales en un invernadero, las envían a una central de cómputo para el control de los actuadores que mantienen constantes estas variables y así mejorar los sistemas de control del clima y monitorización de los cultivos, ya que los sistemas de control ambiental tienen grandes limitaciones como costos y problemas de confiabilidad, lo que hace que su implementación sea poco rentable y muy compleja, el prototipo que desarrollaron está integrado por sensores de temperatura, humedad, luminosidad y concentración de CO<sub>2</sub>, estas variables son almacenadas para realizar el trazado de mapas de comportamiento dentro de la bodega (Rodal, et al., 2015). Ese proyecto está directamente relacionado con el presente documento por que versa sobre la recolección de variables ambientales dentro de un espacio cerrado.

Actualmente existen varios desarrollos de diseño de sistemas de control sobre Drones, se especifican los anteriormente mencionados, ya que su cercanía con esta propuesta permite evidenciar técnicas y estrategias que son evaluadas frente al desplazamiento en espacios cerrados, al igual que la disminución de costos para su implemen-

tación, lo anterior con el objetivo de proponer un sistema de registro y control de variables ambientales en bodegas, implementando el drone como periférico de entrada para la captación de dichas variables.

## 2.2 Caso de estudio

Con el fin de generar los parámetros que particularizan el ejercicio de control, se plantea un caso de estudio que determina las condiciones de desplazamiento del drone y los registros de temperatura y humedad relativa. La farmacia seleccionada está ubicada en la ciudad de Bogotá D.C, cuyo plano general de distribución para la determinación de longitudes y variaciones en la ruta, se muestra en la figura 1.

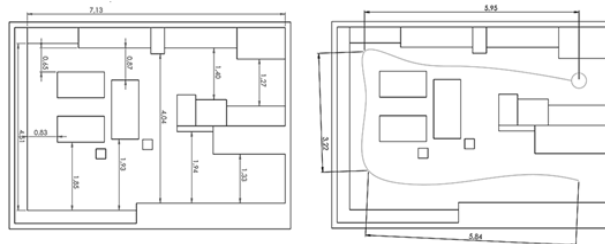


Figura 1. Distribución de la farmacia - Medidas en metros (Izquierda); Trayectoria de desplazamiento del drone. (Derecha).  
Fuente: Autores.

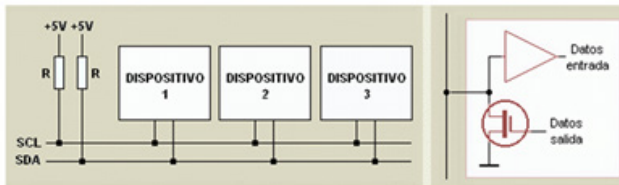
Los parámetros máximos y mínimos de la temperatura y la humedad en la que deben ser almacenados los medicamentos, están dados por los fabricantes y se especifican en el empaque de los productos, para el caso específico de estudio se determinó que los rangos para la temperatura estuvieran entre los 15°C a 30°C y la humedad entre 42% a 65%. En la figura 1 (derecha) se muestra la ruta de desplazamiento aproximada que el drone va a realizar dentro de la farmacia, se planea un recorrido básico que no será totalmente recto cuya distancia de desplazamiento es aproximadamente de 15 metros

## 2.3 Marco teórico

**Control PID o PI.** El diseño de un sistema de control de vuelo para un drone suele hacerse por me-

dio de un controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) o PI dependiendo de cómo se desee aplicar el método de sintonización, un controlador PID aplicado a un drone, se define como “un mecanismo de control que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener para aplicar una acción correcta” (DDC, 2015).

**Interfaz de comunicación I2C.** Los sensores implementados, hacen uso de la interfaz I2C lo cual facilita la comunicación con el microcontrolador, permitiendo el intercambio de información (entre varios dispositivos) a una velocidad de 100Kbits por segundo, todos conectados al mismo bus como se evidencia en la figura 2 La metodología de comunicación de esta señal es en serie y sincrónica.



**SCL** (System Clock) es la línea de pulsos de reloj que sincroniza el sistema

**SDA** (System Data) es la línea por la que se mueven los datos entre los dispositivos

Figura 2. Comunicación por bus de datos

Fuente: (ROBOTS, 2007), Adaptado por autores.

Sintonización por método lambda. Se basa en incluir un parámetro ( $\lambda$ ) que determina la velocidad de respuesta, aumentando ( $\lambda$ ) aumenta la constante del tiempo del lazo cerrado y disminuye la velocidad de respuesta. Disminuyendo ( $\lambda$ ) se lleva

a cabo el efecto contrario, cuanto más alto sea ( $\lambda$ ) mayor es la robustez del sistema de control (Sánchez, 2006). Su formulación básica la siguiente (Ecuación 1):

$$Kc = \frac{T1}{Kp*(\lambda+Td)} \quad TI = T1 \quad (1)$$

Control ON-OFF. Este tipo de control no es capaz de reducir la respuesta a un valor fijo y constante, lo que hace es mantener los valores dentro de un rango determinado de acuerdo al algoritmo que se plante. Este control posee algo de histéresis, definida como la diferencia entre apagado y encendido del controlador, dentro de esta fluctuación se presentan las oscilaciones que se determinan de acuerdo a la amplitud y el periodo en función del tiempo (Ogata, 2010).

Grados de libertad (GDL). La medición y el control de las variables de posición angular de una aeronave, PITCH, ROLL Y YAW, ver figura 3, son las que determinan la forma en la que los objetos con la capacidad de volar, se desplazan en el aire, por consiguiente los GDL son el número de aceleraciones y velocidades angulares que se pueden medir en cada uno de los ejes de movimiento.

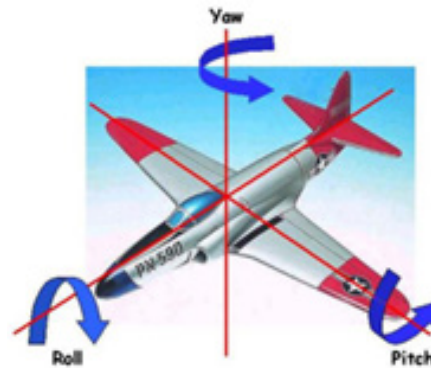


Figura 3. Grados de libertad aerodinámica.

Fuente: Rodriguez, 2012.

### Cálculos y análisis para el empuje de un drone.

La regla básica con multi-rotadores es que sus motores deben ser capaces de producir dos veces el peso total de vuelo de la nave en el empuje, por lo tanto, el empuje requerido por motor es igual a: (peso de la aeronave x 2) / 4 motores, así que para una embarcación de 4 motores (QuadCopter), cada motor debe ser capaz de producir un medio de peso de la aeronave en el empuje (Drone center, 2016).

**Variables ambientales.** La humedad relativa es muy importante en todos los procesos industriales, teniendo en cuenta que todo el ambiente que nos rodea presenta humedad en menor o mayor proporción, la medición de esta variable se hace por medio de un sensor que este en contacto directo con el ambiente (Equipos y laboratorios de Colombia, 2015). Por su parte, la temperatura es una variable de uso más común e importante a nivel industrial, de ella se obtienen múltiples procesos, la apropiada selección del sensor para su medición, depende de sus características de funcionamiento, limitaciones y aplicaciones (Sánchez, 2010).

Control RF del dron de pruebas, Dron de pruebas (ver figura 4). Para la lectura de los datos del sensor, es necesario que se realice un algoritmo de programación (cargado al microcontrolador) diseñado por estructura de bloques, en un driver conocido como VISA (ver figura 5, pág.78). Se crea también una interfaz Gráfica de visualización en labview “interfaz de tipo software” (Iglesias, 2016, p.27), para observar el comportamiento del dron en una referencia de ejes X y Y (ver figura 6, pág. 78). Esta interfaz será usada para la sintonización de todos los grados de libertad del dron.

## 2.4 Propuesta de control para las variables de vuelo

### Control Altura

Para hacer el ajuste de las constantes del PI en la altura se realiza el siguiente montaje electrónico constituido por los siguientes elementos: Sensor HCS04, Arduino MEGA, Leds, Resistencias 220ohm, Transistores 2N2222, Opto acopladores, Cable Jumper,

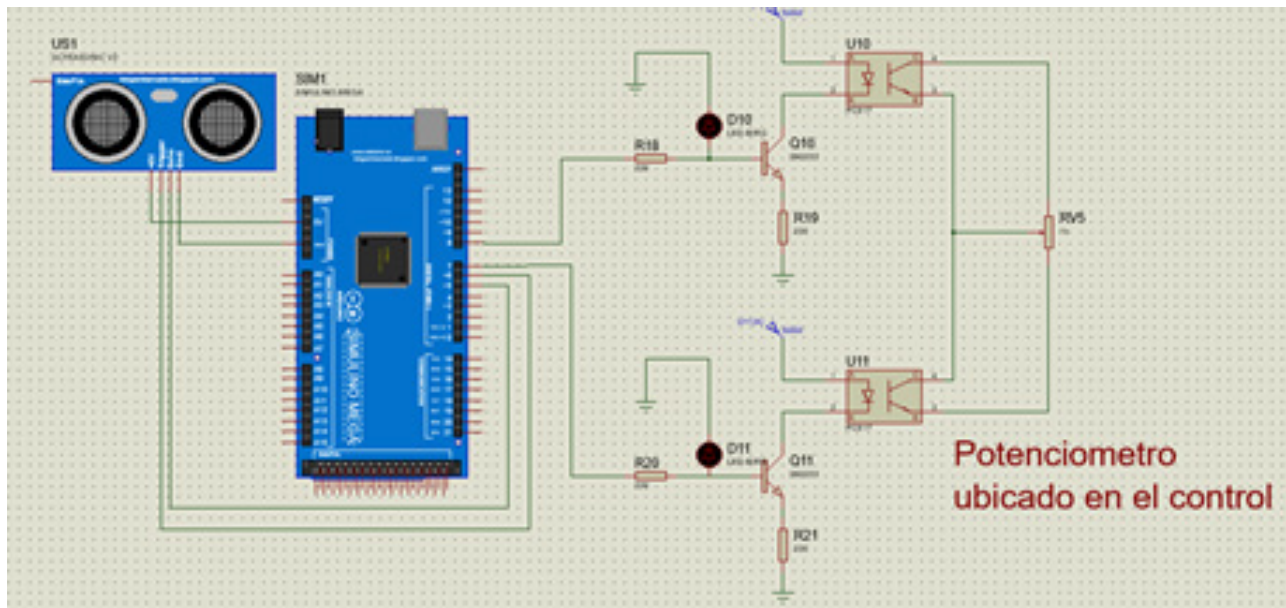


Figura 4. Diseño del montaje electrónico del sensor ultrasónico (Proteus).  
Fuente: Autores.

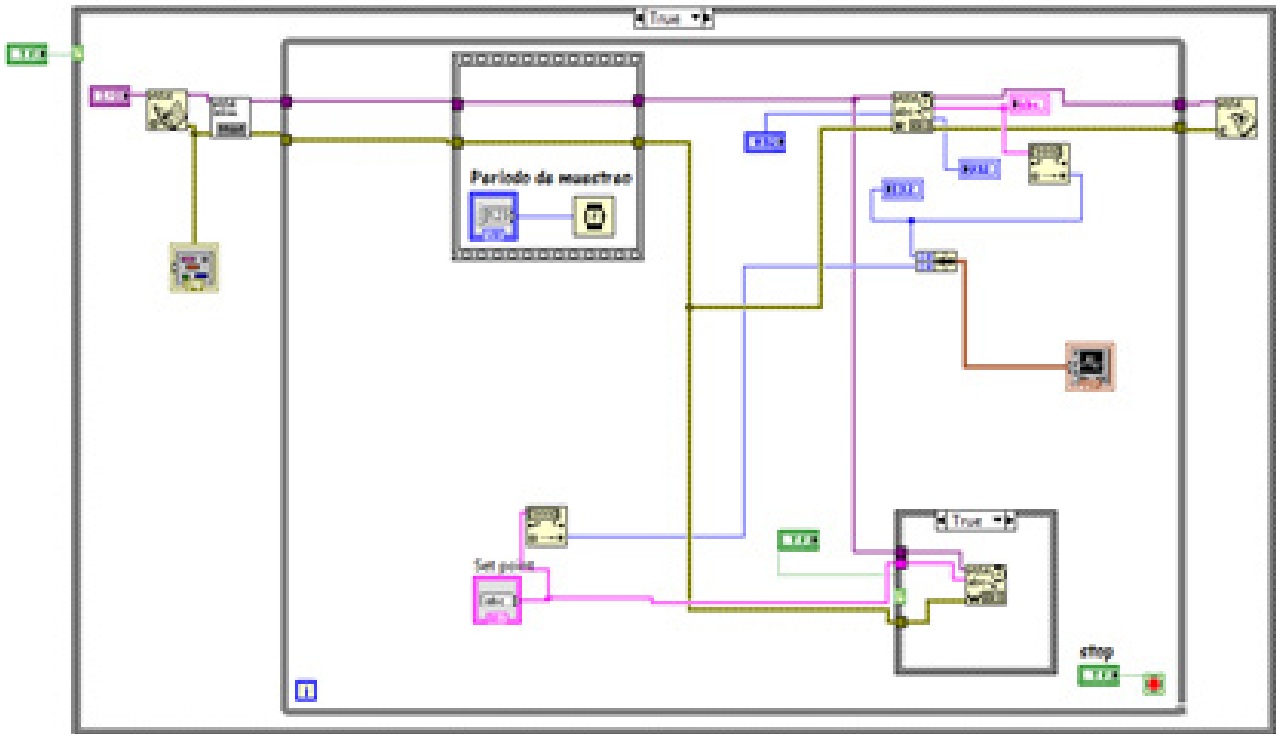


Figura 5. Algoritmo de programación, estructura de bloques (labview).  
Fuente: Autores

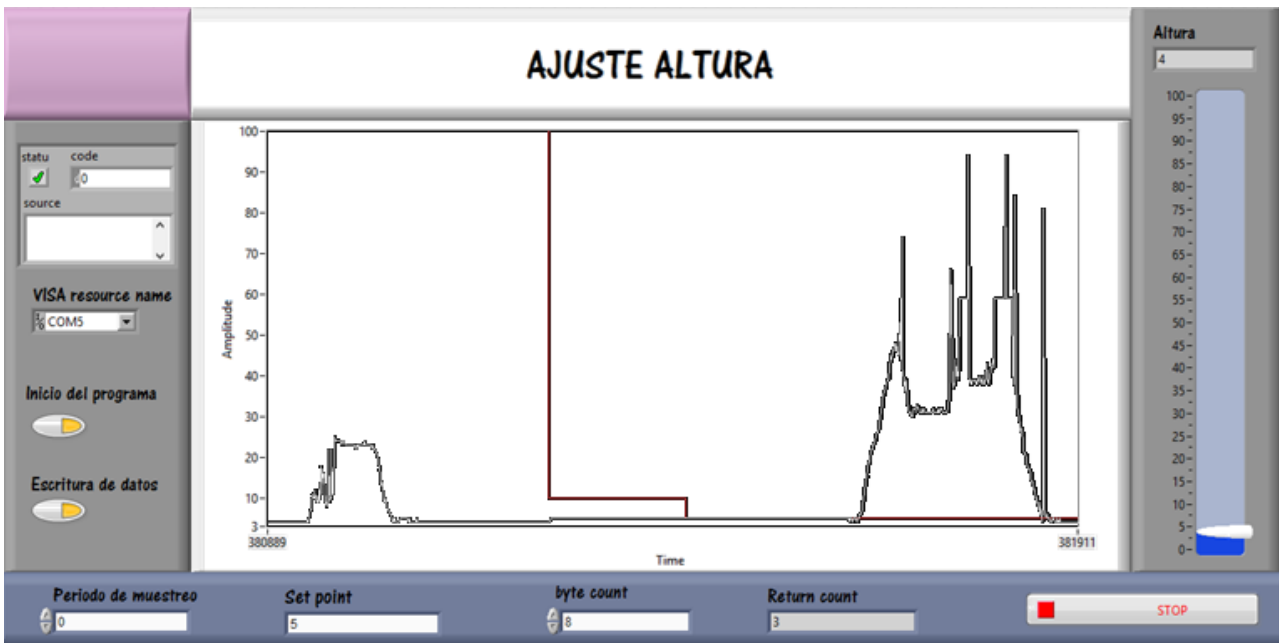


Figura 6. Interfaz gráfica de visualización del control de altura (labview).  
Fuente: Autores.

La parte inferior muestra el periodo de muestreo que se desee ingresar al igual que el setpoint deseado, una vez el sensor este leyendo y se compruebe que el valor PWM que se ingrese por el set point, varié la intensidad del led se puede iniciar con el paso a paso para hacer la sintonización determinada por las siguientes actividades:

1. Determinar el rango de operación para la altura
2. Calcular la ganancia del sistema, el tiempo de respuesta y de estabilización
3. Calcular la constante proporcional e integral (aplicación del método de sintonización lambda)
4. Calcular el periodo de muestreo (posterior a las constantes calculadas se diseña el algoritmo en el software de arduino, para realizar un control proporcional integral encargado de estabilizar la elevación del drone dentro de los rangos establecidos).

De acuerdo a la función de transferencia del controlador diseñado, se realiza una simulación por medio de simulink en el software de Matlab, ver figura 7.

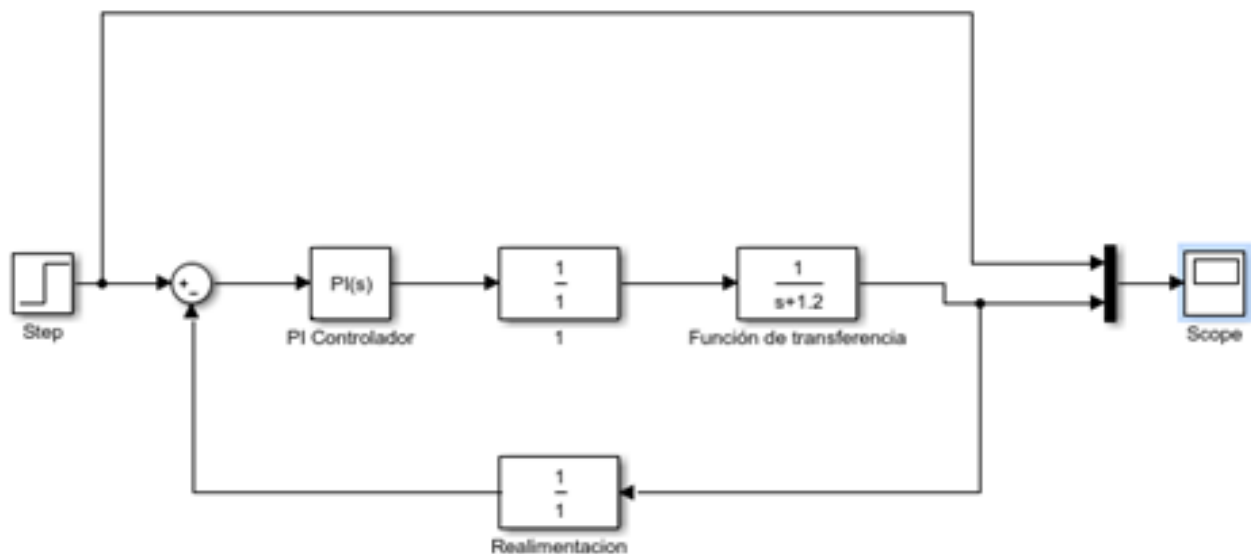


Figura 7. Función de transferencia, diagrama de bloques (Matlab)  
Fuente: Autores.

## Control Yaw

Para realizar el control de YAW se hace uso de un controlador ON/OFF, se realiza el montaje electrónico mostrado en la figura 8, el cual está constituido por los siguientes elementos: Sensor HMC5983, Arduino MEGA, Leds, Resistencias 220ohm, Transistores 2N2222, Opto acopladores, Control RF (Radio frecuencia) del drone de pruebas, Cable Jumpers, Drone de pruebas.

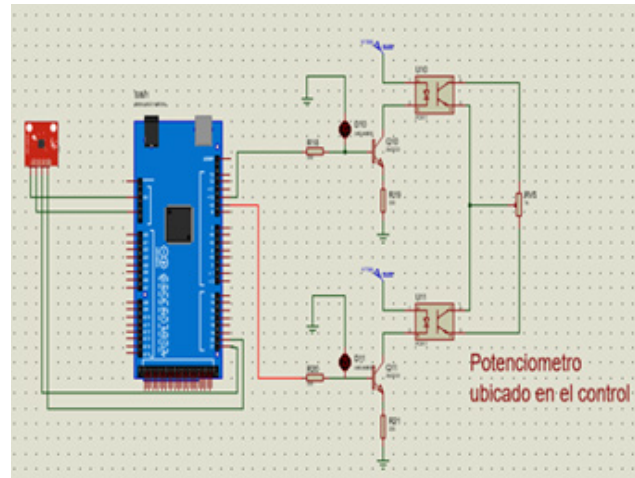


Figura 8. Diseño del montaje electrónico del sensor HMC5983. (Proteus)

Fuente: Autores.

La conexión de las salidas PWM son iguales a las realizadas para el control de la altura, pero el sensor implementado maneja la interfaz de comunicación I2C. Una vez el sensor este leyendo y Gráficoando en labview se verifica que las salidas PWM programadas, varíen la intensidad de voltaje. Para realizar un control ON/OFF se diseña el siguiente paso a paso:

1. Determinar el rango de operación del drone para el desplazamiento en YAW
2. Determinar la histéresis del sistema
3. Diseñar un algoritmo para un controlador ON/OFF

El algoritmo diseñado debe cumplir con los rangos de histéresis determinados en el paso anterior, se debe incluir una decisión que defina desde su posición actual (y alcanzado el set point programado), si es mejor ir a la izquierda o a la derecha (posibilidades de giro). Para realizar la simulación se opta por un set point de 30 y se evidencia que la posición del dron debe mantenerse entre el rango de la histéresis programado que es +/-2, es decir 4. Se puede decir que la ecuación por la cual se gobierna un controlador ON/OFF es la siguiente (Ecuación 2):

$$u(t) \begin{pmatrix} U1 & e(t) > 0 \\ U2 & e(t) < 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Esta ecuación muestra que el error siempre será un valor diferente de cero y que hay dos salidas para esta ecuación que son U1 y U2, que aplicadas al sistema de control pueden ser referenciadas como, U1 giro a la derecha y U2 giro a la izquierda.

### Control de PITCH y ROLL

Para ajustar estos dos grados de libertad se debe realizar el montaje eléctrico mostrado en la figura 9. El cual está constituido por: Sensor MPU6050, Arduino MEGA, Leds, Resistencias 220ohm, Tran-

sistores 2N2222, Opto acopladores, Control RF (Radio frecuencia), Cable Jumper, drone de pruebas; en comparación con los montajes anteriores, se incluyen dos potenciómetros en el que cada uno se encarga respectivamente de un grado de libertad. El sensor MPU6050 mide la inclinación tanto para pitch como para roll y cuenta con la interfaz de comunicación I2C.

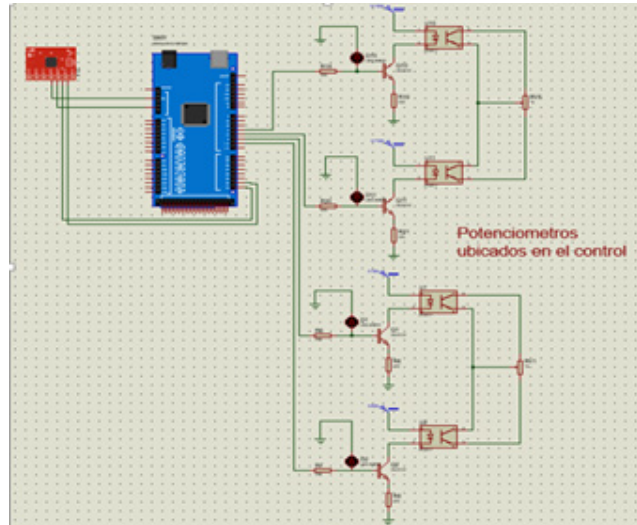


Figura 9. Diseño del montaje electrónico del sensor MPU6050. (Proteus)

Fuente: Autores.

Por medio de la interfaz Gráfica de labview se muestra el comportamiento del sensor durante el desplazamiento hacia adelante y hacia atrás del drone de pruebas, se programa entonces la salida PWM a 245 para ir hacia adelante y 230 para ir hacia atrás, de este analisis se puede inferir que para el desplazamiento hacia adelante el ángulo promedio de inclinación es de 20° (con PWM a 245).

Al realizar la simulación del control de roll se siguieron los mismos pasos que los usados para controlar pitch, se realizan pruebas para crear una relación con la inclinación del dron con la salida PWM que se programe, para este caso, el desplazamiento hacia la derecha es 250 y para ir hacia la izquierda de 180, de este análisis se puede inferir que para ir a la izquierda el ángulo promedio de desplazamiento es de 14° y para ir a la derecha es



20°. El manejo de pitch y roll se realiza desde el control RF por lo tanto no se requiere de un sistema totalmente elaborado para que este control funcione, solo se configuran tiempos.

### Lectura de variables de Humedad relativa y Temperatura

Para realizar las mediciones de estas dos variables, se realiza el montaje electrónico mostrado en la figura 10. el cual está constituido por: Arduino MEGA “el cual se puede adaptar mediante shields Arduino para realizar funciones específicas” (Pazmiño, 2016, p.21), Escudo Shield Ethernet, Memoria Micro SD, Sensor de humedad y temperatura HTU21D, Jumper. El sensor hace uso de la interfaz de comunicación I2C, razón por la cual los pines de comunicación se conectan a los pines SDA y SCL del arduino; Se alimenta a 3,3Vdc según como se especifica en la hoja de datos.

### Desarrollo de algoritmo para el registro de variables

El algoritmo diseñado tiene como objetivo funcionar como un datalogger, ya que se hace uso de la librería time la cual permite saber en qué minuto y segundo se encontraba las variables a medir durante el desplazamiento del dron. Los datos que se muestran por el puerto serial coinciden con los datos que fueron escritos y almacenados

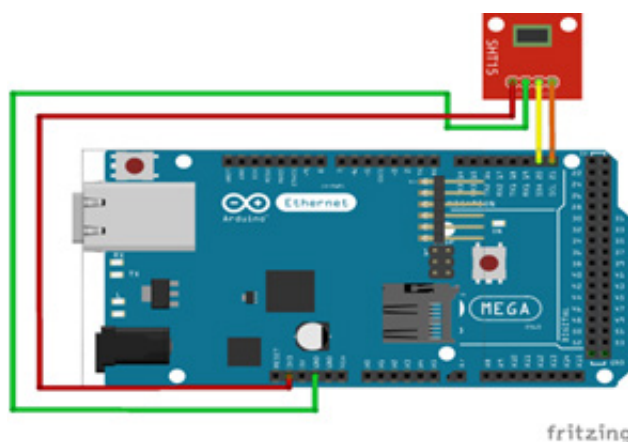


Figura 10. Montaje electrónico del sensor de humedad y temperatura HTU21D  
Fuente: Autores.

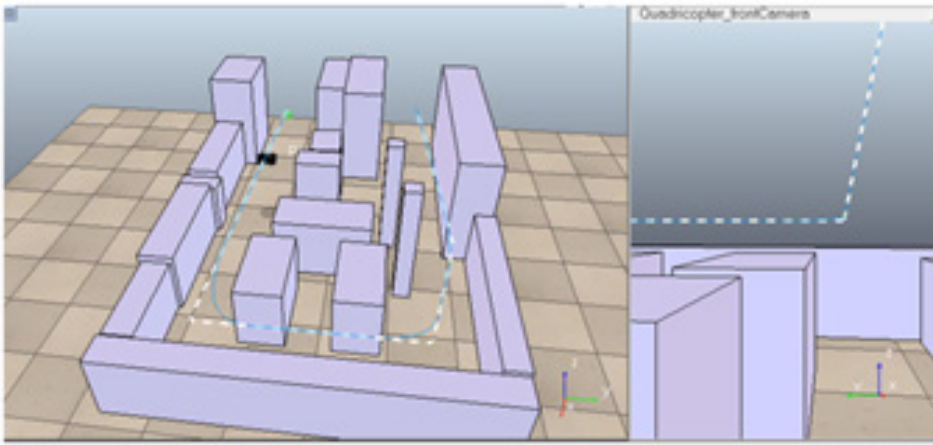
en la micro SD (Exportados a Excel) ubicada en la shield Ethernet de arduino utilizada, con esto se comprueba que el valor de la medición fueron medidos en tiempo real.

### Desarrollo de la simulación

La plataforma virtual V-REP ofrece un entorno de desarrollo integrado el cual permite hacer los controles por medio de diferentes lenguajes básicos como c++, java, Python o Matlab entre otros. Para llevar a cabo la simulación se realizaron las siguientes actividades:

1. Instalar software de simulación de robótica. Ingresar al sitio web de V-REP e instalar la versión 3.1.2 del programa (Software de libre acceso).
2. Diseñar escenario basado en la distribución espacial de la farmacia. Crear la ruta de desplazamiento del dron (línea guía), como se muestra en la figura 11(ver pág. 82).
3. Configurar el dron del software para que se desplace por la línea guía una vez inicie la simulación.
4. Instalar un giróscopo y un acelerómetro a la simulación, la aplicación de estas herramientas nos permite visualizar la posición, calculando la inclinación y la dirección del dron.
5. Verificar los datos que se generan como resultado de la simulación.

V-REP es muy potente y flexible, se utiliza para el desarrollo rápido de algoritmos, simulaciones de automatización de fábricas, prototipado rápido, robótica educativa, entre otros. Permite manejar virtualmente cualquier tipo de mecanismo en el modo de cinemática inversa (modo IK) o el modo de cinemática directa (modo FK) (V-REP, 2015).



La parte derecha de la imagen muestra la vista de desplazamiento del dron.

Figura 11. Creación de la simulación. Elaboración propia Fuente: Autores.

### 3. Resultados y discusión

#### Control de las variables en Altura, Yaw, Pitch, Roll

Como resultado del control propuesto para la variable Altura, se presenta el análisis de la figura 12 simulación realizada en Matlab que representa la función de transferencia de segundo orden para un control PI haciendo uso del método de sintonización lambda. La línea azul corresponde a la respuesta del sistema y la línea amarilla a la señal paso, se deduce que el tiempo de estabilización se encuentra entre 50 y 60ms por lo que este diseño cumple con lo requerido para un sistema de control ideal ya que genera picos por la ganancia y logra estabilizarse rápidamente.

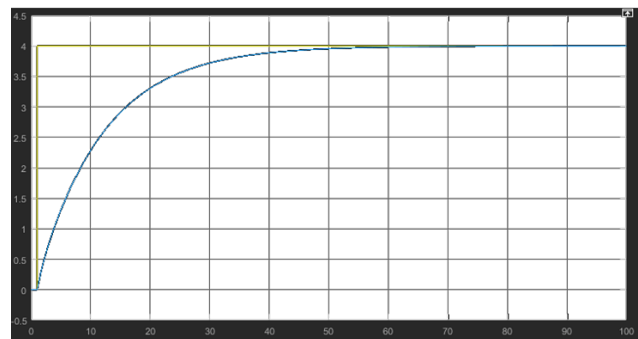


Figura 12. Grafica de la función de transferencia del sistema de segundo orden Fuente: Autores.

Para el GDL Yaw se diseñó un control ON/OFF, como respuesta de la simulación realizada, se analiza la figura 13 en la que se define un Set point de 30 para la posición del dron, con una histéresis de  $4^\circ$ , esto equivale al 1,7% de histéresis que es inferior al 5% de los rangos permitidos para el diseño de un sistema de control.

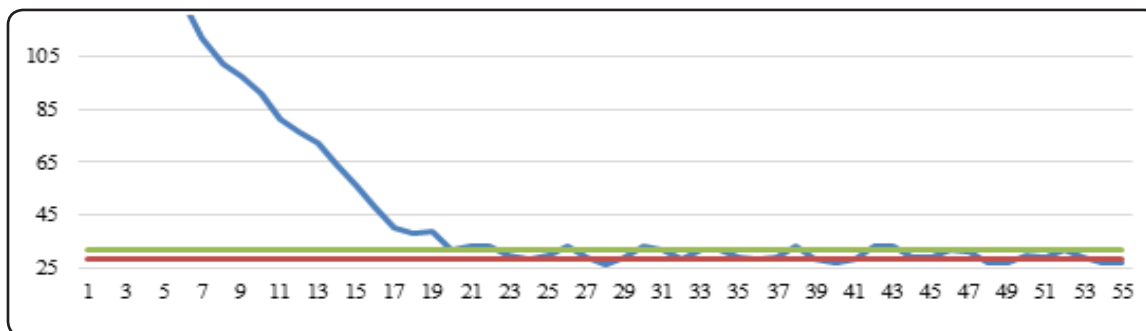


Figura 13. Grafica de la función de transferencia del sistema de segundo orden Fuente: Autores.

Para el GDL Pitch se diseña un control básico (ya que el drone no se encuentra desplazándose adelante-atrás constantemente), el cual consiste en asignar un valor fijo a la salida PWM tomado como referencia para realizar el desplazamiento. Aunque en el análisis de la figura 14 la inclinación evidencia gran oscilación, se realiza un promedio de estos valores para determinar la salida PWM, y el drone se desplace en función de estos datos.

En cuanto al GDL Roll, se diseña de la misma manera que el GDL Pitch, en la figura 15 se muestran los ángulos promediados hacia la izquierda y el valor de la salida PWM obtenido en cada uno de los desplazamientos, esta Gráfica muestra el comportamiento del sensor cuando el drone tiene un desplazamiento hacia la derecha y a la izquierda.

### Medición y registro de las variables ambientales (Humedad y temperatura)

Actualmente la farmacia (caso de estudio) tiene instalado un termohigrometro que no permite almacenar los datos que registra ya que solo tienen indicación local, el termohigrómetro que se diseñó opera como un datalogger ya que almacena los registros de las variables en tiempo real y permite que sean exportados a un archivo en Excel con el fin de crear un histórico. Los registros del sensor de HTU21D se muestran en la figura 16 (ver pág. 84), prueba realizada en la que se evidencia el minuto y segundo de la toma de las variables, los datos mostrados se imprimen cada 500 ms y por esta razón los segundos se repiten dos veces durante la ejecución.

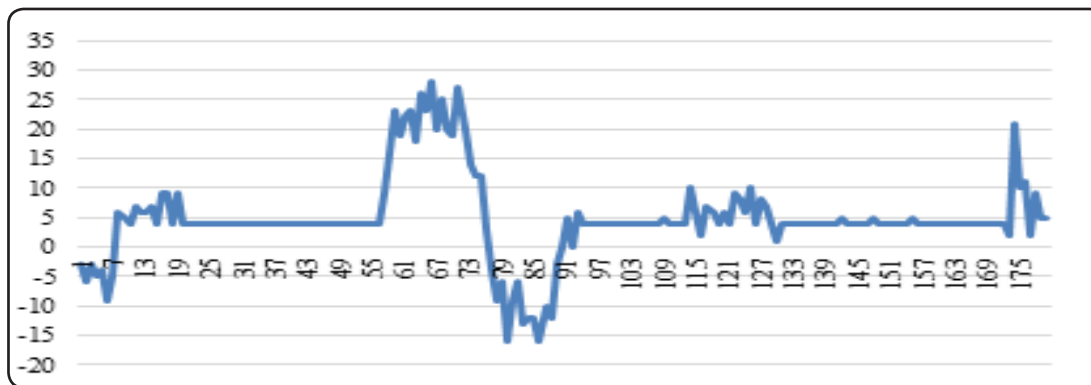


Figura 14. Grafica de la función de transferencia del sistema de segundo orden  
Fuente: Autores.

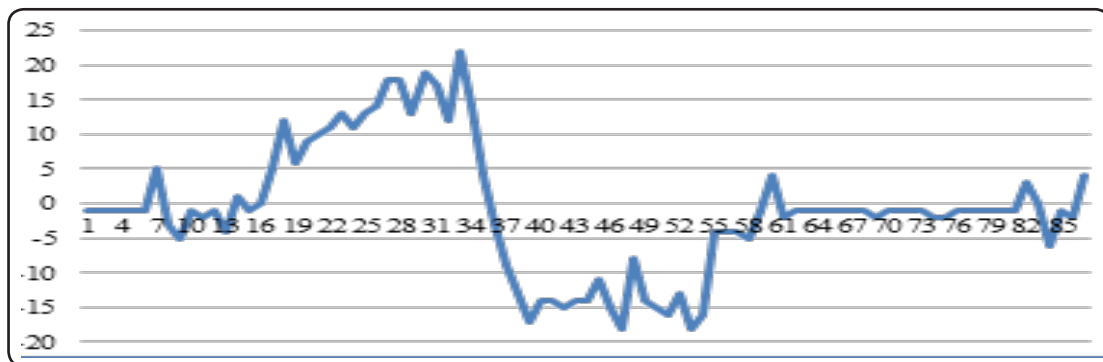


Figura 15. Grafica de la función de transferencia del sistema de segundo orden  
Fuente: Autores.

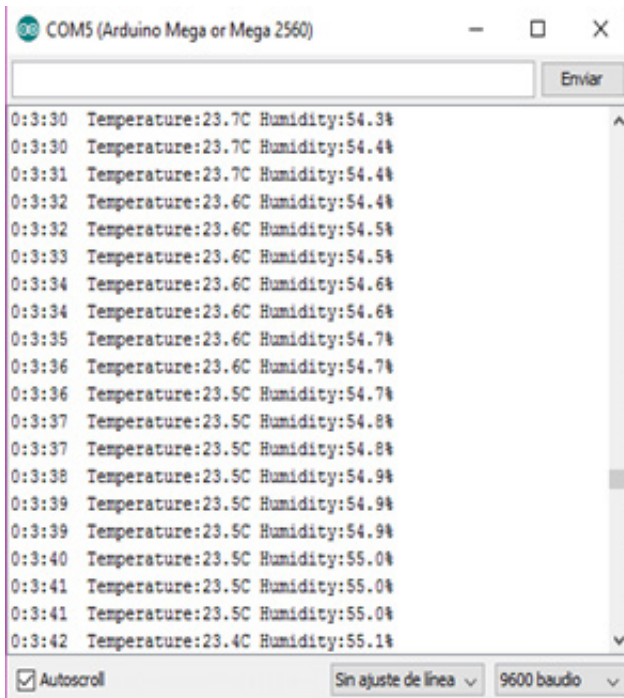


Figura 16. Registros tomados por el sensor de HTU21D. Elaboración propia Fuente: Autores.

### Simulación de vuelo autónomo

Se diseña una ruta de desplazamiento en el programador V-REP de interfaz Gráfica en tiempo real, con la ayuda de esta herramienta se comprueba que el algoritmo de programación responde a las características de vuelo mostradas en la simulación, los datos suministrados por el giroscopio y el acelerómetro como herramientas virtuales de medición, son cercanas a los datos obtenidos en las simulaciones de los sistemas de control. También se estipula un tiempo de vuelo total, y la futura planificación de estrategias para la evasión de obstáculos, haciendo del vuelo más inteligente aumentando su grado de autonomía.

### 4. Conclusiones

La propuesta del sistema de medición de variables ambientales que implemente un drone como periférico de entrada, disminuye el error de medida para los registros de temperatura y humedad relativa en comparación con los sensores actuales,

ya que el sensor termo hidrómetro fijo de la farmacia no cubre toda el área y no está cerca de donde están los medicamentos, mientras que un drone, con un sistema de control de vuelo recorre los espacios de cada uno de los estantes donde se ubiquen los medicamentos, registrando con precisión el valor real de las variables en cada uno de los estantes.

Es importante tener en cuenta que el ruido generado por la vibración puede llegar a afectar la toma de datos de las variables de vuelo, lo cual indica que el sistema de control que se desarrolle simplemente no funcionara por el ruido que se genera, así mismo se debe tener en cuenta, que la ubicación del sensor de humedad y temperatura debe ser en un lugar estratégico, lejos de estas las vibraciones, en el cual el sensor no se vea afectado por las corrientes de aire de las aspa.

Se utilizó una librería para Arduino conocida como time que no realiza el registro de la hora actual para el almacenamiento de los datos, por esta razón se recomienda utilizar un módulo rtc, el cual cuenta con un reloj interno que tiene funcionamiento aun con el Arduino apagado; así mismo, para la toma de variables ambientales (actualmente almacenadas en una micro SD), se recomienda implementar un módulo wifi, el cual permite almacenar los datos y enviar información a una dirección IP y puerto que se necesite.

La comunicación vía bluetooth, permite comunicar los comandos de control y registrar los datos de los sensores, esto permite disminuir peso al drone sin riesgo a aumentar la potencia de elevación. Aún quedan cosas por evaluar como la comunicación inalámbrica entre los sensores y el controlador, la evasión de obstáculos durante el desplazamiento y la identificación de la posición del drone dentro de la farmacia para relacionarla con los datos de humedad y temperatura registrados, aunque estos puntos no se trataron en esta primera etapa, se espera dar continuidad al proyecto para lograr la implementación del sistema

## 5. Referencias

- Aguilar, W., Costa, R., Angulo, C., & Molina. R. (2014). *Control Autónomo de Cuadricopteros para seguimiento de trayectorias*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/265914140\\_Control\\_autonomo\\_de\\_cuadricopteros\\_para\\_seguimiento\\_de\\_trayectorias](https://www.researchgate.net/publication/265914140_Control_autonomo_de_cuadricopteros_para_seguimiento_de_trayectorias)
- Drone center. (2016). *Construye tu drone*. Recuperado de <http://dronecenter.blogspot.com.co/p/construye-tu-drone.html>
- DDC Dronesdecarreras.com. (2015). *PID para cuadricopteros ¿Qué es?* Recuperado de <http://dronesdecarreras.com/pid-para-cuadricopteros-que-es/>
- Equipos y laboratorios de Colombia. (2015). *Higrometros*. Recuperado de [http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos\\_vitrina.php?c=435#inicio](http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos_vitrina.php?c=435#inicio)
- Iglesias, J. (2016). *Diseño de un dron para lectura de tarjetas RFID*. Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Barcelona, España.
- Iglesias, M. (2016). *Diseño e implementación de un drone para la detección de incendios forestales*, Universitat oberta de Catalunya UOC, Barcelona, España.
- Ministerio de la protección social. (2007). *Resolución número 1403 de 2007*. Recuperado de [https://www.invima.gov.co/images/pdf/tecnovigilancia/buenas\\_practicas/normatividad/Resolucion1403de2007.pdf](https://www.invima.gov.co/images/pdf/tecnovigilancia/buenas_practicas/normatividad/Resolucion1403de2007.pdf)
- Ogata, K. (2010), *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Pazmiño, A., (2016). *Implementación de una red zigbee mesh basada en el estándar IEEE 802.15.4 para la operación de un Dron*. Universidad de las fuerzas armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Pin Koh, L & Wich, S. (2012). Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, 5(2),121-132. Recuperado de [http://tropical-conservationscience.mongabay.com/content/v5/TCS-2012\\_jun\\_121-132\\_Koh\\_and\\_Wich.pdf](http://tropical-conservationscience.mongabay.com/content/v5/TCS-2012_jun_121-132_Koh_and_Wich.pdf)
- ROBOTS Pasión por la robótica en argentina. (2007). *Comunicación-Bus I2C, descripción y funcionamiento por Eduardo J. Carletti*. Recuperado de [http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion\\_busI2C.htm](http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm)
- Rodríguez, N. (2012). Obtención de las variables de posición angular pitch, roll, yaw de una aereonave. *Ciencia y tecnología aeronáutica*, 17(1), 20-28. Recuperado de <https://goo.gl/Lha7N8>
- Rodal, J., Joosen, G., Sanz, D., Del Cerro, J., & Barrientos, A. (2015). Mini-UAV Based Sensory System for Measuring Environmental. *Sensors*, 15(2), 3334-3350.
- Sánchez, J. (2006). *Instrumentación y control avanzado de procesos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Sánchez, Y. (1 de Diciembre de 2010). *Medición de la variable temperatura* [Presentación Scribd]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/72111635/Medicion-de-La-Temperatura>
- V-REP. Virtual robot experimentation platform. (2015). *The robot simulator V-REP*. Recuperado de <http://www.coppeliarobotics.com/>