



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

## PROYECTO FIN DE GRADO

**TÍTULO:** Diseño y Desarrollo de un Micro Vehículo Autónomo Volador de Tipo Cuadrícóptero con Licencia *Open Source*

**AUTOR:** Henry David Orozco Suárez

**TITULACIÓN:** Electrónica de Comunicaciones

**TUTOR**

José Luis Gordillo Moscoso (jlgordillo@itesm.mx)

**UNIVERSIDAD:** Instituto Tecnológico de Monterrey

**CENTRO:** Campus de Monterrey

**PAÍS:** México

**Fecha de lectura:** 23 de abril de 2018

**Calificación:**

El Coordinador de Movilidad,



## Resumen

En el Instituto Tecnológico de Monterrey desde el Centro de Robótica y Sistemas Inteligentes ha desarrollado un micro vehículo aéreo (MAV) que se presentará al mundo bajo una licencia *open source* con el fin de que cualquier persona que lo desee pueda replicarlo o mejorarlo sin ningún tipo de restricción.

Al tratarse de un MAV, éste ha de cumplir una serie de especificaciones de tamaño, peso y velocidad. Estas características han sido establecidas por *Defense Advanced Research Projects Agency* o más conocida por sus siglas como DARPA en su publicación *A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends*:

- Dimensión inferior 150mm.
- Peso inferior a 100gr.
- Máxima velocidad igual o menor a 15m/s.

Dentro de los distintos tipos de drones existentes, se ha optado por un micro-dron cuadricóptero dada su versatilidad en actividades donde drones de tamaño estándar no podrían trabajar debido a sus dimensiones. Resultan especialmente útiles en situaciones como la búsqueda de personas en accidentes, en el estudio de la orografía de una región, en el pronóstico del tiempo, en la evaluación de la contaminación ambiental y, especialmente, en guerras, para poder realizar el reconocimiento de una zona peligrosa. Su tamaño y maniobrabilidad son ideales para este tipo de tareas.

Otras características muy importantes son su precio más reducido en comparación con otros tipos de drones y su fácil mantenimiento.

Respecto al desarrollo de los distintos prototipos del dron han surgido diversos problemas, tanto software como hardware. En el presente documento se centrará en los problemas y soluciones a estos últimos. Por una parte, la puesta a punto de la circuitería para conseguir un vuelo satisfactorio y el diseño de un driver para la conexión de una cámara (*5M Pixel CSI Camera for pcDuino3*) y, por otra parte, un rediseño del modelo 3D de las patas del dispositivo para evitar la destrucción de los cables de los motores.

Dado que es un dispositivo con licencia *open source* implica que muy probablemente sufrirá modificaciones con las que se le añadirá nuevos elementos eléctricos para aumentar su funcionalidad. Esto implicará un aumento en el consumo de corriente. Para facilitar estas posibles modificaciones se buscará un sobredimensionamiento de esta magnitud para aumentar la potencia total extraíble.

## Abstract

In the Robotics and Intelligent Systems Center of the Tecnológico of Monterrey has developed a micro air vehicle (MAV) that it will be presented to the world under an open source license in order that anyone who wishes to replicate it or improve it without any kind of restriction.

Being a MAV has to comply with a series of specifications of size, weight and speed. These characteristics have been established by *Defense Advanced Research Projects Agency* or better known by its acronym DARPA in its publication *A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends*:

- Dimensions less than 150mm.
- Weight less than 100gr.
- Maximum speed equal to or less than 15m/s.

Within the different types of existing drones, a quadcopter microdrone has been chosen due to its versatility in activities where standard size drones could not work. They are especially useful in situations such as the search for people in accidents, in the study of the orography of a region, in the weather forecast, in the evaluation of environmental pollution and, especially, in wars, in order to be able to recognize a danger zone. Their size and maneuverability are ideal for this type of task.

Other very important features are its lower price compared to other types of drones and its easy maintenance.

Regarding the development of the different prototypes of the drone several problems have arisen. Some in the software and other in the hardware. This document will focus on the problems and solutions to the latter. On the one hand, the tuning of the circuitry to achieve a satisfactory flight and the design of a driver for the connection of a camera (5M Pixel CSI Camera for pcDuino3) and, on the other hand, a redesign of the 3D model of the legs of the device to avoid the destruction of the motor cables.

As it is a device with open source license implies that it will most likely suffer modifications with which new electrical elements will be added to increase in current consumption. To facilitate these possible modifications, an oversize of this magnitude will be sought to increase the total extractable power.

# Índice

Lista de acrónimos .....	5
Introducción .....	7
Antecedentes .....	8
Especificaciones y restricciones del diseño .....	9
Descripción de la solución propuesta .....	9
1. Obtención de esquema de bloques y análisis de corrientes .....	10
2. Regulador de tensión .....	11
2.1. Convertidor <i>Boost</i> .....	11
3. Destrucción de la pista de masa .....	15
3.1. Caracterización motores con respecto a la hélice .....	16
3.1.1. Sin hélice .....	17
3.1.2. Con hélice de 55mm .....	17
3.1.3. Con hélice de 66mm .....	18
3.2. Análisis del circuito de control y simulaciones con OrCAD .....	18
3.2.1. Señal de la tensión en el motor.....	19
3.2.2. El valor de la tensión media en el motor: .....	20
3.2.3. Señal de la corriente por el motor.....	20
3.2.4. Valor medio de la corriente por el motor.....	21
3.2.5. Señal de la corriente por la batería.....	21
3.2.6. Valor medio de la corriente en el batería.....	22
3.3. Redimensionado de la pista de masa .....	22
4. Nuevo modelo electrónico e inclusión de la cámara .....	24
4.1. Nuevo convertidor .....	24
4.2. Cámara.....	25
4.2.1. Esquema eléctrico de la cámara .....	26
5. Modelo 3D .....	28
Resultados.....	30
1. Comprobación de regulado de voltaje de 3,3V .....	30
2. Pista de masa .....	31
3. Autonomía y peso .....	32
4. Pruebas de vuelo .....	33
5. Cámara y modelo 3D.....	33
Presupuesto .....	33

Conclusiones .....	36
Referencias.....	39
Bibliografía .....	40
Anexo.....	41

## Lista de acrónimos

DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i> (Unidad de medición inercial)
MAV	<i>Micro Air Vehicle</i> (Micro Vehículo Aéreo)
iee	Ingeniería Eléctrica Electrónica
ESR	<i>Equivalent Series Resistance</i> (Resistencia Serie Equivalente)
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i> (Modulación por Ancho de Pulso)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de Circuito Impreso)



## Introducción

En los últimos años los drones han ido cobrando más importancia en diversas áreas. En su origen se idearon puramente con objetivos militares y, ahora, podemos verlos en casi cualquier sitio.

Estas naves no tripuladas se podrán usar en diversas áreas como la videovigilancia, el mapeo de la orografía o para reconocimiento en zonas de conflicto, entre otras.

En el presente documento se verá el desarrollo de un micro-dron que se piensa mostrar al mundo bajo una licencia *open source*.

Estos proyectos serán de enorme interés, ya que, por una parte, fomentará el trabajo colaborativo que desembocará en notables mejoras del prototipo y, por otra parte, se logrará una reducción en el coste de los drones al evitar el sobre coste causado por la exclusividad de las patentes.

El objetivo final es ser uno de los primeros o el primer cuadricóptero del tipo micro-dron con licencia abierta.

Los problemas que se abordarán están relacionados con la electrónica, los cuales, han impedido su puesta en funcionamiento y, por tanto, ha impedido el testeo de los algoritmos que se han ido ideando. Conseguiremos un sistema plenamente funcional y sobredimensionado respecto a la corriente máxima para que las modificaciones que se le puedan aplicar no causen ningún tipo de inconveniente, respetando las características que definen a este tipo de drones.

Respecto a la organización del documento:

En la primera sección (antecedentes) se hablará de la historia de los drones, así como su conexión con el proyecto, profundizando levemente en los tipos de alimentación existentes y en el sistema de alimentación elegido. Por otra parte, se hará una mención al modelado 3D que de forma indirecta se ha convertido en un punto clave del apogeo de los drones, facilitando y abaratando en gran medida su desarrollo.

Todo lo concerniente al tema de las limitaciones y especificaciones quedará recogido en el apartado de especificaciones y restricciones del diseño.

En la siguiente sección (descripción de la solución propuesta) se presentarán las soluciones a los distintos problemas que se han planteado. Se comenzará con una breve descripción global de los hechos para después ahondar en cada uno de los casos.

En la sección de resultados se mostrarán los experimentos o pruebas que se hicieron para demostrar que las soluciones propuestas fueron acertadas.

Adicionalmente, este trabajo contará con una sección para el presupuesto. Se dividirá el presupuesto en dos casos: una para la versión que se logró acabar y otra para la futura versión que integrará la totalidad de la electrónica.

Finalmente se concluirá con una vista general del trabajo que se ha llevado a cabo y mencionando futuras rutas de estudio o mejora.

Se añadirá las referencias, la bibliografía y un anexo con información que complementará esta memoria.

## Antecedentes

Los robots con el paso del tiempo terminarán convirtiéndose en una herramienta indispensable en nuestras vidas cotidianas. Dentro de las distintas áreas de la robótica, la que más repercusión mediática ha tenido es aquella centrada en el desarrollo de drones. Si bien los drones iniciaron su desarrollo durante la Primera Guerra Mundial [1] -se basaba en el uso de palomas que llevaban en su pecho una cámara- no fue hasta la Segunda cuando se desarrollaron modelos más parecidos a los actuales [2].

Desde la Segunda Guerra Mundial hasta aproximadamente 2002 se ha perdido la pista de sus avances. Y fue precisamente en 2002 cuando la CIA hizo uso de un dron con propósitos militares [3]. Desde ese año hasta nuestros días los MAV han ido evolucionando y mejorando hasta llegar a nuestros hogares como elementos de diversión. Este boom en el uso de drones ha provocado que se establezcan una serie de normas para su uso [4].

En el mercado actual hay una gran variedad de drones y hace unos años se iniciaron proyectos de drones con licencia *open source* [5]. Este tipo de licencia hace posible que cualquier persona con los recursos necesarios pueda replicar o mejorar los esquemáticos básicos del prototipo, tanto el software como el hardware. Nuestro dron responde a este tipo de licencia y su novedad reside en ser uno de los primeros -o el primero ya que no se ha encontrado ningún modelo- en el género de micro-dron cuadricóptero.

El tema principal de este proyecto es el rediseño del sistema de alimentación, así que, se hará una breve referencia a las alimentaciones existentes. Existen dos grandes grupos: los sistemas lineales y los sistemas conmutadas. En nuestro caso, debido cuestiones de tamaño, peso, potencia y rendimiento es necesario el uso de estos últimos. Dentro de esta rama de fuentes conmutadas existen distintos tipos [6], sin embargo, aquí se hará una breve referencia a los convertidores *Boost* ya que son los de nuestro interés para el nuevo prototipo.

“Un convertidor *Boost* (o elevador) es un convertidor DC a DC que obtiene a su salida una tensión continua mayor que a su entrada” [7]. Este tipo de alimentación fue posible con la aparición de los dispositivos semiconductores, con los cuales, se obtiene una alta eficiencia. En el caso de un convertidor elevador un valor típico de eficiencia es del 75%. Los convertidores están presentes en la práctica totalidad de los dispositivos de los que hacemos uso y son los que han permitido su miniaturización. Estos dispositivos trabajan a altas frecuencias, del orden de 20kHz a 100kHz, a diferencia de los sistemas lineales que trabajan entre 50Hz a 60Hz.

Aparte del trabajo requerido en la electrónica también se hará una modificación del modelo de las patas del dron. El modelado e impresión 3D han facilitado esta tarea, permitiendo obtener piezas completamente funcionales y de gran complejidad. La primera impresora 3D comercializada apareció en 1992 [8] y partir de ese momento se ha ido perfeccionando y ampliando sus usos, convirtiéndose, en un elemento fundamental para la robótica.

## Especificaciones y restricciones del diseño

Los prototipos desarrollados presentaban dos grandes problemas, ambos, relacionados con el sistema de alimentación que impiden la realización de un vuelo satisfactorio.

Estos son:

- La rotura de la pista de masa al poner el dron a máxima velocidad.
- Destrucción de componentes relacionados con el regulador de tensión y con los transistores de potencia de control de los motores.
- Otro problema de menor importancia fue la rotura de los cables de los motores debido al diseño 3D de las patas (su solución quedó aparcada hasta el final del proyecto).

Las modificaciones que se realicen en la circuitería quedan limitadas a las características que describen a un micro-dron, respecto al peso y dimensiones (la característica correspondiente al límite de velocidad sólo podrá comprobarse y limitarse en un modelo final) y a la obtención de un sobredimensionamiento de la corriente máxima que va a poder entregar el sistema de alimentación con el objetivo de estar preparado a posibles modificaciones futuras (tanto de parte del propio grupo que lo desarrolla como por las personas que deseen reproducirlo cuando se haya publicado).

Por otra parte, se busca una autonomía de aproximadamente 8 minutos. La autonomía estará directamente ligada a la nueva electrónica y el peso del propio dron, así que será de vital importancia no sobrepasar el peso establecido y no incluir electrónica que no sea estrictamente necesaria.

Por último y respecto a la legislación mexicana cabe mencionar que para drones con un peso inferior a 2 kilogramos (nuestro caso) no se necesita ningún tipo de licencia. Toda la información al respecto viene reflejada en la normativa “Regula la SCT el uso de Aeronaves No Tripuladas (Drones)” [9].

## Descripción de la solución propuesta

Como ya se ha mencionado había dos grandes fallos plenamente notables. El primero era la rotura de la pista de masa y la segunda la destrucción, en prototipos previos, de componentes relacionados con el regulador de tensión y los transistores de potencia de control de los motores (el segundo problema parecía estar solventado en el último prototipo, pero se realizó un análisis de la circuitería para asegurar su funcionamiento). Estos hechos no parecían estar directamente relacionados, así que, su estudio se realizó por separado.

El primero de los inconvenientes parecía responder a un exceso de corriente, de modo que, se requirió la comprobación de la corriente máxima que podía pasar a través de la pista de masa y el cálculo del ancho de las pistas para asegurar su funcionamiento. No se

disponía de información relativa al consumo de los motores, así que, fue necesario su caracterización.

El segundo error parecía responder a una conexión errónea de los integrados en prototipos previos, pero al funcionar en el último modelo no se le prestó tanta importancia, no obstante, se comprobó su funcionamiento. En el proceso de comprobación se desveló un problema de conexión entre la batería y el regulador de tensión relacionado con los niveles de tensión usados. Su solución pasó por la adición de un convertidor DC/DC *Boost* entre estos dos componentes. En el desglose de los problemas se explicará con más detalle lo sucedido (relacionado con este cambio surgió la necesidad de buscar un redimensionamiento de la corriente para posibles cambios o inclusión de nuevos elementos electrónicos).

No se disponía de ningún esquemático de las conexiones que se habían hecho, así que, se extrajo dicha información del prototipo del dron a base de observación y de la documentación dada por los fabricantes de los componentes.

Por otra parte, se notó una constante rotura de los cables de los motores dentro del modelo 3D de las patas que se usaba. Al poner el motor en funcionamiento se provocaba una vibración que hacía que los cables fueran aprisionados poco a poco por una pieza del propio modelo 3D, hasta llegar a romperlos. Manteniendo el esquema principal del diseño 3D se buscó una modificación que impidiera el movimiento del motor dentro de su cápsula. Para lograrlo se aprovechó de unas muescas que el propio motor disponía.

Por último, se planteó la circuitería que será necesaria para la adición de la cámara y el cómo se acopla a la electrónica ya implementada.

En los siguientes apartados se explicará los distintos pasos que se llevaron a cabo para localizar los errores y las soluciones que se plantearon. Se intentará entregar los resultados en el orden cronológico de su realización para facilitar su comprensión:

### 1. Obtención de esquema de bloques y análisis de corrientes

De años pasados no se había dejado los esquemas de las conexiones eléctricas que se habían realizado hasta obtener el último prototipo, así que, con los *datasheets* y observación se obtuvo el esquema que se puede ver en la figura 1 (se indican sólo las corrientes ya que van a ser las de nuestro interés):

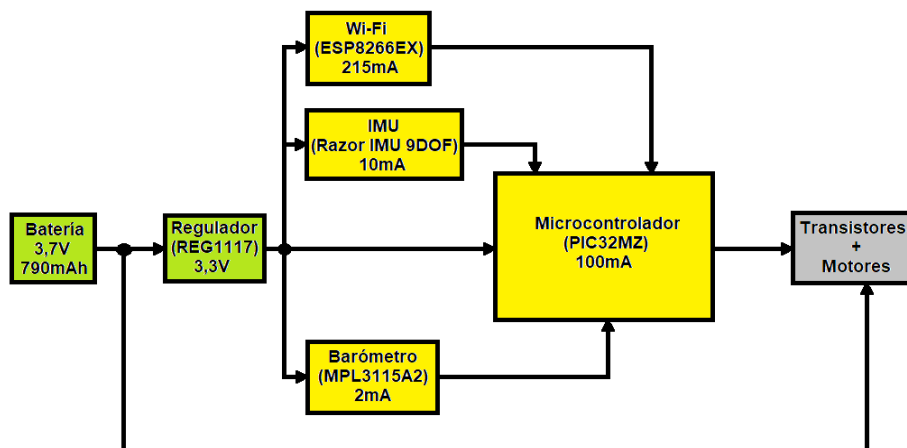


Figura 1. Esquema de corrientes y conexionado de los componentes del dron en el último prototipo

A partir de este esquema salieron a la luz dos posibles problemas. El primero, relacionado con la rotura de la pista de masa debido al hecho de desconocer la corriente que consumen los motores, ya que, no se pudo localizar su correspondiente *datasheet* y, por otra parte, la conexión directa de la salida de la batería a la entrada del regulador que podría provocar un comportamiento errático del integrado.

## 2. Regulador de tensión

Como se puede ver en la figura 1 en el último prototipo que se hizo se realizó una conexión directa de la batería al regulador de tensión.

Consultado la información del regulador (REG1117-3.3) se pudo ver que tiene una tensión de *dropout* de 1,2V para una tensión estable de 3,3V a su salida. Este hecho implica que la tensión que se debe tener a su entrada ha de ser superior o igual a 4,5V.

De la documentación de la batería extraemos que su tensión nominal de funcionamiento es de 3,7V (cuando está completamente cargada y se mide en vacío la tensión que se mide es de 4,2V) siendo un valor insuficiente.

Con los resultados que se obtuvieron se plantearon dos posibles soluciones:

- Búsqueda de un nuevo regulador de tensión con un menor valor de *dropout* para poder hacer la conexión directa entre la batería y el regulador.
- Aumento de la tensión de la batería mediante el uso de un convertidor DC/DC *Boost*.

La primera opción quedó descartada al no encontrar ningún regulador con las características requeridas, a parte, hay que tener en cuenta que la tensión de la batería va cayendo cuando se consume su energía, de modo que, aun encontrando un regulador con un *dropout* aún más bajo del que tiene el integrado actual no se lograría extraer toda la energía de la batería, reduciendo la autonomía del dron.

Por todo este razonamiento se llegó a que la opción más plausible era la inclusión de un convertidor elevador entre la batería y el regulador, ya que, permitiría una buena regulación y una correcta extracción de la energía (con una eficiencia razonable).

### 2.1. Convertidor *Boost*

El convertidor elevador que se decidió usar fue un modelo ya preensamblado por *SparkFun* con la referencia NCP1402 (figura 2) que es capaz de entregar una tensión de 5V con una entrada de entre 1V a 4V siempre y cuando la corriente máxima que se extraiga sea igual o menor a 200mA. Una vez se supera este valor de corriente la tensión de 5V no está garantizada (la tensión cae).



Figura 2. Convertidor DC/DC Boost NCP1402 [10]

Con la inclusión de este elemento el nuevo esquema de la circuitería quedó según se muestra en la figura 3.

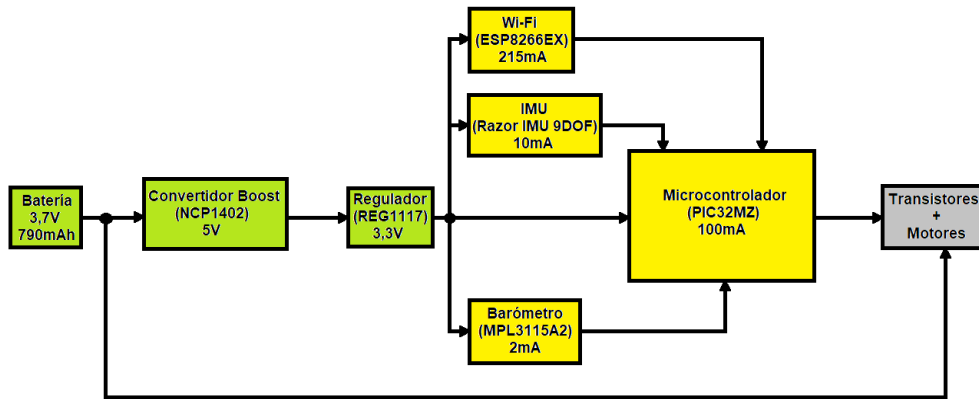


Figura 3. Esquema de corrientes y conexionado de los componentes del dron con la inclusión del convertidor DC/DC

El esquema completo de la electrónica con la inclusión del convertidor se puede ver en la figura 4 (por simplificar solo se han puesto las referencias a los pines del microcontrolador) y los valores de los componentes en la tabla 1.

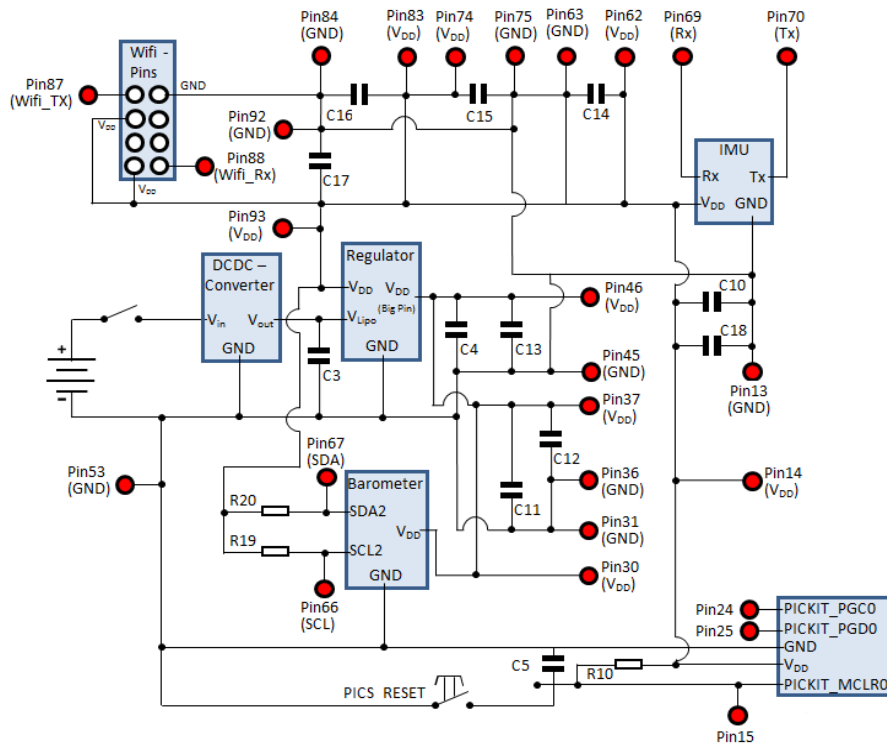


Figura 4. Esquema eléctrico del dron

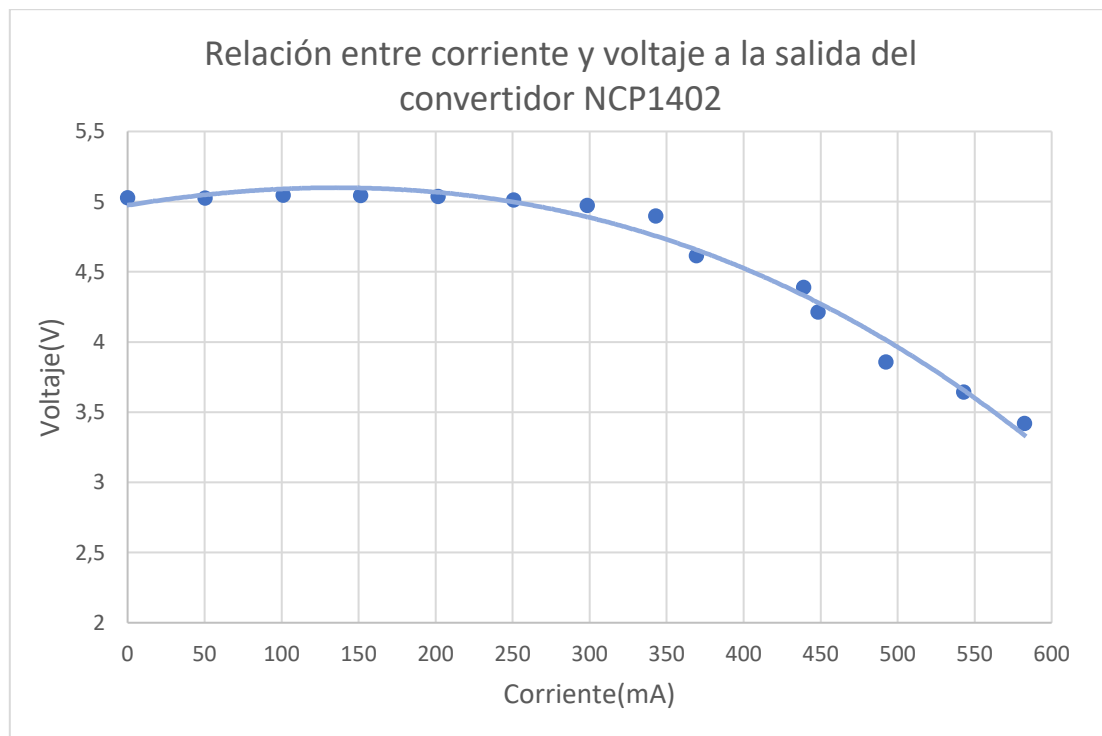
Tabla 1. Valores de los componentes del esquema de la Figura 4

Componentes	Valor
C3, C5, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17	0,1 $\mu$ F
C18	4,7 $\mu$ F
C4	1 $\mu$ F
R10	10k $\Omega$
R19, R20	2,4k $\Omega$

Este nuevo esquema planteó nuevos problemas, ya que, la máxima corriente que el dron podría consumir no podía ser superior a los 200mA que el fabricante del convertidor recomienda. Como no se disponía de ninguna gráfica o ecuación que relacione la corriente extraída con respecto a la tensión a la salida del convertidor se decidió caracterizarla para comprobar hasta qué punto se podría forzar su funcionamiento.

El proceso que se llevó a cabo para la caracterización del convertidor consistió en introducir una tensión de 3,7V (la tensión nominal de la batería) a su entrada y variar la resistencia de carga en la salida. Para cada variación de la carga se midió la corriente y la tensión en la salida del convertidor. Los valores de las resistencias que se usaron se pueden ver en la tabla 10 en el anexo.

Los resultados que se obtuvieron quedan reflejados en la gráfica 1:



Gráfica 1. Relación entre corriente y voltaje a la salida del convertidor NCP1402

Los puntos de interés para el correcto trabajo del sistema de alimentación quedan reflejados en la tabla 2 y van a ser para cuando se extrae una corriente de 200mA (al ser el valor de corriente máxima) y para cuando se tiene una tensión de 4,5V (tensión mínima para la entrada del regulador de tensión) a la salida.

Tal y como el fabricante advierte la tensión comienza a perder su punto de funcionamiento a partir de los 200mA, pero es capaz de dar hasta el doble de corriente sin bajar de los 4,5V.

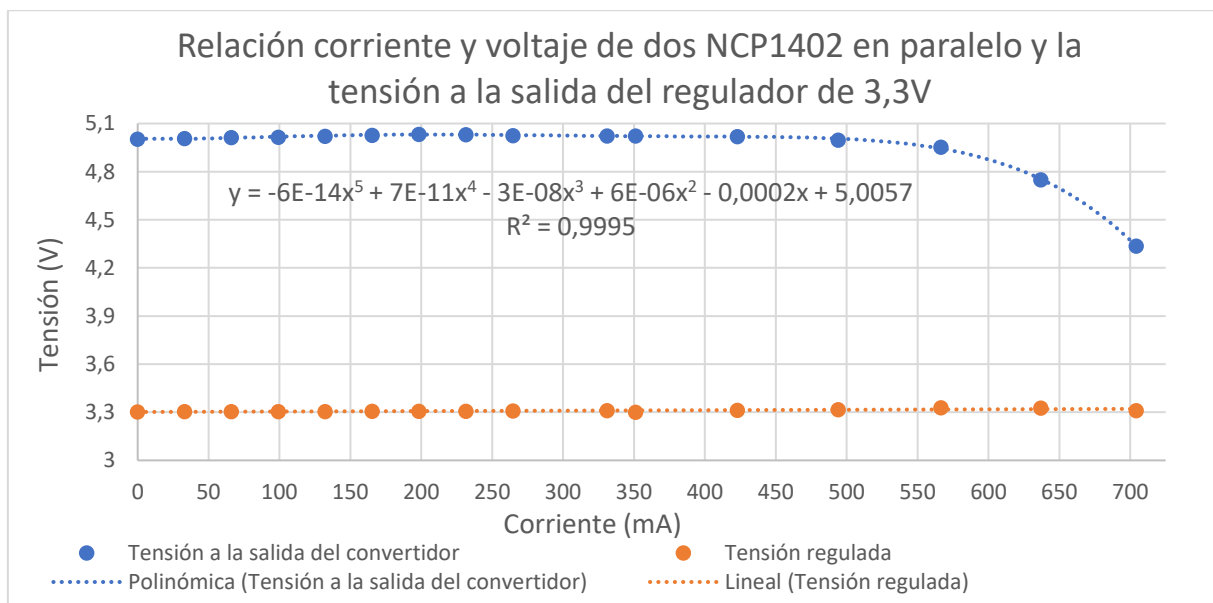
Tabla 2. Puntos de interés de la tensión y la corriente cuando se usa un solo NCP14002

Tensión (V)	Corriente (mA)
5	200
4,5	400

En nuestro caso concreto se necesita 327mA lo que implica que tendremos a la entrada del regulador de voltaje una tensión superior a 4,5V, lo que nos garantiza un correcto funcionamiento del mismo, sin embargo, en el futuro se tiene pensado incluir una cámara que tiene un consumo de unos 140mA lo que conllevará un consumo total de 467mA, saliéndonos del punto de trabajo para el regulador (la tensión que el convertidor da es inferior a 4V).

A parte, más adelante se podría añadir más electrónica, así que, no habría un margen de seguridad, estando siempre muy limitado por la corriente que se vaya a consumir.

Para solventar este posible problema se pensó en poner dos convertidores exactamente iguales en paralelo. Se planteó el mismo experimento que antes para la nueva configuración. El resultado se recoge en la gráfica 2:



Gráfica 2. Relación corriente y voltaje de dos NCP1402 en paralelo y la tensión a la salida del regulador de 3,3V

En la tabla 3 se recogen los puntos de interés de la caracterización. En esta configuración se tiene una corriente máxima de 675mA para un correcto funcionamiento del regulador. Este valor es suficiente para la inclusión de la cámara y obtenemos un sobredimensionamiento del 30,8% (208mA extra) para futuros cambios.

Por otra parte, se puede ver que el regulador mantiene su valor de 3,3V a la perfección, incluso para valores inferiores a 4,5V, pero es preferible jamás bajar de este valor de tensión para evitar cualquier problema.

Tabla 3. Puntos de interés de la tensión y la corriente cuando se usan dos NCP14002 en paralelo

Tensión (V)	Corriente (mA)
5	425
4,5	675

### 3. Destrucción de la pista de masa

En la figura 5 se observa la pista de masa después del paso de unos pocos segundos de poner el sistema en funcionamiento.

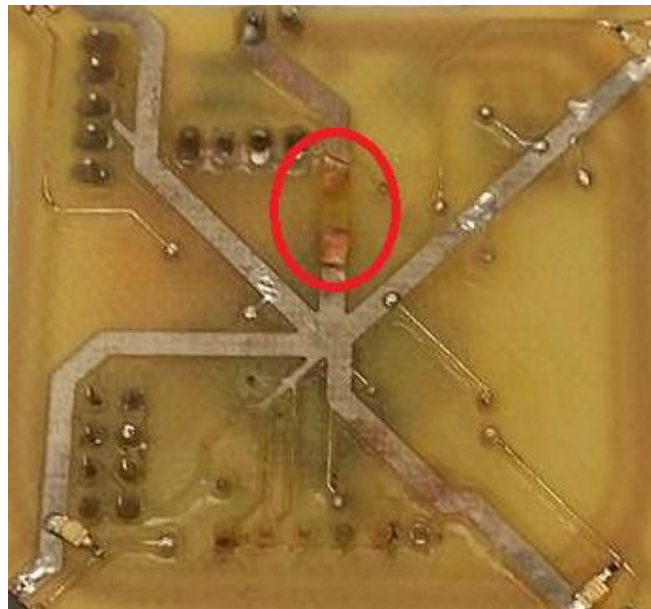


Figura 5. Destrucción de la pista de masa del último prototipo

Del apartado anterior se ha obtenido que el consumo debido a los distintos componentes electrónicos (WI-FI, IMU, barómetro y microcontrolador) es como máximo de 467mA

con la inclusión de la cámara. Este valor es muy bajo para que pueda provocar la destrucción de una pista, así que, este hecho lleva a pensar que el problema va a estar ligado al consumo de los motores.

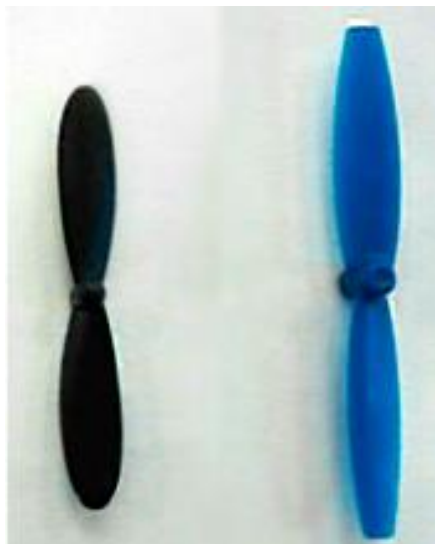
No se encontró ningún tipo de documentación acerca de los motores, de modo que, se tuvo que caracterizar su resistencia interna para simular su funcionamiento. En el proceso de caracterización se obvió el valor de la bobina interna ya que no implicaría una gran modificación en el valor final de la corriente.

### 3.1. Caracterización motores con respecto a la hélice

La caracterización del motor es necesaria, ya que, se desconoce su resistencia interna y, por tanto, la corriente necesaria para su funcionamiento. Para extraer este valor óhmico tenemos dos opciones. La primera sería establecer un valor fijo de tensión en las bornas del motor y medir la corriente que circula. A partir de estos datos y con la Ley De Ohm se despejaría el valor resistivo. La segunda opción se basa en la primera, pero repitiendo el proceso con variaciones en la tensión, de este modo, se conseguiría una recta de regresión de la que extraer el valor resistivo.

La segunda opción fue la elegida debido a que da un resultado más representativo de la resistencia real.

Por otra parte, se sabe que el valor de la resistencia varía dependiendo de la hélice que se use, por este motivo, se realizó la caracterización para tres casos. Una para cuando no se le coloca la hélice, otra para cuando se le coloca una hélice de 52mm y otra para una hélice de 66mm

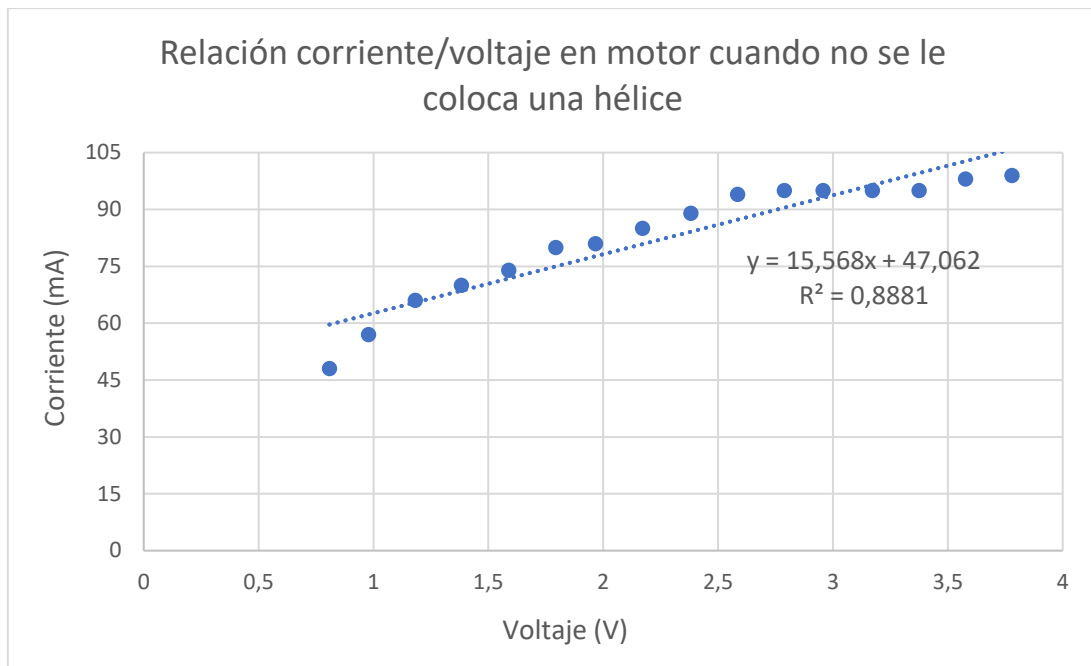


*Figura 6. Posibles hélices para el dron. A la izquierda la de 56mm y a la derecha la de 66mm*

Los resultados que se obtuvieron para los distintos casos son los que se muestran en las siguientes gráficas:

### 3.1.1. Sin hélice

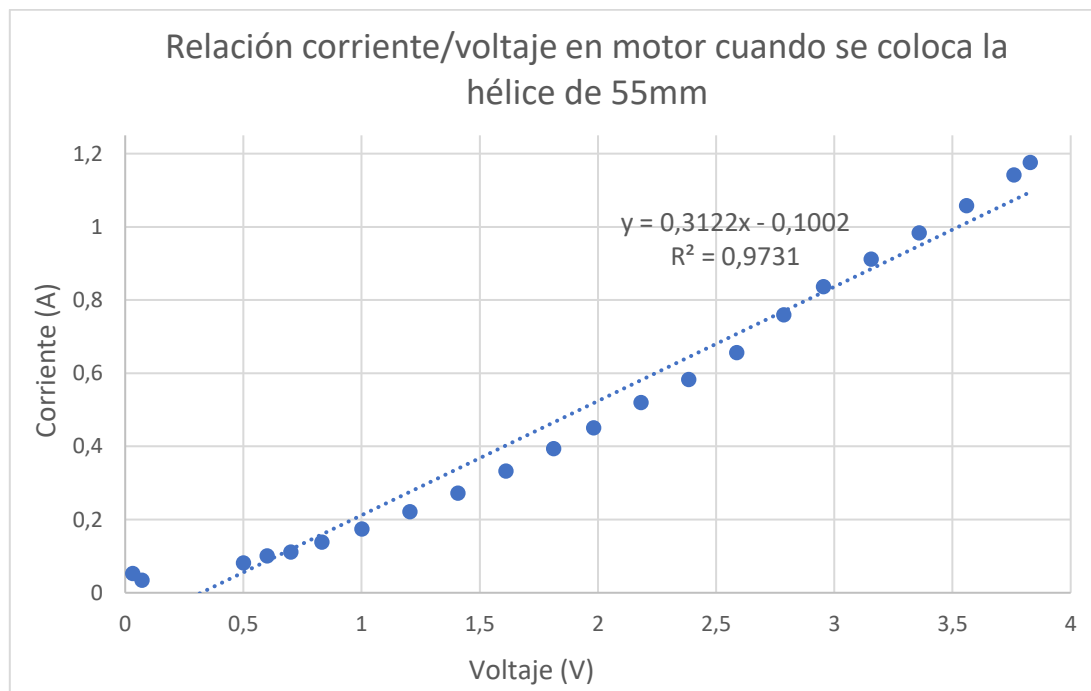
Resistencia =  $64,23\Omega$



Gráfica 3. Relación corriente/voltaje en motor cuando no se le coloca una hélice

### 3.1.2. Con hélice de 55mm

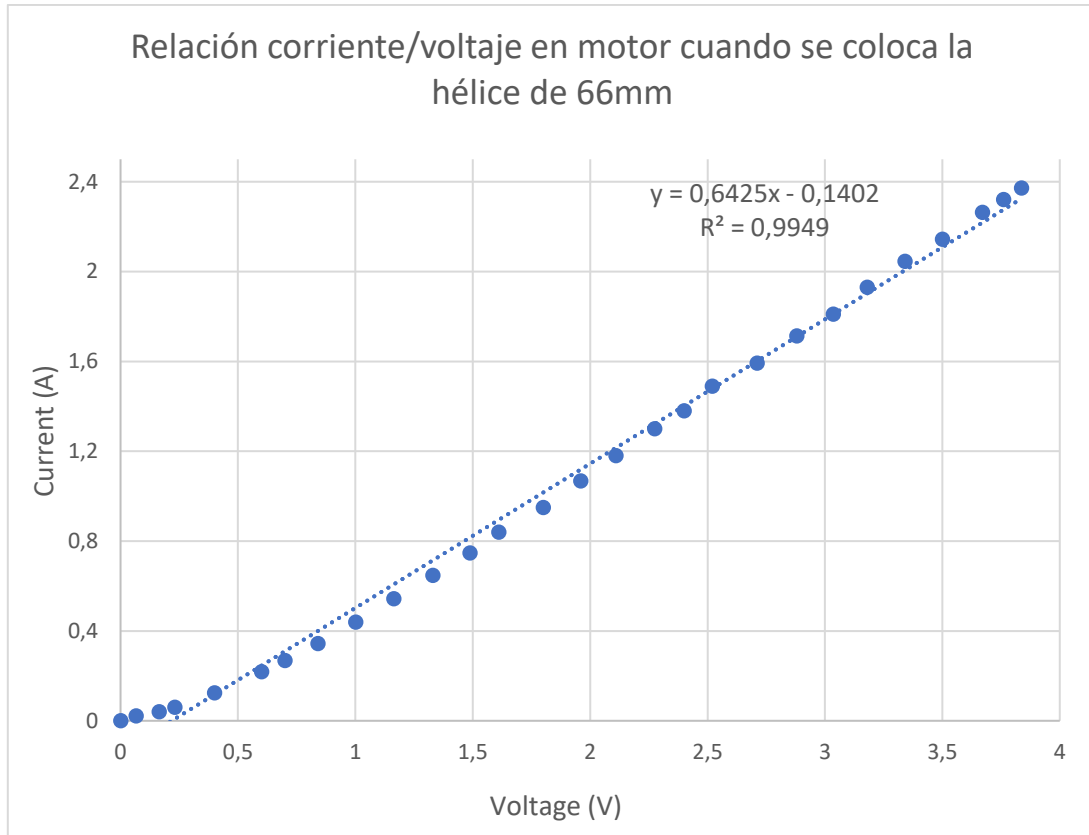
Resistencia =  $3,2\Omega$



Gráfica 4. Relación corriente/voltaje en motor cuando se coloca la hélice de 55mm

### 3.1.3. Con hélice de 66mm

Resistencia =  $1,56\Omega$



Gráfica 5. Relación corriente/voltaje en motor cuando se coloca la hélice de 66mm

Finalmente, la hélice elegida fue la de 66mm, ya que, pese al mayor valor de corriente es la que mayor fuerza ejerce (el estudio del torque y la fuerza de las hélices fue hecho en otro estudio por el mismo grupo de investigación).

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar simulaciones con la herramienta OrCAD para: entender el funcionamiento de la circuitería de control y para obtener el valor de corriente que se va a estar consumiendo.

### 3.2. Análisis del circuito de control y simulaciones con OrCAD

En este análisis lo más importante era el conseguir una aproximación de la máxima corriente que va a consumir cada motor, de modo que, se obvió la bobina en serie del modelo del motor, ya que, no llega a afectar mucho en los resultados. Además, los componentes elegidos para la simulación no fueron los que se utilizaron en la PCB, sin embargo, sus características eran similares.

La circuitería queda reflejada en la figura 7. Se colocó una señal PWM al 90% y no al 100%, ya que, en la puesta en marcha real del dron no se llega a un valor mayor que este.

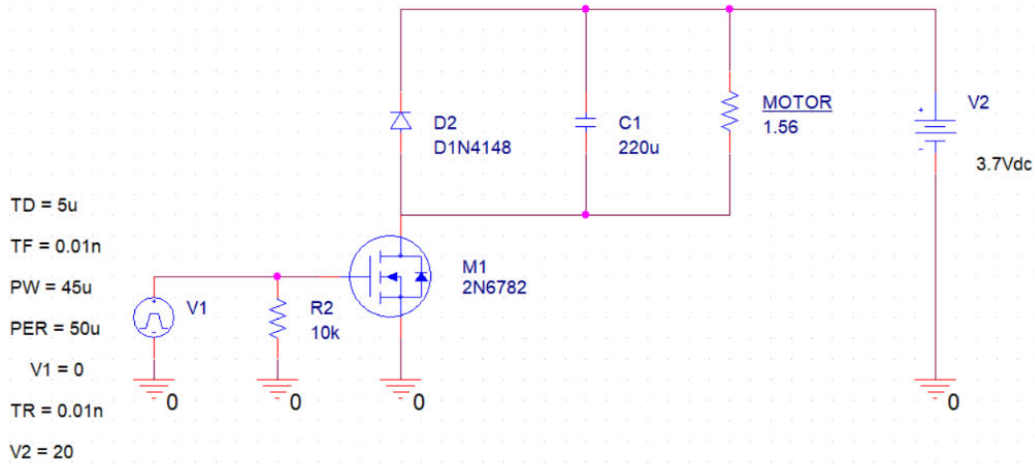


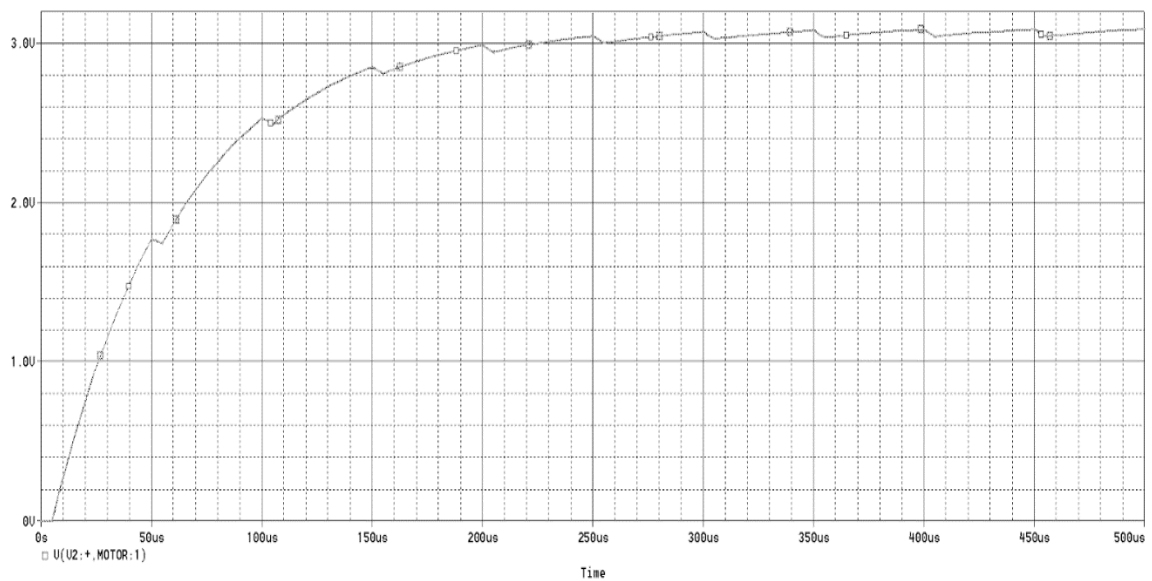
Figura 7. Esquema de circuitería de control de los motores por PWM

Desde la gráfica 6 hasta la gráfica 11 podemos ver los resultados de las simulaciones. En la gráfica 6 se puede ver unas pequeñas fluctuaciones de la tensión de aproximadamente 145uV. Llega al 63% de la señal estable en sólo 61µs y a aproximadamente el 100% en 200µs.

Estos mismos tiempos, como cabía esperar, se repiten en las señales de la corriente por el motor.

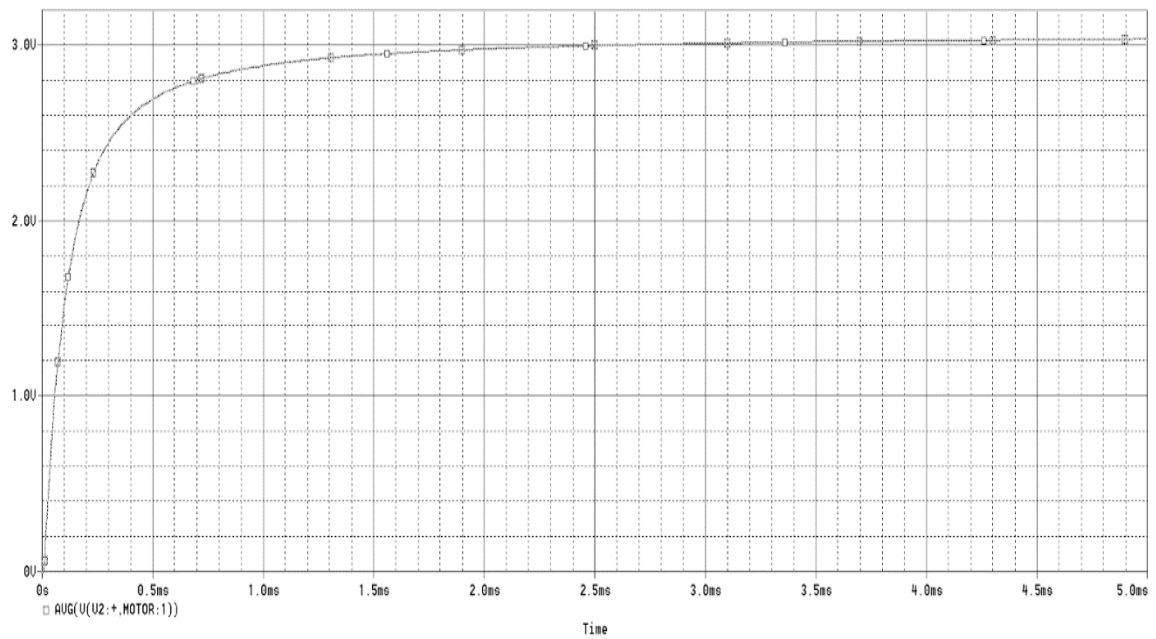
El valor de corriente que se tomó para el resto del análisis fue el de la señal de la batería, ya que, en ella queda reflejada el consumo extra debido a las pérdidas de los distintos componentes.

### 3.2.1. Señal de la tensión en el motor



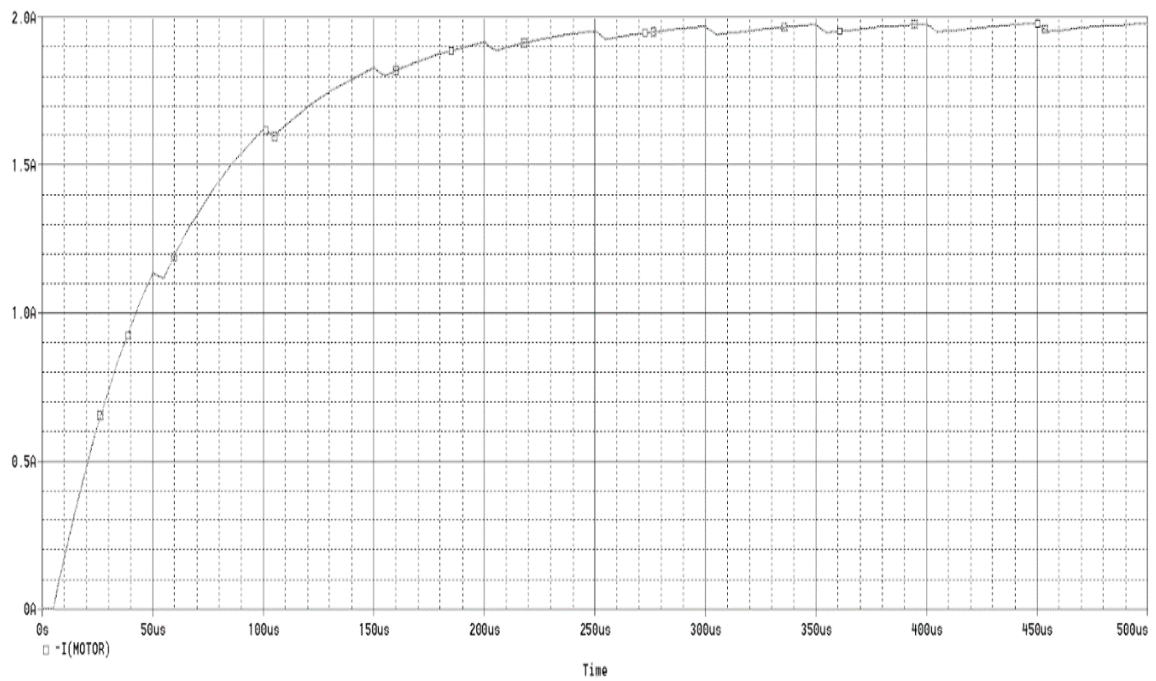
Gráfica 6. Señal de la tensión en el motor

### 3.2.2. El valor de la tensión media en el motor:



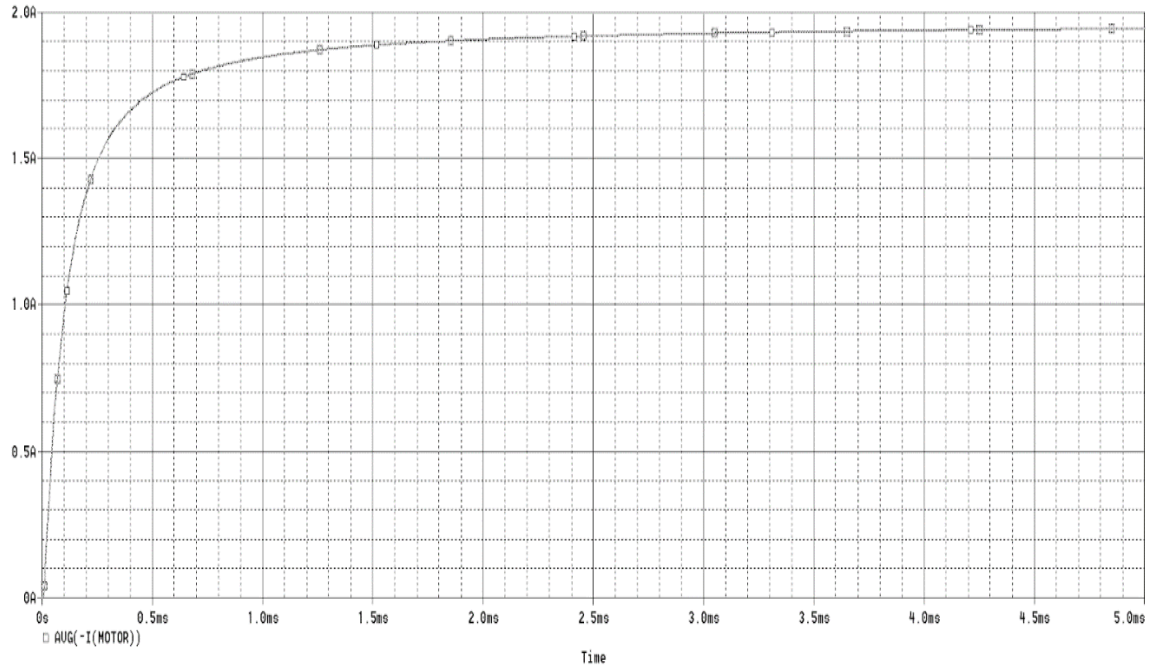
Gráfica 7. Valor medio de la tensión en el motor

### 3.2.3. Señal de la corriente por el motor



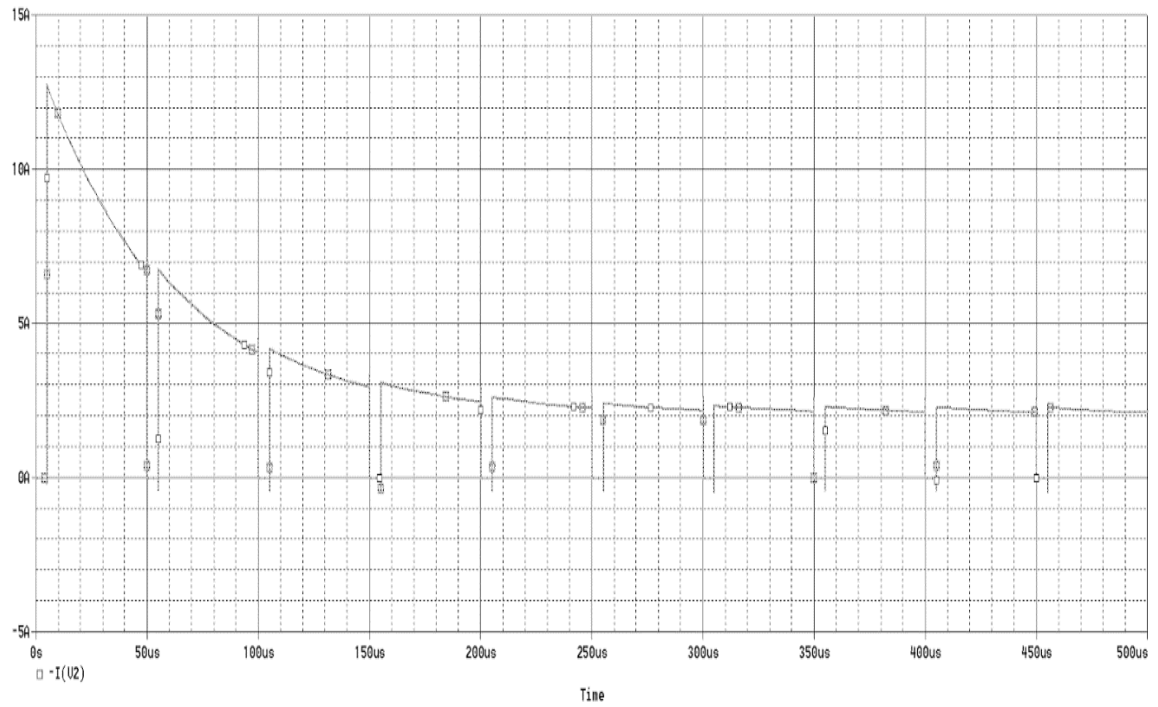
Gráfica 8. Señal de la corriente por el motor

### 3.2.4. Valor medio de la corriente por el motor



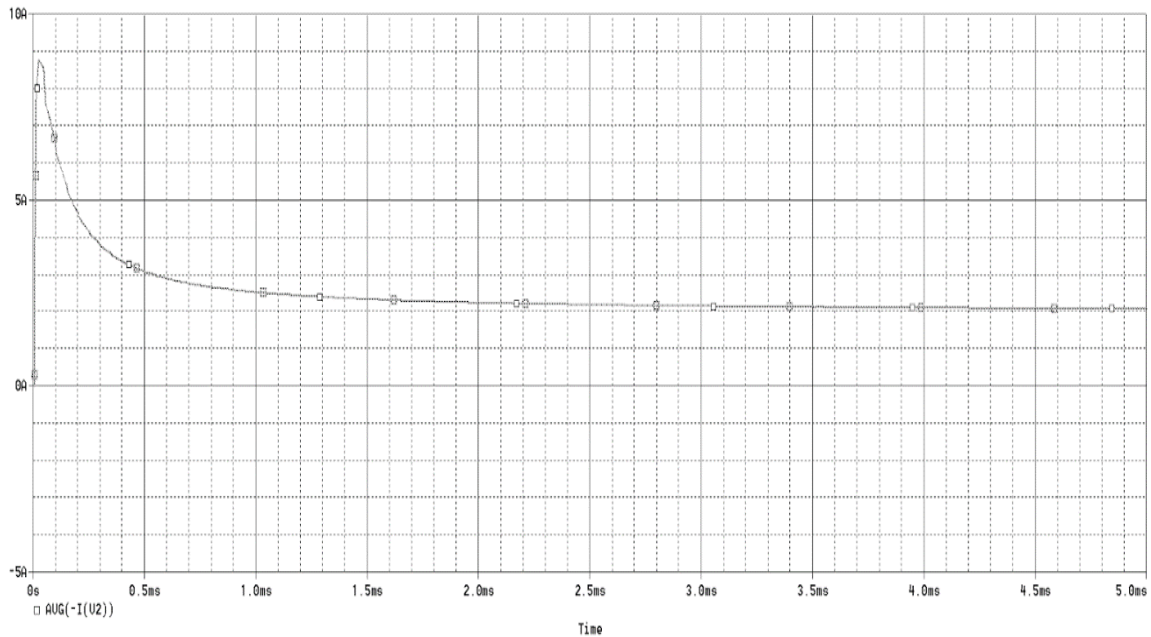
Gráfica 9. Valor medio de la corriente en el motor

### 3.2.5. Señal de la corriente por la batería



Gráfica 10. Señal de la corriente en la batería

### 3.2.6. Valor medio de la corriente en el batería



Gráfica 11. Valor medio de la corriente en la batería

La corriente que se extrae de la batería por el efecto de cada motor es de aproximadamente 2A. Con esta información se puede pasar a la comprobación del ancho requerido para la pista de tierra.

### 3.3. Redimensionado de la pista de masa

A partir de los apartados anteriores sabemos la corriente máxima que pasará por la pista de masa es de 8,467A, obtenido de la suma de la corriente por los 4 motores y los 467mA del resto de componentes.

Para el cálculo se va a usar el estándar definido en ANSI-IPC 2221 [11] desarrollada por el IPC.

Los datos iniciales de los que se disponían fueron:

- Temperatura ambiente ( $T_a$ ) de Monterrey, México 30°C
- Temperatura máxima ( $T_{máx}$ ) que debe alcanzar la pista 60°C
- Grosor del cobre de la PCB usada ( $L$ ) de 35 $\mu$ m
- Máxima corriente teórica si PWM al 100% 9,955 amperios
- Máxima corriente práctica si PWM al 90% 8,467 amperios

En las ecuaciones para el cálculo de la pista se hace uso de una serie de constantes. Estas constantes varían dependiendo si es una pista externa o si es interna. En este caso la PCB es doble cara, de modo que, usaremos las correspondientes a pistas externas:

- $K_1 = 0,0647$
- $K_2 = 0,4281$
- $K_3 = 0,6732$

Las ecuaciones necesarias para la obtención del ancho de la pista son las mostradas a continuación:

$$Ancho = \frac{\acute{A}rea}{L \cdot 1,378} [mils] \quad (1)$$

$$\acute{A}rea = \left( \frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{K_2}} \right)^{\frac{1}{K_3}} [mils^2] \quad (2)$$

$$\Delta T = T_{m\acute{a}x} - T_a [^{\circ}C] \quad (3)$$

$$L = 35\mu m = 1 \frac{onza}{Pie^2} \quad (4)$$

A partir de estas ecuaciones podemos despejar la fórmula del cálculo del ancho:

$$Ancho = \frac{\left( \frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{K_2}} \right)^{\frac{1}{K_3}}}{L \cdot 1,378} \quad (5)$$

Aunque ya se comentó que no se llegaría a un ciclo de trabajo mayor al del 90% se decidió hacer el cálculo para un ciclo de trabajo del 100% para ver que ancho se necesitaría para el peor de los casos.

Los resultados para cada uno de los ciclos de trabajo son lo que se muestran a continuación:

- Ciclo de trabajo al 100%

$$Ancho(100\%) = \frac{\left( \frac{9,955}{0,0647 \cdot 30^{0,4281}} \right)^{\frac{1}{0,6732}}}{1,378} \approx 148 \text{ mils} \approx 3,76\text{mm} \quad (6)$$

- Ciclo de trabajo al 90%

$$Ancho(90\%) = \frac{\left( \frac{8,467}{0,0647 \cdot 30^{0,4281}} \right)^{\frac{1}{0,6732}}}{1,378} \approx 116,37 \text{ mils} \approx 2,96\text{mm} \quad (7)$$

El ancho de la pista de masa del prototipo que vimos en la figura 5 es de 2mm y según estos cálculos el mínimo ancho ha de ser de 2,96mm para que aguante la corriente. En el dron real jamás se va a llegar a superar el ciclo de trabajo de 90%, de modo que se usó un ancho 3mm. El conjunto de las pistas antes de ser soldadas recibe un baño de estaño, lo que aumenta unos micrómetros su grosor, así que, hay un pequeño sobredimensionamiento respecto al grosor de las pistas.

#### 4. Nuevo modelo electrónico e inclusión de la cámara

##### 4.1. Nuevo convertidor

Con los pasos anteriores se logró que el dispositivo trabajará de forma normal, sin embargo, se deseaba introducir toda la electrónica de los convertidores en la PCB. En la figura 8 se puede ver como quedaban en el aire los convertidores.

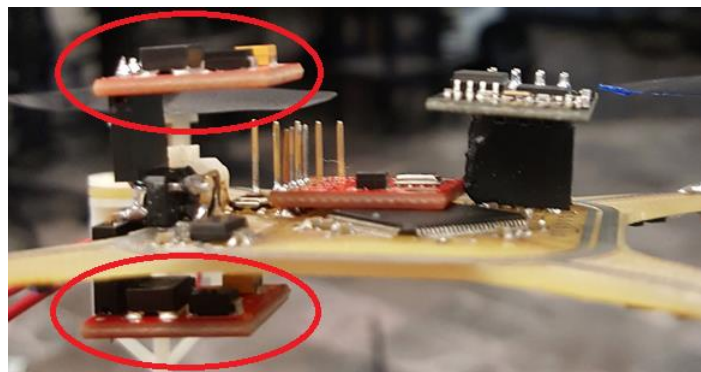


Figura 8. PCB final con los dos convertidores Boost

El intento de inclusión de esta electrónica en la PCB dio lugar a un problema debido al área de trabajo disponible. Para solventarlo se pensó en un cambio de los dos convertidores usados por otro que fuera capaz de dar una mayor cantidad de corriente manteniendo un nivel de voltaje de 5.

El convertidor que se encontró fue el MAX608, el cual, es capaz de suministrar una tensión de 5V con un valor de corriente continua de 500mA. El esquema que el fabricante recomienda y el que se va a usar es el de la figura 9 que se muestra a continuación:

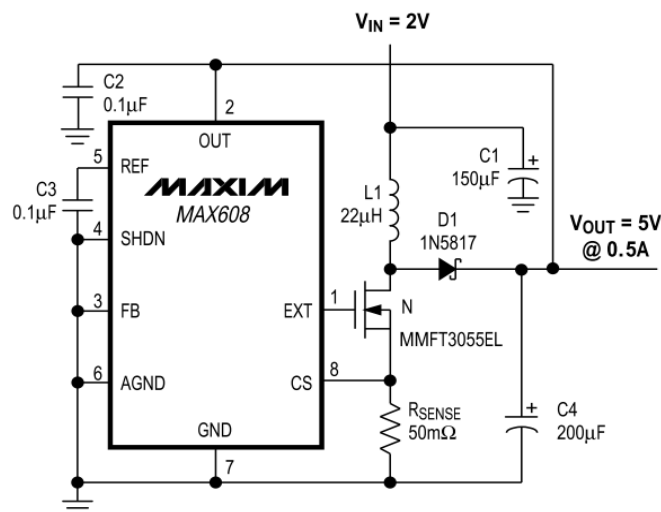


Figura 9. Esquema eléctrico recomendado por el fabricante para el convertidor MAX608 [12]

La inclusión de este integrado llevó a la necesidad de adquirir nuevos elementos, los cuales, debían ser del menor tamaño posible para ocupar la menor área. Los componentes elegidos quedarán indicados en el anexo del presente documento.

Respecto al esquema del MAX608 y según lo especificado por el fabricante se decidió el uso de dos condensadores de  $100\mu\text{F}$  para formar el condensador C4 de  $200\mu\text{F}$ . Esto se hizo para reducir el ESR (resistencia interna del condensador), ya que, la tensión de salida y su rizado dependen en gran medida de este valor.

Un dato interesante de este convertidor fue el que se muestra en la figura 10 en la que podemos ver que puede trabajar bien cuando se extrae una corriente bastante superior a  $500\text{mA}$ , manteniendo el nivel de tensión a la salida.

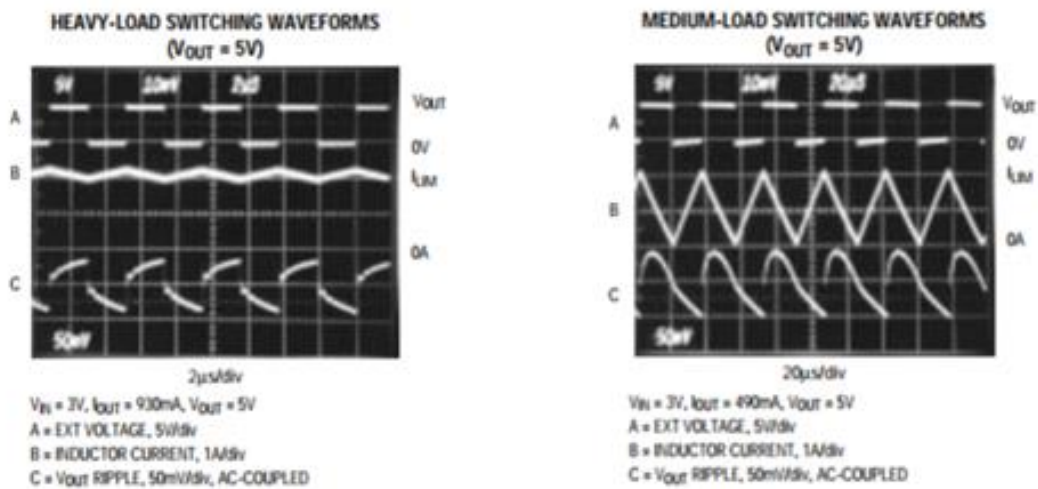


Figura 10. Funcionamiento del convertidor. A la izquierda cuando se extrae una corriente de  $930\text{mA}$  y a la derecha cuando se extrae una corriente de  $490\text{mA}$  [12]

#### 4.2. Cámara

Debido a cuestiones de tiempo no se pudo integrar la cámara en la electrónica, no obstante, se hizo un diseño para su futura conexión.

En la figura 11 se puede ver la cámara en cuestión. Su modelo es el *5M Pixel CSI for pcDuino3*.

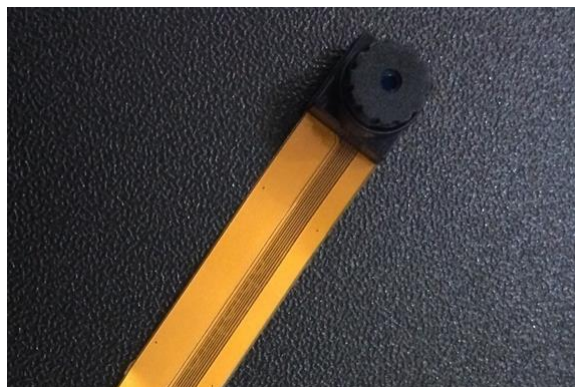


Figura 11. 5M Pixel CSI Camera for pcDuino3 [13]

Para su funcionamiento eran necesarias dos tensiones de distinto valor. Una de 1,8V y otra de 2,8V.

#### 4.2.1. Esquema eléctrico de la cámara

Se plantearon dos configuraciones posibles de esta electrónica, los cuales, se muestran en las figuras 12 y 13:

- Opción 1

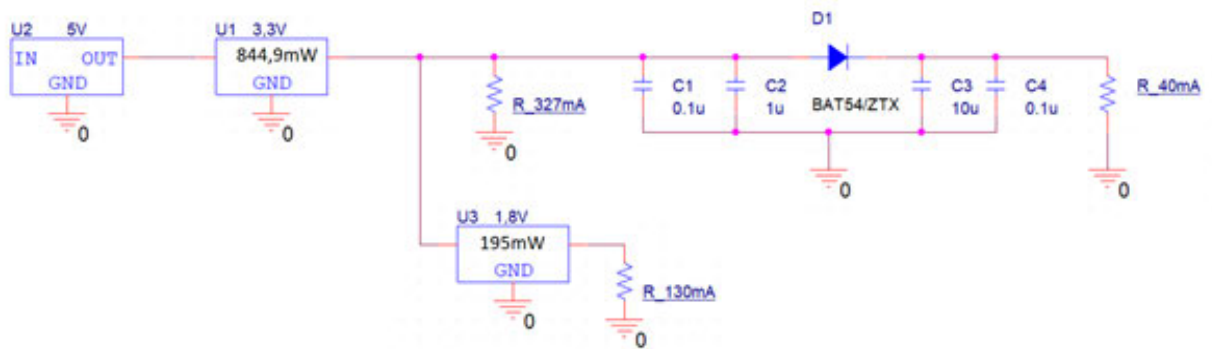


Figura 12. Opción 1 de circuito para la alimentación de la cámara

$$P_{U1} = V_{drop-out(U1)} \cdot I_{U1} = (5 - 3,3)(V) \cdot 497(mA) = 844,9mW \quad (8)$$

$$P_{U3} = V_{drop-out(U3)} \cdot I_{U3} = (3,3 - 1,8)(V) \cdot 130(mA) = 195mW \quad (9)$$

$$P_T = P_{U1} + P_{U3} = 844,9(mW) + 195(mW) = 1039,9mW \quad (10)$$

- Opción 2

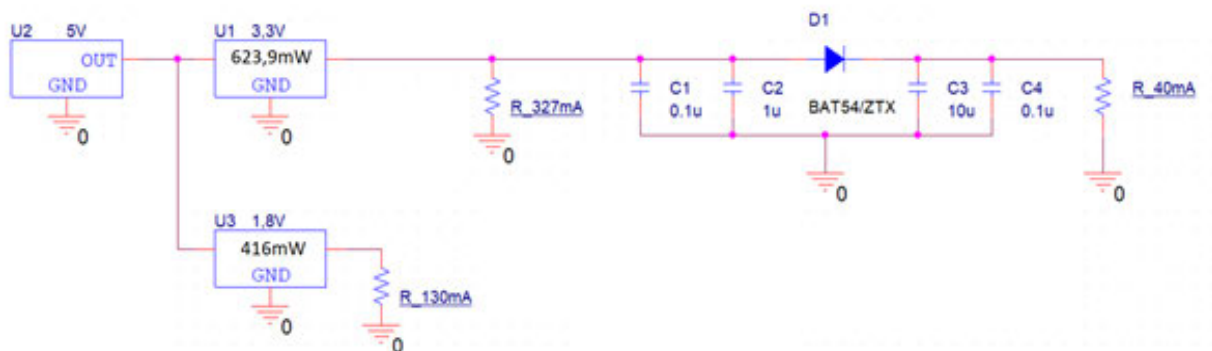


Figura 13. Opción 2 de circuito para la alimentación de la cámara

$$P_{U1} = V_{drop-out(U1)} \cdot I_{U1} = (5 - 3,3)(V) \cdot 367(mA) = 623,9mW \quad (11)$$

$$P_{U3} = V_{drop-out(U3)} \cdot I_{U3} = (5 - 1,8)(V) \cdot 130(mA) = 416mW \quad (12)$$

$$P_T = P_{U1} + P_{U3} = 623,9(mW) + 416(mW) = 1039,9mW \quad (13)$$

Antes de hablar de las configuraciones hay que hacer una aclaración respecto a los valores de corrientes de la cámara. Como ya se ha mencionado con anterioridad la cámara tiene un consumo aproximadamente de 140mA, sin embargo, en las figuras anteriores podemos ver que la suma de las corrientes es de 170mA. Estos valores de corrientes son los máximos que se podrían dar en casos puntuales, de modo que, el valor medio es el de 140mA.

Una vez hecha esta aclaración se procederá a analizar los pros y contras de las dos posibles configuraciones:

- En la opción 1 se coloca el regulador de 1,8V a la salida del regulador de 3,3V con lo que se consigue una potencia de 844,8mW en el regulador U1 y una potencia de 195mW en U3.
- En la opción 2 se coloca el regulador de 1,8V justo a la salida del convertidor DC/DC con lo que se obtiene una potencia de 623,9mW en U1 y 416mW en U3.

La potencia total en ambos casos es la misma, pero en la segunda opción hay una mejor distribución de la potencia entre los regulados, por tanto, esta opción es la mejor ya provoca un deterioro menor en los componentes (en el primer caso el regulador U1 tenía que aguantar toda la corriente del sistema lo que lo deterioraría a mayor velocidad).

El resto de la circuitería, formada por el diodo y los condensadores se corresponde a la tensión de 2,8V (este circuito lo proponen los propios creadores [14]) y es la que se puede ver en la figura 14. Este circuito se aprovecha de la caída de tensión en el diodo para reducir la tensión de 3,3V a un valor inferior, pero al mismo tiempo muy próximo a los 3V (es la tensión máxima que soporta la cámara).

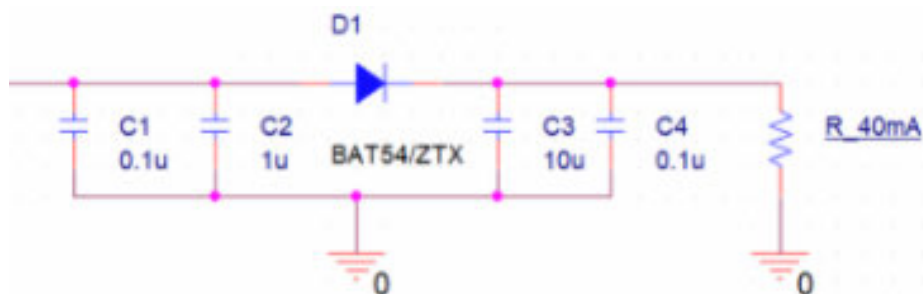


Figura 14. Circuito propuesto por el fabricante para la alimentación de 2,8V de la cámara [14]

Para comprobar su funcionamiento se realizó una simulación en OrCAD. El valor de la resistencia de carga se ha establecido, de tal forma que se tenga 40mA a la salida.

Como se puede ver en la figura 15 la tensión que tenemos a la salida es de 2,897V que es un valor suficiente para un correcto desempeño de la cámara.

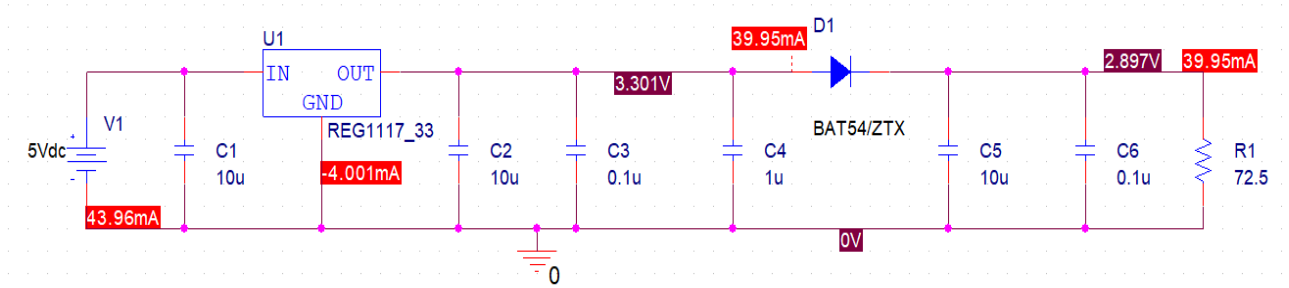


Figura 15. Simulación en PSpice Orcad del circuito de 2,8V de alimentación de la cámara

## 5. Modelo 3D

El modelo 3D de la última versión de las patas del dron destruyen los cables de los motores cuando se encuentra en funcionamiento lo que supone una pérdida de aproximadamente 1 dólar por motor y tiempo de trabajo para sustituirlo. Para evitar esto se ha diseñado un nuevo modelo 3D que evite el movimiento del motor.

En la figura 16 se puede ver que el motor cuenta con un total de 4 muescas que van a ser las usadas para lograr su bloqueo.

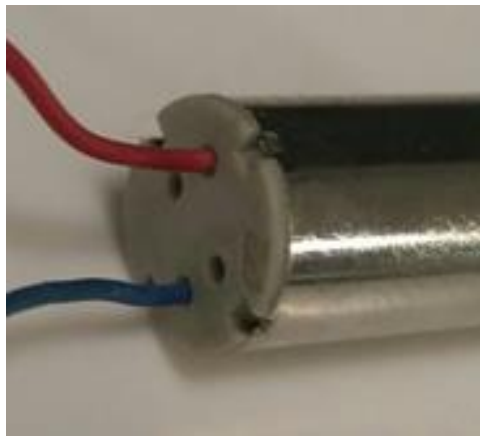


Figura 16. Muescas del motor que se utiliza para evitar su movimiento

El nuevo diseño va a estar basado en el que se tenía de partida con unas ligeras modificaciones para reducir su peso y solventar el problema con los cables.

La figura 17 muestra el croquis del diseño:

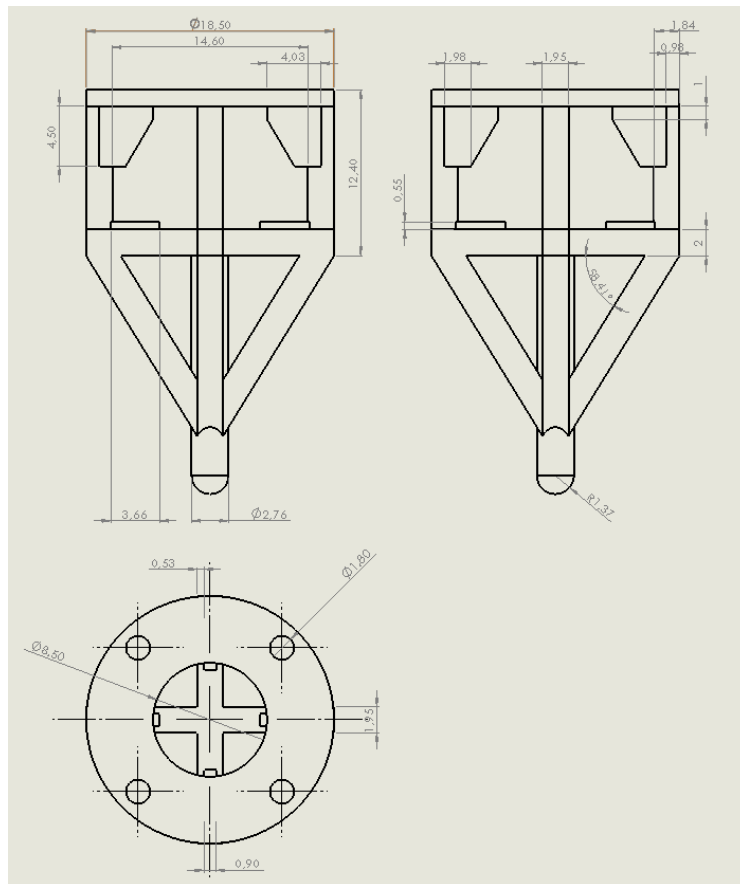


Figura 17. Vistas de la nueva pieza 3D

La figura 18 muestra el modelo final en una previsualización. En rojo se puede apreciar un saliente que encaja con las muescas del motor y que impedirá su movimiento, evitando el deterioro del cable y su inevitable rotura.

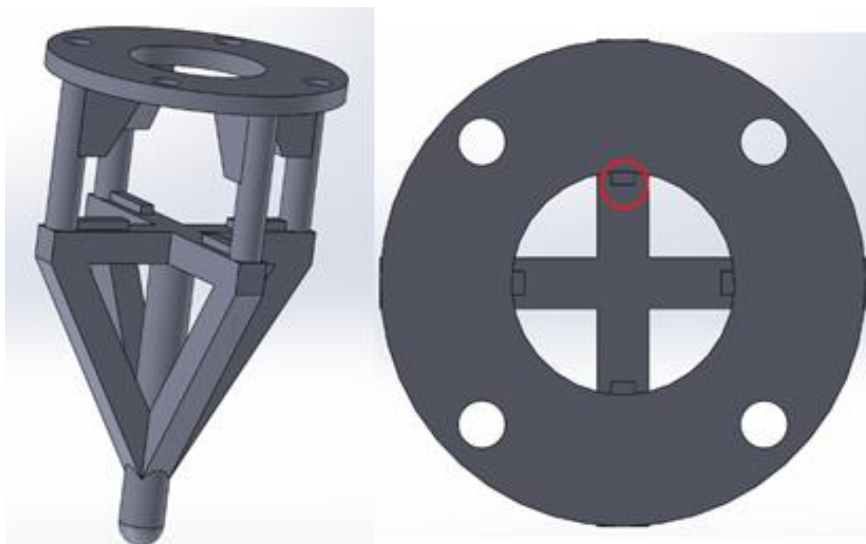


Figura 18. Previsualización del modelo 3D. A la izquierda una vista de toda la pieza y a la derecha la vista superior con un círculo en rojo que indica la parte que bloquea el motor

Al igual que con la cámara no hubo tiempo para llevar el modelo a la realidad y solo se pudo dejar el diseño. Para todo este diseño se hizo uso de la herramienta SolidWorks 2016.

## Resultados

En este apartado se va a explicar el conjunto de pruebas a las que sometí a los distintos bloques problemáticos del dron para asegurar su correcto funcionamiento y, finalmente, un correcto desempeño de todo el sistema. Estas pruebas fueron realizadas sobre el prototipo con dos convertidores DC/DC de la figura 8. El modelo final con el convertidor MAX608 y la cámara no se pudo montar por falta de tiempo y retrasos en la llegada de los componentes.

### 1. Comprobación de regulado de voltaje de 3,3V

Para comprobar su desempeño se reprodujo la circuitería en una *protoboard* (la circuitería estaba formada por la batería, los convertidores, el regulador y una resistencia de carga). Con ayuda de un osciloscopio programado en modo AC se comprobó la reducción de las oscilaciones respecto a la señal de entrada.

Se colocó una resistencia de carga de  $5\Omega$  para extraer una corriente de 660mA. Se extrajo un mayor valor de corriente para asegurar que funcionaría sin problemas.

En las figuras 19 y 20 se pueden ver los resultados de la regulación. Se ha pasado de una tensión de 113,75mVpp a una de 70mVpp lo que implicó una reducción del rizado del 38,462%.

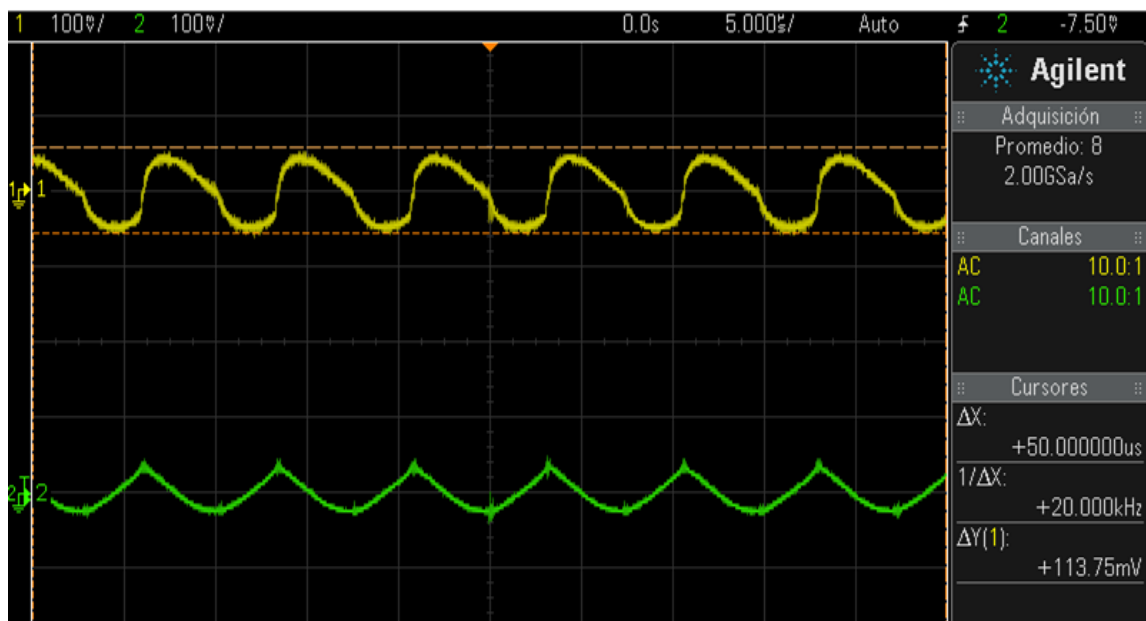


Figura 19. Tensión de rizado a la salida de los convertidores DC/DC Boost (señal amarilla)

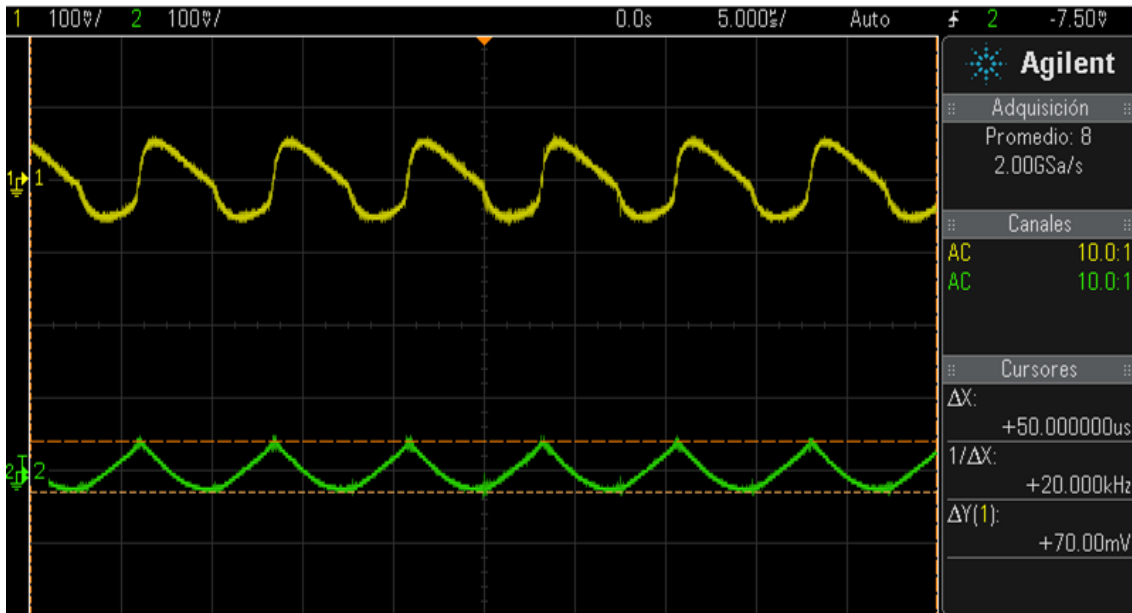


Figura 20. Tensión de rizado a la salida del regulador de tensión de 3,3V (señal verde)

## 2. Pista de masa

Como ya se pudo ver en el aparatado anterior (descripción de la solución propuesta) la pista de masa, según los cálculos, debía tener un ancho mayor o igual a 2,96mm para soportar la corriente máxima del sistema (se eligió un ancho final de 3mm). El ancho de la pista que se usó en el anterior prototipo fue de 2mm y como ya se pudo ver en la figura 5 no era capaz de hacer frente a la corriente.

Para comprobar el funcionamiento de la nueva pista se hizo un sencillo montaje en el que se colocaba un amperímetro en masa para comprobar la corriente que circulaba. En la figura 21 se muestra el esquema de la colocación del amperímetro.

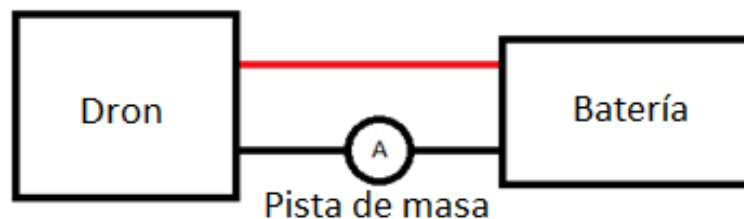


Figura 21. Conexión del amperímetro para comprobar la corriente en circulación

El proceso de medición que se usó consistió en variaciones del 10% del ciclo de trabajo de la PWM para todos los motores, dejándolos trabajar durante aproximadamente un minuto por cada variación hasta llegar al ciclo de trabajo del 90%. Estas pequeñas variaciones se realizaron para que en el caso de que la pista se destruya antes de llegar al objetivo se pueda saber para qué valor de corriente sucedió.

En el primer recorrido por los distintos valores de la PWM no hubo ningún problema. Se llegó al ciclo de trabajo del 90% y se medía una corriente de aproximadamente 8A. El valor teórico debía ser de 8,467A, sin embargo, en este modelo no se tenía integrada la cámara y el consumo del resto de componentes no tenía que ser siempre la de mayor valor (también es importante remarcar que hubo un problema con la soldadura del módulo WIFI por lo que no había consumo de su parte. Este problema fue fácilmente solucionado a posteriori, pero no se repitió este experimento, ya que, no parecía ser necesario), de modo que, este valor medido se correspondía con lo esperado.

Con esta prueba ya se podía asegurar que todo estaba trabajando como se deseaba, sin embargo, para estar seguro de que en un futuro no causara ningún problema se realizó otro conjunto de pruebas. El experimento consistió en poner a trabajar al dron al 90% con la batería completamente cargada hasta que las hélices se dejasen de mover. Este experimento de carga y descarga se realizó un total de 8 veces y en ningún momento se percibió ningún inconveniente o calentamiento de la pista de masa.

### 3. Autonomía y peso

Con las pruebas que se hicieron en el apartado anterior se aprovechó para comprobar la autonomía del cuadrirrotor. El tiempo promedio que se midió fue de 8 minutos y 42 segundos. Siempre se mantuvo el ciclo de trabajo al 90% pero en condiciones de vuelo más normales no se llegará a este valor con mucha frecuencia, de modo que, la autonomía será un poco mayor a la que se obtuvo. En cualquier caso, este valor se corresponde con lo esperado y con lo requerido.

Por otra parte, se hizo la comprobación del peso. Tal y como se puede ver en la figura 22 el peso final fue de 66,5 gramos. Este valor es inferior a 100 gramos, así que, estamos dentro del rango del valor de un micro-dron, a parte, en el siguiente prototipo con la inclusión de un solo convertidor el peso total se verá aún más mermado, por lo que, se logrará un aumento en la autonomía.

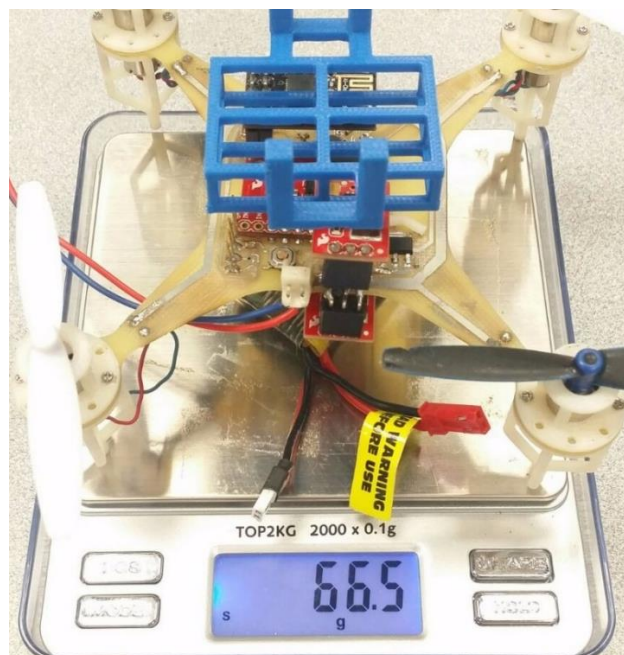


Figura 22. Peso final del último prototipo del dron

#### 4. Pruebas de vuelo

Para cuando se tuvo el modelo funcional del dron no se tenía un sistema de control para hacer las pruebas de vuelo, de modo que, se optó por anclarlo con unos cables para ver si era capaz de alzar el vuelo. En el correspondiente DVD se puede ver un video del experimento. Los resultados fueron satisfactorios dentro de los límites, ya que, fue complicado equilibrarlo para que mantuviera el vuelo.

Más adelante se logró hacer una prueba de elevación con el uso de receptor WIFI y todo funcionó correctamente (solo se mandaba la orden de giro a los motores, pero tampoco tenía un sistema para equilibrar el movimiento).

#### 5. Cámara y modelo 3D

Debido a cuestiones de tiempo no se pudo hacer pruebas reales de estos dos elementos. De la cámara se dejó el diseño y su simulación, los cuales, se pueden ver en las figuras 13 y 15. Con respecto al modelo 3D tampoco se pudo hacer una prueba.

### Presupuesto

El presupuesto del dron se ha planteado respecto al prototipo que se hizo y, por otra parte, el que se tendrá que realizar y contará con toda la electrónica necesaria.

Para un mejor desglose del precio se ha dividido los costes respecto a conjuntos funcionales de la electrónica para después sumarlo todo.

Se va a usar como divisa dólares americanos y después se pasará a euros con un tipo de cambio de 1,2404 dólares/euro.

- Sistema de alimentación del prototipo

Tabla 4. Desglose precios de sistema de alimentación del prototipo

Componente	Referencia	Número	Precio (Unidad)	Precio total
Batería	Nano-tech 750mAh 1s 35-70c	1	3,47	3,47
Convertidor Boost	SparkFun 5V Step-Up Breakout-NCP1402	2	5,95	11,9
Regulador	REG1117_3.3	1	2,48	2,48
Condensador	Kemet 0805 0,1uF	1	0,05	0,05
Condensador	Kemet 1206 1uF	1	0,14	0,14
				<b>18,04</b>

- Sistema de alimentación del futuro prototipo

Tabla 5. Desglose precios de sistema de alimentación del futuro prototipo

Componente	Referencia	Número	Precio (Unidad)	Precio Total
Convertidor	MAX608	1	6,5	6,5
Condensador	Kemet 0805 0,1uF	2	0,049616	0,099232
Condensador	100uF	2	4,62	9,24
Condensador	Panasonic EEFP1V151AP 150uF	1	0,7988176	0,7988176
Resistencia	LR2512-R05FW 50mOhm	1	1,07	1,07
Transistor	FDN339AN	1	0,249	0,249
Diodo	MRA4007T3G	1	0,78	0,78
Bobina	7447709220 - Inductor de Potencia (SMD) 22uH	1	3,14	3,14
				<b>21,8770496</b>

- Microcontrolador y su electrónica

Tabla 6. Desglose precios de microcontrolador y su electrónica

Componente	Referencia	Número	Precio (Unidad)	Precio Total
Microcontrolador	PIC32MZ2048ECM064	1	13,756036	13,756036
Condensador	Kemet 0805 0,1uF	9	0,049616	0,446544
Resistencia	CRCW08052K40JNEA 2,4K	2	0,131	0,262
				<b>14,46458</b>

- Control de motores

Tabla 7. Desglose precios de control de motores

Componente	Referencia	Número	Precio (Unidad)	Precio Total
Motores	Hubsan x4 H107L	4	1,2286162	4,9144648
Diodo	DB2430700L	4	0,977	3,908
Condensador	T491B227M004AT 220uF	4	1,49	5,96
Transistor	FDN339AN	4	0,249	0,996
Resistencia	RC1206FR-0710KL 10k	4	0,119	0,476
				<b>16,2544648</b>

- Electrónica de la cámara

Tabla 8. Desglose precios de electrónica de la cámara

Componente	Referencia	Número	Precio (Unidad)	Precio Total
Regulador	NCP1117ST18T3G 1,8V	1	0,663	0,663
Condensador	C1005X7R1H104K050BB 0,1uF	2	0,222	0,444
Condensador	F921C105MPA 1uF	1	0,108	0,108
Condensador	293D106X06R3B2TE3 10uF	1	0,139	0,139
Diodo	BAT54XV2T1G	1	0,292	0,292
Cámara	5M Pixel CSI Camera for pcDuino3	1	15,9	15,9
				<b>17,546</b>

- Resto de componentes

Tabla 9. Desglose precios del resto de componentes

Componente	Referencia	Número	Precio (Unidad)	Precio Total
IMU	9 Degrees of freedom-Razor	1	58,596496	58,596496
Barómetro	MPL3115A2	1	4,3414	4,3414
Wifi	ESP8266	1	6,195798	6,195798
Pulsador	Interruptor Táctil tipo Botón	1	0,2840516	0,2840516
Protoboard doble cara	Placa de Cobre para PCB 100 x 160 x 1.6mm 35um	1	5,160064	5,160064
Led	HSME-C150 Verde	4	0,651	2,604
				<b>77,1818096</b>

El precio del prototipo incluye los costes del sistema de alimentación del prototipo, el microcontrolador y su electrónica, control de motores y el resto de componentes. Todo este conjunto suma un total de 125,95 dólares americanos o 101,53 euros.

El precio del futuro dron que incorporará toda la electrónica restante va a estar compuesta por los costes del nuevo sistema de alimentación, el microcontrolador y su electrónica, los controladores de los motores, la electrónica de la cámara y el resto de componentes. El conjunto suma un total de 133,86 dólares americanos o 107,91 euros.

En este escueto presupuesto no se ha tenido en cuenta cosas como el instrumental, ya que, son cosas que se encontraban en el laboratorio. Respecto al sueldo medio de un Ingeniero en Telecomunicaciones sin experiencia es de aproximadamente 10.000 pesos mexicanos [15] al mes, lo que equivaldría a 435,007 euros mensuales.

## Conclusiones

Los resultados han sido satisfactorios, logrando solventar todos los problemas que presentaba el diseño eléctrico y, al mismo tiempo, retrasaba otras tareas. Debido a cuestiones de tiempo no se pudo dejar una versión completamente acabada, sin embargo, se dejó los pasos y esquemáticos que se deberán seguir para culminar con este trabajo. Pese a la falta de algunos elementos se obtuvo un prototipo capaz de volar y comunicarse con los distintos componentes, de modo que, permitirá el testeo de la parte software.

El principal problema al que se van a tener que enfrentar los nuevos integrantes del grupo de desarrollo del dron va a ser el de lograr encajar toda la circuitería sobre la misma PCB, ya que, el área disponible de trabajo es bastante reducida y ya se ha consumido gran parte de ella. Se tendrá que estudiar la viabilidad para lograr que todo encaje o realizar los circuitos en otra PCB para después unirla a la principal, tal y como se hizo con el prototipo dejado.

Respecto a las posibles futuras líneas de trabajo quedan las que ya se acaban de mencionar respecto a la integración de la electrónica. A parte, se podría buscar otro tipo de sensores para diferentes aplicaciones. Se le podría añadir sensores de olor o de temperatura para intentar localizar aromas específicos (esto podría ser de especial utilidad en búsqueda de personas en desastres naturales, tales como temblores) o fuegos. Sería especialmente útil en este micro-dron, ya que, las corrientes de aire que formaría sus hélices no serían muy grandes, evitando la dispersión del aroma.

Junto con el anterior cambio mencionado se podría crear un sistema de comunicación entre los drones vía wifi para que sean capaces de intercambiar información útil entre ellos, lo que permitiría un análisis de zonas extensas en un tiempo reducido (dependiente del número de drones que estuvieran conectados). El coste de este dron lo vuelve especialmente interesante.

Para lograr una reducción del costo del dron y hacerlo más atractivo a ser desarrollado por otros grupos se podría buscar el cambio de la electrónica usada por otra de menor coste y que, al mismo tiempo, mantenga todas sus cualidades.

Para finalizar y respecto a su posible función en sitios de conflicto se podría buscar nuevos motores o hélices que lo hicieran más silencioso para dificultar tu detección



## Referencias

- [1] J. Sanz, «Historia de la Historia,» 30 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://historiasdelahistoria.com/2015/01/30/el-google-maps-columbino>. [Último acceso: 5 Octubre 2017].
- [2] J. Sanz, «Historias de la Histia,» 12 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://historiasdelahistoria.com/2015/05/12/los-drones-de-la-segunda-guerra-mundial>. [Último acceso: 5 Octubre 2017].
- [3] «Tu Quadcopter,» 14 Octubre 2017. [En línea]. Available: <http://tuquadcopter.com/quien-invento-los-drones/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2017].
- [4] S. México, «Dirección General de Aeronautica Civil-Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aereo mexicano,» 25 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAC-archivo/modulo3/co-av-23-10-r4.pdf>. [Último acceso: 5 Octubre 2017].
- [5] J. Baker, «opensource.com,» 12 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://opensource.com/article/18/2/drone-projects>. [Último acceso: 2 Marzo 2018].
- [6] «Wikipedia,» 26 Diciembre 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente\\_conmutada](https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_conmutada). [Último acceso: 15 Enero 2018].
- [7] «Wikipedia,» 26 Septiembre 2017. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor\\_Boost](https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_Boost). [Último acceso: 12 Octubre 2017].
- [8] «Impresoras-D.com,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>. [Último acceso: 7 Marzo 2018].
- [9] SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), «Regula la SCT el uso de Aeronaves No Tripuladas (Drones),» 29 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/regula-la-sct-el-uso-de-aeronaves-no-tripuladas-drones/>. [Último acceso: 16 Octubre 2017].
- [10] SparkFun, «SparkFun,» [En línea]. Available:

- <https://www.sparkfun.com/products/10967>. [Último acceso: 24 Septiembre 2017].
- [11] iee (Ingeniería Eléctrica Electrónica, S.A.), «CuninGan,» [En línea]. Available: <https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>. [Último acceso: 12 Octubre 2017].
- [12] MAXIM, [En línea]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX608.pdf>. [Último acceso: 25 Septiembre 2017].
- [13] «LinkSprite,» [En línea]. Available: <http://store.linksprite.com/5m-pixel-csi-camera-for-pcduino3/>. [Último acceso: 5 Diciembre 2017].
- [14] «LinkSprite,» [En línea]. Available: [https://s3.amazonaws.com/pcduino/camera/2MP/camera\\_interface.pdf](https://s3.amazonaws.com/pcduino/camera/2MP/camera_interface.pdf). [Último acceso: 5 Diciembre 2017].
- [15] «Cuanto Gana,» 2015 Mayo 29. [En línea]. Available: <https://www.cuanto-gana.com/cuanto-gana-un-ingeniero-en-redes-y-telecomunicaciones/>. [Último acceso: 18 Febrero 2018].

## Bibliografía

- [16] DARPA, «Unmanned Systems,» 2 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1005.363&rep=rep1&type=pdf>. [Último acceso: 7 Octubre 2017].
- [17] «Open Source Initiative,» 1198. [En línea]. Available: <https://opensource.org/about>. [Último acceso: 7 Septiembre 2017].
- [18] SparkFun, «SparkFun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/11084>. [Último acceso: 8 Septiembre 2017].
- [19] Texas Instruments, «Digi-Key Electronics,» [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/product-detail/en/texas-instruments/REG1117A-1.8/REG1117A-1.8-ND/307902>. [Último acceso: 18 Noviembre 2017].
- [20] SCT, «SIPSE.COM,» 18 Marzo 2018. [En línea]. Available:

<https://sipse.com/mexico/mexico-regula-sct-uso-aeronaves-no-tripuladas-drones-149187.html>. [Último acceso: 18 Marzo 2018].

- [21] SparkFun, «SparkFun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/retired/10736>. [Último acceso: 15 Octubre 2017].
- [22] P. Coronado, «UAM,» Julio 2013. [En línea]. Available: [https://www.uam.es/personal\\_pas/patricio/documentos\\_compartidos/documentos/Creacion\\_de\\_componentes\\_para\\_simular\\_con\\_OrCAD\\_PSpice\\_teniendo\\_su\\_macromodelo.pdf](https://www.uam.es/personal_pas/patricio/documentos_compartidos/documentos/Creacion_de_componentes_para_simular_con_OrCAD_PSpice_teniendo_su_macromodelo.pdf). [Último acceso: 5 Septiembre 2017].
- [23] Juan D. Aguilar, Antonio Domenech y Javier Garrido, «Guía Básica de PSPiece 5.0,» [En línea]. Available: [http://dfs.uib.es/GTE/education/fisica/electronica\\_l/manual\\_PSPICE.pdf](http://dfs.uib.es/GTE/education/fisica/electronica_l/manual_PSPICE.pdf). [Último acceso: 9 Septiembre 2017].
- [24] Fairchild, Noviembre 1999. [En línea]. Available: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/FD/FDN339AN.pdf>. [Último acceso: 16 Septiembre 2017].
- [25] Panasonic, «Panasonic,» 19 Abril 2013. [En línea]. Available: [https://industrial.panasonic.com/content/data/SC/ds/ds4/DB2430700L\\_E.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/SC/ds/ds4/DB2430700L_E.pdf). [Último acceso: 16 Septiembre 2017].

## Anexo

Tabla 10. Valores de las resistencias usadas para la caracterización de un NCP1402

Resistencia( $\Omega$ )	100	50	33,3	25	20	16,7	14,286	12,5	10	9,4	7,83	6,71	5,875
-------------------------	-----	----	------	----	----	------	--------	------	----	-----	------	------	-------

Tabla 11. Valores de las resistencias usadas para la caracterización de dos NCP1402

Resistencia( $\Omega$ )	100	50	33,3	25	20	16,7	14,286	12,5	10	9,4	7,83	6,71	5,875	5,2	4,7
-------------------------	-----	----	------	----	----	------	--------	------	----	-----	------	------	-------	-----	-----

Tabla 12. Componentes para el nuevo convertidor Boost

Componentes para el nuevo convertidor	
Convertidor	MAX608
Condensador C2 y C3 (0,1 $\mu$ F)	C1005X7R1H104K050BB
Condensador C1 (150 $\mu$ F)	EEE-FTE151XAP
Condensador C4 (2X100 $\mu$ F=200 $\mu$ F)	T510X107M020ATE040
Inductor L1 (22 $\mu$ H)	7447709220
Transistor	FDN339AN
Resistencia (Rsense)	LR2512-R05FW
Diodo D1	MRA4007T3G

Tabla 13. Componentes para la alimentación de la cámara (figuras 13 y 14)

Componentes para la cámara	
Cámara	5M Pixel CSI Camera for pcDuino3
Condensador C1 y C4 (0,1 $\mu$ F)	C1005X7R1H104K050BB
Condensador C2 (1 $\mu$ F)	F921C105MPA
Condensador C3 (10 $\mu$ F)	293D106X06R3B2TE3
Diodo D1	BAT54XV2T1G
Reguladores	NCP1117ST18T3G

