

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/349929431>

Caracterización de dron con diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo del aire.

Technical Report · March 2021

DOI: 10.13140/RG.2.2.17658.91847

CITATIONS

0

READS

1,021

5 authors, including:



[Omar Alvarez](#)

Central University (Colombia)

4 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Harold Armando Rocha Sánchez](#)

Sergio Arboleda University

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Caracterización de dron con diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo del aire.

Omar Ferney Alvarez, Harold Armando Rocha Sánchez, Miguel Ángel Ballen Segura

Universidad Sergio Arboleda, Semillero Maker USA

Resumen—En este documento se describe y analiza la caracterización y construcción del sistema electro mecánico para un dron con múltiples propósitos y se detalla el diseño de una tarjeta de adquisición de datos que mide variables ambientales tales como PM2.5/PM10 y gases contaminantes SO₂, NO₂, CO, O₃ dentro de sus requerimientos de diseño se especificó la funcionalidad y bajo costo de su implementación usando materiales ampliamente disponibles en el mercado de los drones. Este permite un empuje para llevar cargas de hasta 500g, para el diseño y construcción de la tarjeta, se optó por buscar sensores de bajo costo y bajo consumo de operación, también se describe la caracterización de los sensores el modelo eléctrico y de su funcionamiento electroquímico, también se describe metodologías de prototipado rápido y barato para el diseño de circuitos eléctricos debido a la falta de acceso de industria de fabricación de PCB durante la pandemia del 2020.

I. INTRODUCCIÓN

En la primera parte de este documento contiene la información de la elección de componentes para la construcción del dron tales como elementos electrónicos, electromecánicos, software y firmware usados comercialmente, en esta misma sección se describen las dinámicas y características del sistema que permitió al dron volar de manera eficiente y posteriormente acople de la tarjeta de adquisición de datos que fue diseñada para obtener lecturas de diferentes variables ambientales relacionadas con el aire. En la sección dos del documento se listan, describen y caracterizan los sensores, el diseño y construcción de la tarjeta de adquisición de datos, elementos electrónicos, iniciando con el diseño de su etapa de alimentación, etapa de lectura de datos, almacenamiento interno de respaldo y por último la etapa de comunicación a la nube para su debido almacenamiento y posterior procesamiento.

II. PROTOTIPO DEL DRON

A la fecha de publicación de este documento el modelo de configuración del dron más usado es el quadcoptero, un dron con frame f450 de cuatro motores de 1000kv brushless, y otros componentes principales los cuales se pueden conseguir en este tipo de Kits para drones, de los más adquiridos en portales comerciales como mercado libre y aliexpress, debido a sus costos para los aficionados que quieran armar su dron desde los

componentes más básicos y personalizarlos, los más importantes son:

- Frame
- ESC(Electronic Speed controller)
- Controladora de vuelo
- Hélices
- Motores brushless
- Telemetría
- Control RC
- Receptor RC
- Placa distribuidora de energía
- Batería Lipo
- Modulo GPS
- Modulo presión del aire
- Cargador baterías IMAX B6AC

Estos fueron los componentes principales que se compraron.



Fig. 1. Componentes Principales del dron.

En el mercado existen varias controladoras de vuelo, cada una con características más complejas y procesadores más rápidos, pero esto puede incrementar su costo, algunas de las

más usadas son:

- KK 2.0
- CC3D
- Naze32
- KISS
- Ardupilot (apm 2.8)
- Vector
- 3DR Pixhawk
- DJI Nava M
- LUX flight controller
- DJI A3

Donde se eligió el ardupilot o mejor conocida la apm 2.8, la tarjeta más antigua y barata en el mercado que tiene sus esquemáticos abiertos al público, con lo cual se adquirió y se procedió a analizar sus componentes, módulos y puertos implementados [1].

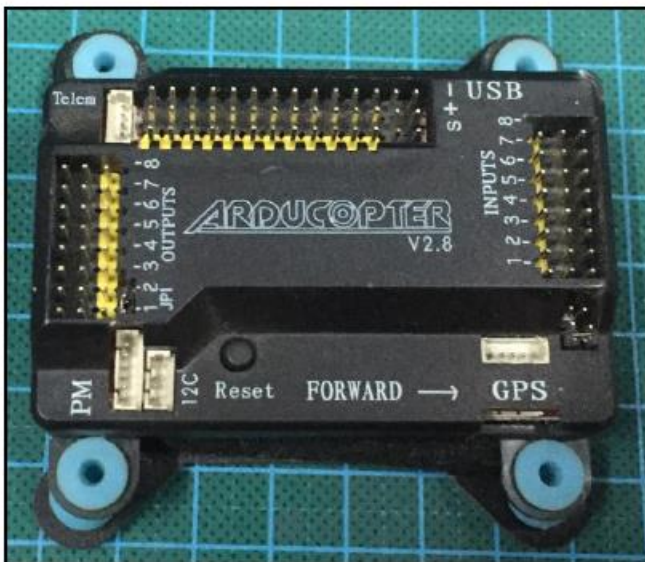


Fig. 2. Tarjeta controladora adquirida [1].

Al desarmar se puede ver la tarjeta electrónica de control de vuelo del APM 2.8 y la ubicación de sus módulos, componentes y puertos generales como:

Módulos

- Acelerómetro
- Barómetro (sensor de presión)
- Atmega 32U2 para USB

Y puertos

- I2C
- Telemetría
- Entradas analógicas (señal de Emisor RC)
- Salidas analógicas (Señal a ESC de los motores)
- GPS externo
- Puerto modulo compas(magnetómetro)

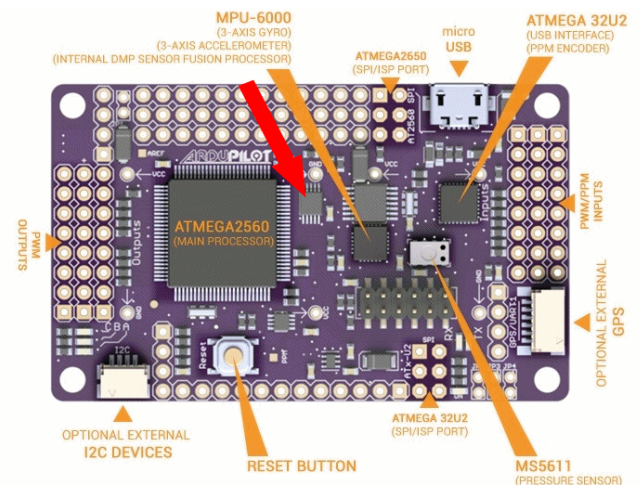


Fig. 3. Tarjeta controladora con sus puertos y componentes principales.

Con cada uno de los componentes la tarjeta controladora su función principal es hacer que el dron en el vuelo se mantenga nivelado, y cambiar el Angulo de cualquier posición del dron para acelerarlo, esto se realiza gracias al cambio de las velocidades de los motores permitiendo subir y bajar, moverse de izquierda, derecha o girar sobre su propio eje.

Al buscar dentro del esquemático podemos ver los componentes que tiene la tarjeta ardupilot y así observar sus conexiones y componentes más claramente, en caso de querer extraer solamente los componentes específicos que se usaron en su función u otros que no se pueden separar y hacer nuestra propia tarjeta, debido a que el firmware del bootloader del USB el Atmega 32U2 para, está en la página de ardupilot[2].

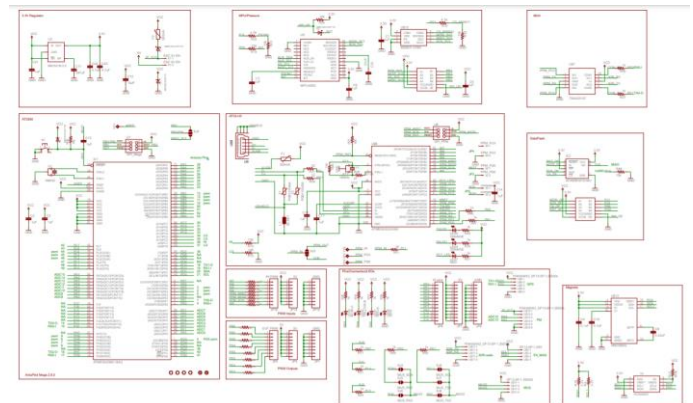


Fig. 4. Esquemática tarjeta controladora.

El esquemático esta dividido por varias secciones 10 en total donde podemos ver las conexiones eléctricas entre los componentes y estudiarlas más fácilmente para entender el funcionamiento, enlistadas a continuación:

- 3v3 regulador (alimentación)
- MPU/pressure (módulo de presión y acelerómetro)
- MUX (multiplexor para los canales de datos.)
- AT 2560(controlador donde se ejecuta el código principal)

cóptero mantiene una localización y un grado consistente, mientras permite al operador controlar el 'throttle' manualmente.

- **Land Mode:** El cometido del modo aterrizaje es realizar un aterrizaje en tierra.
- **Follow me mode:** Es posible hacer que el cóptero siga tus movimientos, usando un radio de telemetría y una estación de tierra. El planeador de misiones para laptops Windows, Planeador APM para laptops OS X, y DroidPlanner para dispositivos Android que normalmente soportan Follow Me; sin embargo, es más fácil usar un teléfono móvil o una Tablet en tu estación de tierra Follow Me.
- **Simple and Super Simple Modes:** Los modos 'Simple' y 'Super Simple' se usan en combinación con los modos Stabilize, Sport, Drift y Land Flight. Estos permiten al piloto controlar el movimiento del cóptero desde el punto de visión del piloto, independientemente de donde se sitúe el piloto

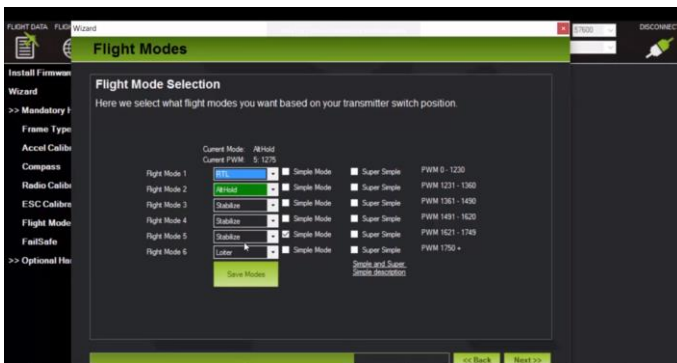


Fig. 7. Modo de vuelos.

Los modos de vuelo que utilizamos y probamos fueron Stabilize, Alt hold, Loiter y auto respectivamente, se realizaron vuelos en el campus de la universidad donde se probaron las configuraciones de vuelo, el consumo de las baterías de Lipo de 2200mAh Y 5000mAh, desafortunadamente por la pandemia y el almacenamiento de los componentes, al momento de la reanudación de las pruebas las baterías se vieron afectadas, estas se inflaron comprometiendo su rendimiento y provocando vuelos más cortos con incidentes generando daños en uno de los brazos y en los motores, estos se vieron comprometidos en la separación de los imanes de los motores brushless y rotores. Se aprendió a desarmar y realizar mantenimientos a algunos de estos componentes como los motores, sin embargo, debido a esto y con los materiales dispuestos en el momento, no fue posible recuperar el rendimiento inicial del dron que sufrió muchos otros percances en los vuelos posteriores donde se priorizó la toma de muestras de muestreador orgánico construido por el semillero de ambiental.

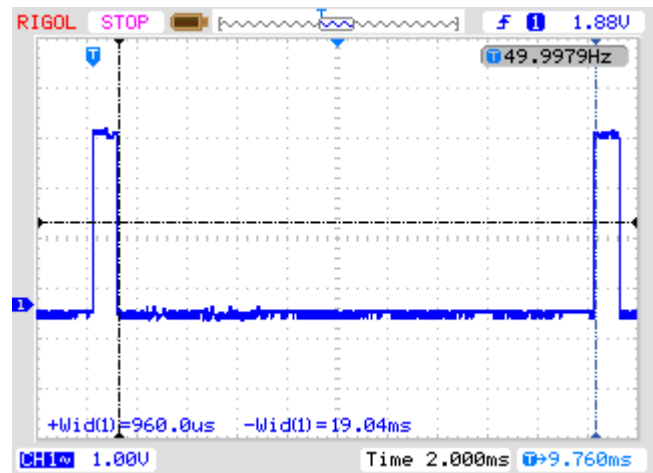


Fig. 8. Señal control RC valor mínimo duty cycle.

La señal de control RC es la que emite al controlar del dron y también es la misma señal que se usa para los ESC más conocido como throttle donde su valor varía entre 1000 a 2000 el cual es el tiempo en ms de la parte positiva del duty cycle permitiendo controlar la velocidad del motor brushless, esta señal es de 50Hz lo cual implica que su periodo de 20 ms permitiendo realizar pruebas con el controlador de vuelo o solo el control RC para observar la señal mínima o máxima de velocidad

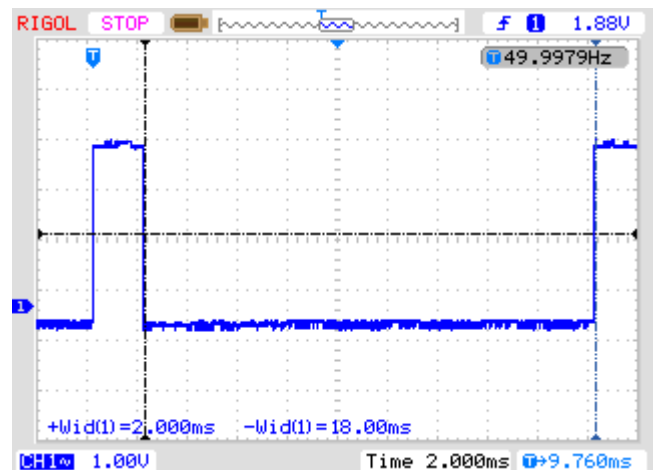


Fig. 9. Señal control RC valor máximo duty cycle

Dentro de los parámetros necesarios para entender el comportamiento del sistema de control se tiene los valores físicos del sistema y sus condiciones iniciales, con esto podemos modelar el sistema del quadcoptero a partir de la configuración deseada sea en X o en + donde lo que cambia es que se considerara el frente de la aeronave y otras posiciones a través de Matlab[4].

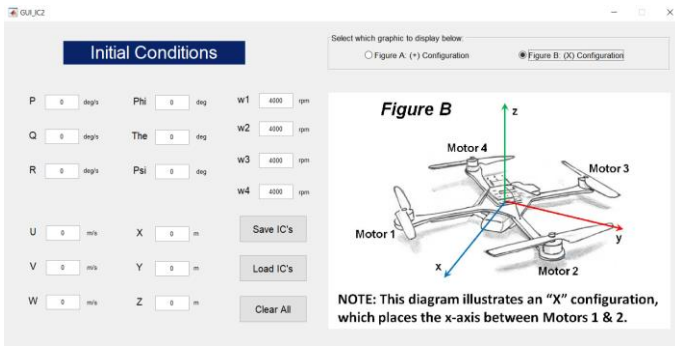


Fig. 10. Condiciones iniciales del sistema.

Una vez con las condiciones iniciales ingresadas procedemos a encontrar la matriz de inercia que tendrá el dron a partir de variables físicas tales como la gravedad, el peso del dron que se presentan en la imagen [5].

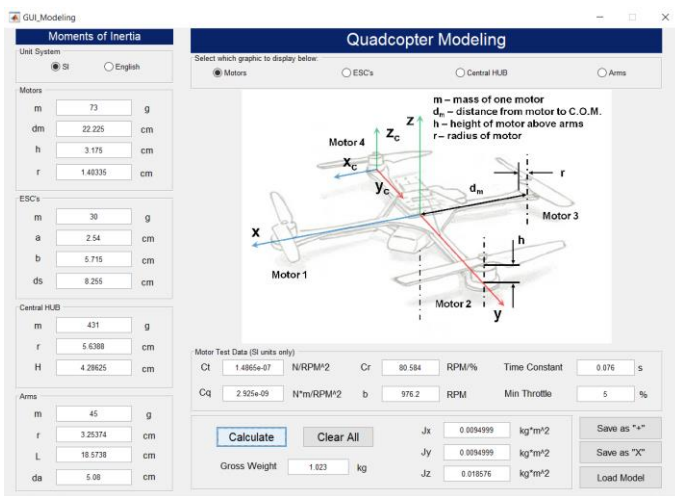


Fig. 11. Sistema de cálculo de matriz de inercia.

Con este fin se desarrolló una base donde se pudiera hallar los valores de fuerza de empuje(thrust) y la señal (throttle) enviada a los controladores de velocidad (ESC) y los RPMS a lo que giran los motores para caracterizar el sistema.



Fig. 12. Base de prueba para la caracterización del sistema.

En así que con los datos adquiridos en la base de prueba e ingresándolos al modelo de Matlab podemos probar los diferentes controles u configuraciones en simulación a través

del IDE obtenido de Drexler universidad y su revisión en el cálculo del sistema dinámico del dron [6].

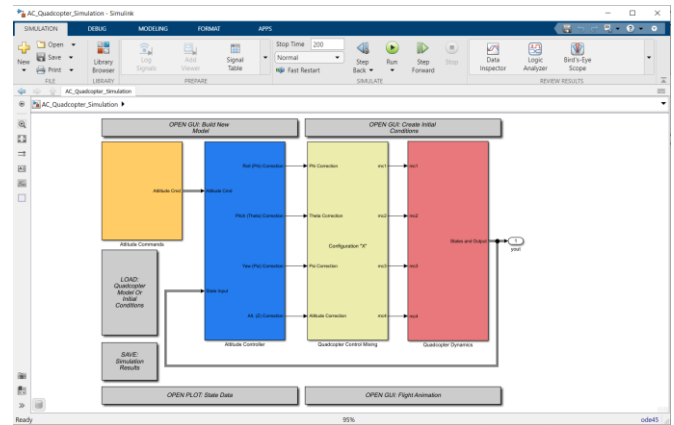


Fig. 13. Sistema de altura con simulink.

Donde podemos ver la señal de control vs los actuadores de manera que podemos observar cómo se comportó la señal de control de cada uno de los ESC en cada motor durante la simulación [7].

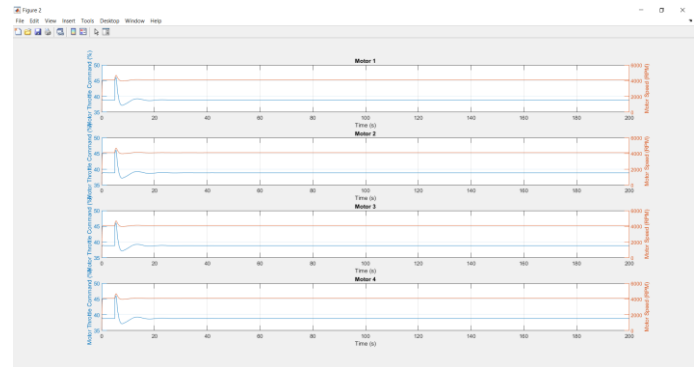


Fig. 14. Señal a los ESC y respuesta de los motores.

Comportamiento de las variables involucradas en el control de los tres grados de libertad y el sistema de control de la altura variables como:

- Velocidad angular P
- Velocidad angular Q
- Velocidad angular R
- Phi
- Theta
- Psi
- U(velocidad en x)
- V(velocidad en y)
- W(velocidad en z)
- x
- y
- z

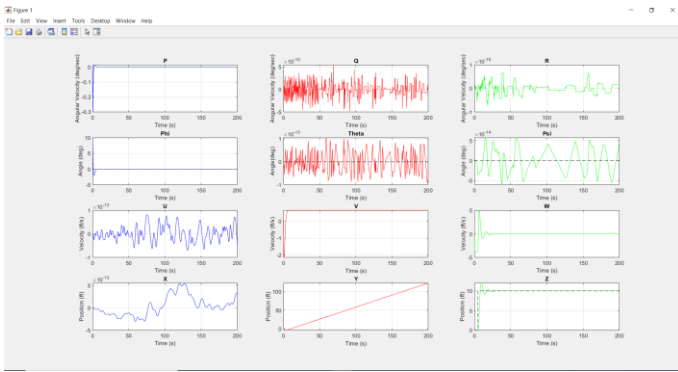


Fig. 15. Respuestas de las variables principales que interfieren en el sistema.

Además, se puede graficar los datos del comportamiento del sistema si se estabiliza adecuadamente, obteniendo de la simulación del sistema del dron si se desea colocar un cierto set point para una cierta altura[8].

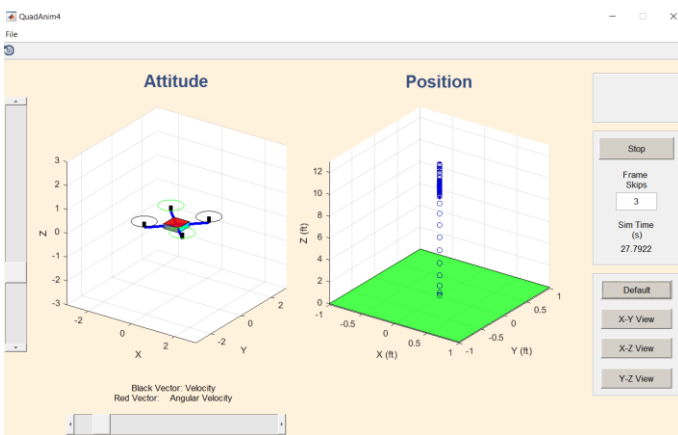


Fig. 15. Respuestas de las variables principales que interfieren en el sistema.

Una vez concluida con la investigación previa y simulación[9]-[15], se procedió a ver que drones existían comercialmente en el mercado que pudiéramos comparar sus rendimientos con el dron construido, es así como con la ayuda del ingeniero Carlos Valencia se pudo manejar 2 drones comerciales que se usan en fotogrametría y cartografía como lo son el mavick pro 2 y el phantom 4 ambos fabricados por DJI.



Fig. 16. Drones y tecnologías Comparadas.

De las tecnologías se pudieron ver controles automáticos y asistidos con tables con múltiples funcionalidades parecidas a las del misión planner empleado para la configuración y la telemetría de nuestro dron. Con esto en mente se probó el firmware ejecutado en el dron de manera que se pudiera probar las características de los modos de vuelos y los failsafe unos sistemas de prueba de error que permite ver si falla algún elemento o configuración se lleve a cabo una respuesta sin afectar el hardware del dron en la medida.



Fig. 17. Prueba de dron y ajuste de vuelo.

Las pruebas de vuelo iniciales fueron satisfactorias, pero con un vuelo fallido donde aún no se habían configurados los failsafe adecuadamente esto derivó en el daño del frame y una caída libre de aproximadamente 10 metros donde se debió priorizar las pruebas de rendimiento de batería, desafortunadamente las segundas pruebas se realizaron con baterías defectuosas donde en medio de pandemia hubo inconvenientes en su funcionamiento debido a su mal almacenamiento y manipulación estas se inflaron, comprometiendo su funcionamiento al usarse 8 meses después.

III. DISEÑO DE LA TARJETA DE SENSORES

Para la tarjeta electrónica nos basamos en el sistema de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá para extraer las variables pertinentes, y entender el funcionamiento de dichas variables [16].

En el caso de los sensores de la línea MQ su funcionamiento es simple, se tiene un circuito que calienta un filamento de un material reactivo diferente para cada sensor, el cual reacciona y cambia su resistencia al estar en contacto con el gas deseado [17].

Basic Circuit

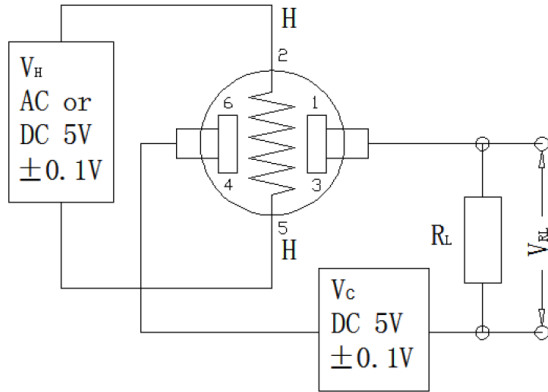


Fig. 17. Circuito de calentamiento y operación de los sensores MQ.

Por lo que se requirió modificar la base de los sensores MQ en el valor de la resistencia R_L la cual era de 1k, esta requería mínimo de 20k Ω donde se pudiera tener un buen rango de muestreo.

air temperature	dht11	Consumo de corriente	Consumo en Watts
air speed	MPXV7002DP	0.1mA	0,0005W
humidity	dht11	0.5mA	0,0025W
PM 2.5	Gravity: Laser	200uA	0,001W
PM1.0	PM2.5 Air Quality Sensor		
PM10			
CO	MQ-7 y MQ-6	130mA	0,65W
O3	mq-131	130mA	0,65W
CO2	mq-135	130mA	0,65W
SO2	mq-136	130mA	0,65W
NOX	mq-135	130mA	0,65W

Fig. 18. Tabla sensores con consumos.

En la variable de PM se usó un sensor digital de láser, el cual da el valor digital de 3 variantes de PM 1.0, PM10 Y PM 2.5, los cuales su funcionamiento se dispone a continuación [18].

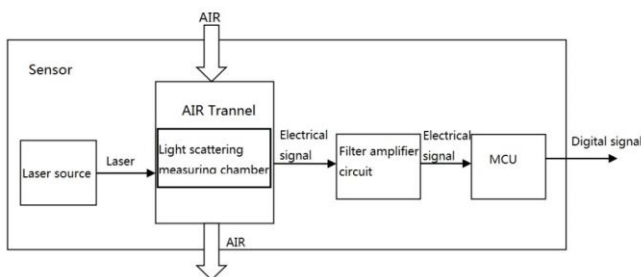


Fig. 19. Diagrama de funcionamiento del sensor PM 2.5 dust de dfrobot.

Para poder incorpora estos sensores en una tarjeta que lograra almacenar y enviar los datos de las variables se diseñó una tarjeta con la cual se almacenara y guardara la información en un archivo txt y posteriormente se mandara al servidor o servicio web de prueba.

Para iniciar se diseñó la etapa de alimentación la cual se utilizaron los componentes mas baratos que se podían conseguir, debido a esto en la primera versión se uso un regulador lineal de 5v para la alimentación principal, pero debido a que gran parte de la conversión de la fuente variable de 16v a 11v del batería este la convertía en calor, se utilizó el regulador más conocido el 7508

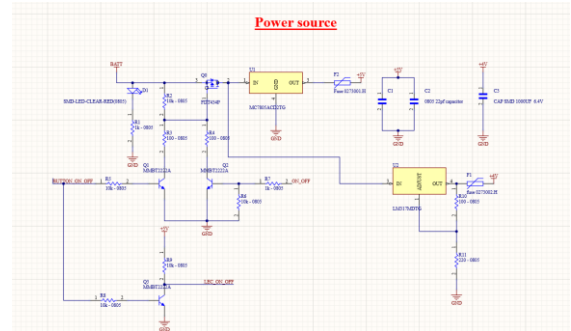


Fig. 20. Circuito de alimentación con regulador lineal.

Se decidió cambiarlo por un regulador de voltaje tipo Buck lm2576 nos da 5V a 2A lo suficiente para alimentar los sensores y componentes principales.

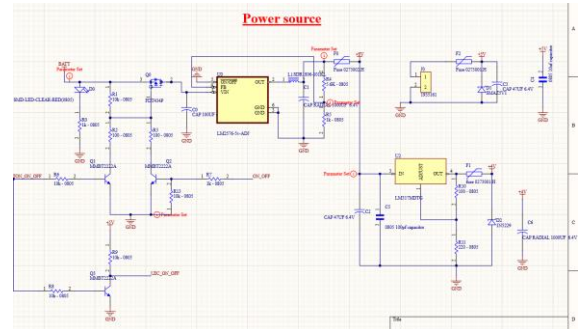


Fig. 21. Circuito de alimentación con convertidor Buck.

Para el diseño de la etapa de control se procedió a utilizar como microprocesador principal al Atmega 328 y microcontrolador de periféricos el pic12f508 con los cuales podemos controlar los sensores, sus etapas de calentamiento y con el uso de diferentes componentes externos como lo fueron sim800, un modulo SD y el conector a PM 2.5 dust.

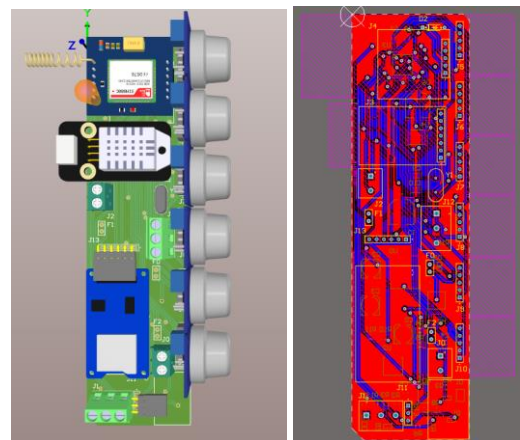


Fig. 22. Diagrama de funcionamiento del sensor PM 2.5 dust de dfrobot.

Esta tarjeta funciona con un servidor que escuche a través de

protocolo TCP/IP, se provo en una red cerrada y en un servidor montado con su IP, un driver en Python y un base de datos en PostgreSQL para así pudieran almacenar.

```
starting up on 192.168.0.8 port 10000
waiting for a connection
connection from ('192.168.0.8', 55145)
received b"'06-09-2019 21:00', '6.25', '13.33', '6.93', '16', 2, '0.39', '11', 0
, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 4, 1"
sending data back to the client
|
```

Fig. 23. Recepción driver Python.

pero debido a que de necesitaba que este pudiera enviar datos a través del método post se requirió de una aplicación móvil que hiciera de intermediario, este envía los datos, pero necesita primero conectar un celular como host spot a la red permitiendo guardar los datos en el celular y su posterior envío a el servicio post.



Fig. 24. Aplicación móvil para envío a servicio web por medio de post.

IV. CONCLUSIONES

Existen varias maneras de diseñar y ejecutar este tipo de proyectos empezando por si se utilizan componentes ya descontinuados u liberados cuya información es completamente publica y así podemos aprender por medio de estas herramientas como se prototiparon y diseñaron hace años en los sistemas aeronáuticos más simples, entender sus dinámicas y buscar darles nuevos usos especializados y si al incorporar nuevas ideas para sus usos y si existen materiales accesibles que reduzcan sus costo de diseño.

Para recrear estos sistemas se planteó el prueba y error con el control del dron, esto llevo a incidentes que pudieron ser evitados con el desarrollo de una plataforma de prueba como lo realizo "Drexel University MEM Senior Design Team 37" del cual se baso gran parte de esta investigación donde podían probar la estabilidad del controlador al realizar las pruebas pertinentes.

V. REFERENCIAS

- [1] S. O. F. Towaha, «Flight control board,» de *Building Smart Drones with ESP8266 and Arduino*, Packt, 2018, pp. 16-17.
- [2] *APM 2.8 RELEASE Schematic*, 2014-08.
- [3] Ardupilot, *Fly modes*, <https://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>, 2020.
- [4] D. U. M. S. D. T. 37., Modeling GUI, Drexel University , 2011.
- [5] D. U. M. S. D. T. 37., Initial Conditions GUI, Drexel University , 2011.
- [6] D. U. M. S. D. T. 37., Simulation and Control, Drexel University , 2021.
- [7] D. U. M. S. D. T. 37., «simulation and control,» Drexel University , 2011, p. 10.
- [8] D. U. M. S. D. T. 37., Animation GUI, Drexel University, 2011.
- [9] P. I. Corke, Robotics, Vision & Control: Fundamental Algorithms in MATLAB., Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- [10] L. Ascorti, An Application of the Extended Kalman Filter to the Attitude Control of A Quadrotor, Politecnico Di Milano, 2013.
- [11] C. J. a. B. C. Chang, Fault-tolerant attitude computation for unmanned aerial vehicles, Transactions of the Institute of Measurement and Control.
- [12] L. K. Burkamshaw, Towards a low-cost quadrotor research platform., Monterey, California.: Naval Postgraduate School, March 2010.
- [13] B. L. S. a. F. L. Lewis, Aircraft Control and Simulation. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [14] P. Pounds, Design, Construction and Control of a Large Quadrotor Micro Air Vehicle, The Australian National University, Sept. 2007.
- [15] V. K. a. P. C. R. Mahony, «Multicopter Aerial Vehicles: Modeling, Estimation, and Control of a Quadrotor,» vol. 19, pp. 20-32, Sept. 2012.
- [16] «Red de calidad de aire bogota,» secretaria distrital del ambiente, 24 03 2010. [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire>. [Último acceso: 12 02 2021].
- [17] L. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., *Hoja de datos sensores MQ*, Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, 2015.
- [18] DFrobot, «<https://wiki.dfrobot.com/>,» 25 marzo 2016. [En línea]. Available: https://wiki.dfrobot.com/PM2.5_laser_dust_sensor_SKU_SEN0177 [Último acceso: 12 02 2021].