

Design of a Hydro Drone collecting water samples in lakes and lagoons at different depths

Freedy Sotelo-Valer, Dr¹, Jorge Lopez-Cordova, Maestro², Carlos Rojas, M.Sc.³

Freddy Sotelo-Ñaves, M.Sc.⁴, John Chaname-Francia, Ing⁵

^{1,2}Ricardo Palma University, Peru, freedy.sotelov@urp.edu.pe, jorgeluislopezc@hotmail.com

³National University of Engineering, Peru, crojas@uni.edu.pe

⁴National University of Engineering, Peru, fresov2@gmail.com

⁵Ricardo Palma University, Peru, chanamefjohn@gmail.com

Abstract– *At present, many of the water resources that has are contaminated by various causes and in many cases the populations that are around are not aware of the danger they run when consuming these waters and the aquatic beings that already live in them. that these populations depend to a great extent on these waters for their daily sustenance, a clear example is appreciated in the high Andean region in the Junín region where the second largest lake in Peru is located, Lake Chinchaycocha, which for years has been contaminated by the formal mining with consequences that have been reflected in the population.*

Keywords– *Drone, Hexacopter, UAV, Hydro Drone, Lifting.*

I. INTRODUCCIÓN

Muchos recursos hídricos con los que cuenta el hombre están contaminados por diversas causas y las poblaciones que se encuentra a los alrededores no saben del peligro que corren al consumir estas aguas, además del daño ocasionado a los seres acuáticos que en ellas viven. Esto se puede apreciar en la parte altoandina en la región Junín donde se encuentra el segundo lago más grande del Perú, el lago Chinchaycocha [1].

La tecnología de drones se puede utilizar para detectar contaminantes en el agua, así como la salud de los ecosistemas acuáticos. Se puede recopilar datos sobre la presencia de contaminantes y poder identificar fuentes de contaminación e informar decisiones sobre cómo manejarlas mejor [2].

Las compañías mineras deberían realizar programas de monitoreo para controlar la ecología de los lagos y los cuerpos de agua, debe ser una obligación la toma de muestras con frecuencia para monitorear la evolución de la calidad del agua. La toma de muestras puede presentar muchos riesgos de seguridad [3].

Entre los principales contaminantes se tiene al plomo, mercurio y arsénico, sin embargo; un estudio realizado por la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental) en el 2015 se detectó al menos 20 tipos de metales [4].

II. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

A. Vehículo Aéreo no Tripulado

El desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados (UAV, de sus iniciales en inglés), da acceso a nuevas aplicaciones, por su bajo costo capaz de recolectar información de manera

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

rápida y precisa. Se estima que aumentara su aplicabilidad en el campo del estudio de los recursos naturales [5].

Adicionalmente se podría utilizar en muchas otras actividades, tales como:

- 1) Tareas de reconocimiento, inspección y vigilancia.
- 2) Monitoreo ambiental, estudios de meteorología.
- 3) Administración de los recursos naturales.

La Fig. 1 muestra la configuración y la geometría de un hexacoptero, la cual depende básicamente de los requerimientos de diseño conceptual, la misión a desarrollar, los materiales para su manufactura y otras variables adicionales definidas en el desarrollo [6].

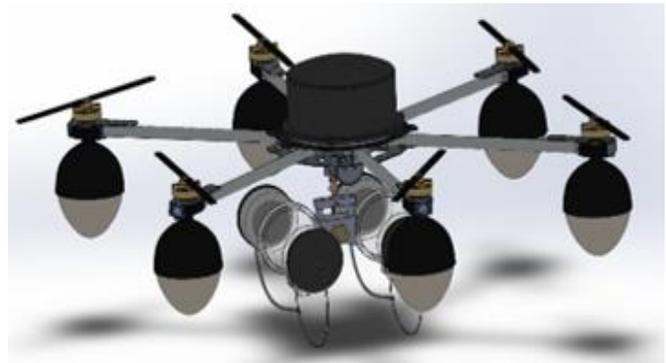


Fig. 1. Diseño conceptual del hidro drone.

Este tipo de drones se caracterizan por realizar tareas que requieren fuerza y maniobrabilidad, su diseño lo hace muy versátil por lo cual es empleado en el ámbito industrial, agrario y mensajería entre otros. Entre sus principales características se encuentra la sustentación, que aun perdiendo uno de sus motores, puede realizar el trabajo planteado [7].

Son utilizados de manera industrial debido a su capacidad de carga, diseño robusto y las diferentes configuraciones de vuelo que posee. Cuenta con 6 motores e igual número de reguladores de velocidad y hélices. Pueden transportar paquetes de hasta 7 kilogramos con un tiempo máximo de autonomía de 15 minutos, el cual se puede extender al llevar una menor carga. Para mejorar la durabilidad de las baterías, hemos usado configuración Hexa+, la cual se puede observar en la Fig. 2.

CCW	counterclockwise rotation	rotación antihoraria
CW	clockwise rotation	rotación horaria

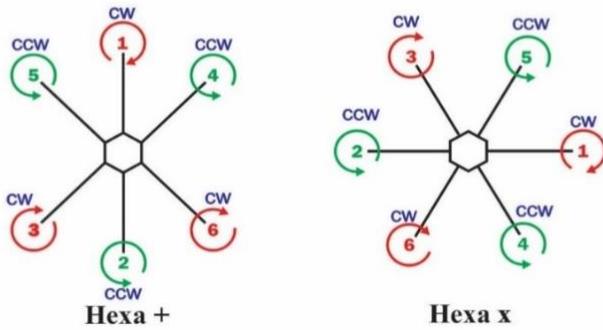


Fig. 2. Configuración de los motores de un hexacoptero.

B. Motores Brushless

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) o motores brushless, son de los motores más populares y fáciles de conseguir, además de precios económicos. La Tabla I muestra las características comparativas entre motores con y sin escobillas.

TABLA I. DIFERENCIAS ENTRE MOTORES BRUSHLESS Y MOTORES BRUSHED

Características	Motor DC brushless	Motor DC brushed
Conmutación	Conmutación electrónica basada en sensores de posición de efecto Hall	Conmutación por escobillas
Mantenimiento	Mínimo	Periódica
Curva velocidad / par	Plana. Operación a todas las velocidades con la carga definida	Media. A altas velocidades la fricción de las escobillas se incrementa, reduciendo el par
Eficiencia	Alta. Sin caída de tensión por las escobillas	Moderada
Potencia de salida/tamaño	Alta. Menor tamaño debido a mejores características térmicas. Los bobinados están en el estator y tiene una mejor disipación.	Baja. El calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura.
Inercia del motor	Baja. Debido a los imanes permanentes en el rotor.	Alta. Limita las características dinámicas.
Rango de velocidades	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador.	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas.
Ruido eléctrico generado	Bajo	Arcos en las escobillas
Costos de construcción	Alto. Debido a los imanes permanentes	Bajo
Control	Complejo y caro	Simple y barato
Requisitos de control	Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando. También puede usarse para variar velocidad	No se requiere control si no se requiere una variación de velocidad.

C. "DYS" BE3608 630KV Motor Brushless

Se eligió este motor, debido a que satisface a las prestaciones de nuestro hexacoptero. La Tabla II muestra las características de este motor.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR "DYS" BE3608 630KV [8]

Artículo No.	SIN CARGA			EN CARGA			TIPO DE CARGA
	VOLTAJE	ACTUAL	VELOCIDAD	ACTUAL	Halar	Poder	
	V	UN	rpm	UN	gramo	W	Batería / prop
BE3608-11 (630KV)	11,1	0,7	6985	8	713	88,8	LiPo3 / 1047 (APC)
				11,9	1029	132,1	LiPo3 / 1238 (APC)
				15,1	1119	167,6	LiPo3 / 1365 (CF prop)
				12	927	133,2	LiPo3 / 1447 (CF prop)
				17,7	1392	196,5	LiPo3 / 1503 (CF prop)
				12,6	1154	186,5	LiPo4 / 1047 (APC)
	14,8	0,8	9285	19,3	1650	285,6	LiPo4 / 1238 (APC)
				23,2	1652	343,4	LiPo4 / 1365 (CF prop)
				17,8	1442	263,4	LiPo4 / 1447 (CF prop)
				25,5	2069	377,4	LiPo4 / 1503 (CF prop)
				17,6	1620	325,6	LiPo5 / 1047 (APC)
				22,4	1970	414,4	LiPo5 / 1238 (APC)
18,5	0,9	11675	24,6	1805	455,1	LiPo5 / 1365 (CF prop)	
			24,4	1987	451,4	LiPo5 / 1447 (CF prop)	
			30,1	2275	556,9	LiPo5 / 1503 (CF prop)	
			18,1	1783	401,8	LiPo6 / 1047 (APC)	
			22,6	2121	501,7	LiPo6 / 1238 (APC)	
			27	1990	599,4	LiPo6 / 1365 (CF prop)	
22,2	0,9	13775	26,3	2123	583,9	LiPo6 / 1447 (CF prop)	
			32,1	2369	712,6	LiPo6 / 1503 (CF prop)	

D. Control de velocidad del motor brushless (ESC)

Un ESC (Electrónica Speed Controller) es un dispositivo electrónico que controla la velocidad del motor brushless [8]. La Fig. 3 muestra una tarjeta típica ESC y los elementos que la conforman.

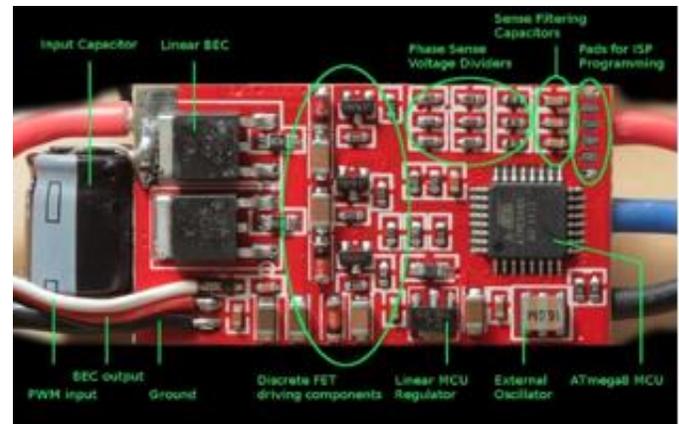


Fig. 3. Un ESC placa Pixhawk 4 [8]

Se puede observar a la izquierda del cable blanco que genera la señal PWM de hasta 50MHz de la placa Pixhawk 4, y los cables rojo y negro para alimentación.

A la derecha, se están 3 cables para la alimentación del motor brushless. El variador o ESC recibirá la señal PWM y dependiendo de la longitud del ancho de pulso entregará mayor o menor potencia al motor.

La longitud del pulso PWM generado varía de 1 ms hasta 13 - 15 μ s, parado y a máxima potencia respectivamente. Las

longitudes de estado lógico alto varían en función del fabricante y el modelo.

E. Transmisor TURNIGY 9XR

Este transmisor de radio entre sus características, cuenta con 8 canales PPM / 9 Canales PCM, longitud de la palanca ajustable, 16 modelos de memoria, interruptores asignables, gráfico para dual rate y exponenciales, SubTrem y Ajuste del recorrido Flaps y diferencial de alerones. Soporta M1, M2, M3, M4 (Modos de Stick), tiene una pantalla de cristal líquido de 128 x 64, *Puertos Entrenador*, Futaba y JR. Su salida es PPM y PCM, tiene una antena interna de 2,4 Ghz. Compatible con Lipo 4s. [9]

Además, presenta los modos de stick 1,2,3,4, encoder PPM/PCM y los modelos que soporta son Heli/Acro-Aviación/velero. Tiene un peso de 723 g. [9]

En el caso del presente trabajo fueron necesarios una batería Lipo 4s y un módulo de RF.

III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

A. Diseño Mecánico

Tomando en cuenta la baja densidad, la rigidez y la resistencia a la oxidación debido al contacto continuo con el agua, se eligió la fibra de carbón y aluminio.

En la Fig. 4 se muestra la estructura del armazón de dron, el cual fue utilizado para la construcción.

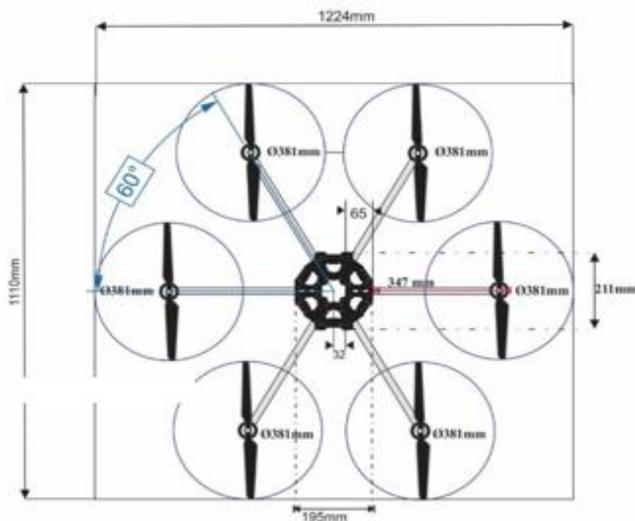


Fig. 4. Estructura mecánica del dron

Luego se desarrolló el tren de aterrizaje modificado para lo cual fue necesario el estudio de materiales que cuenten con una baja densidad, entonces se eligió Poliestireno expandido por su baja densidad (0.02 g/cm³).

Seleccionado el material base se eligió las formas adecuadas que permitan la flotabilidad. Se escogió la forma ovoide, la cual nos permite aprovechar el viento generado por las hélices. Ver Fig. 5.

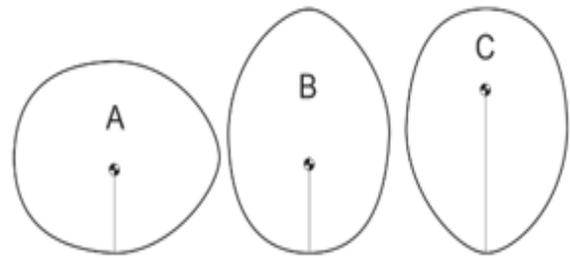


Fig. 5. Diseño de las hélices del sistema

Se estableció el centro de gravedad, dicha posición no resultaba conveniente, así fue que se diseñó un contenedor que; brindase apoyo y a la vez aproveche el aire que despiden los motores, a este fenómeno físico se le conoce como el *Efecto Coanda* [10], donde un fluido sea líquido o gaseoso es atraído a una superficie adyacente a su trayectoria.

De esta manera se pudo mejorar la propulsión centrando el aire para generar un impulso extra, para evaluar resultados, en el diseño se utilizó el software Solidworks. Una vez realizado el diseño y las pruebas de software, se procedió a la impresión de las piezas que servirían de soporte al poliestireno expandido, como se muestra en la Fig. 6.

Seguidamente se procedió a realizar las pruebas de flotabilidad, previamente se calculó que el sistema de flotación podría mantener 3.9 kg a flote. Ver Fig. 7.



Fig. 6. Impresión de las hélices del sistema

Sin embargo, al realizar las pruebas se obtuvo 3.82 kg que fue lo máximo que pudo mantener a flote de manera estable



Fig. 7. Prueba de flotabilidad

La Tabla III muestra algunos resultados de las pruebas de flotabilidad realizadas.

TABLA III. PRUEBAS DE FLOTABILIDAD

Porcentaje de hundimiento	Hundimiento [mm]	Estabilidad	Peso [g]
36.4%	43	muy estable	996
39%	45	muy estable	1023
45%	52	muy estable	1304
52%	61	muy estable	1520
57%	65	muy estable	1760
62%	71	estable	1955
68%	77	estable	2254
72%	81	estable	2542
83%	94	estable	2940
88%	100	estable	3210
94%	108	estable	3442
97%	113	estable	3641
100%	118	estable	3754
103%	123	crítico	3821
106%	124	inestable	

Equilibrio de hélices, se verificó el saldo de todas las hélices usando el agujero de precisión moldeada en la parte trasera de la masa como se muestra en la Fig. 8.

Un pasador más pequeño que el agujero pasante se debe utilizar para evitar cualquier interferencia con el agujero perforado. Finalmente, una arandela para asegurar la hélice en la cara delantera del cubo.

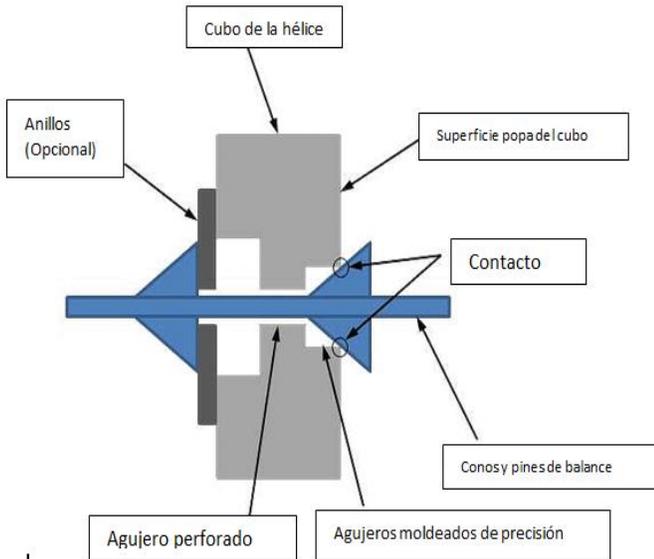


Fig. 8. Esquema para asegurar el equilibrio de las hélices

Centrado de hélices sobre el eje del motor, las hélices están centradas en el eje del motor, como se muestra en la Fig. 9. El agujero debe ser de gran tamaño para cada eje del motor, de modo que solamente el anillo de centrado conecte con la hélice.

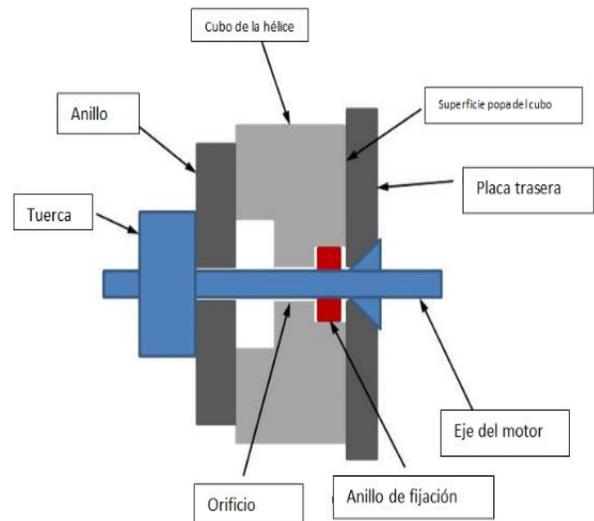


Fig. 9. Centrado de las hélices sobre el eje del motor

Para el centrado de las hélices sobre el eje, se utilizaron tubos de aluminio, debido a la dureza, poco peso y bajo costo comparativo. La Fig. 10 muestra las hélices utilizadas.

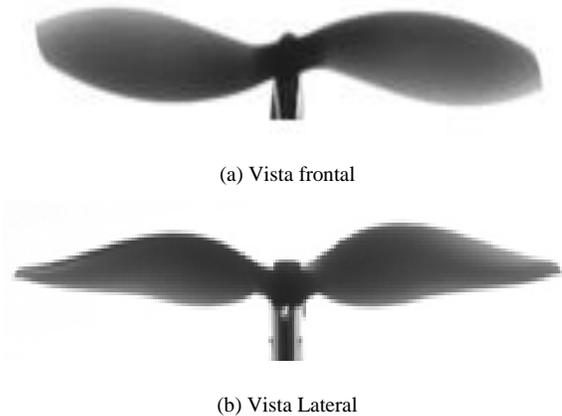


Fig. 10. Hélices utilizadas en el dron implementado

B. Diseño electrónico

La corriente máxima que consume el motor TG 25B AG-36 con el cual permitió izar un peso de 2.5 kg sin problemas es de 254 mA, para esto se utilizó un driver del tipo puente H para controlar el giro del motor.

La Fig. 11, muestra el circuito de control, para el mecanismo de captura de agua, donde se empleó un sensor de presión junto a una tarjeta Arduino nano y 2 solenoides que son los encargados de la liberación de los elementos de captura de agua, estos elementos tienen que trabajar bajo el agua.

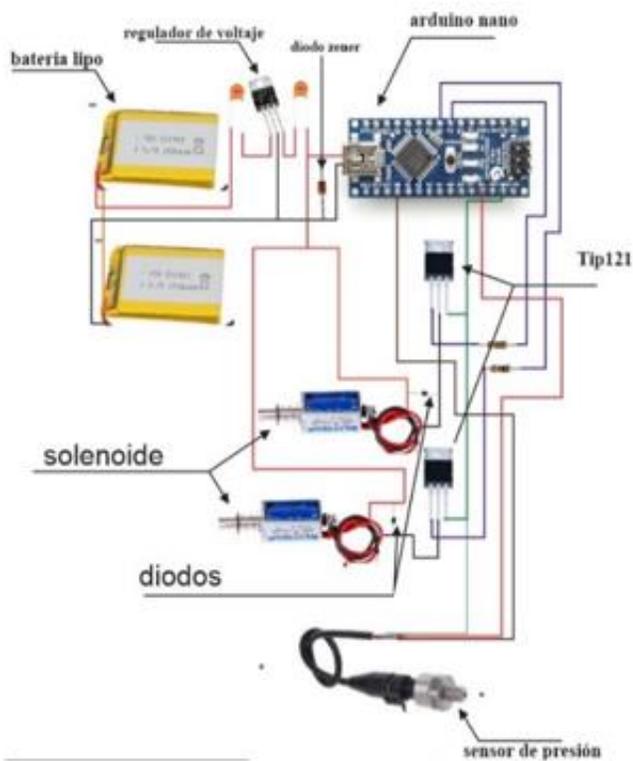


Fig. 11. Sistema de control para el mecanismo de captura de agua

C. Desarrollo de la programación

Se desarrollo bajo plataforma de programación Visual Studio Code.

El diagrama de flujo de datos mostrado en la Fig. 12, muestra el algoritmo de trabajo del sistema. También se tomó en cuenta que las señales inalámbricas tienen un alcance muy reducido bajo el agua.

Inicia con la señal de activación, la cual libera el cable, hasta llegar a la profundidad objetivo donde se detendrá 12 segundos para luego continuar con el descenso hasta el siguiente punto, donde se repetirá la pausa de 12 segundos para luego retornar a la posición de inicio.

Para controlar la liberación de cable se empleará un encoder el cual ha sido calibrado para que el valor de vueltas coincida con la cantidad de cable liberado. Para la activación del recipiente de captura de agua se emplea solenoides junto a un sensor de presión, el cual se encarga de realizar la activación ya que, al recibir la misma lectura por más de 7 segundos, lo cual hará que los solenoides liberen los seguros de los tapones. Para de esta manera atrapar el agua.

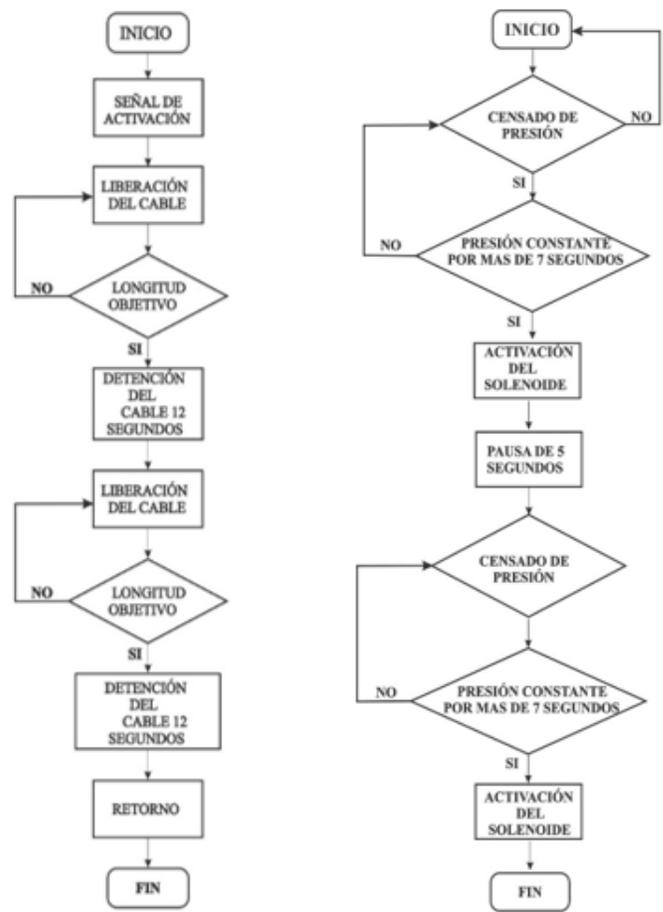


Fig. 12. Diagrama de flujo del sistema de captura de agua del drone

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

De las diferentes pruebas que se realizaron en la etapa de diseño y construcción del drone, se encontraron algunas situaciones singulares, a continuación, mencionamos las más resaltantes.

- Las pruebas realizadas se centraron en el tren de aterrizaje modificado para el cual se calculó que podría mantener a flote un peso máximo de 3.9 kg., pero al realizar dichas pruebas, estas arrojaron que el peso máximo que podría mantener a flote era de 3.82 kg., estas variaciones se produjeron a causa de la deformación del polipropileno expandido, las cuales a pesar de son mínimas, pero igual afectan al resultado final.
- Además de las pruebas de flotabilidad se trabajó con la forma del flotador ya que este debiera concentrar el aire que los motores expulsan para ello se eligió la forma ovoide para realiza la forma final, además de esto se eligió esta forma a causa del Efecto Coanda gracias a este efecto y a la forma el aire puede ser concertada

generando esto un impulso mayor ayudando a que el Drone se eleve con mayor facilidad.

- Debido al trabajo que se realizó con muchas limitaciones, hubo dificultades en el proceso de impresión, lo cual afectó ligeramente la aerodinámica del sistema en funcionamiento. Ver Fig. 13.



Fig. 13. Proceso de impresión de parte del drone

- Para evaluar la flotabilidad se tuvo que recurrir a soluciones imaginativas. Así pues, se fue agregando pesos hasta que fallara la flotabilidad, el peso máximo que pudo mantener el Drone fue de 3820 g, en la Fig. 14 se muestra la medición del peso.



Fig. 14. Pesaje en pruebas de flotabilidad

- En el caso de los motores eléctricos, el punto más resaltante fue la comprobación de la corriente que el motorreductor encargado de izar las muestras de agua, para esta prueba se empleó un motor de la marca Tsukasa que es muy similar en cuanto a sus características con el que será empleado, obteniéndose los siguientes resultados, se trabajó con un voltaje de 12.6 V y la corriente que inicialmente era de 221 mA pasó a ser 256 mA manteniéndose estable en este valor se comprobó que no hubiese recalentamiento en el motor, según estas pruebas todos los parámetros están dentro de lo estimado a pesar de tratarse de un motor discontinuado.

CONCLUSIONES

- Inicialmente se pensó en hacer todo el armazón de fibra de carbón, la dificultad al importar el producto hizo que se optara por el aluminio como reemplazo para los brazos del hidro drone. Es traie la interrogante de cuál será su comportamiento frente a la carga atmosférica, cuando se hagan pruebas en la región altoandina.
- Para la impermeabilización se diseñó una cúpula, en donde se dividió en módulos para que los componentes principales puedan caber de tal manera que ahorren espacio, y de esta forma tener la parte electrónica aislada, para esto el diseño contempla un sello, mediante una empaquetadura para un cierre hermético.
- En cuanto al depósito de captura de líquido se hace necesario hacer más pruebas en condiciones más reales y extremas, tal que; consideren altura, bajas temperaturas, cargas atmosféricas, entre otras.
- Se pudo realizar la creación del tren de aterrizaje que permitirá al drone posarse en el agua, esto fue posible gracias a la experimentación directa. cómo se mostró el drone tiene un peso aproximado de 2500 g este dato lo obtuvimos luego de pesar todas las piezas con excepción del motor que se encarga de izar la botella capturadora de agua, pero este peso se obtuvo de los datos proporcionados por el fabricante.
- El tren de aterrizaje modificado tiene la capacidad de mantener a flote un peso máximo de 3900 g por lo que consideramos exitosa esta parte.

RECOMENDACIONES

- Al diseñar el drone hexacoptero se pensó en la gran altitud de la zona de trabajo (4080 m), pero a causa de las condiciones actuales, no ha sido posible realizar las pruebas, sería recomendable una vez superada la pandemia realizar las pruebas correspondientes.
- Para aumentar la distancia de recorrido del Drone, en función a la capacidad de carga, sería recomendable que alguna de sus piezas sea reemplazada por fibra de carbón lo cual restaría peso y agregaría rigidez.
- Sería recomendable aislar los componentes metálicos para evitar posibles descargas.
- Para sellar cavidades orificios que pudiese tener alguna parte del armazón del hidro drone es aconsejable utilizar silicona para unir vidrios ya que este material no es contaminante además de brindar una muy buena impermeabilización.
- En cuanto al tren de aterrizaje modificado, se recomienda evitar aguas con mucho movimiento superficial pues a pesar de tener un centro de gravedad bajo el oleaje podría volcar al Dron.

REFERENCIAS

- [1] "Encuesta nacional de seguridad pública urbana", Instituto Nacional de estadística y geografía. Boletín de prensa número 285/14, pág. 1/2, Julio 2014.
- [2] <https://ts2.com.pl/es/se-pueden-utilizar-los-drones-para-el-seguimiento-y-control-de-la-contaminacion-y-la-calidad-del-agua/>
- [3] <https://www.hatch.com/es-CL/Projects/Metals-And-Minerals/Water-sampling-at-depth-with-drones>
- [4] A.B. Ortiz, S. O. Bustamante, "Diseño del ala para un vehículo aéreo no tripulado". Universidad Eafit, Medellín. 2007.
- [5] Electronic Document Format(ISO), GUEVARA-BONILLA, Mario et al. Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. Tecnología en Marcha [online]. 2020, vol.33, n.4 [cited 2024-02-19], pp.77-88. Available from: <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822020000400077&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0379-3982. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>.
- [6] G. H. Ocaña, O.C. Piedrafita, C. N. Real, "Control de un Quadrotor mediante la plataforma Arduino". Julio 2009.
- [7] Goodluckbuy, Anonymous seller, "Specifications of Angel Motor 2212". Information Table, [Online]. (2014) Available: <http://www.goodluckbuy.com>
- [8] "Guía con características", A free software and hardware Quadcopter. Quadruino [Online] pp.1-1 Available: <http://www.quadruino.com/>
- [9] "Technical Specifications of Control turning 9XR" [Características técnicas, en línea]. (2014) Available: www.hobbyking.com/
- [10] Revista de Marina N° 957, pp. 56-59 ISSN 0034-8511 EL EFECTO COANDA. Julio Espinoza Llanos.