

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN: FICB-PG**

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROGRAMA: INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV),  
DEL TIPO DRONE CUADRICÓPTERO DE CARRERAS**

**TRABAJO FINAL COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:  
WINSTON STEVEN GONZÁLEZ QUIMBAYO  
1520010629**

**ASESOR:  
GABRIEL MAURICIO YAÑEZ BARRETO**

**Agosto de 2017**

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
Palabras clave: .....	1
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>2</b>
Objetivos específicos.....	2
<b>Estado del Arte.....</b>	<b>3</b>
Historia y Evolución del Drone .....	3
<b>UAV .....</b>	<b>11</b>
Clasificación de los Uavs Según el Método de Control .....	12
Autónomo:.....	12
Monitorizado:.....	12
Supervisado: .....	13
Preprogramado: .....	13
Controlado remotamente: .....	13
UAV de ala fija .....	13
UAV de ala rotatoria.....	14
Aplicaciones.....	¡Error! Marcador no definido.
Militar: .....	15
Supervisión: .....	15
Uavs de uso civil: .....	15
Control mediante sensores: .....	¡Error! Marcador no definido.
Vigilancia aérea comercial:.....	¡Error! Marcador no definido.
Filmación de imágenes: .....	16

Reconocimiento de desastres: .....	16
Acción humanitaria: .....	16
Investigación científica: .....	16
Potencial futuro:.....	17
<b>TRICÓPTERO .....</b>	<b>17</b>
Metodología de vuelo .....	18
<b>CUADRICÓPTEROS.....</b>	<b>20</b>
Metodología de vuelo. ....	20
<b>HEXACÓPTEROS .....</b>	<b>24</b>
<b>OCTOCÓPTEROS.....</b>	<b>26</b>
<b>Principio de sustentación de Bernoulli .....</b>	<b>27</b>
<b>Ángulos de Navegación .....</b>	<b>28</b>
Yaw (Eje de guiñada): .....	28
Pitch (eje de cabeceo): .....	29
Roll (eje de alabeo):.....	29
<b><i>PROYECTOS DESARROLLADOS .....</i></b>	<b><i>31</i></b>
<b><i>PRINCIPALES COMPONENTES DE UN DRONE.....</i></b>	<b><i>36</i></b>
<b>MOTORES BRUSHLESS .....</b>	<b>36</b>
<b>ELECTRONIC SPEED CONTROLLER (ESC) controlador electrónico de velocidad .....</b>	<b>39</b>
<b>BATERÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>HÉLICES.....</b>	<b>41</b>
<b>ARDUINO .....</b>	<b>42</b>

<b>GIROSCOPIO Y ACELERÓMETRO.....</b>	<b>43</b>
Acelerómetro 3 ejes: .....	43
Giroscopio: .....	43
<b>CONTROL REMOTO .....</b>	<b>44</b>
<b><i>DESARROLLO DEL CUADRICÓPTERO.....</i></b>	<b>46</b>
Diseño .....	46
Impresión 3D .....	49
Construcción del marco .....	51
Instalación de Componentes electrónicos .....	53
<b><i>REFERENCIAS .....</i></b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Globos no tripulados cargados con bombas .....	3
<b>Figura 2.</b> Kettering Bug .....	5
<b>Figura 3.</b> Drone, zángano de una colonia de abejas .....	6
<b>Figura 4.</b> Prototipo de Drone desarrollado por EU, The Ryan Firebee .....	7
<b>Figura 5.</b> PREDATOR .....	8
<b>Figura 6.</b> Asignación de nombre a través de la historia. ....	9
<b>Figura 7.</b> Insecto espía .....	10
<b>Figura 8.</b> Clasificación de UAVs según la OTAN .....	12
<b>Figura 9.</b> Ejemplos de UAVs de ala Fija .....	14
<b>Figura 10.</b> Configuración de Rotores para un Tricóptero .....	18
<b>Figura 11.</b> Ejemplos de Tricópteros .....	20
<b>Figura 12.</b> Configuración de Rotores para un Cuadricóptero .....	21
<b>Figura 13.</b> Configuración de rotores en H para Cuadricópteros .....	22
<b>Figura 14.</b> Ejemplos de Cuadricópteros .....	23
<b>Figura 15.</b> Configuración de rotores para Hexacópteros .....	24
<b>Figura 16.</b> Ejemplos de Hexacópteros .....	25
<b>Figura 17.</b> Configuración de rotores para Octocópteros .....	26
<b>Figura 18.</b> Principio de sustentación de Bernoulli .....	27
<b>Figura 19.</b> Ángulos de Navegación .....	28
<b>Figura 20.</b> Tipos de Movimientos del Drone .....	29
<b>Figura 21.</b> Drone navegando de forma automática .....	31
<b>Figura 22.</b> Condiciones experimentales entre el drone y humano .....	33

<b>Figura 23.</b> Un usuario está percibiendo instrucciones de navegación siguiendo el sonido del Drone.....	34
<b>Figura 24.</b> Usuario corriendo con el cuadricóptero.....	35
<b>Figura 25.</b> Brushless Disk Type Motor.....	36
<b>Figura 26.</b> Interior de un Brushless, Rotor, Estator .....	37
<b>Figura 27.</b> Conexión Batería - ESC - BEC - Receptor - Rotor .....	39
<b>Figura 28.</b> Batería LIPO 2200 mA/h.....	40
<b>Figura 29.</b> Paso de las Hélices .....	41
<b>Figura 30.</b> Ejemplos de distintas hélices utilizadas en la fabricación de UAVs.....	41
<b>Figura 31.</b> Arduino MEGA .....	42
<b>Figura 32.</b> GIROSCOPIO Y ACELERÓMETRO .....	43
<b>Figura 33.</b> Giros en el control para un drone .....	44
<b>Figura 34.</b> Tipos de controles, dependiendo su aplicación .....	45
<b>Figura 35.</b> Brazo.....	46
<b>Figura 36.</b> Brazo y soporte de componentes electrónicos.....	47
<b>Figura 37.</b> Anillo de marco inferior .....	47
<b>Figura 38.</b> Anillo de marco superior .....	48
<b>Figura 39.</b> Cubierta Electrónica .....	48
<b>Figura 40.</b> Espaciadores.....	48
<b>Figura 41.</b> Marco completo del cuadricóptero .....	49
<b>Figura 42.</b> Impresora 3D .....	49
<b>Figura 43.</b> Simulación de la impresión .....	50
<b>Figura 44.</b> Piezas del Drone Impresas.....	50

<b>Figura 45.</b> Instalación de tornillos en Anillo de Marco Superior.....	51
<b>Figura 46.</b> Instalación de brazo y soporte de componentes electrónicos .....	51
<b>Figura 47.</b> Instalación de brazos. ....	52
<b>Figura 48.</b> Instalación de Anillo de Marco Inferior .....	52
<b>Figura 49.</b> Instalación de Cubierta Electrónica .....	53
<b>Figura 50.</b> Instalación de tarjeta electrónica Arduino .....	53
<b>Figura 51.</b> Instalación de Motores.....	54
<b>Figura 52.</b> Instalación de Hélices .....	54
<b>Figura 53.</b> Instalación de batería LIPO 2200 mA H .....	55
<b>Figura 54.</b> Instalación de ESC, controlador electrónico de velocidad .....	55
<b>Figura 55.</b> Plano electrónico de conexión .....	56

## **RESUMEN**

El presente trabajo muestra el diseño y construcción de un vehículo aéreo no tripulado del tipo dron cuadricóptero de carreras, pero antes pasando por una breve reseña histórica desde la aparición de los vehículos aéreos no tripulados, la clasificación de drones que existen, las aplicaciones que se les ha dado a través del tiempo, el método de vuelo que emplean y la ley física que los mantienen en el aire. Luego de esto se muestran los principales materiales y elementos implementados para la construcción de los drones, mostrando sus características y ventajas al utilizarlos, diseño del mismo, la utilización de la tecnología de impresión 3D, dándole forma al diseño propuesto, y los pasos de construcción para darle la forma final.

### **Palabras clave:**

Dron, Drone, Vehículo aéreo no tripulado, Cuadricóptero, Arduino, Impresión 3D.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un vehículo aéreo no tripulado (UAV), del tipo Drone cuadricóptero de carreras, para presentar a la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano.

### **Objetivos específicos**

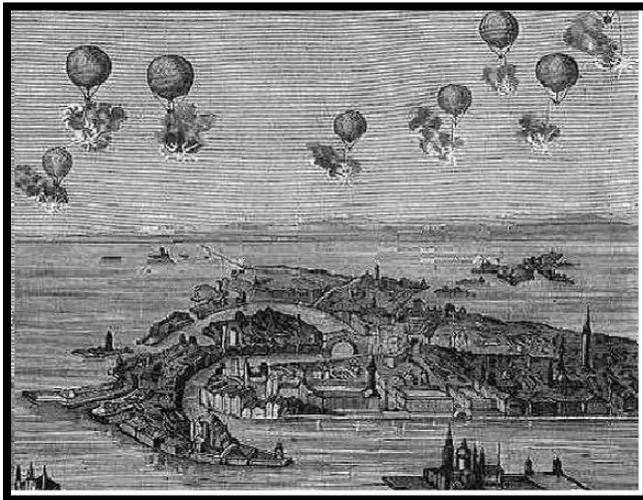
- Diseñar partes modulares, con el fin de que, si llegasen a sufrir daños, daría la ventaja de que estas sean fácilmente remplazadas por unas nuevas sin afectar el diseño original del drone.
- Seleccionar un material resistente, ligero y económico para la fabricación del drone, procurando que este proteja los componentes electrónicos y no se vean afectados por golpes que pudiera llegara a sufrir el drone.

## Estado del Arte

### Historia y Evolución del Drone

Desde que se tiene memoria, la humanidad ha intentado siempre superar sus propias limitaciones, una de estas el de poder volar, la historia nos remonta hacia el año 1700 a.C, con el mito griego de Ícaro y Dédalo quienes tras estar encerrados en un laberinto de una isla, tuvieron la idea de fabricar unas alas, con plumas de pájaros y cera de abejas, con las que podrían volar y poder escapar, otro gran año fue a finales del siglo XV, quien el arquitecto e ingeniero italiano Leonardo Da Vinci diseño planos de aviones basados en el vuelo de las aves , pero en lo que concierne la historia de plataformas no tripuladas data sus inicios en el año 1849 en donde los austriacos intentaron atacar Venecia utilizando globos no tripulados cargados con bombas (figura 1), esto para la batalla de Novara (primera guerra por la independencia de Italia), cabe notar que este ataque fue sin éxito, a partir de este momento el desarrollo de aeronaves no tripuladas ha venido evolucionando.

*“En 1849 se le atribuye al ejército austriaco la utilización de 200 globos aerostáticos no tripulados que se cargaron de bombas sobre la ciudad italiana de Venecia, uno de los primeros antecedentes del uso de aeronaves no tripuladas”.*



**Figura 1.** Globos no tripulados cargados con bombas  
Fuente: (Delgado. 2016).

Los sistemas aéreos no tripulados han estado siempre de la mano y dirigidos a la industria militar como armamento bélico, en 1896 Samuel Pierpont Langley (pionero en la aviación), desarrolló aeronaves con combustible a vapor, estos eran sin piloto abordo y fueron probados cerca de Washington en el río Potomac. A partir de esta práctica de vigilancia en 1898, los militares de EE.UU. dotaron con una cámara a una cometa, siendo así una de las primeras fotos de reconocimiento aéreo.

“Nikola Tesla demostró por primera vez el mando a distancia o radio control de un vehículo al final del siglo XIX. En un estanque en el Madison Square Garden de Nueva York en 1898, el inventor y showman controlaba a distancia un barco con una señal de radio. Esta fue la primera aplicación de ondas de radio en la historia, lo que significa que la patente de Tesla fue la cuna de la robótica moderna. En esa masa de agua flotaba un enorme posible avance militar”. (Delgado, 2016)

Durante y después de la primera guerra mundial más específicamente en el año 1916 las aeronaves no tripuladas eran construidas como blanco o diana fabricados para afinar la puntería de la artillería antiaérea, controladas por radiofrecuencia AM, tenía como nombre “Aerial Target”. (Mundo Drone,2016).En el mismo año ya se podía apreciar el concepto de UAV (Unmanned Aerial Vehicle), en español Vehículo aéreo no tripulado, con el "Hewitt-Sperry Automatic Airplane" o también llamado la bomba volante, desarrollado por Elmen Sperry, el cual elaborada giroscopios (Sperry Gyroscope Company), hizo su primer vuelo de demostración frente a los cargos más altos del ejército de estados unidos, el resultado fue la fabricación del "Kettering Bug" (Ver figura 2) con el concepto de torpedo volante. (Delgado. 2016)



**Figura 2.** Kettering Bug  
Fuente: (Jordan. 2015)

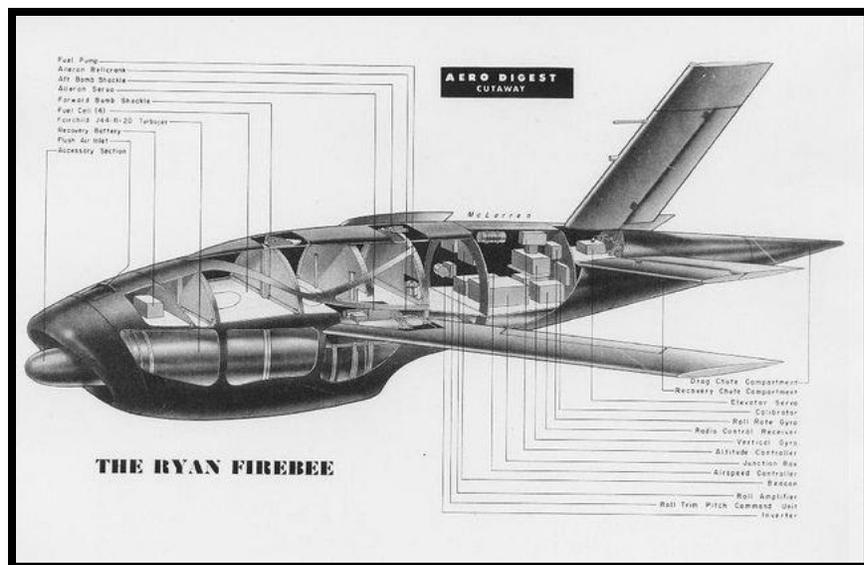
“A lo largo de la década de 1920, se utilizaron varios buques controlados de forma remota para la formación de unidades de artillería. La década de 1930 vivió una oleada de interés militar en vehículos controlados a distancia, entre los cuales surgió la segunda generación “Bug“”. (Mundo Drone, 2016).

En los años 30 los británicos realizaron desarrollos en materia de vehículos aéreos no tripulados, y es consecuencia que se conozcan hoy en día como drones, este desarrollo se llamaba Queen Bee (Abeja Reina) que al llevarse esta tecnología a estados unidos y realizados algunos cambios y se le denominó DRON (ver figura 3), que es como si fuera el zángano o macho de la abeja, hoy por hoy se les sigue diciendo de la misma forma.



**Figura 3.** Drone, zángano de una colonia de abejas  
Fuente: (Ruipérez, Conejero, Rodilla. 2016).

A finales de 1949 y comienzos de 1950 la fuerza aérea de estados unidos desarrolló tres prototipos de drones para su uso como objetivo de formación, uno de estos prototipos era el modelo Q-2 (ver figura 4), que se lanzaba desde el aire y fue por decirlo de alguna manera el padre de los aviones para la compañía aeronáutica Ryan, este prototipo podía alcanzar casi los 20.000 metros de altura y volar durante 2 hora continuas. Los demás prototipos fueron dejados debido a la poca necesidad que existía de fabricarlos, ya que las fuerzas militares contaban con los misiles tierra aire de precisión.



**Figura 4.** Prototipo de Drone desarrollado por EU, The Ryan Firebee  
Fuente: (Delgado. 2016)

El desarrollo de los drones en los años 70 coincidiendo con la revolución de la electrónica (1971, llegada del primer microprocesador), en aquel entonces el país más desarrollado en esta tecnología era Israel que lo utilizó para los conflictos en los que ha participado.

En los años 80 se ve que la tecnología de los UAV es fiable y que estos podían ser mucho más rendidores que los aviones con piloto, cuando se demostró el enfrentamiento entre el piloto de la unidad de élite Top Gun, John Smith, y su F-4 Phantom contra un UAV. (Delgado, 2016)

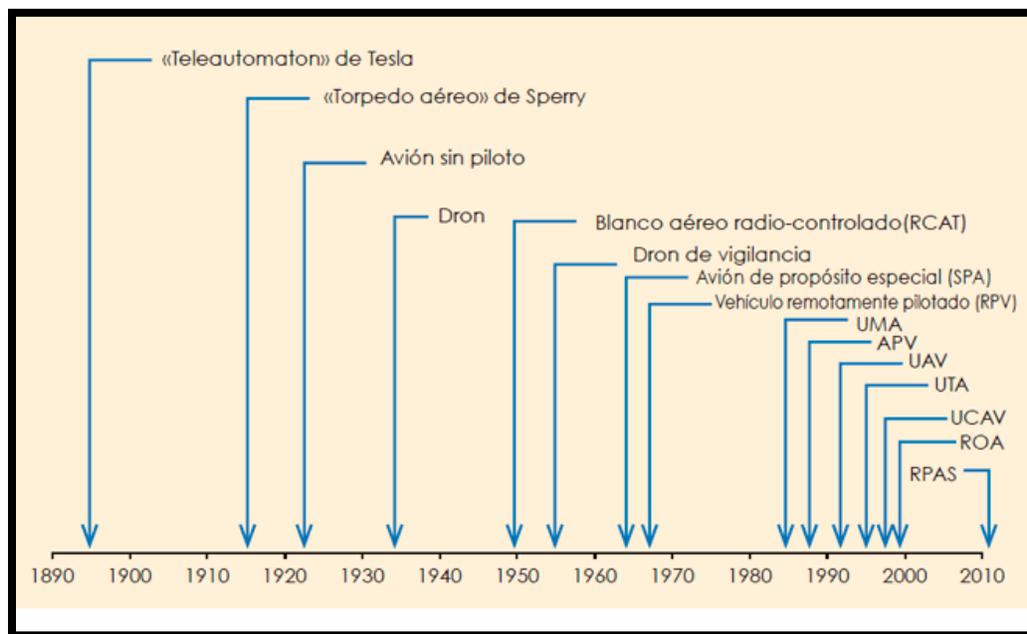
Pero es a partir de la década de los 90, más específicamente a finales, las fuerzas aéreas de estados unidos empezaron a mejorar aspectos técnicos y fue cuando entonces se les dotaba de misiles, aprovechando la tecnología y la mayor disponibilidad del sistema de posicionamiento global (GPS), es así que los aviones no tripulados tomaron fuerza y tienen la relevancia que tienen hoy en día.

Para el año 1994 las fuerzas armadas de estados unidos encargan a la empresa General Atomics Aeronautical System desarrollar un tipo de UAV, es entre dos años y medio que esta compañía logra el desarrollo del tan conocido *PREDATOR* (ver figura 5), vehículo aéreo no tripulado dotado con los mejores avances tecnológicos del momento, en sus comienzo este UAV era solo un sistema de vigilancia y reconocimiento, poco tiempo después a este se le es incorporado misiles Hellfire (misil aire-tierra diseñados para destruir vehículos terrestres). Tras los ataques del 11 de septiembre de 2001 las fuerzas armadas estadounidenses se ponen a la tarea de sacar el mejor provecho a esta tecnología, enviando estos UAV a la búsqueda de los terroristas, estando así posicionado como uno de los países a la vanguardia de esta tecnología.



**Figura 5.** PREDATOR  
Fuente: (Delgado, 2016).

Cabe destacar que a través de la historia a estos vehículos no tripulados se les han asignado diferentes nombres como lo muestra la (Figura 6).

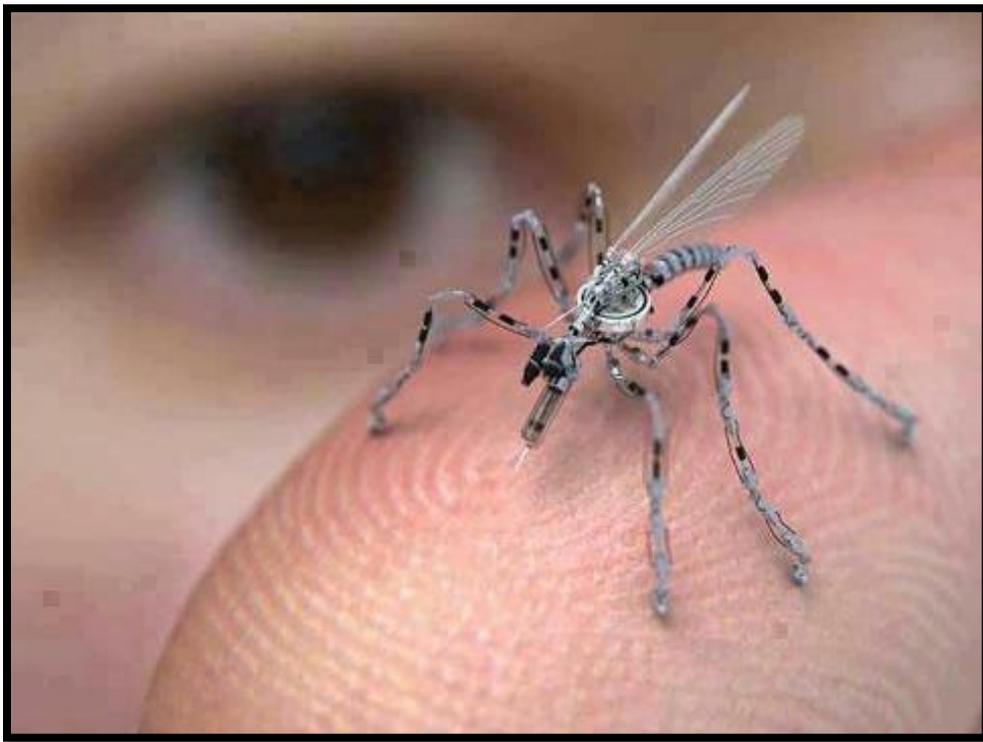


**Figura 6.** Asignación de nombre a través de la historia.  
Fuente: (Cuerno, 2015).

Desde sus inicios el DRONE ha venido teniendo un crecimiento exponencial, es así que no solo en la industria militar ha sido implementado este tipo de tecnología, también ha sido incorporado al medio civil, para dar ejemplo el uso en el entrenamiento de niños y otros no tanto, con aviones y helicópteros y cuadricópteros, ya sea controlados mediante control remoto o a través de su Smartphone, otro gran uso de estos drones es la de ser socorristas, ya que por su versatilidad estos podrán entrar a sitios peligrosos, espacios confinados y/o asistir en catástrofes ambientales, en la agricultura está siendo un gran apoyo, gracias a estos drones que pueden controlar el estado de los cultivos de una forma práctica y económica, en la ingeniería civil es la realización de cartografía, ortofotomapas, otro gran desarrollo por parte de google que mediante

drones pretende distribuir internet por todo el mundo convirtiendo el dron en un receptor y emisor de señal, entre otros muchos usos en la vida cotidiana. (TecnonautaTV, 2014).

En la actualidad hay proyectos de drones mosquito (Ver Figura 7), tan pequeños como los propios insectos, estos servirán como lo hemos notado en la historia utilizados como espionaje para la guerra, a futuro estos drones probablemente servirán a los humanos en materia de medicina, ya que se espera que estos drones sean tan microscópicos puedan combatir enfermedades a nivel celular, solo nos queda esperar pacientemente, pues la tecnología avanza a pasos agigantados.



**Figura 7.** Insecto espía  
Fuente: (Mikkelson. 2015).

## UAV

Un UAV en sus siglas en inglés, *Unmanned Aerial Vehicle* (vehículo aéreo no tripulado), es un sistema capaz de volar sin llevar a bordo un piloto, ya que, a través de una serie de procesadores incorporados, como los son: sensores, motores, sistemas de comunicación entre estos le dan la ventaja de volar de manera independiente, claro está que estos son controlados desde una estación de mando o también pueden llevar una programación ya establecida.

Estos vehículos aéreos no tripulados, han sido ampliamente utilizados en aplicaciones militares, como lo son misiones de reconocimiento de terrenos, misiones de ataque y defensa, su principal objetivo es el de sustituir los aviones convencionales, ya que estos son de mayor costo y se arriesgan vidas humanas. “Las ventajas de un avión no tripulado se resume en; menor costo de fabricación que los tripulados, no se arriesgan vidas humanas, y la posibilidad de adentrarse a sitios de difícil acceso”. (Nadales, 2009).

“En la (Figura 8) se muestra la clasificación para las aeronaves no tripuladas empleadas por la Organización del Tratado del Atlántico Norte (NATO por sus siglas en inglés), en la cual se puede observar que dicha clasificación está basada en el peso máximo de despegue. Los distintos tipos de drones son clasificados por clases, yendo de la clase 1 para aquellos que poseen 150 kg o menos de MTOW (*Maximum Take-Off Weight*), en español, (*peso máximo al despegue*) hasta la clase 3 para las aeronaves que posean más de 600 kg.”. (Santana, 2016)

CLASIFICACIÓN UAV OTAN				
Clase (MTOW)	Categoría	Empleo	Altitud de operación AGL	Radio de Misión
CLASE I ≤ 150 Kg	MICRO < 2 Kg	Táctico, (Sección)	Hasta 200 pies	5 Km (LOS)
	MINI 2-20 Kg	Táctico (Compañía)	Hasta 1.000 pies	25 Km (LOS)
	LIGEROS > 20 Kg	Táctico (Batallón)	Hasta 1.200 pies	50 Km (LOS)
CLASE II ≤600 Kg	TÁCTICO	Táctico (Brigada)	Hasta 10.000 pies	200 Km (LOS)
CLASE III > 600 Kg	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional	Hasta 45.000 pies	Sin Límite (BLOS)
	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin Límite (BLOS)
	Combate	Estratégico	Hasta 65.000 pies	Sin límite (BLOS)

Class	Category	Normal operating altitude	Normal mission radius	Example platforms
Class I (less than 150 kg)	Small >20 kg	Up to 5,000 ft AGL	50 km (LOS)	Luna, Hermes 90
	Mini 2-20 kg	Up to 3,000 ft AGL	25 km (LOS)	Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	Micro <2 kg	Up to 200 ft AGL	5 km (LOS)	Black Widow
Class II (150-600 kg)	Tactical	Up to 10,000 ft AGL	200 km (LOS)	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, AeroStar, Ranger
Class III (>600 kg)	Strike combat	Up to 65,000 ft AGL	Unlimited (BLOS)	
	HALE	Up to 65,000 ft AGL	Unlimited (BLOS)	Global Hawk
	MALE	Up to 45,000 ft AGL	Unlimited (BLOS)	Predator B, Predator A, Heron, Heron TP, Hermes 900

Clasificación UAS OTAN. Fuente JCGUAS "UAV Classification Guide". NNAG. Septiembre 2011.

**Figura 8.** Clasificación de UAVs según la OTAN  
Fuente: (Santana. 2016) & (Calvo, Herranz, Calvo. 2014)

### Clasificación de los Uavs Según el Método de Control

Existen varias metodologías de control de los UAVs:

**Autónomo:** La aeronave está dotada y se guía por con sus propios sistemas y sensores integrados, no necesita de un piloto que lo controle desde tierra.

**Monitorizado:** Este tipo de control para UAV si se necesita un técnico humano, el cual controla y proporciona de información el dron, mediante un receptor respecto a la actuación de un emisor. El dron tiene su plan de vuelo y el técnico a pesar de no poder controlarlo directamente, puede decidir qué maniobra llevar a cabo.

**Supervisado:** Un operador pilota directamente la aeronave, aunque este puede realizar algunas tareas automáticamente.

**Preprogramado:** Este sigue un plan de vuelo diseñado, pero no tiene los medios ni las herramientas para cambiar o adaptarse a cambios que se puedan presentar.

**Controlado remotamente:** Son los más implantados dentro de los drones civiles, son conocidos como drones de radio control. La aeronave es pilotada directamente por un técnico mediante una emisora de radiofrecuencia. (Ruipérez, et al, 2016. págs 19)

Existe otra clasificación de UAV, el cual es por el sistema de propulsión utilizado:

### **UAV de ala fija**

La estructura y el cuerpo, están formadas por unas alas fijas, lo que hace recordar el diseño de un avión convencional, estos tipos de UAVs son mayormente utilizados en el campo Militar, ya que estos tienen gran capacidad de vuelo, capaces de recorrer grandes distancias, alcanzar grandes velocidades, este último se logra gracias a una turbina propulsora en su parte trasera.

“Por este tipo de características son utilizados en aplicaciones de reconocimiento aéreo de grandes zonas de terreno, ya que permiten la captura de imágenes geo-referenciadas a gran escala. También son capaces de transportar una carga adicional elevada, mayor que los vehículos de ala rotatoria, a grandes distancias. Para el despegue y el aterrizaje de estos vehículos es necesaria siempre una pista de lanzamiento y de aterrizaje”. (Benito, Garrido, 2015. Pág. 6)



**Figura 9.** Ejemplos de UAVs de ala Fija  
Fuente: (Benito, Garrido. 2015) & (Ruipérez, et al. 2016)

### **UAV de ala rotatoria**

Como lo dice Benito, et al. (2015). Estos tipos de UAV tienen la característica de que para su vuelo, utilizan un motor que impulsan una o más de una hélice, conjunto al cual se le llama rotor, todo este sistema es el que se encarga de suministrar el impulso para despegar, y dar la maniobrabilidad del Drone. Estos vehículos, al tener una estructura mayor complejidad, son de una velocidad considerablemente menor, y tiene un rango de vuelo mucho menor en comparación a los de ala fija. Poseen una gran autonomía, por lo general de 30 minutos, capaces de volar a 60 km/h promedio. La diferencia respecto a los vehículos de ala fija, se debe a que éstos pueden planear y reducen el consumo de energía, los UAV's de ala rotatoria tienen que entregar potencia a los motores constantemente cuando estos están suspendidos en el aire.

Una de las ventajas de estos UAV es que pueden despegar y aterrizar verticalmente, lo cual no es necesario el contar con extensiones de terreno para poder realizar esta acción, al contrario de los UAVs de ala fija, los UAVs son capaces de permanecer inmóviles en el aire, gracias a los componentes como giroscopios o estabilizadores, El sistema de vuelo de un UAV de ala rotatoria, consiste en el giro invertido y simultáneo de las hélices de la aeronave. Dos hélices girando en sentido a las agujas del reloj y otras dos en sentido contrario, generando la fuerza de empuje necesaria para elevarse, a este fenómeno se le conoce como el principio de sustentación de Bernoulli, el cual veremos más adelante. (Ruipérez, et al, 2016).

Existen gran variedad de aplicaciones enfocadas a los UAV debido a su gran versatilidad. A continuación, se describen algunas de ellas:

**Militar:** Desarrollan numerosas tareas como lo es servir de señuelo para entrenamiento tanto aéreo como terrestre, siendo así las veces de enemigo. Son usados en misiones de reconocimiento. Son capaces de transportar y manejar distintas cargas y desarrollar aplicaciones de combate. Esto con el fin de disminuir el número de bajas en ciertas misiones donde el riesgo es alto. (Benito, et al, 2015).

**Supervisión:** Estos son utilizados para la inspección de grandes obras civiles como puentes, edificios, carreteras, entre otros. Estos drones son dotados con cámaras de video que supervisan las obras desde ángulos distintos sin poner en riesgo la vida humana y reduciendo los tiempos de desarrollo, ya que no es necesario construir estructuras externas para poder supervisar las obras. (Nadales. 2009).

**Uavs de uso civil:** Conocidos como DRONE comerciales, son aquellos UAVs que no están destinados a un uso militar. Se utilizan para multitud de tareas, desde acciones de vigilancia,

fotografía, retransmisiones televisivas, prevención y control de incendios, ocio y muchas más tareas, y es a partir de este momento que se hablará de los drones como tal. (Ruipérez, et al, 2016).

**Filmación de imágenes:** Gracias a la versatilidad de estos UAVs en cuanto al control y movilidad, es posible la captura de imágenes en sitios en donde el hombre no podría entrar, todo ello a un bajo costo a comparación de otros tipos de sistemas, como se mencionaba anteriormente para la filmación comercial, estos UAVs han servido de plataforma y expandido su uso para obtener gran calidad de imágenes en eventos deportivos, elaboración de películas, y filmación de eventos musicales. (Benito, et al, 2015)

**Reconocimiento de desastres:** Siendo vehículos aéreos no tripulados, estos servirán como reconocimiento inicial en desastres naturales o en explosiones nucleares, reconocimientos en lo que pondría ser peligros para pilotos. (Nadales, 2009).

**Acción humanitaria:** Con la capacidad de llevar medicamentos y vacunas a lugares en los cuales es complicado el acceso a humanos. También sirven para recopilar información de las zonas afectadas por desastres y planear la forma más efectiva y de estrategia a seguir.

**Investigación científica:** Los UAVs son de gran utilidad a la hora de entrar en ambientes hostiles para el ser humano, se han elaborado varios prototipos de gran peso , capaces de adentrarse en huracanes y poder ver lo que pasa en su interior mandando en tiempo real información acerca del mismo, también se han empleado otros sistemas y aplicaciones meteorológicas, las cuales dan una idea de poder prevenir desastres naturales, hoy en día se desarrollan vehículos capaces de resistir temperaturas extremas, tanto altas como bajas, pudiendo acercarse a volcanes y adentrarse en la Antártida.

**Potencial futuro:** La principal línea de desarrollo para vehículos aéreos no tripulados es la militar, con esta se invierte gran cantidad de dinero para desarrollar aplicaciones nuevas, pero gran parte de los recursos se destinan lamentablemente para la guerra.

“Cada día mejoran los elementos que componen este tipo de vehículos dotándolos de más autonomía, resistencia, rigidez y un control más preciso. Gracias a ello se explotan alternativas de uso como el reparto de paquetes a distancia, el cual está pendiente de una regulación adecuada. También cada día se investiga más la mejora de la interacción entre vehículo y persona que facilite la vida cotidiana al usuario”. (Benito, et al, 2015. pág. 8)

De los Drones Multirotor podemos destacar cuatro tipos, los cuales son:

### **TRICÓPTERO**

Esta es la forma más simple de Drone que se puede encontrar, su estructura está conformada por tres brazos que sobresalen de la parte central de Dron, lo componen principalmente, tres motores, tres reguladores o variadores de velocidad, un servo motor y tres hélices.

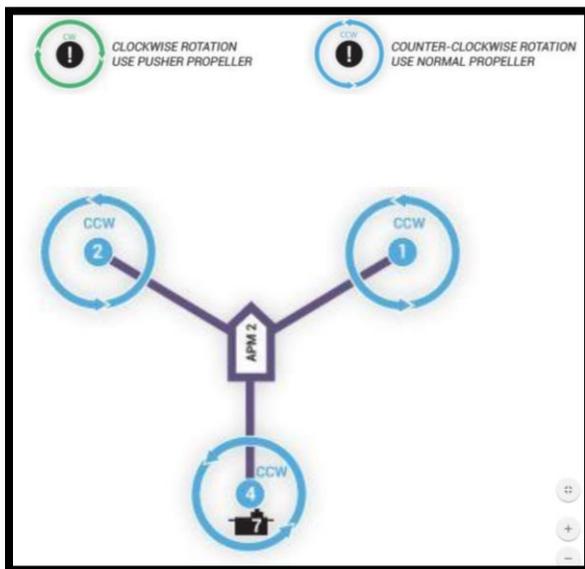
El control del vuelo de estos tricópteros se consigue mediante el aumento y disminución de la velocidad de los motores, lo cual al aumentar la velocidad hará que el drone se eleve hacia el cielo, y la disminución lo hará descender.

Un cuarto punto de giro se encuentra dentro del tricóptero, dirigiendo el servomotor que controla el mecanismo de giro, de este modo es posible conseguir el equilibrio en el aire.

El tricóptero como los multirrotores en general cuentan con muchas ventajas respecto a los drones de ala fija, puesto que puede despegar y aterrizar de forma vertical, además de mantenerse estático en el aire, sin necesidad de ocupar un gran espacio.

### Metodología de vuelo

Los tricópteros se manejan mediante el control del número de revoluciones. Por norma general el vuelo de este tipo de multirrotor se consigue al girar dos de los tres motores en la dirección opuesta al tercer motor. El tricóptero además de usar los motores para elevarse, provee el movimiento de la aeronave. Los dos motores laterales hacen que el tricóptero oscile de un lado a otro gracias a la disminución de las revoluciones del motor contrario al giro. Lo mismo sucede con el motor de cola, al aumentar o disminuir la potencia el dron ejerce el empuje necesario para inclinar la estructura y así poder avanzar y retroceder, por último el servomotor situado en el motor de cola permite la rotación sobre el propio eje del dron.



**Figura 10.** Configuración de Rotores para un Tricóptero  
Fuente: (Ruipérez, et al. 2016).

### *Ventajas*

- De fácil almacenaje y transporte
- Cantidad mínima de componentes respecto a sus homólogos
- Más económicos
- Más ligero
- Disponen de un amplio campo visual en la parte frontal
- Amigables gracias al servomotor dispuesto en su parte trasera
- Ocupa menor espacio
- Plegables gracias a su diseño estructural

### *Desventajas*

- No existe redundancia en caso de avería de uno de los motores, esto implica que si se produce un fallo motor, el tricóptero descenderá sin control.
- Soporte de cargas limitado, bajo empuje.
- Necesarios conocimientos avanzados para su configuración
- Menos estable y potente que otras configuraciones de multirrotor
- El chasis estructural no suele disponer de carcasa protectora
- Los motores siempre trabajan a grandes revoluciones para conseguir el vuelo.
- No hay gran variedad de modelos en el mercado. (Ruipérez, et al. 2016).



**Figura 11.** Ejemplos de Tricópteros  
Fuente: (Zwight. 2014)

## CUADRICÓPTEROS

Estos representan la configuración más común y comercial de los Drones, lo comprende cuatro hélices, dichas hélices se encuentran equidistantes entre si y son impulsadas mediante cuatro motores eléctricos de corriente continua, claro está que estos motores son sin escobillas, para evitar su desgaste

### Metodología de vuelo.

El ascenso y descenso de este tipo de dron se consigue mediante el aumento y reducción de las revoluciones del motor

Dos de los cuatro motores giran en el sentido contrario a las agujas del reloj, esto es necesario para poder neutralizar la fuerza generada y alcanzar un equilibrio.

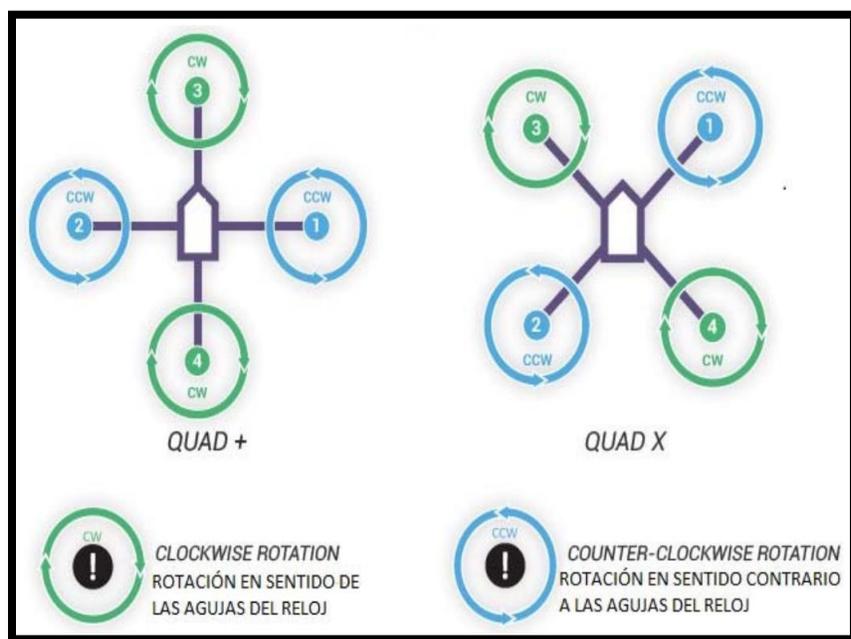
Para el movimiento de giro del dron respecto a su eje vertical, es necesaria la aparición de diferentes fuerzas, es necesario que las fuerzas neutralizadas de los motores izquierdo y derecho se encuentren desequilibradas, es decir, que la velocidad tanto de los motores izquierdo y derecho sean proporcionalmente diferentes.

Para el giro sobre el eje longitudinal del dron (rotación sobre su propio eje), el propulsor contrario al giro deseado deberá rotar a revoluciones más elevadas y por consiguiente su contrario disminuirá las revoluciones inversamente proporcional, consiguiendo así el movimiento de rotación.

Es necesario que la suma de fuerzas iniciales, sean exactamente iguales que las fuerzas resultantes durante el movimiento del dron, sino sucediera así el cuadricóptero caería en picado.

Los sistemas de giroscopios son los encargados del control y estabilización inteligente del multirrotor. (Ruipérez, et al. 2016. Pág. 25)

Para los cuadricópteros, existen dos configuraciones para la instalación de los rotores en el cuerpo del dron.

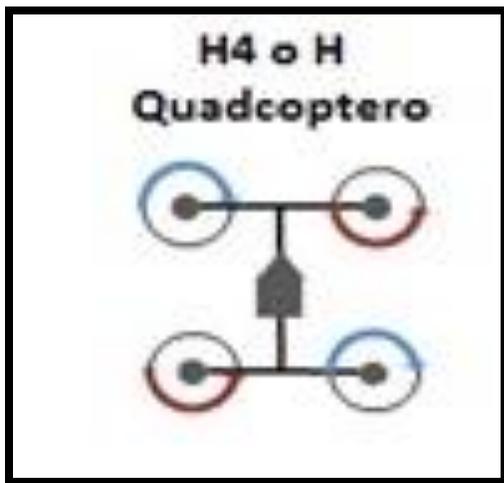


**Figura 12.** Configuración de Rotores para un Cuadricóptero  
Fuente: (Benito, et al. 2015)

Para el primer caso (QUAD +), este permite un mayor facilidad de maniobra, ya que para poder desplazarse en cualquier dirección, sea esta vertical u horizontal, solo es necesario el control y cambio de un solo motor.

Para el segundo caso (QUAD X), los motores se encuentran separados a  $45^\circ$  uno del otro para los desplazamientos, es necesario la maniobra de los cuatro motores. Esta configuración es la más conveniente para el soporte de cámaras, ya que da un mayor rango de visualización, y los motores no intervienen en esto.

Adicional a estas tenemos la configuración el H.



**Figura 13.** Configuración de rotores en H para Cuadricópteros  
Fuente: (Santana.2016)

### *Ventajas*

- Rápida aceleración
- Fácil manipulación de componentes
- Estructura sencilla

- Mayor capacidad de carga que un tricóptero
- Estructura robusta
- Gran variedad de estos en el mercado

### *Desventajas*

- Velocidad y estabilidad limitada
- No compacto para su transporte
- No es plegable
- Capacidad de carga limitada. (Ruipérez, et al. 2016).



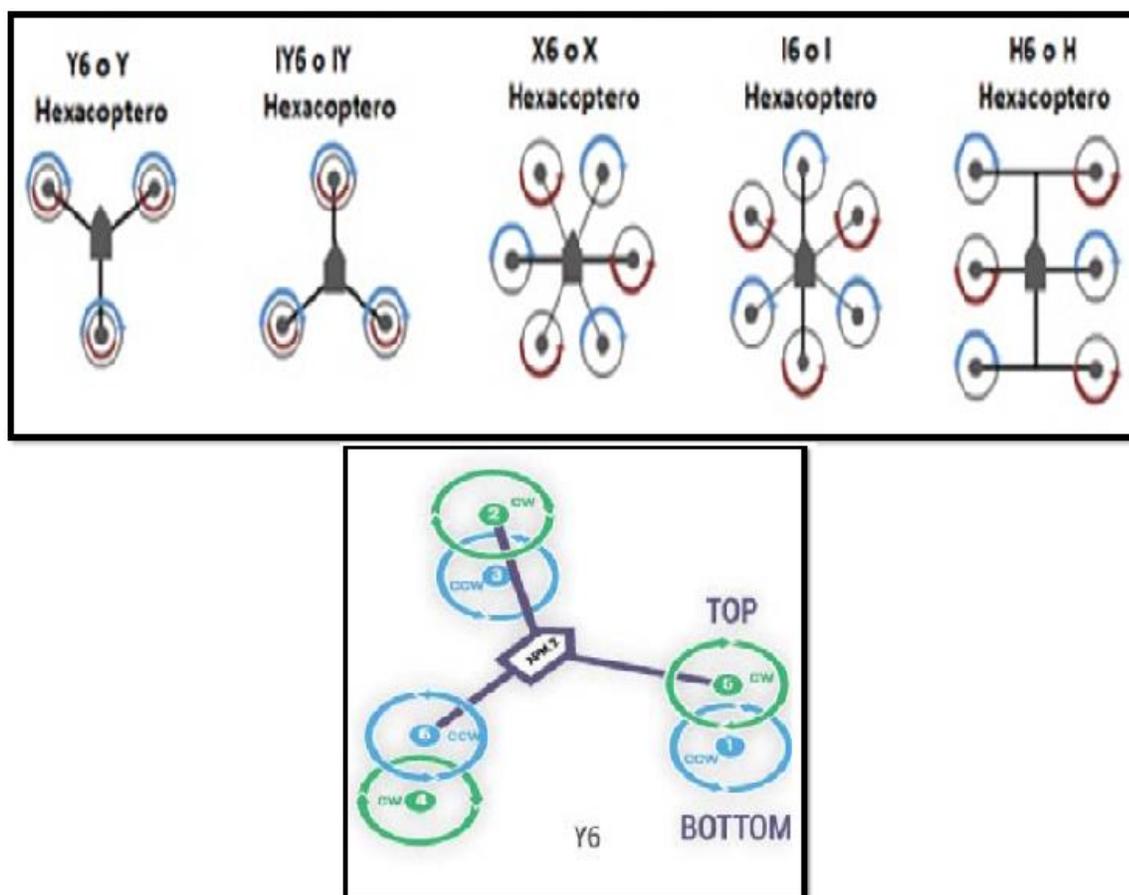
**Figura 14.** Ejemplos de Cuadricópteros  
Fuente: (Ruipérez, et al. 2016).

## HEXACÓPTEROS

Como su nombre lo indica, este tipo de dron dispone de seis motores con sus respectivos variadores, brazos y hélices.

La metodología de vuelo de este dron es similar al del cuadricóptero, todos los motores están ubicados equidistantes al mismo nivel, tres de estos motores giran en sentido de las manecillas del reloj y los otros tres en sentido contrario

De igual manera que los cuadricópteros, los hexacópteros cuentan con las configuraciones, para la colocación de los motores, HEXA +, HEXA X, y adicionalmente a estas, las configuraciones, Y6, IY6, HEXA H.



**Figura 15.** Configuración de rotores para Hexacópteros  
Fuente: (Santana 2016), (Benito, et al. 2015).

### *Ventajas*

- Respuesta de vuelo más estable que los cuadricópteros.
- Posibilidad de transportar una carga superior.
- Ofrece más posibilidades de instalación de accesorios por su tamaño.
- Buena redundancia en caso de avería de uno de los propulsores.

### *Desventajas*

- Producto con precio elevado.
- Multicópteros menos compactos
- Más energía necesaria para propulsar los motores.
- Necesarios conocimientos avanzados para su configuración.
- Difícil transporte por su gran envergadura.
- No es plegable.



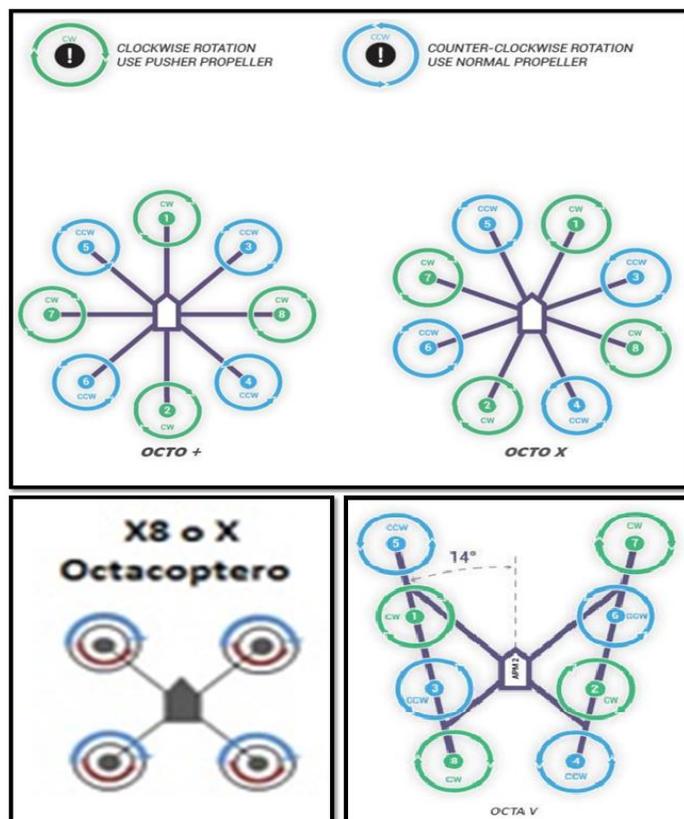
**Figura 16.** Ejemplos de Hexacópteros  
Fuente: (Ruipérez, et al. 2016. Pág. 30)

## OCTOCÓPTEROS

Estos drones disponen de ocho motores con sus respectivos componentes, y se encuentran en las mismas condiciones que los hexacópteros, para referirnos a este tipo de dron se utiliza el termino Multicóptero, ya que estos cuentan con un gran cantidad de motores, este dron se caracteriza por su gran potencia, capacidad de carga elevada como lo podrían ser mercancías, normalmente este tipo de drones son de uso profesional.

Su metodología de vuelo es de igual manera similar a los cuadricópteros y hexacópteros, donde cuatro de sus motores giran en sentido de la manecillas del reloj y los otros cuatro al contrario.

Como configuraciones tenemos:

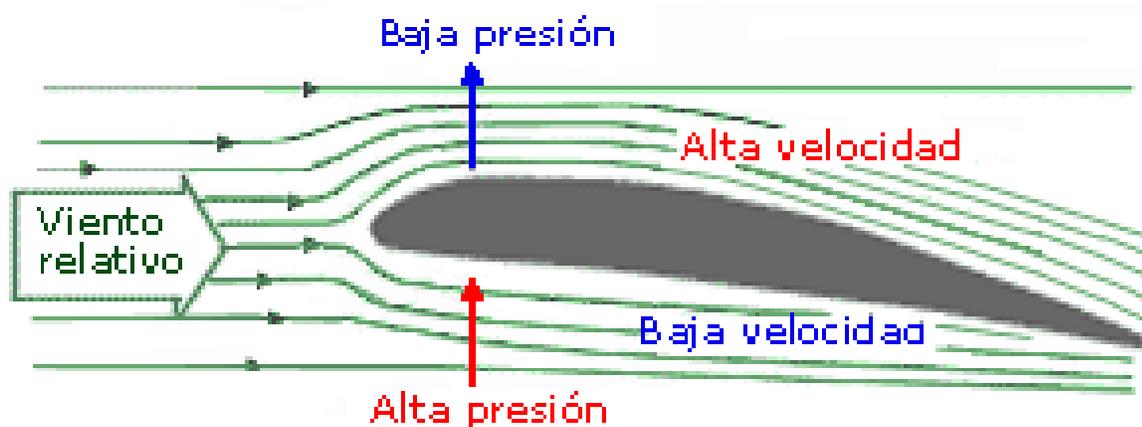


**Figura 17.** Configuración de rotores para Octocópteros

Fuente: (Ruipérez, et al. 2016), (Santana. 2016), (Benito, et al. 2015)

## Principio de sustentación de Bernoulli

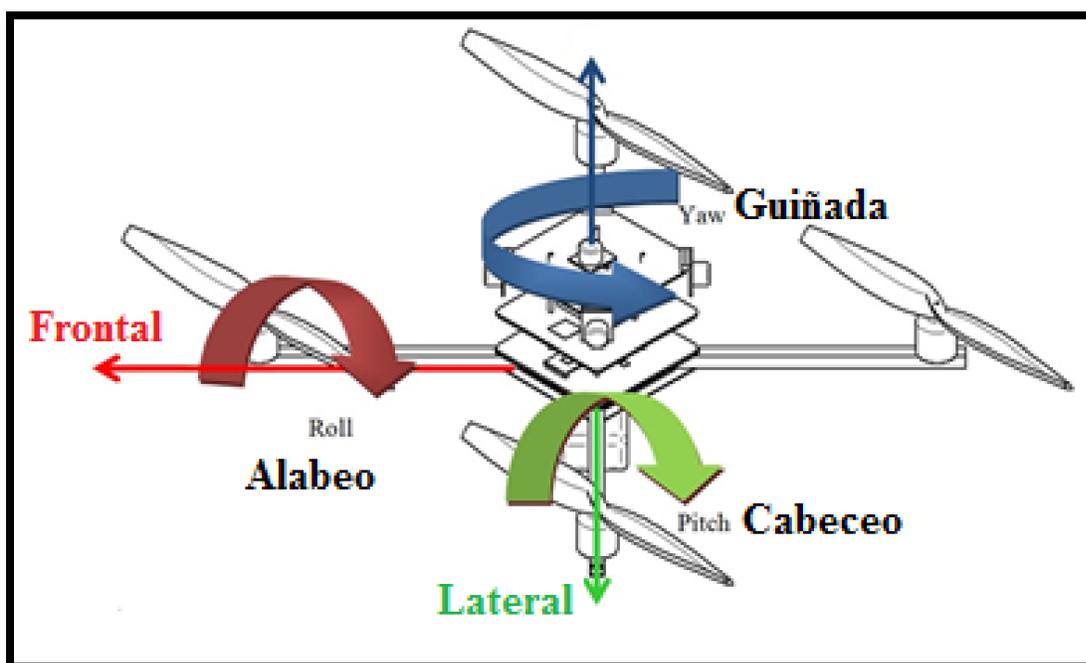
Con este principio sabremos el porqué de la elevación y el vuelo del drone, primero se indicará el concepto la sustentación y de cómo se crea, este fenómeno es el que mantiene el drone en elevación, y se presenta únicamente en presencia de un fluido como lo es el aire presente en la atmosfera terrestre, este fenómeno no se presenta en el espacio exterior, ya que allí no existe resistencia alguna, es la razón por la cual los cohetes y naves espaciales no necesitan alas para poder desplazarse, diferente son los transbordadores espaciales, que si necesitan alas para maniobrar en el aterrizaje al ingresar a la tierra. La teoría del científico Daniel Bernoulli (1700-1782), es una gran ayuda a la hora de comprender el movimiento y la mecánica de los fluidos. Para una mejor comprensión al concepto de sustentación o fuerza de levantamiento, la sustentación se relaciona con el aumento de velocidad del flujo de aire con la disminución de la presión y viceversa. (García, 2016)



**Figura 18.** Principio de sustentación de Bernoulli  
Fuente: (Muñoz, sin fecha)

## Ángulos de Navegación

Parte importante del vuelo de los Drones y su maniobrabilidad, es el tener en cuenta los ángulos de navegación, los cuales son para describir la orientación de un objeto en las tres dimensiones, Estos tres ángulos son equivalentes a tres maniobras consecutivas, a estos tres ejes fijos en un aeroplano los llamamos: Yaw (eje de guiñada), Pitch (eje de cabeceo) y Roll (eje de alabeo), (ver figura 18), a continuación se explica el significado de cada uno de estos conceptos.



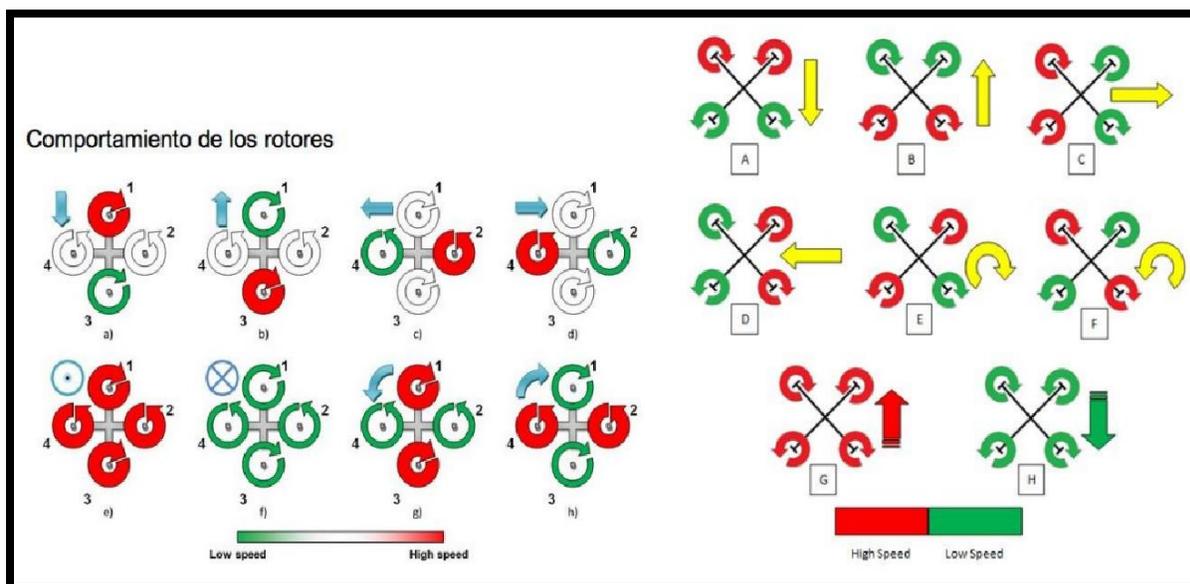
**Figura 19.** Ángulos de Navegación  
Fuente: (Benito, et al. 2015).

**Yaw (Eje de guiñada):** Es el giro del dron en el eje vertical, el sentido de giro dependerá de las hélices que más rápido giren, a la hora de que los rotores avancen en un sentido y lo harán más rápido que los que lo hacen en sentido contrario.

**Pitch (eje de cabeceo):** Es el giro del eje que va de derecha a izquierda del dron permitiendo a este moverse hacia delante y hacia atrás.

**Roll (eje de alabeo):** Es el giro sobre el eje que va de la parte delantera a la posterior del dron, lo que hace que este mismo se desplace a la derecha o izquierda. (Benito, et al. 2015).

Para dar entendimiento a lo anteriormente dicho, en la (figura 20) se muestra explícitamente estos movimientos, se explicará para un cuadricóptero con la configuración X, ya que es la más común y comercial.



**Figura 20.** Tipos de Movimientos del Dron  
Fuente: (Mateus. 2016).

En la figura se puede observar los tipos de movimiento del dron y cómo se consiguen. Para explicar estos movimientos se enumerarán las hélices, siendo la de la esquina superior derecha la "1" y las demás la "2", "3" y "4" contando en el sentido de las agujas del reloj a la "velocidad baja" se le denominará "vb" y a la "velocidad alta", "va".

**Yaw (Eje de guiñada):** Puede ser observado en la letras e) y f). Para girar en sentido horario (e), 1-3 en “vb” y 2-4 en “va”. Para girar en sentido antihorario los motores en “va” se ponen en “vb” y viceversa.

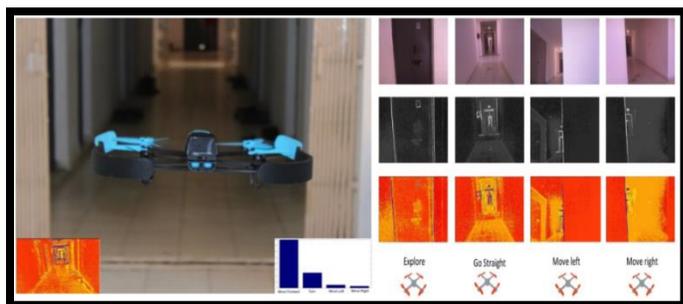
**Pitch (eje de cabeceo):** Puede ser observado en las letras a) y b). Para cabecear hacia delante (b) ,1-4 en “vb” y 3-2 en “va”. Para cabecear hacia atrás los motores en “va” se ponen en “vb” y viceversa. Una vez alcanzada la inclinación deseada, los motores se ponen todos en la misma velocidad automáticamente.

**Roll (eje de alabeo):** Puede ser observado en las letras c) y d). Para inclinarse a derecha (c), 1-2 en “vb” y 3-4 en “va”. Para inclinarse a izquierda los motores en “va” se ponen en “vb” viceversa. Una vez alcanzada la inclinación deseada, los motores se ponen todos en la misma velocidad automáticamente.

Adicional a esto tenemos el movimiento Throttle (la altitud): Puede ser observada en las letras g) y h). Para subir (g), todos los motores en “va”, para bajar los motores en “va” se ponen en “vb”. (Mateus, 2016.págs 6-7)

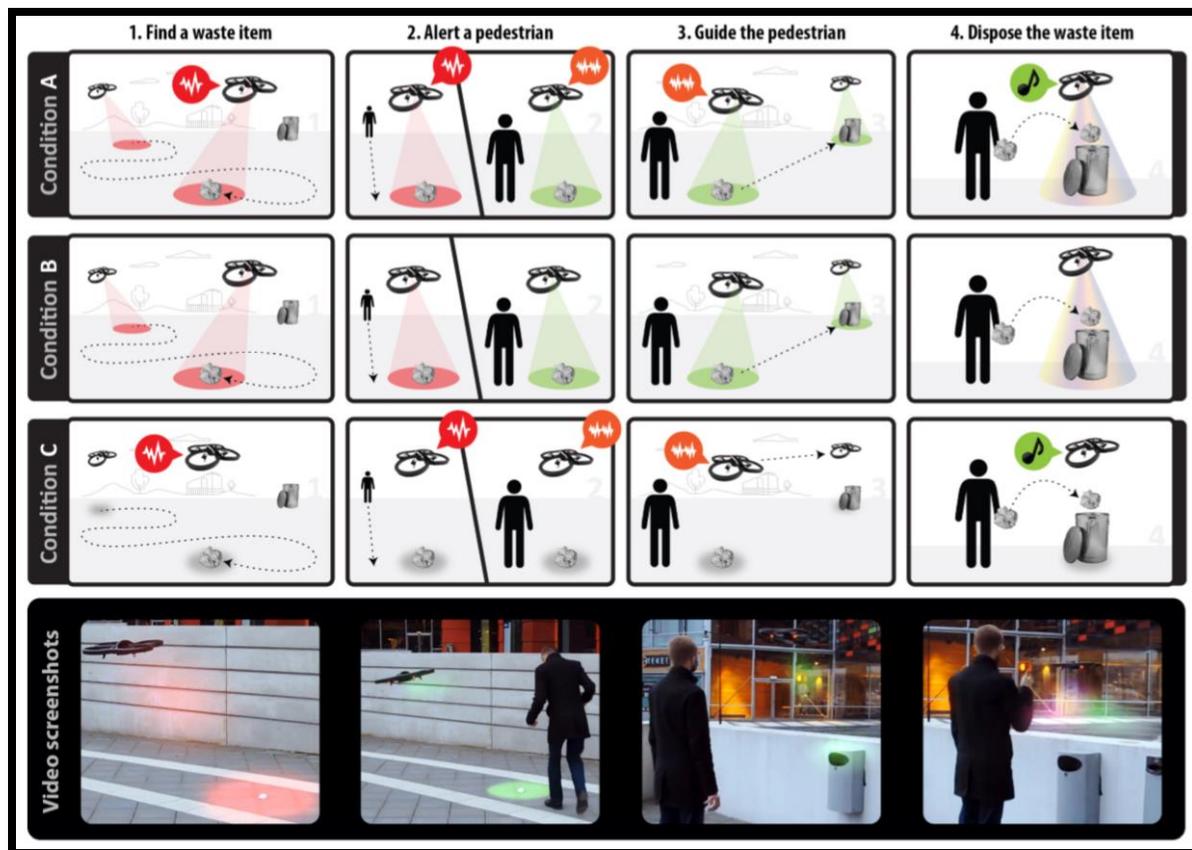
## PROYECTOS DESARROLLADOS

Cabe destacar que varias partes del mundo desarrollan proyectos mediante la utilización de drones, uno de estos proyectos es el que desarrollaron los profesores investigadores de la India , Vishakh Dugga, Kumar Bipin, Utsav Shah, K. Madhava Krishna, en el 2016, llamado *“Hierarchical Structured Learning for Indoor Autonomous Navigation of Quadcopter”*, al implementar técnica de aprendizaje estructural jerárquica, la cual consiste en que el drone aprenda a identificar su entorno creando mapas o diagramas de flujo, mediante un fotograma único de secuencia de video, para poder desplazarse dentro de un recinto, presenta un enfoque novedoso para lograr en tiempo real navegación autónoma de un cuadricóptero de miniatura. Presenta un sistema que se integra en tiempo real estimación de densa profundidad utilizando la técnica de aprendizaje estructurada jerárquica (HSL) para navegación autónoma interior del cuadricóptero cámara monocular como su sensor primario de vuelo. Los experimentos numerosos inequívocamente transmitirán las ventajas de la percepción de la profundidad por HSL, aunque repetidos vuelos de naturaleza exitosa en pasillos interiores típicos confirman la eficacia del marco. A futuro se espera una navegación autónoma en entorno natural al aire libre utilizando un enfoque similar junto con la evitación del obstáculo móvil está siendo activamente considerado.



**Figura 21.** Drone navegando de forma automática  
Fuente: (Duggal, Bipin, Shah, & Krishna. 2016).

El siguiente es uno de gran ayuda, ya que este proyecto presenta y evalúa un concepto de un agente de aviones no tripulados que nos pueden apoyar para mantener el medio ambiente limpio. El avión no tripulado tiene cuatro funciones principales: 1> encontrar un artículo de residuos, 2> convencer al usuario para recoger el artículo, 3> conducir al usuario a la papelera de reciclaje más cercano, 4> comunicarse con el usuario cuando el trabajo es hecho. Nos prototipo tres tipos de efectos de persuasión con el avión no tripulado (visual, auditiva, visual y de audio +) y los ha evaluado a través de un estudio en línea con ochenta y dos participantes. Los resultados revelan que el interés en la tecnología de aviones no tripulados varió significativamente entre los países desarrollados y en desarrollo, con las personas en los países que tienen calificaciones más altas para la persuasión relacionados con avión no tripulado, el cumplimiento, el agrado y la sensibilidad en desarrollo; las diferencias de género también surgieron. Por último, los resultados de evaluación llevada a muchas recomendaciones de diseño que aumentan la funcionalidad y atractivo potencial y el uso de la tecnología propuesta. En la (figura 22) muestra las condiciones experimentales usando un drone y un usuario humano: Condiciones A: audio y visual, Condición B: visual solamente, y Condición C: sólo audio. La última fila muestra ejemplos de capturas de pantalla de un prototipo de vídeo. (Obaid, Mubin, Basedow, Ünlüer, Bergström, & Fjeld, 2015.pág. 55)



**Figura 22.** Condiciones experimentales entre el drone y humano  
Fuente: (Obaid, et al. 2015).

Otro gran desarrollo es el titulado “DroneNavigator: Using Drones for Navigating Visually Impaired Persons” en español Drone navegador: usado para navegar con personas con discapacidad visual, fue desarrollado por los alemanes Mauro Avila, Markus Funk, Niels Henze en el 2015, este es básicamente un nuevo enfoque Para guiar a las personas con discapacidad visual. Utilizando pequeños y ligeros Drones que se pueden percibir a través de los distintos sonidos y el flujo de aire que producen naturalmente. Describe la interacción entre el drone y la persona presenta las primeras ideas de prueba, pruebas realizadas con participantes con discapacidades visuales, lo cual da un panorama de posibles escenarios de aplicación.



**Figura 23.** Un usuario está percibiendo instrucciones de navegación siguiendo el sonido del Drone.

Fuente: (Avila, Funk, & Henze. 2015).

El siguiente proyecto denominado “*Jogging with a Quadcopter*”, (Trotando con un Cuadricóptero), realizado por los australianos Florian ‘Floyd’ Mueller y Matthew Muirhead en el 2015, dan una nueva perspectiva a la hora de hacer ejercicio, y tal como lo dicen textualmente los autores: Trotar es una actividad de esfuerzo popular. La abundancia de aplicaciones para este deporte nos sugiere que los corredores pueden apreciar la oportunidad de la tecnología para apoyar la experiencia de trotar. Queremos llevar esta investigación un paso más allá explorando, y cómo, los sistemas robóticos pueden apoyar la experiencia de trotar. Hemos diseñado y construido un sistema robótico de vuelo, un cuadricóptero, como compañero de trote y estudiado su uso con 13 corredores individuales. Al analizar sus experiencias, derivamos tres dimensiones de diseño que describen un espacio de diseño para los compañeros de jogging robotizados que vuelan: Control Percibido, Enfoque e Interacción Corporal. Además, articulamos una serie de

tácticas de diseño, descritas por estas dimensiones, para guiar el diseño de sistemas futuros. Con este trabajo esperamos inspirar y guiar a los diseñadores interesados en crear sistemas robóticos para apoyar las experiencias de esfuerzo. (pág. 1)



**Figura 24.** Usuario corriendo con el cuadricóptero  
Fuente: (Muller, & Muirhead. 2015).

## PRINCIPALES COMPONENTES DE UN DRONE

### MOTORES BRUSHLESS

Es un motor que no utiliza escobillas. Siempre lleva un regulador de voltaje o un variador, dependiendo del tipo. Existen variedad de formas de construcciones de este tipo de motor, pero el principio de funcionamiento es el mismo.



**Figura 25.** Brushless Disk Type Motor  
Fuente: (HiModel. 2013)

“Éste tipo de motores tienen tres bobinas en el interior (en el centro) del motor, que están fijadas a la carcasa (Estator). En el exterior tienen imanes montados en un cilindro que está unido al eje de rotación (Rotor). Por lo tanto, para un proyecto de este tipo, donde son necesarios motores pequeños y fuertes, hay que trabajar sin escobillas”. (Hernández, Pedraza, Velázquez, Sotomayor, Delgado. 2014. Pág. 29)



**Figura 26.** Interior de un Brushless, Rotor, Estator  
Fuente: (Martínez, Rubio, Baraza, 2014).

Estos motores permiten que se consiga gran rendimiento y una gran potencia a cambio de un alto consumo. Por lo que es importante utilizar baterías Lipo (Polímero de litio), baterías con abaja densidad energética en comparación con otras pero con una característica única, capaces de entregar gran cantidad de potencia.

“La característica básica de un motor brushless: Es casi una constante, significa simplemente la cantidad de vueltas (RPM) que da el motor por cada voltio de continua aplicado al ESC (en máxima potencia). Es decir que, si a un motor de 1100 Kv le aplicamos 11v funcionará a 12210 RPM como máximo (Con el ESC se puede disminuir). Esta es su velocidad nominal y nunca subirá más velocidad a no ser que aumentemos la diferencia de potencial (Voltaje)”. (Martínez, et al. 2014).

***Ventajas:***

- Mayor eficiencia (menos perdida por calor)
- Mayor rendimiento (mayor duración de las baterías para la misma potencia)
- Menor peso para la misma potencia

- Requieren menos mantenimiento al no tener escobillas
- Relación velocidad/par motor es casi una constante
- Mayor potencia para el mismo tamaño
- Mejor disipación de calor
- Rango de velocidad elevado al no tener limitación mecánica.
- Menor ruido electrónico (menos interferencias en otros circuitos)

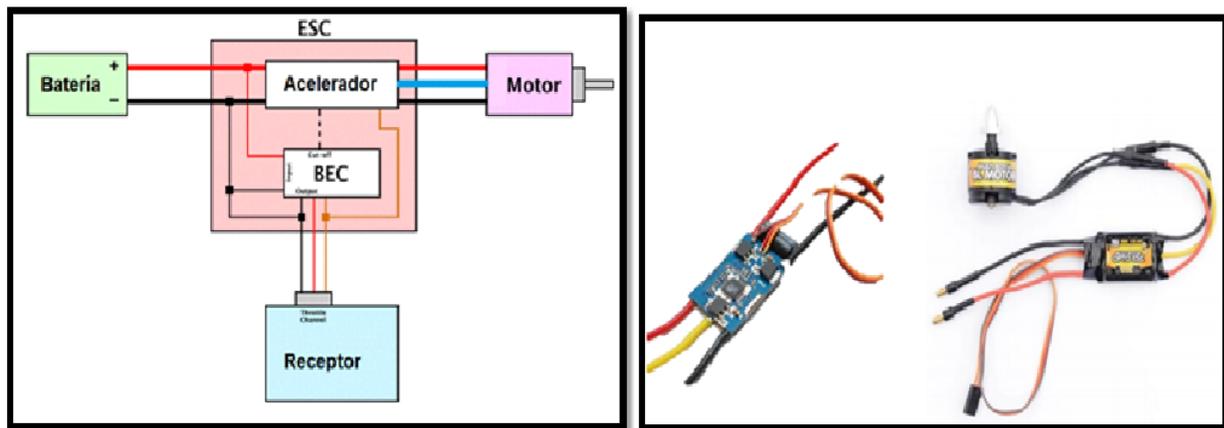
***Desventajas:***

- Mayor costo de construcción
- El control es mediante un circuito caro y complejo
- Siempre hace falta un control electrónico para que funcione (ESC's), que a veces duplica el costo. (Martínez, et al. 2014).

## ELECTRONIC SPEED CONTROLLER (ESC) controlador electrónico de velocidad

Son los elementos que se encargan de manejar los motores eléctricos brushless, se encargan de convertir la corriente DC – proporcionada por la batería - a corriente alterna, la necesaria para que los motores funcionen. El variador o ESC recibirá la señal PWM y dependiendo de la longitud del ancho de pulso entregará mayor o menor potencia al motor. En la (Figura 27) se muestra un diagrama general de la conexión batería – ESC – BEC- receptor – motor.

(Hernández, et al. 2014. Pág. 29).



**Figura 27.** Conexión Batería - ESC - BEC - Receptor - Rotor  
Fuente: (Hernández, et al. 2014) & (Ruipérez, et al. 2016).

## BATERÍA

Las baterías LiPo son ligeras en comparación con sus competidoras y pueden fabricarse en una gran variedad de tamaños y formas. Presentan una gran capacidad de almacenamiento de carga y nos ofrecen un alto nivel de densidad energética. Este tipo de batería presenta una alta tasa de descarga energética, lo cual es requerido por los motores eléctricos de los vehículos aéreos no tripulados. Las baterías se componen de una serie de celdas que son proporcionales a la cantidad de carga que puede almacenar la batería y a su duración en la fase de descarga.

(Ruipérez, et al. 2016. Pág. 36)



**Figura 28.** Batería LIPO 2200 mA/h

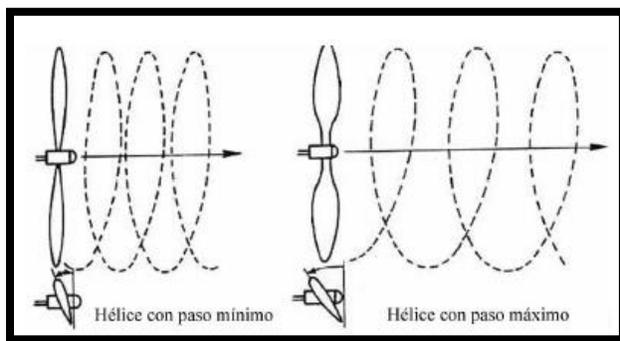
Fuente: (Hernández, et al, 2014).

## HÉLICES

Las hélices, una de las partes más importantes del drone, debido a que estas proporcionan la fuerza de empuje el cual hace posible la elevación del drone .

La longitud de las hélices, o distancia entre las puntas. Un tamaño de hélice mayor genera un mayor empuje, por consiguiente podremos soportar más carga.

“El paso de la hélice, indica la distancia teórica que la hélice avanzará a lo largo del eje de rotación en una revolución completa, es capacidad de la hélice para mover el aire y generar empuje”. (Ruipérez, et al. 2016. Pág. 35).



**Figura 29.** Paso de las Hélices  
Fuente: (Ruipérez, et al. 2016)

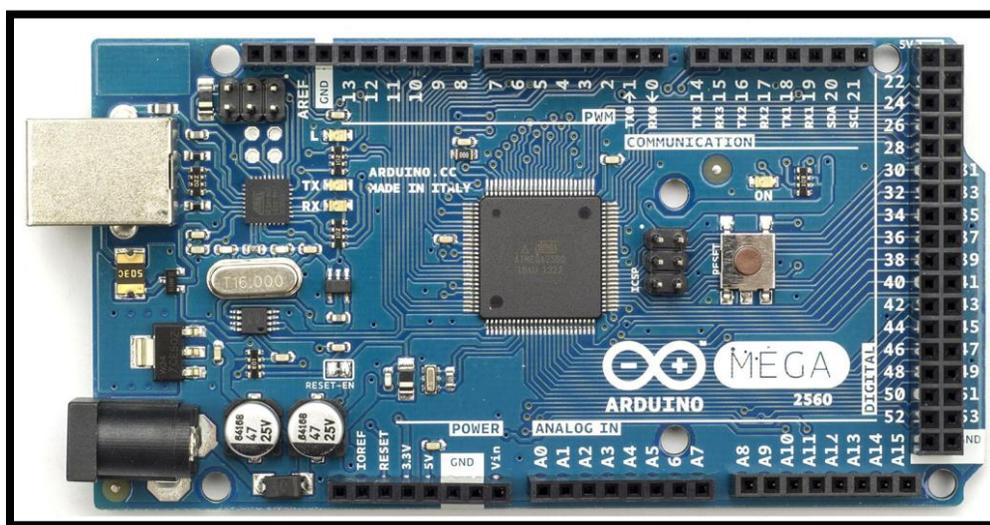


**Figura 30.** Ejemplos de distintas hélices utilizadas en la fabricación de UAVs  
Fuente: (Benito, et al, 2015).

## ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino son capaces de leer entradas como lo son, la luz en un sensor, un dedo sobre un botón, o un mensaje de Twitter y convertirla en una salida, la activación de un motor, encender un LED, publicar algo en línea. Se puede decir que su funcionamiento se hace mediante el envío de un conjunto de instrucciones al microcontrolador en la tarjeta. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en el cableado ), y el software de Arduino (IDE) , sobre la base de procesamiento .

Arduino ha sido el principal componente para gran cantidad de proyectos, a partir de objetos cotidianos a los instrumentos científicos complejos. Una comunidad mundial de los fabricantes, estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales, han reunido en torno a esta plataforma de código abierto, sus contribuciones han añadido hasta una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda para los principiantes como para expertos. (Textual de: Arduino. 2017)



**Figura 31.** Arduino MEGA  
Fuente: (Arduino. 2017)

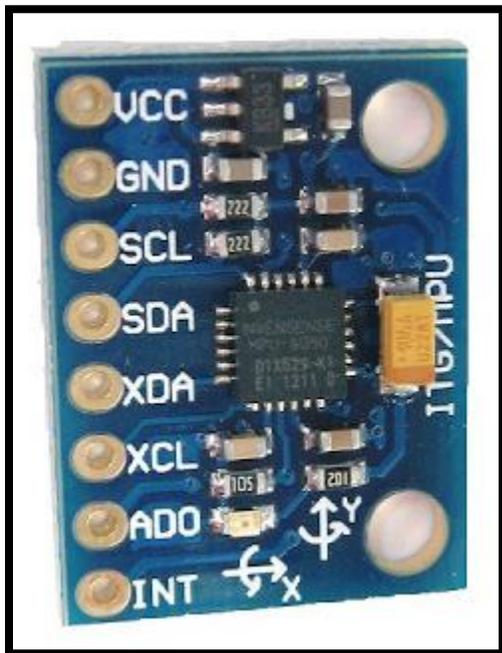
## GIROSCOPIO Y ACELERÓMETRO

Para poder medir y controlar los movimientos anteriormente mencionados, Yaw, Roll, Pitch, necesitaremos los elementos que a continuación se presenta:

**Acelerómetro 3 ejes:** Este sensor mide la aceleración estática (en el eje vertical, como la gravedad) y la aceleración dinámica (en el eje horizontal, en un plano XY).

**Giroscopio:** Este sensor mide los ángulos de ubicación del dron en el aire.

Normalmente, el giroscopio viene incorporado en la misma unidad que el acelerómetro de 3 ejes, de esta manera, el acelerómetro calcula la posición y el giroscopio el ángulo en el que se encuentra. (Ingenio Triana, 2015)

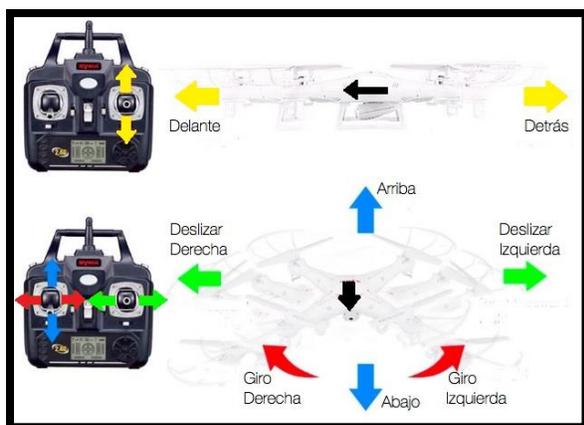


**Figura 32. GIROSCOPIO Y ACELERÓMETRO**  
Fuente: (Ingenio Triana. 2015)

## CONTROL REMOTO

Parte importante para el manejo de los drones es el control remoto, ya que este es quien va a controlar los movimientos que realizará el drone, estos radio controles tienen la característica de trabajar en una frecuencia libre de 2.4 Ghz, frecuencia a la que trabajan también los router o WIFI en nuestras casa. La distancia a la que se pueden operar los drones dependerá de la potencia de emisión del control, usualmente y comercialmente los controles están entre un estándar de 500 a 1000 metros de distancia de operación. Si se quiere un mayor rango de operación se deberá utilizar una frecuencia de banda UHF (ultra high frequency), frecuencia ultra alta, sin embargo esta no está disponible tan abiertamente al público ya que podría invadir algún espacio aéreo ya sea Aeropuertos, basas militares o cercanías al entes mayores del gobierno.

Los controles poseen canales de comunicación para ello se necesitaran por lo menos 5 canales, con ellos podremos maniobrar el drone, en la figura 33 se muestra una muestra general y básica de como vienen configurados los controles.



**Figura 33.** Giros en el control para un drone  
Fuente: (Dronesbaratos. 2016).



**Figura 34.** Tipos de controles, dependiendo su aplicación  
 Fuente: (Dronesbaratos. 2016).

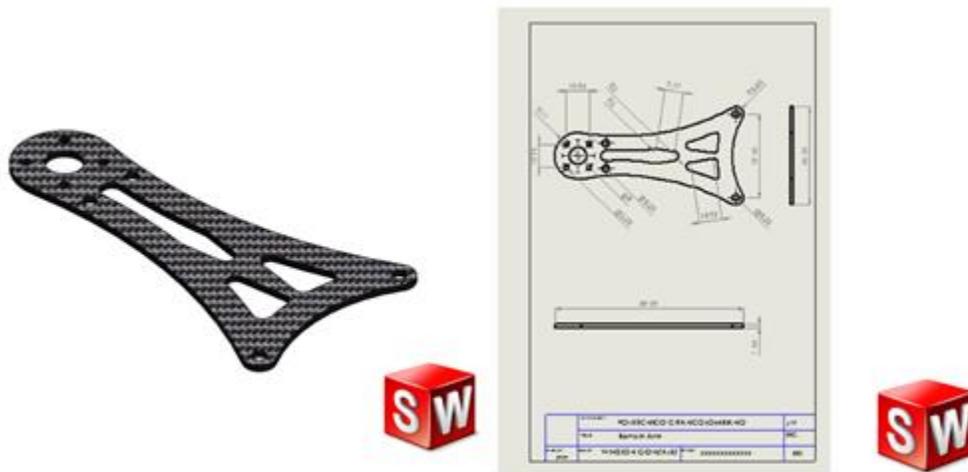
## DESARROLLO DEL CUADRICÓPTERO

En principio se hablaba de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de drones, en esta oportunidad se ha seleccionado el cuadricóptero, ya que nos da las ventajas de tener una buena aceleración, fácil manipulación de elementos y componentes, estructura sencilla, sus componentes son fácilmente encontrados comercialmente.

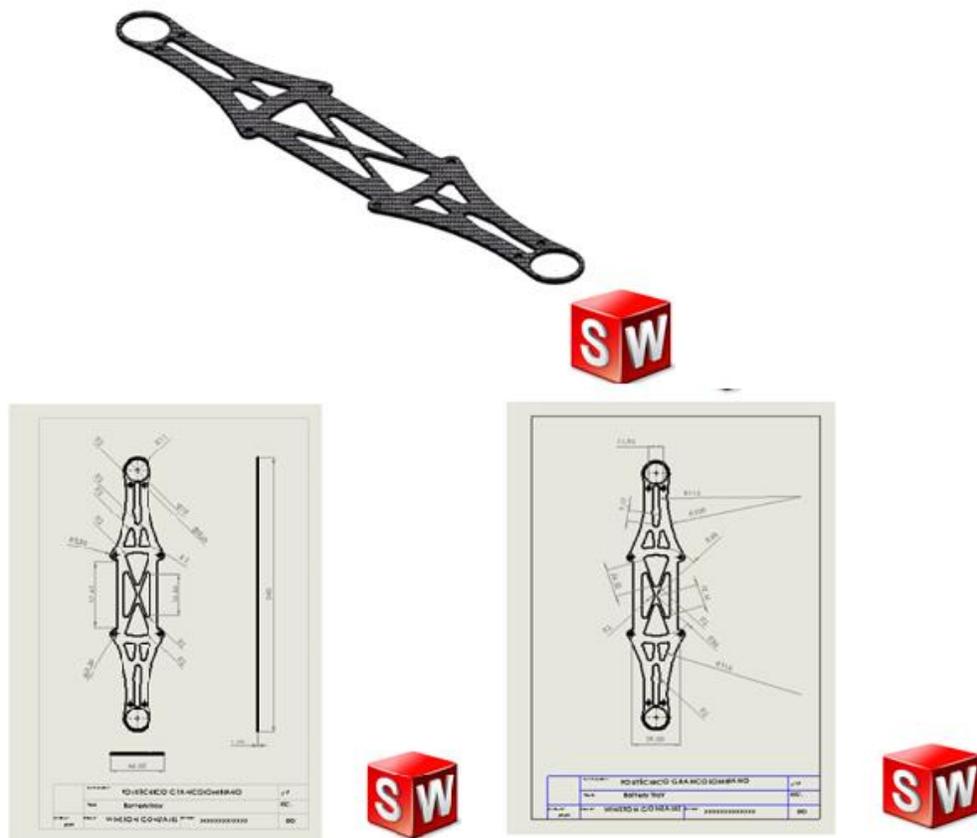
Para su fabricación se realizaron los siguientes pasos:

### Diseño

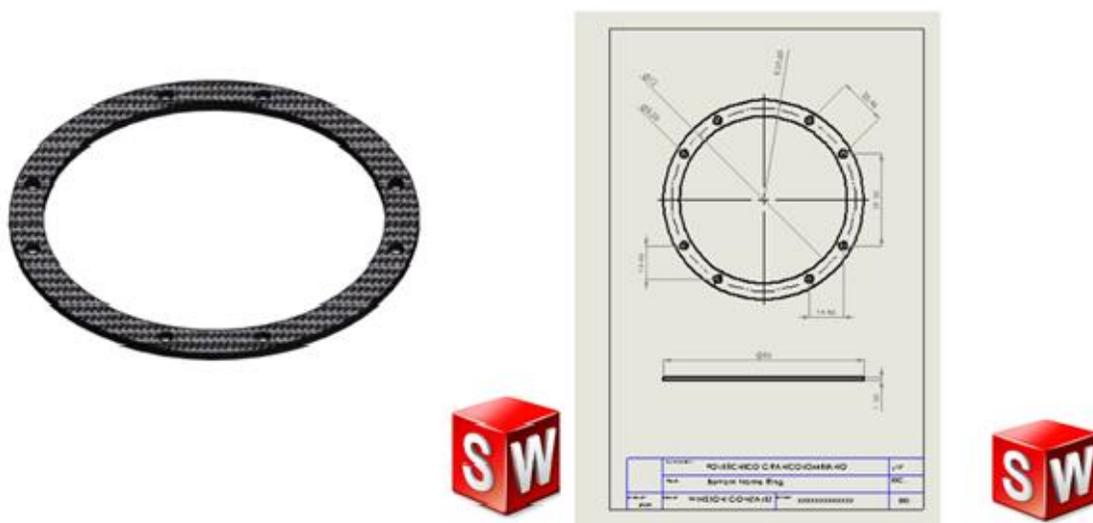
Para el diseño del cuadricóptero se utilizó el software SolidWorks, en este podemos ver las piezas en 3D, hacer los ajustes necesarios de diseño. A cada una de estas piezas se realizó su respectivo plano, y así poder contemplar mucho mejor sus dimensiones. Se seleccionó un cuadricóptero modular, ya que nos da la ventaja de que todas sus partes son intercambiables, adelantándonos a posibles golpes que pueda sufrir, estas partes serían fácilmente reemplazadas por unas nuevas. Siendo un prototipo modular también protegerá los componentes electrónicos que este contenga. A continuación se muestran las piezas:



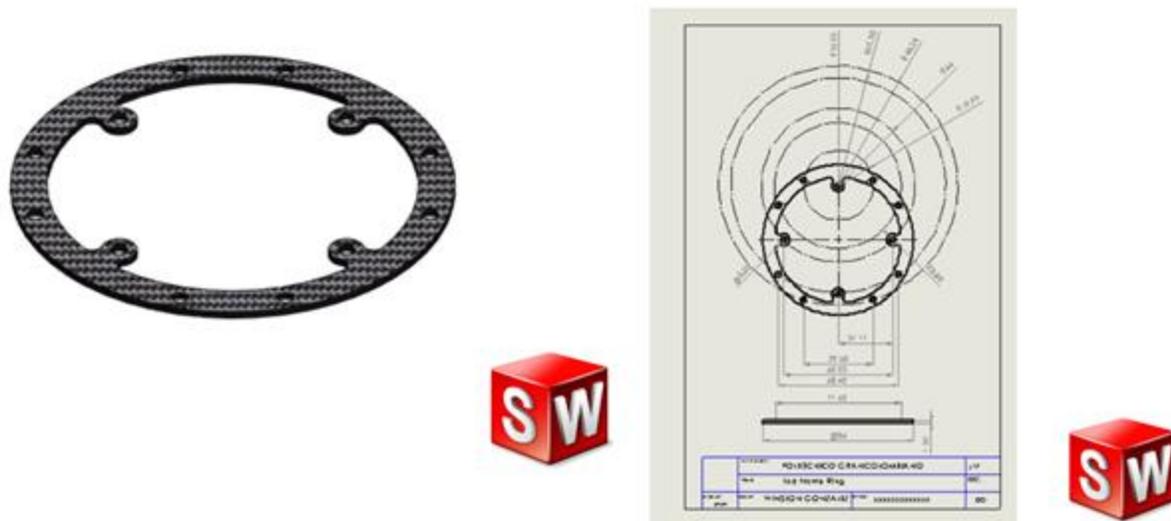
**Figura 35.** Brazo



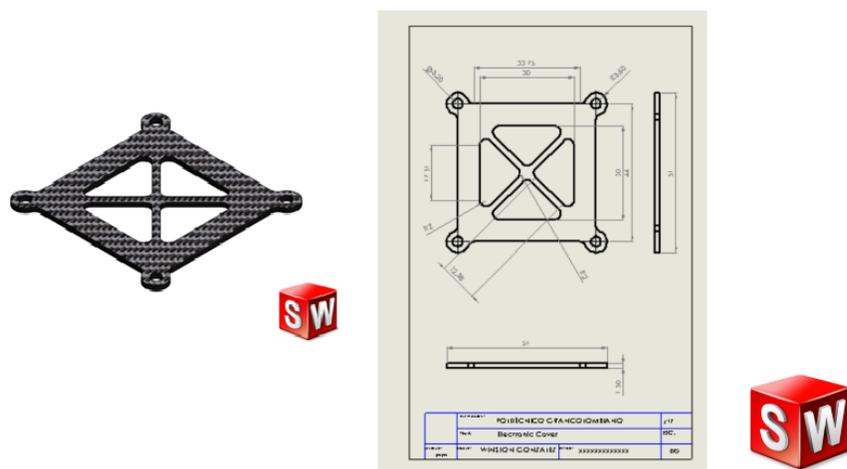
**Figura 36.** Brazo y soporte de componentes electrónicos



**Figura 37.** Anillo de marco inferior



**Figura 38.** Anillo de marco superior



**Figura 39.** Cubierta Electrónica



**Figura 40.** Espaciadores

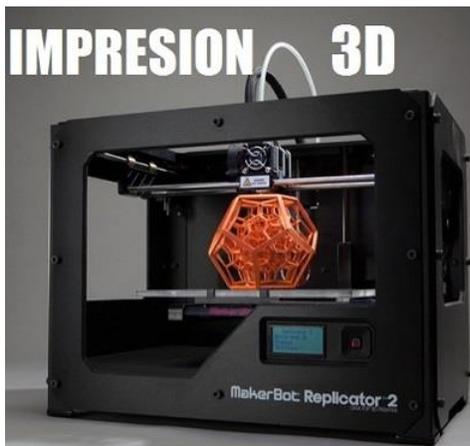
Se utilizaran espaciadores de 5, 10 y 15 mm respectivamente



**Figura 41.** Marco completo del cuadricóptero

### **Impresión 3D**

En este paso se escogió la impresión 3D, ya que nos da la facilidad de fabricar las piezas de manera sencilla y rápida, a continuación se muestra una de estas impresoras.



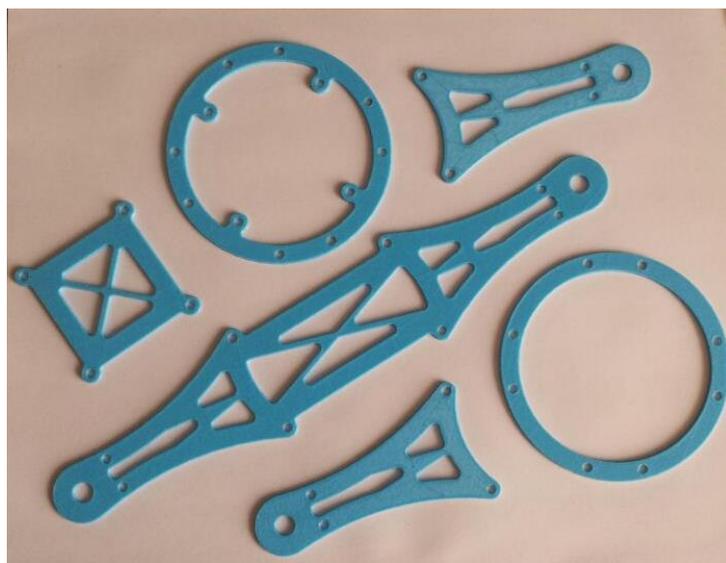
**Figura 42.** Impresora 3D  
Fuente: (Info. Centro 24. 2013)

En la siguiente figura se muestra previamente, la forma en que la maquina imprimirá, esto se hace con el ánimo de aprovechar de la mejor manera el espacio.



**Figura 43.** Simulación de la impresión  
Fuente: Suministrado por el proveedor.

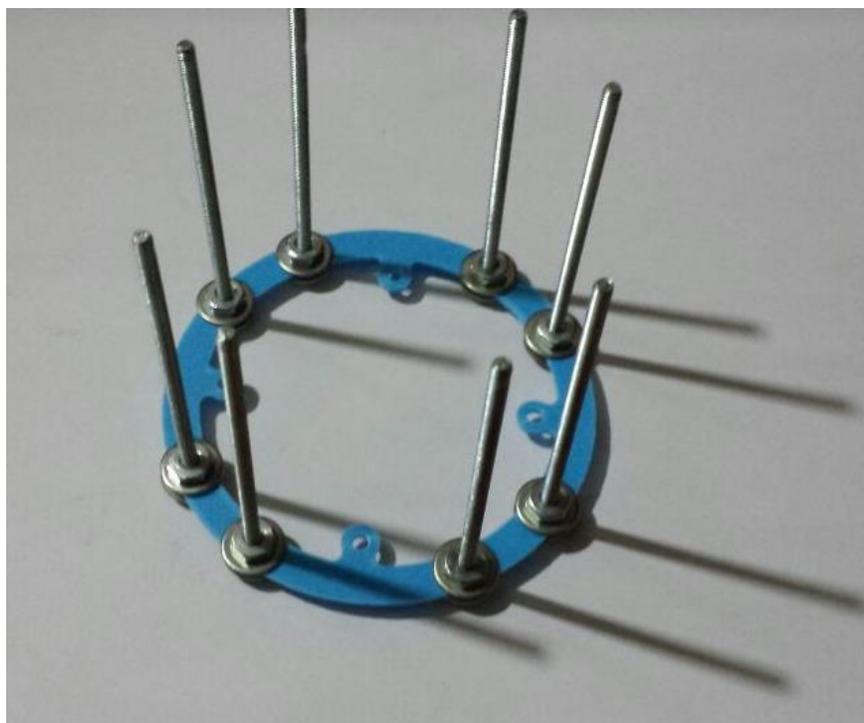
Se imprime en material plástico PLA (Ácido Poliláctico o poliácido láctico), es un plástico biodegradable derivado del almidón de Maíz, Yuca, o Caña de Azúcar, es similar al PET (Tereftalato de Polietileno), el cual se utiliza para elaborar envases plásticos.



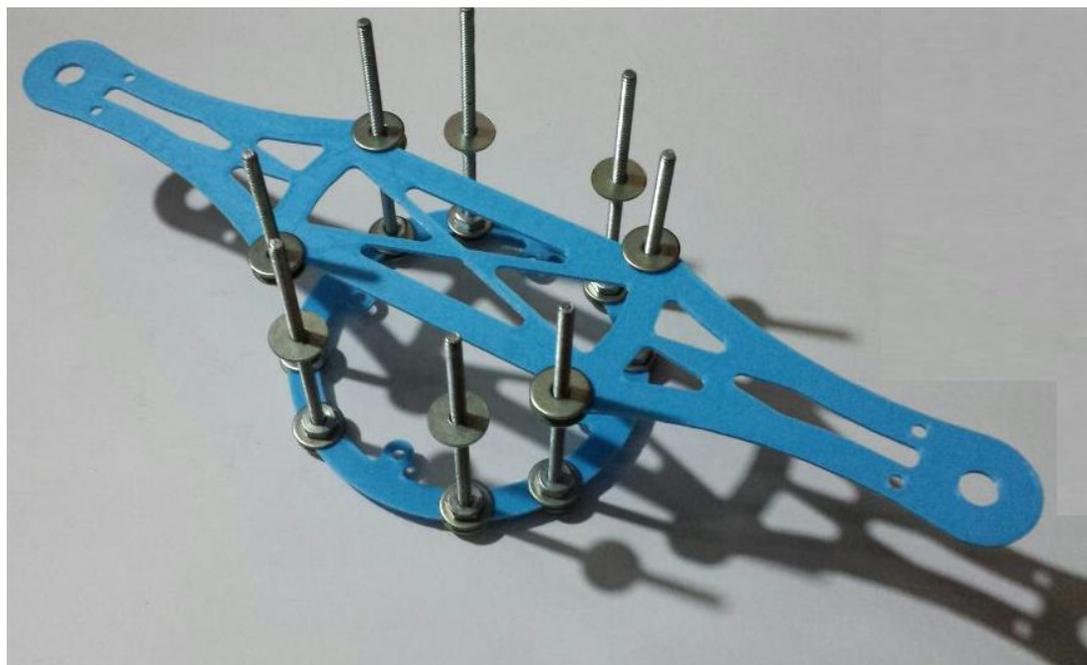
**Figura 44.** Piezas del Drone Impresas

## Construcción del marco

A continuación se muestran los pasos para la construcción del marco del drone



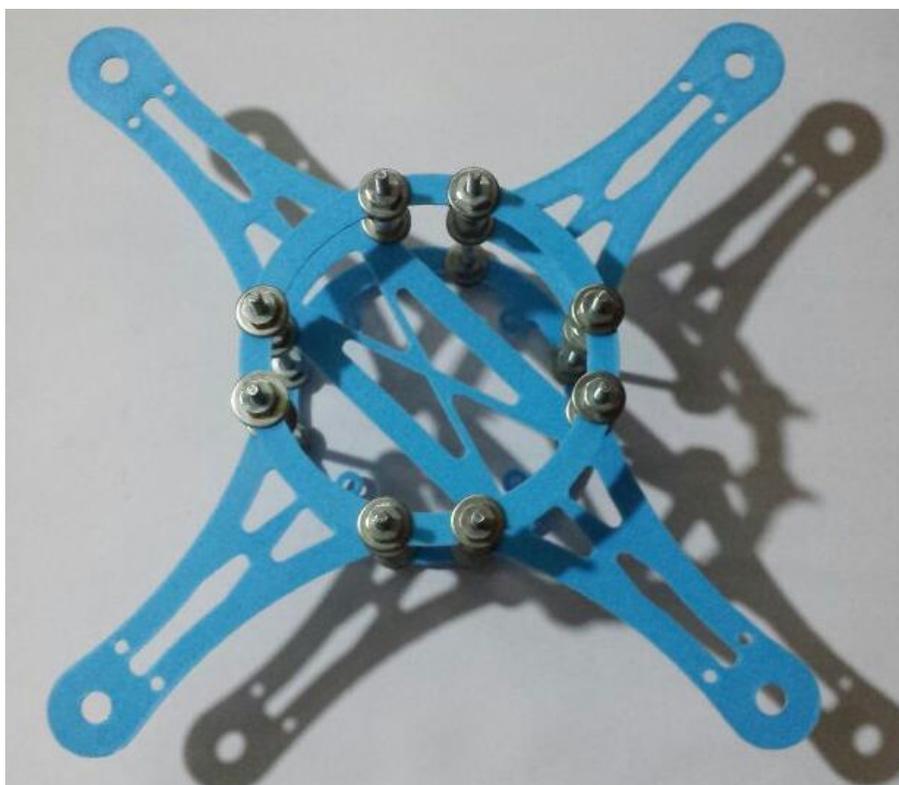
**Figura 45.** Instalación de tornillos en Anillo de Marco Superior



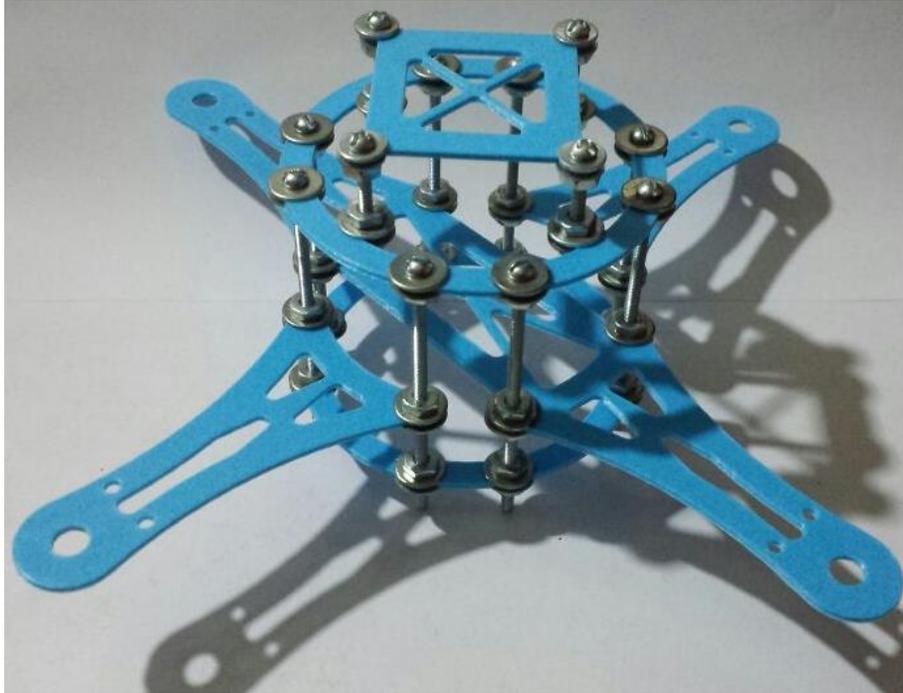
**Figura 46.** Instalación de brazo y soporte de componentes electrónicos



**Figura 47.** Instalación de brazos.

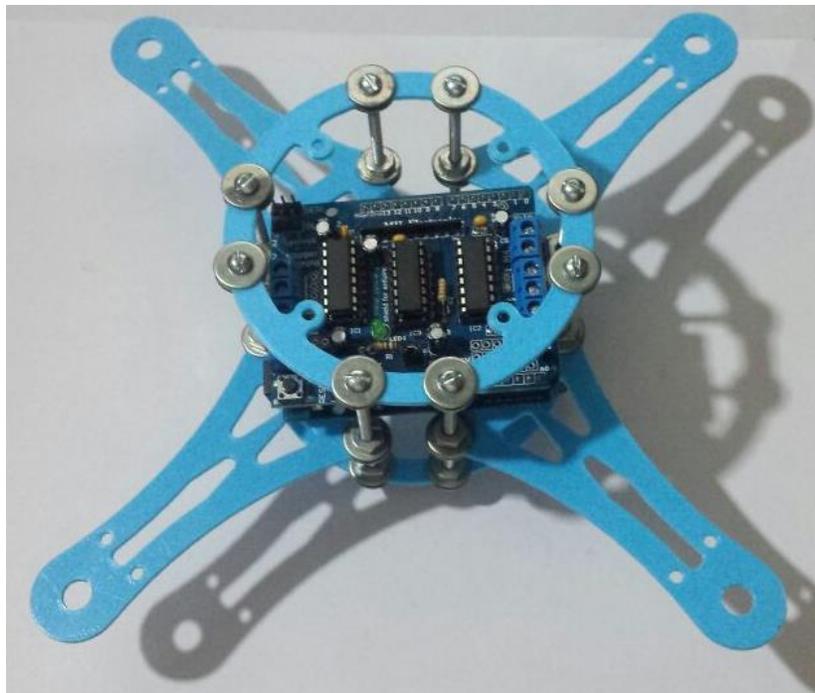


**Figura 48.** Instalación de Anillo de Marco Inferior

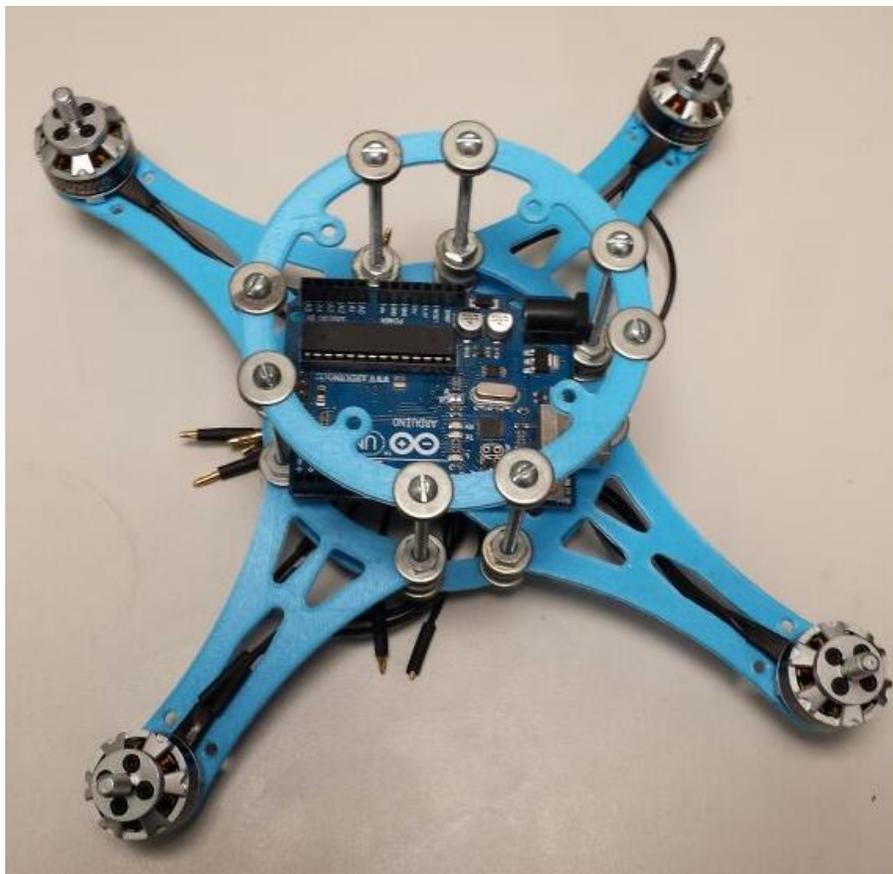


**Figura 49.** Instalación de Cubierta Electrónica

### Instalación de Componentes electrónicos



**Figura 50.** Instalación de tarjeta electrónica Arduino



**Figura 51. Instalación de Motores**



**Figura 52. Instalación de Hélices**



**Figura 53.** Instalación de batería LIPO 2200 mA H



**Figura 54.** Instalación de ESC, controlador electrónico de velocidad

## Conexión de componentes electrónicos

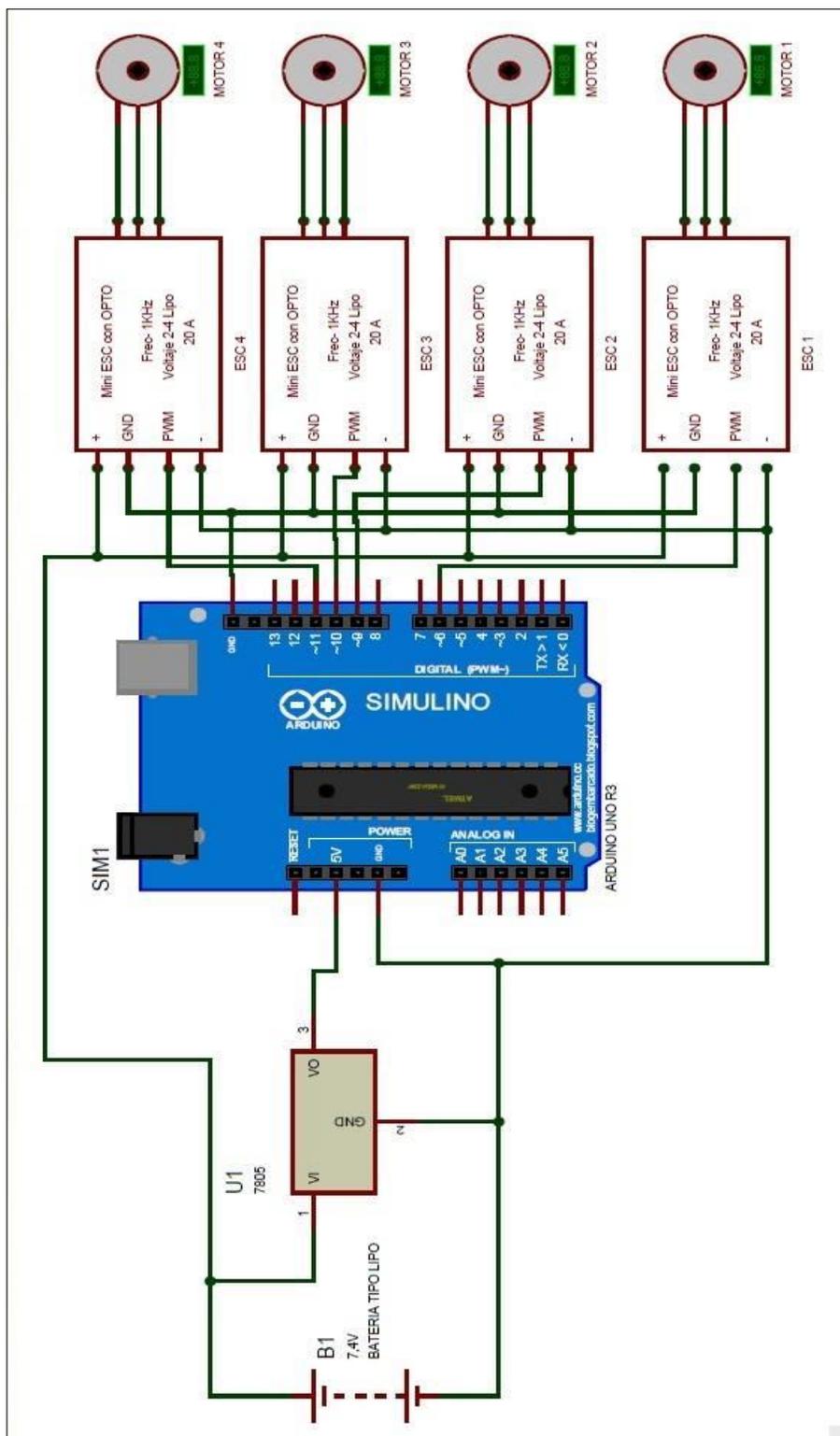


Figura 55. Plano electrónico de conexión

## CONCLUSIONES

Ya finalizado el trabajo, se analiza si el objetivo general y los objetivos específicos cumplieron con lo planteado, recordando que uno de los objetivos específicos era diseñar partes modulares, y que llegada la eventualidad de que alguna de sus partes sufriera daños, estas pudieran ser remplazadas fácilmente, considero que el objetivo se logró gracias al diseño propuesto y al método de fabricación de las mismas (impresión 3D), como se observa en el contenido del trabajo, estas son partes independientes que dan la ventaja de poder fabricar las cantidades de partes que uno desee, el otro objetivo era utilizar un material ligero y resistente para la fabricación, se utilizó el material PLA (Ácido Poliláctico o poliácido láctico), material biodegradable y de gran resistencia mecánica derivado de la sacarosa y glucosa de los alimentos.

Para futuros trabajos, el presente documento podrá dar un gran apoyo al desarrollo del mismo, ya que en este se da a conocer lo más relevante en la elaboración de un drone, y los posibles periféricos que se puedan agregar al drone como lo son, sistemas de audio, sistemas de video y sensores de todo tipo que ayuden a las tareas de la industria y la cotidianidad.

## REFERENCIAS

1. Arduino. (2017). Recuperado de:  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction?setlang=en>
2. Arduino. (2017). [Imagen].Recuperado de:  
<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
3. Benito Carrasco Juan Alberto, Garrido Salas Javier. (2015).Integración de un UAV (vehículo aéreo no tripulado) en la plataforma robótica ARGOS.UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR. Disponible en:  
<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20150407JuanAlbertoBenitoCarrasco.pdf>
4. Cuerno Cristina. (2015). Origen y desarrollo de los drones. Recuperado de:  
<http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>
5. Darack Ed. (2011). A Brief History of Unmanned Aircraft. Recuperado de:  
<http://www.airspacemag.com/photos/a-brief-history-of-unmanned-aircraft-174072843/?page=2>
6. Delgado Víctor. (2016). Historia de los drones. Recuperado de:  
<http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
7. Dronesbaratos, (16 de Octubre de 2016). Drones baratos.com. [Imagen].Recuperado de: <http://www.dronesbaratoscaseros.com/control-remoto-para-drones/758/>
8. García Álvarez, José Antonio E. (2016). Así Funciona. Recuperado de:  
[http://www.asifunciona.com/aviacion/af\\_avion/af\\_avion6.htm](http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion6.htm)
9. Hernández Barrón Lorena Anaid, Pedraza Ortega Jesús Carlos, Velázquez García Guillermina, Sotomayor Olmedo Artemio, y Delgado Rosas Manuel (2014, Enero).*Diseño y desarrollo de un vehículo volador de cuatro hélices no tripulado de bajo costo*. La Meca trónica en México, Vol. 3, No. 1, páginas 23 – 36. Disponible en: <http://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revistas/LMM-V03-N01-03.pdf>

10. HiModel. (07 de Enero de 2013). [Imagen].Recuperado de:  
[http://www.himodel.com/electric/Sunnysky\\_V\\_Series\\_4014\\_320KV\\_Outrunner\\_Brushless\\_Disk\\_Type\\_Motor.html](http://www.himodel.com/electric/Sunnysky_V_Series_4014_320KV_Outrunner_Brushless_Disk_Type_Motor.html)
11. Info Centro 24. (2013). Impresoras 3d modelos y excelentes precios. [Imagen].  
Recuperado de: <https://www.info-centro-24.com/clasificado/ecuador/informatica/45-90142.html>
12. Ingenio Triana, (2015). Todo lo que necesitas saber sobre drones. Ingenio Triana.  
Recuperado de: <http://ingenio-triana.blogspot.com.co/2015/12/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-drones.html>
13. Jordan Javier. (2015). Tertulia sobre drones militares. [Imagen].Recuperado de:  
<http://www.seguridadinternacional.es/?q=es/content/tertulia-sobre-drones-militares>
14. Martínez, David, Rubio Gómez, Manuel, Baraza, Carlos. (2014). Morotes Brushless. Quadruino.com, A free software and hardware Quadcopter. Recuperado de: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>
15. Mateus García, Lucas (2016).Drones, el cielo está al alcance de todos, Consorci d'Educació de Barcelona. Disponible en:  
[http://www.edubcn.cat/rcs\\_gene/treballs\\_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf](http://www.edubcn.cat/rcs_gene/treballs_recerca/2015-2016-03-1-TR.pdf)
16. Mejor Documental. (2015). Historia Documental AVIONES DE COMBATE DRONES AVIONES No TRIPULADOS [Video]. Recuperado de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=zp3PekZ4tqo>
17. Mikkelson, David. (16 de Marzo de 2015). Insect Spy Drone. Rumor: Photograph shows an insect spy drone that can take photographs and DNA samples. [Imagen].Recuperado de:  
<http://www.snopes.com/photos/technology/insectdrone.asp>
18. Moyano Díaz, Sergio (2015).Diseño y Construcción de un Quadcopter. Disponible en:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21902/102664.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
19. Mundo Drone (2016). Mundo Drone. [Blog] Recuperado de:  
<http://mundrone.blogspot.com.co/p/historia-de-los-drones.html>

20. Muñoz, Miguel Ángel (sin fecha). Principios aerodinámicos. [Imagen].  
Recuperado de: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV12.html>
21. Nadales Real, Christian (2009). Control de un Quadrotor mediante la plataforma Arduino. Escola Politècnica Superior de Castelldefeis. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8047/memoria.pdf?sequence=8>
22. Ruipérez Martín, Pablo; Conejero Rodilla, Andrés (2016) DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DRON. Universidad politècnica de valencia escuela tècnica superior de ingeniería del diseño. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%C3%89REZ%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20un%20dron%20mediante%20impresi%C3%B3n%203D.pdf?sequence=5>
23. Santana, Ernesto. (2016). Tipos de drones – Conoce todos los tipos de drones que existen | Clasificación de drones | Categorías de drones [Mensaje en un blog]. XDRONES Recuperado de: [http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/#Clasificacion\\_militar\\_de\\_la\\_OTAN\\_3](http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/#Clasificacion_militar_de_la_OTAN_3)
24. Stilicho, Flavius. (2017, 05 de abril). LA PRIMERA CIUDAD BOMBARDEADA DESDE EL AIRE [Mensaje 8]. Mensaje dirigido a: <http://www.elgrancapitan.org/foro/viewtopic.php?p=875635>
25. TecnonautaTV (2014). DRONES: Funcionamiento, tipos y usos (en Español). [Video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=i82wD4wIgho>
26. Zwright, Carlos. (17 de enero de 2014). Vuela un Drone tamaño bolsillo [Imagen]. Recuperado de: <http://www.revistaxy.com/tecnologia/gadgets-tecnologia/the-pocket-drone-tricoptero-que-cabe-en-una-mochila-y-puede-llevar-una-gopro/>

## **GLOSARIO**

UAV = Unmanned Aerial Vehicle; *vehículo* aéreo no tripulado

RCA= Radio controlled air target; Blanco aéreo radio controlado

SPA= special purpose airplane; Avión de Propósito especial

RPV= Remotely piloted vehicle; Vehículo remotamente pilotado

UMA= Unmanned Aircraft; Aeronaves no tripuladas

APV = AutomaticallyPiloted Vehicle; Vehículo pilotado automáticamente

UTA = Unmanned Tactical Aircraft; Aeronaves tácticas no tripuladas

UCAV = Unmanned Combat Air Vehicle; Vehículo aéreo de combate no tripulado

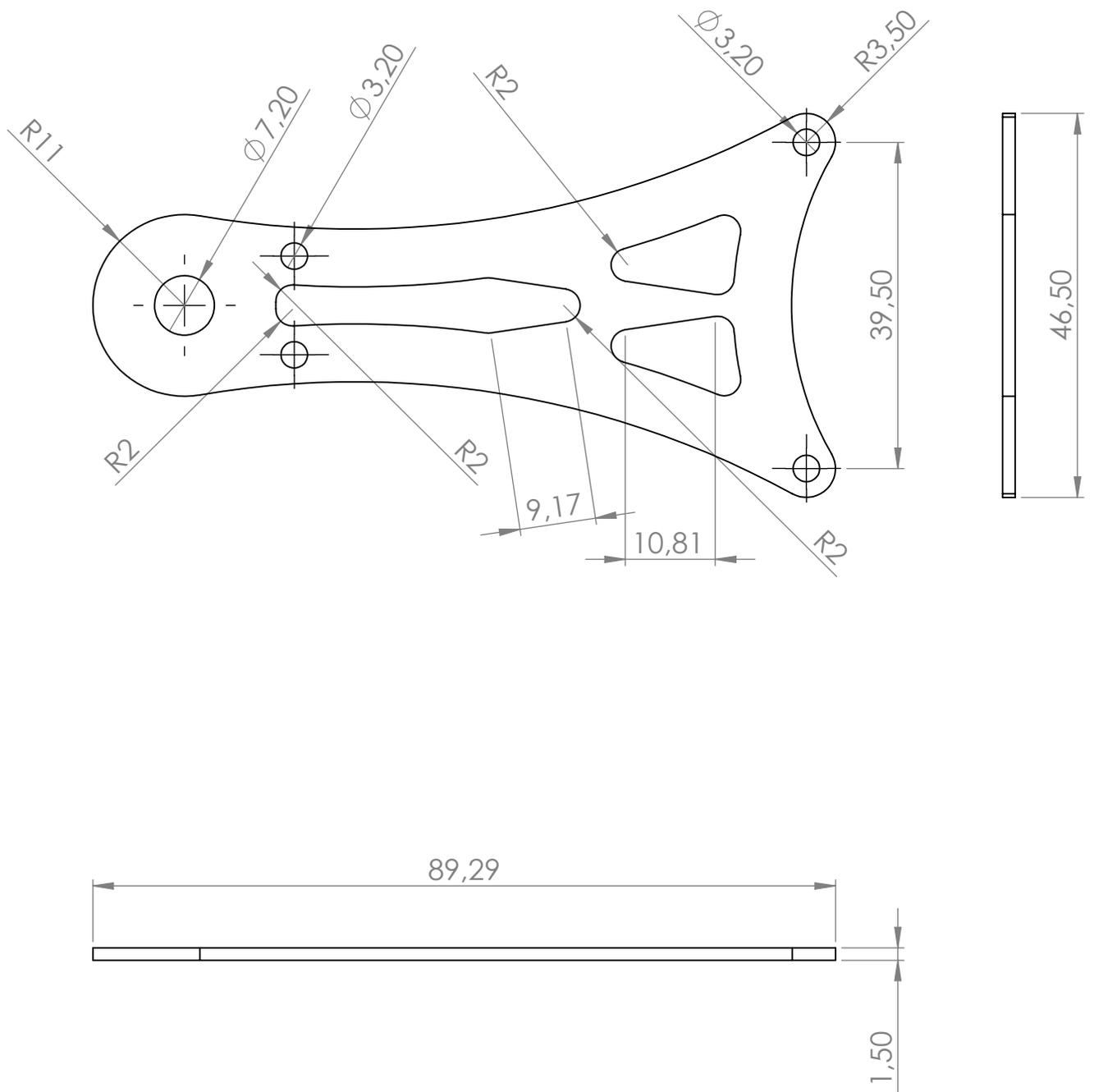
ROA =Remotely Operated Aircraft; Aeronaves de operación remota

RPA= Remotely-Piloted Aircraft; Aeronave pilotada remotamente

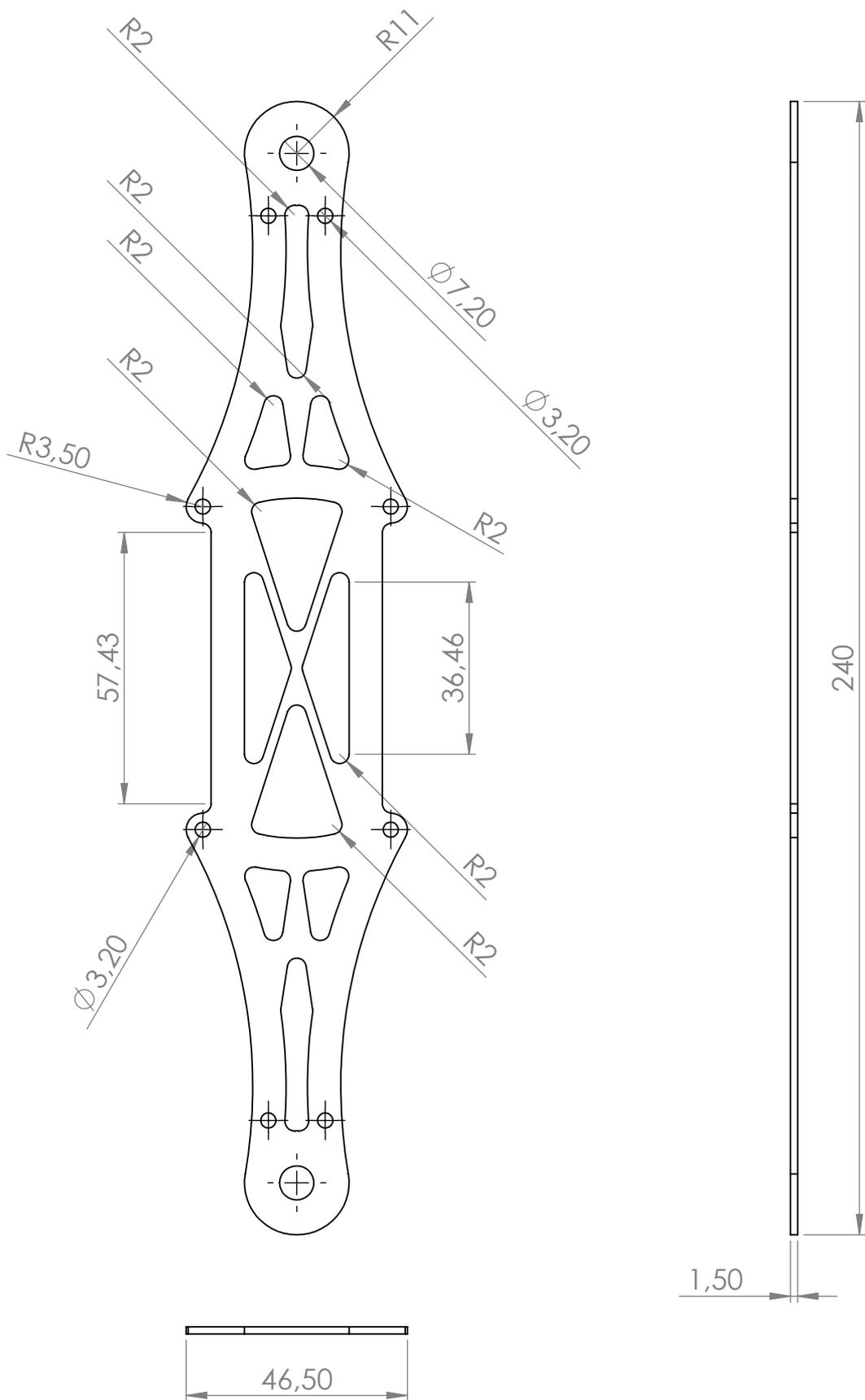
RPAS= Remotely-Piloted Aircraft System; Sistema de aeronave pilotada remotamente, este último, “en el año 2011 la organización de Aviación civil Internacional, organismo especializado de naciones unidas para la aviación civil al haber suscrito el Convenio de Chicago de 1944, publicó su Circular 328 en la cual por vez primera reconoce a las aeronaves no tripuladas como aeronaves”. (Cuerno, 2015)

ESC: Electronic Speed Controller; controlador electrónico de velocidad

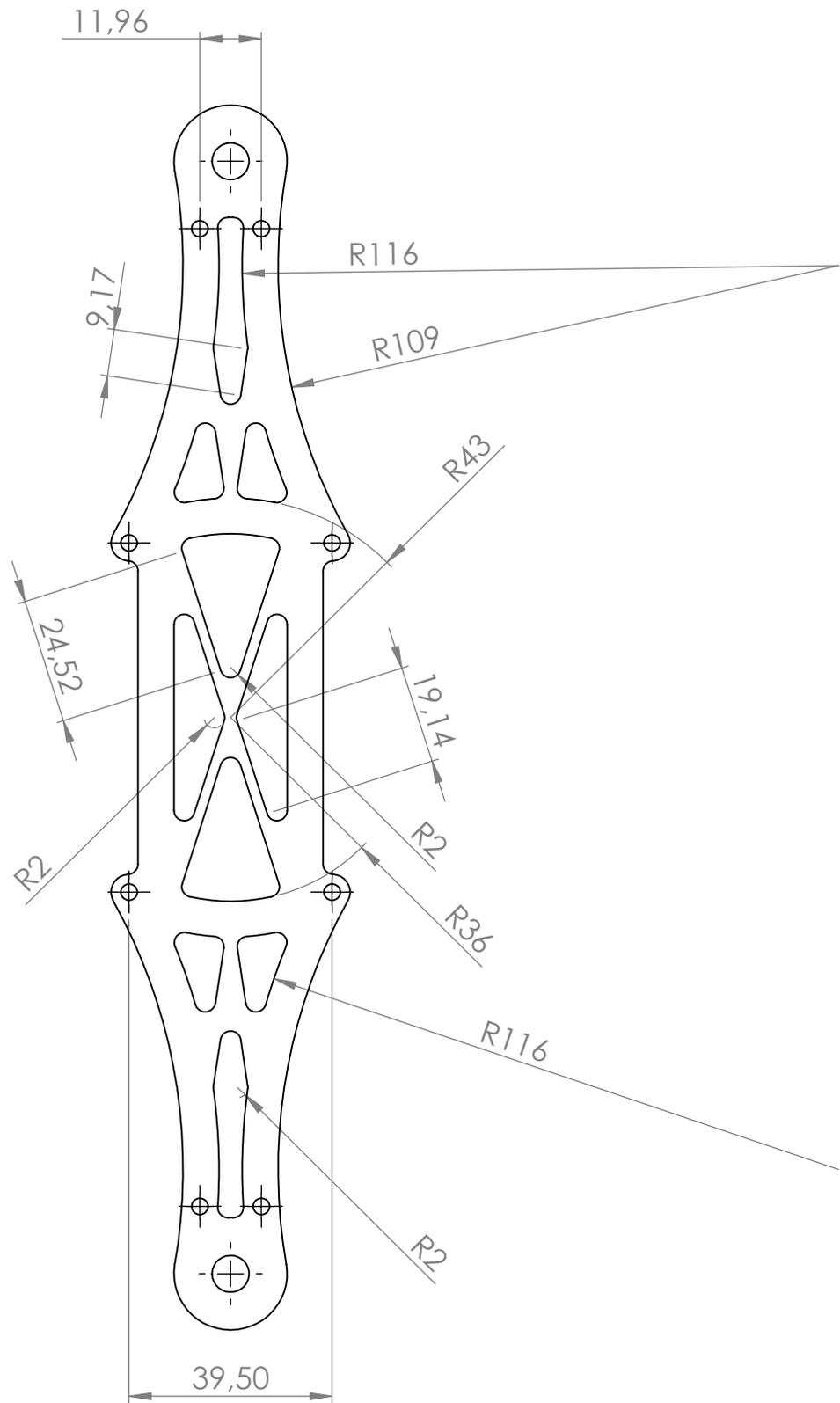
# Anexos



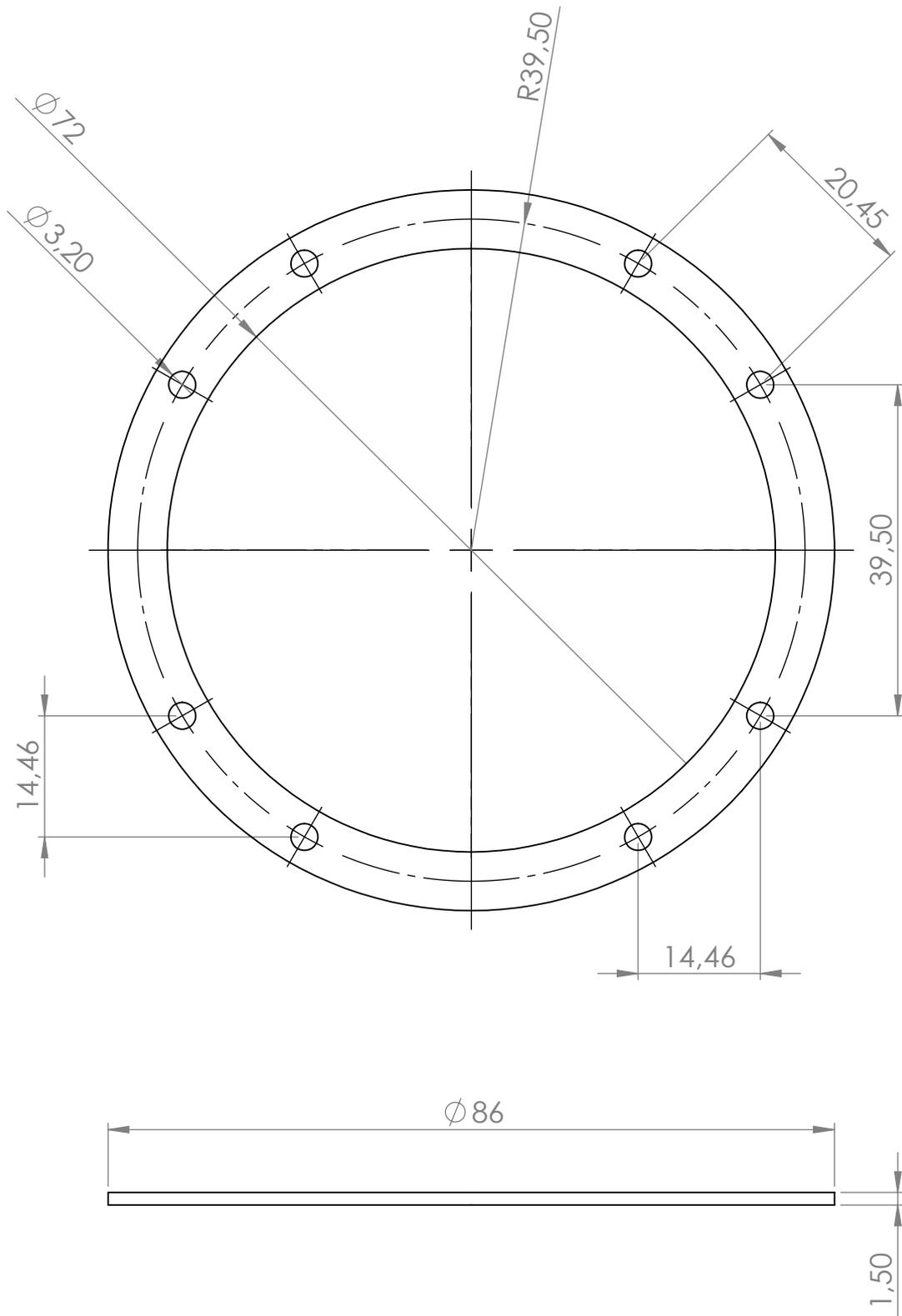
	INSTITUCIÓN:	POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO	/17
	TEMA:	Top Arm	ESC:
UNIDAD:	DIBUJO:	WINSTON GONZALEZ	REVISO: MAURICIO YAÑEZ
mm			ISO



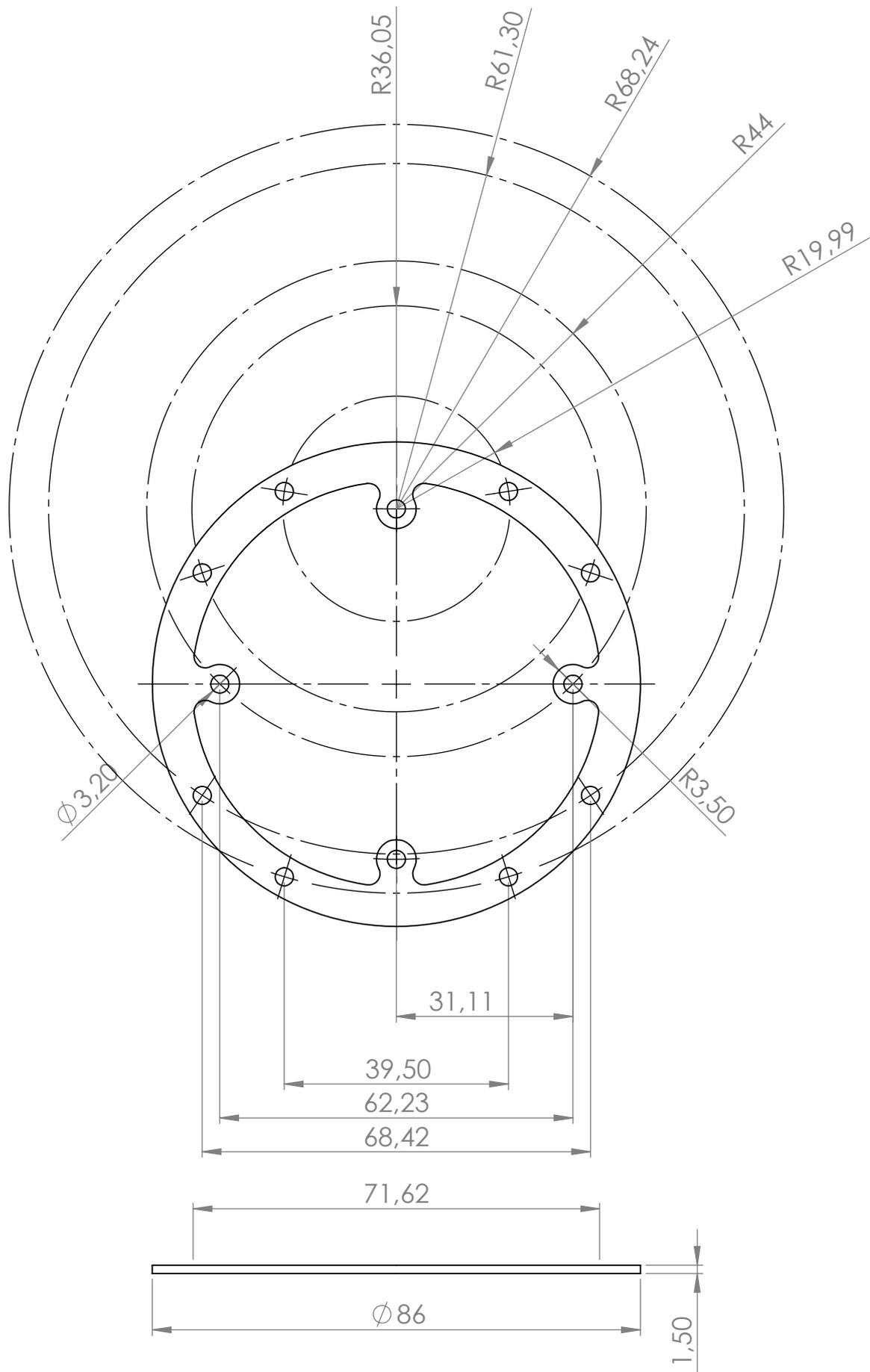
	INSTITUCIÓN:	POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO	/17
	TEMA:	Battery Tray	ESC:
UNIDAD: mm	DIBUJO:	WINSTON GONZALEZ	REVISO: MAURICIO YAÑEZ ISO



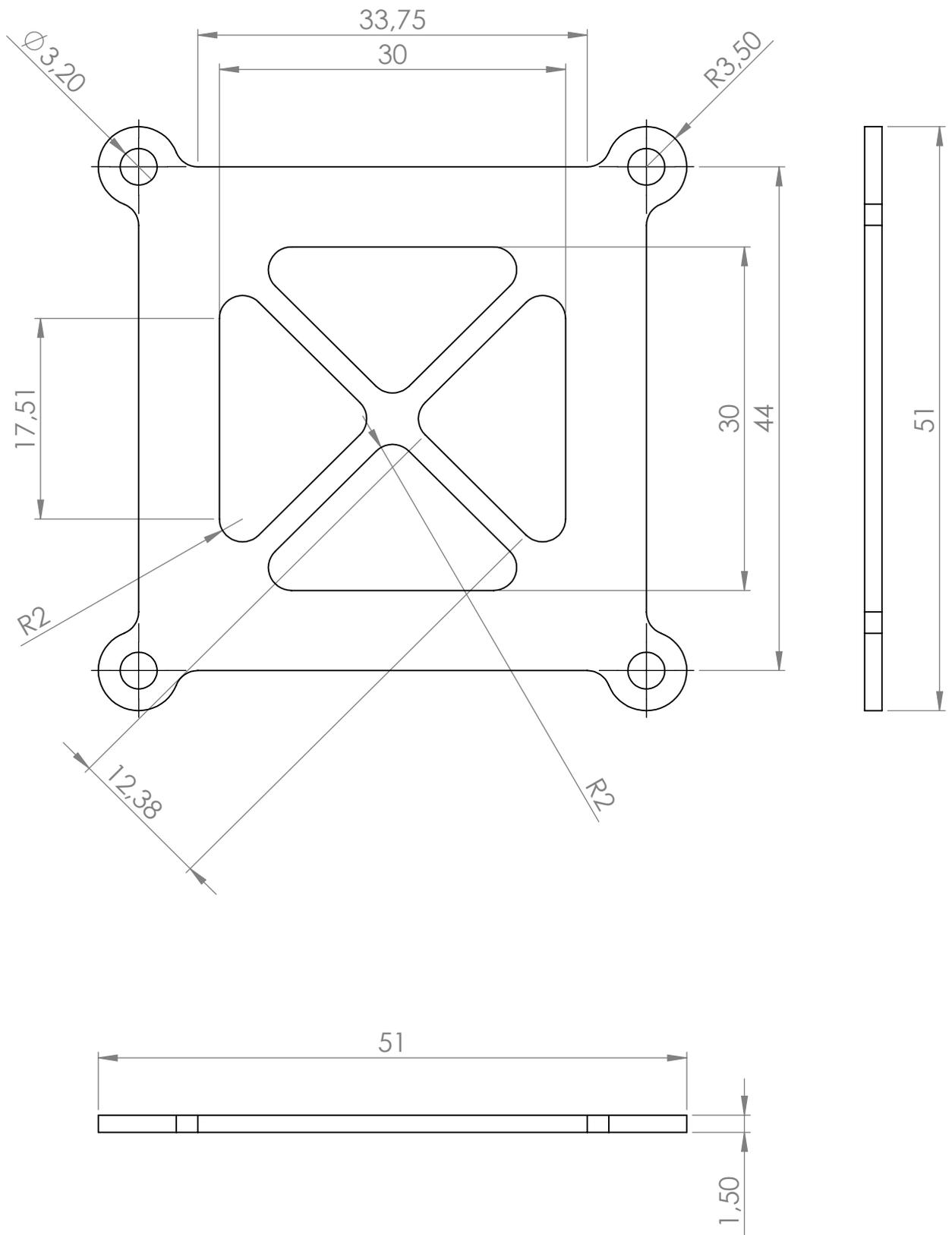
	INSTITUCIÓN:	POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO	/17
	TEMA:	Battery Tray	ESC:
UNIDAD:	DIBUJO:	REVISO:	
mm	WINSTON GONZALEZ	MAURICIO YAÑEZ	ISO



	INSTITUCIÓN:	POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO	/17
	TEMA:	Bottom Frame Ring	ESC:
UNIDAD:	DIBUJO:	REVISO:	
mm	WINSTON GONZALEZ	MAURICIO YAÑEZ	ISO



	INSTITUCIÓN:	POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO	/17
	TEMA:	Top Frame Ring	ESC:
UNIDAD:	DIBUJO:	WINSTON GONZALEZ	REVISO: MAURICIO YAÑEZ
mm			ISO



	INSTITUCIÓN:	POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO	/17
	TEMA:	Electronic Cover	ESC:
UNIDAD:	DIBUJO:	WINSTON GONZALEZ	REVISO: MAURICIO YAÑEZ
mm			ISO