



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Trabajo Final de Grado  
Grado en Ingeniería Aeroespacial

---

# DESARROLLO DE MIDDLEWARES PARA PILOTOS AUTOMÁTICOS DE BAJO COSTE

---

## MANUAL DE USUARIO

Curso académico 2017-2018

Alumno: ANDRÉS MASIP, Miguel

Tutor: GARCÍA-NIETO RODRÍGUEZ, Sergio

# Tabla de contenidos

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>GNU/Linux</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Configuración del hardware</b>	<b>6</b>
3.1	Primeros pasos . . . . .	6
3.2	Actualización . . . . .	7
3.3	Flash de la memoria . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Descarga del software</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Compilado del código</b>	<b>11</b>
5.1	Exportar y configurar el código . . . . .	11
<b>6</b>	<b>QGroundControl</b>	<b>13</b>
6.1	Descarga y ejecución . . . . .	13
6.2	Configuración . . . . .	14
6.3	Calibrado y puesta a punto de sensores . . . . .	14
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>16</b>

# Lista de figuras

3.1	Tabla de drivers para reconocer la BeagleBone Blue en los principales SO. . . . .	7
4.1	Fragmento del repositorio PX4 visualizado en la plataforma GitHub .	9
5.1	Entorno Cloud9 visualizado directamente en navegador detallando la opción de subida de archivos locales . . . . .	12
6.1	Detalle de la información expuesta por el protocolo de comunicación .	14
6.2	Página principal de QGround Control . . . . .	14
6.3	Proceso de calibración del acelerómetro . . . . .	15

# Introducción

El presente documento recoge las principales directrices para la configuración y puesta en funcionamiento del código PX4 sobre la plataforma BeagleBone Blue. Se deberá comentar que todos los archivos de configuración vendrán estructurados según la interfaz y programación desarrollada en "Desarrollo de Middlewares para pilotos automáticos de bajo coste".

Esta plataforma de control aúna todas las ventajas de los SBC desarrollados por BeagleBone (documentación y años de desarrollo) pero confeccionado sobre un novedoso y potente hardware. Además ofrece las ventajas de integrar multitud de protocolos de comunicación, puertos, un barómetro y una unidad inercial de 9DOF, características idóneas para ser una plataforma UAV.

En lo relativo al software, se empleará el código *PX4 flight stack* siendo este multiplataforma, abierto y con licencia BSD. El funcionamiento básico y las características principales de este piloto automático se adjuntan a lo largo del documento principal anexo a este mismo.

El hardware, lanzado al mercado en 2016, y el software, en constante crecimiento y actualización (versión relativa al 4/7/2018), constituyen 2 de las opciones más novedosas del mercado. En principio, los requisitos para compilar, gestionar y montar el sistema no deben ser muy potentes, simplemente compatibles con la versión de GNU/Linux o Windows empleada.

# GNU/Linux

Se recomienda a nivel usuario conocer configuraciones básicas sobre el sistema operativo GNU/Linux, en concreto con la distribución Debian. Las principales características que es será necesario remarcar para el correcto seguimiento de las instrucciones establecidas en este manual serán:

- Integración y control de todas las características y comunicaciones desde el terminal, programación con línea de comandos.
- Posibilidad super-usuario para acceder a características y configuraciones prohibidas o bloqueadas en otros sistemas.
- Filosofía “everything is a file”. Permite jerarquizar, ordenar y acceder a cualquier configuración o característica del sistema a través del gestor de archivos.
- Principales comandos:
  - apt-get: sus opciones *install* o *upgrade* permite actualizar o instalar todos los paquetes y complementos que ofrece el repositorio Linux.
  - make: compila un archivo raíz *cmake* o similares. Las configuraciones establecidas se podrán modificar al llamar a la instrucción, en el archivo raíz o configurando el compilador<sup>1</sup> de Linux.
  - ls: genera una lista con los documentos asociados a un directorio.
  - cd: cambia el directorio de trabajo.
  - lsmod: genera una lista de módulos activos.
  - chmod: permite el cambio de los permisos sobre un fichero.
  - ./: previo a un archivo binario o ejecutable para lanzarlo.

Otra serie de comandos útiles en este SO se pueden encontrar en la ayuda por defecto de Linux o mediante la búsqueda del problema en la web. Estos comandos serán suficientes para el seguimiento de este manual.

---

<sup>1</sup>GCC: familia nativa de compiladores del proyecto GNU

# Configuración del hardware

La capacidad wireless, puerto micro-USB o ranura para micro-SD permiten multitud de opciones de intercambio de información con la BeagleBone. Las posibles conexiones son:

- Protocolo ssh: conexión por cable de cualquier dispositivo a un ordenador. Exige una contraseña y se permite el control desde el terminal ordenador.
- Mediante Cloud9: una conexión directa accediendo al IDE cloud9, que permite intercambiar directamente información con el hardware a través del navegador en la dirección 192.168.7.2:3000. Acceso local mediante protocolo de red.
- Wifi generado por la BeagleBone Blue: la conexión wireless permite que nuestro ordenador se conecte a la red generada por el hardware.
- Ranura micro-SD: muy útil para *flashear* la memoria interna. No recomendable para el uso y envío normal de información, aunque es viable gestionar archivos internos o ampliar la memoria disponible con este dispositivo.

En base a las preferencias particulares se utilizará el segundo método puesto que ofrece las siguientes ventajas:

- Utiliza la herramienta nativa, más extendida, intuitiva y recomendada en la página oficial (Cloud9).
- Evita problemas con la autenticación o incompatibilidad de versiones en los protocolos de redes.

Sin embargo, cualquier otro método será viable pero en este documento sólo se detallarán los procedimientos concretos para este acceso.

## 3.1 Primeros pasos

Dispuesto todo el hardware necesario (incluyendo el cable micro-USB) se procederá a la puesta en marcha de la BeagleBone Blue. Evidentemente, estos primeros

pasos se pueden ver sometidos a variaciones puntuales en función de la versión del software de la BeagleBone y del ordenador que se utilice, así como configuraciones de drivers, actualizaciones o protocolos.

En primer lugar, en la pagina oficial de BeagleBone ([beagleboard.org](http://beagleboard.org)) encontraremos los drivers necesarios para los 3 principales sistemas operativos del mercado. Aunque la conexión y detección del hardware será instantánea, si hubiera algún conflicto se podrían descargar estos elementos para la detección del dispositivo.

Operating System	USB Drivers	Comments
Windows (64-bit)	<a href="#">64-bit installer</a>	If in doubt, try the 64-bit installer first.
Windows (32-bit)	<a href="#">32-bit installer</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Note #1:</b> Windows Driver Certification warning may pop up two or three times. Click "Ignore", "Install" or "Run"</li> <li>• <b>Note #2:</b> To check if you're running 32 or 64-bit Windows see this: <a href="http://support.microsoft.com/kb/827218">support.microsoft.com/kb/827218</a></li> <li>• <b>Note #3:</b> On systems without the latest service release, you may get an error (0xc00007b). In that case, please install the following and retry: <a href="http://www.microsoft.com/en-us/download/confirmation.aspx?id=13523">www.microsoft.com/en-us/download/confirmation.aspx?id=13523</a></li> <li>• <b>Note #4:</b> You may need to reboot Windows.</li> <li>• <b>Note #5:</b> These drivers have been tested to work up to Windows 10</li> </ul>
Mac OS X	<a href="#">Network Serial</a>	Install both sets of drivers.
Linux	<a href="#">mkudevrule.sh</a>	Driver installation isn't required, but you might find a few udev rules helpful.

Fig. 3.1: Tabla de drivers para reconocer la BeagleBone Blue en los principales SO.

Una vez conectada y reconocida la unidad BeagleBone, se puede acceder al entorno Cloud9 desde la página web o accediendo a la siguiente dirección de navegador<sup>1</sup> [192.168.7.2:3000](http://192.168.7.2:3000). Salvo fallo de conexión, unidad defectuosa o errores en actualizaciones se accederá directamente al entorno de desarrollo para poder interactuar, modificar o ejecutar archivos desde el dispositivo.

**Nota:** se recomienda el video de configuración o *getting-started* disponible en la página oficial. El enlace de YouTube será [https://www.youtube.com/watch?v=pTpUMajQS\\_U&t=302s](https://www.youtube.com/watch?v=pTpUMajQS_U&t=302s)

## 3.2 Actualización

Se ha comentado la configuración básica y los primeros pasos para la instalación y reconocimiento de la BeagleBone Blue. Sin embargo, para asegurar el correcto funcionamiento y actualización del sistema se deben seguir una serie de pasos.

---

```
sudo apt-get upgrade
sudo apt-get update
sudo apt-get install <paquete>
```

---

<sup>1</sup>Sólo compatible con Firefox y Chrome

Estos pasos permitirán la instalación de paquetes o actualización de los mismos y del sistema. Serán familiares para los usuarios habituales de Linux.

### 3.3 Flash de la memoria

A lo largo de todas las modificaciones y archivos utilizados en el desarrollo de este u otros proyectos se puede generar ciertas alteraciones del software básico o errores. Estos pueden conducir a un funcionamiento deficiente o deshabilitar algunas funciones básicas de la capa de linux por defecto.

Es importante conocer la forma de remediar dicha alteración con una secuencia de pasos perfectamente definida:

- Descarga de una imagen de Linux oficial compatible con nuestro hardware (<http://beagleboard.org/latest-images>).
- Descarga e instalación de un escritor de imágenes, siendo recomendado en la página oficial Etcher. Este programa es accesible en <https://etcher.io/>.
- Se escribe una imagen en la micro-SD utilizando el escritor. Se elimina # en la instrucción `'cmdline = init = /opt/scripts/tools/eMMC/init - eMMC - flasher - v3.sh'` presente en el archivo `/boot/uENV.txt`<sup>2</sup>.
- Se mantiene presionado el botón SD a la vez que se conecta a la corriente. Esto iniciará el *flash* de la memoria-
- Tras unos instantes de secuencia sin patrón por parte de los LEDs, estos realizarán el escáner de Larson<sup>3</sup>
- Se espera hasta que todos los LEDs estén apagados o encendidos indistintamente. Puede tardar unos 15-25 min dependiendo de la distribución y versión.
- Si se tarda mas de 45 min, se repite el proceso desde el paso 4 ya que se puede haber producido algún error.

---

<sup>2</sup>Puede necesitar de permisos de super usuario

<sup>3</sup>Secuencia característica de iluminación progresiva de vaivén a lo largo de una disposición direccional de LEDs. En honor a Glen A. Larson

# Descarga del software

El hecho de ser una plataforma de código abierto y libre desarrollo, además de trabajar con Linux permitirá utilizar GitHub de forma muy cómoda.

Como se ha comentado en la memoria principal de este documento, Github (<https://github.com/>) es el lugar donde se almacenan, actualizan y supervisan todas las versiones del código. La gran comunidad que alberga, la facilidad de trabajo, la versatilidad y la integración de sistemas operativos como Linux lo convierten en una herramienta perfecta para el desarrollo de este tipo de plataformas de código libre.

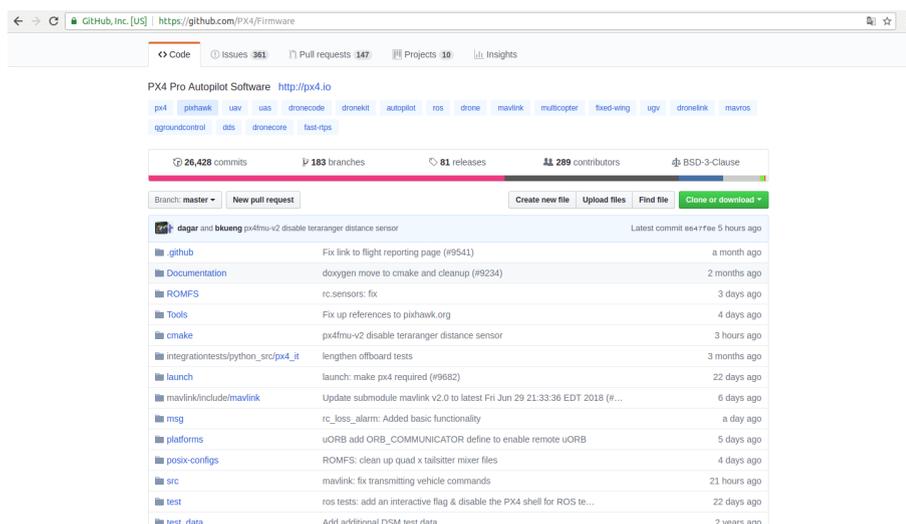


Fig. 4.1: Fragmento del repositorio PX4 visualizado en la plataforma GitHub

Para descargar y actualizar la última versión de software necesitamos acceder al directorio de almacenamiento. En el terminal de Linux se introduce la siguiente instrucción:

---

```
git clone https://github.com/PX4/Firmware.git
```

---

Esta acción generará una nueva carpeta denominada Firmware en aquel directorio de trabajo donde este situado el terminal en ese momento. Esta acción de clonado descargará la versión oficial, que a fecha actual no albergará el repositorio desarrollado y compatible con la BeagleBone Blue. En este caso, sólo sería necesario introducir la dirección de aquel repositorio dónde se encuentre el código utilizado en este documento.

**Nota:** para poder clonar el repositorio se necesitará una cuenta en vigor y autenticada en el navegador utilizado.

# Compilado del código

En primer lugar, debido al formato de compilación elegido (*cross-compilation*), es decir, fuera del hardware se necesitará posteriormente subir/enviar el build a la BeagleBone Blue.

Esto necesitará de dos sencillos comandos<sup>1</sup> directamente introducidos en el terminal:

---

```
cd <Director PX4>/Firmware  
make posix_bbblue_cross
```

---

En algunos casos, según versión de Linux, paquetes y librerías descargadas, se podrá encontrar algún error de compilación o actualización. Errores fácilmente enmendables con conocimientos básicos del terminal de linux, del repositorio apt-get y a través de las indicaciones o fallos detectados en la compilación:

---

```
sudo apt-get install <librerias>
```

---

## 5.1 Exportar y configurar el código

**Abrir Cloud9:** esta etapa ha sido explicada previamente y constituye el primer paso para acceder al hardware disponible.

**Cargar el código en el entrono Cloud9:** se sube el documento mediante la instrucción detallada en la figura 5.1. Se deberán subir los archivos básicos de configuración y todas las librerías asociadas al archivo px4.

---

<sup>1</sup>En el documento origen y en el manual de programación se explican posibles errores y supuestos en el caso de no ejecutarse correctamente.

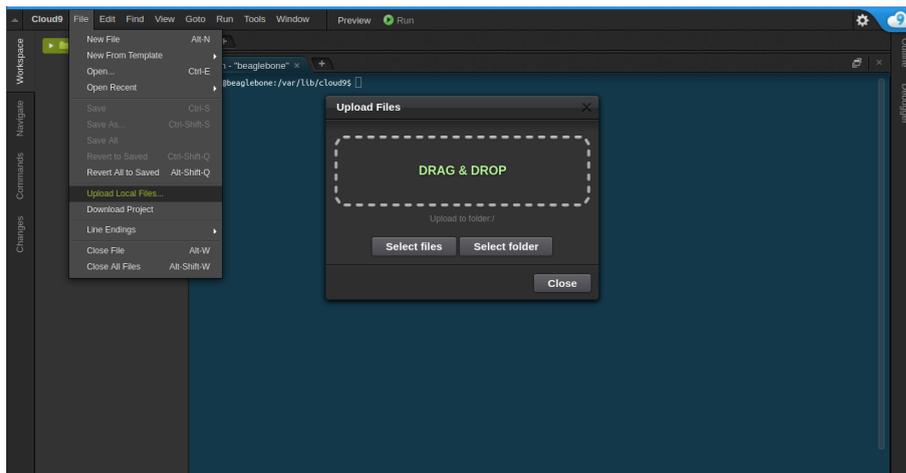


Fig. 5.1: Entorno Cloud9 visualizado directamente en navegador detallando la opción de subida de archivos locales

**Ejecución del código:** finalmente se utilizarán los siguientes comandos para ejecutar el archivo px4. La secuencia se fundamenta en una localización del directorio, cambio de permisos como súper usuario y ejecución del archivo con la configuración propuesta.

---

```
cd <directorio posix_bbblue_cross>
sudo chmod +x px4
sudo ./px4 bbblue/px4.config
```

---

**Nota:** contraseña de súper usuario para imagen Debian por defecto: *temppwd*. No ejecutar el cambio de permisos o el código como súper usuario puede generar errores del tipo *permission denied*.

# QGroundControl

La plataforma de soporte y control de la aeronave será aquella que forma parte del proyecto DroneCode. En este manual de usuario se remarcarán determinados aspectos claves de dicha plataforma, así como introducirán los principales aspectos de instalación y configuración que permitirán a la plataforma comunicarse e interactuar con la aeronave.

Como se puede consultar en <http://qgroundcontrol.com/> o en la memoria anexada, este software enlaza con el sistema a controlar mediante el protocolo de comunicación MAVLink, comentado e introducido a lo largo de los documentos planteados. A partir de este enlace permitirá entre otras cosas:

- Configurar las condiciones previas y calibrar todos los sensores disponibles.
- Rastrear e informar de todas las posiciones de la aeronave.
- Planificar y diseñar rutas.

Las posibilidades abarcables por el QGroundControl dependerán de la aeronave, el número de sensores disponibles o la conexión GPS por ejemplo. Sin embargo, en este documento sólo se expondrán aquellas relacionadas con el primer punto de la exposición anterior, puesto que son aquellos relacionados con el Middlewares y los principales desarrollos expuestos en este proyecto.

## 6.1 Descarga y ejecución

En primer lugar, se deberá acceder a la página principal donde se aloja el software y descargar el programa<sup>1</sup>. Por otra parte, una vez descargado y alojado en un directorio se procederá a establecer la secuencia para arrancar el control de tierra:

---

```
cd <directorio>
./QGroundControl
```

---

<sup>1</sup>En el caso de este manual, se descargará para el sistema operativo Linux la última versión disponible a fecha 1/7/2018.

## 6.2 Configuración

Ejecutado el archivo binario y con el código operativo sobre la BeagleBone Blue, el QGroundControl se conectará a dicho hardware a través del protocolo y canal especificados por el enlace Mavlink:

```
INFO [mavlink] mode: Normal, data rate: 1000000 B/s on udp port 14556 remote port 14550
INFO [mavlink] mode: Normal, data rate: 2880 B/s on /dev/ttyS3 @ 57600B
INFO [mavlink] mode: Normal, data rate: 2880 B/s on /dev/ttyS2 @ 57600B
INFO [logger] logger started (mode=all)
pxh> INFO [mavlink] using network interface usb0, IP: 192.168.7.2
INFO [mavlink] with netmask: 255.255.255.252
INFO [mavlink] and broadcast IP: 192.168.7.3
```

Fig. 6.1: Detalle de la información expuesta por el protocolo de comunicación

Arrancando paralelamente el control de tierra y el código PX4, ambas plataformas se deberían sincronizar y emparejarse. de forma automática:

## 6.3 Calibrado y puesta a punto de sensores

Una vez lanzadas y enlazadas ambas plataformas se procederá a la calibración de los sensores. Desde el menú principal (figura 6.2) se accederán a todas las calibraciones propuestas en la pestaña de sensores.

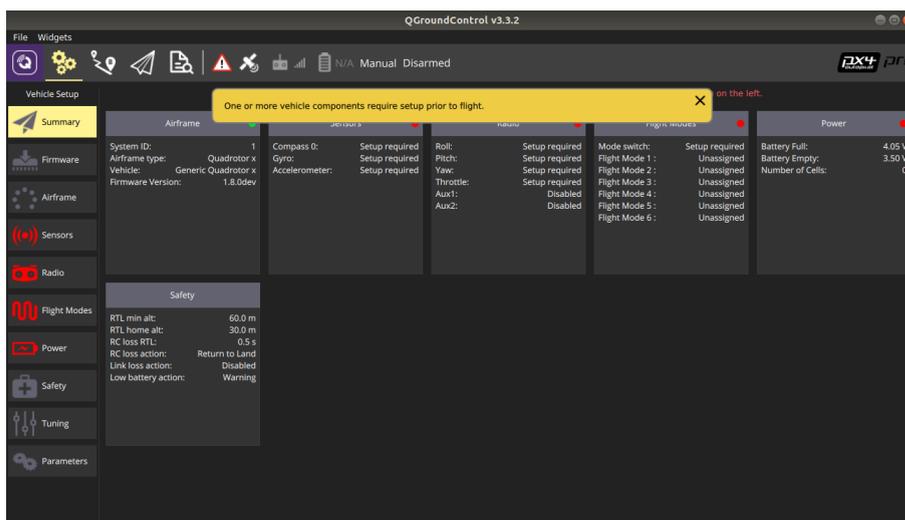


Fig. 6.2: Página principal de QGround Control

Cada uno de los mismos tendrá un proceso y puesta a punto diferente, debiendo seguir las instrucciones y giros propuestos por el programa, como en el ejemplo de la figura 6.3.

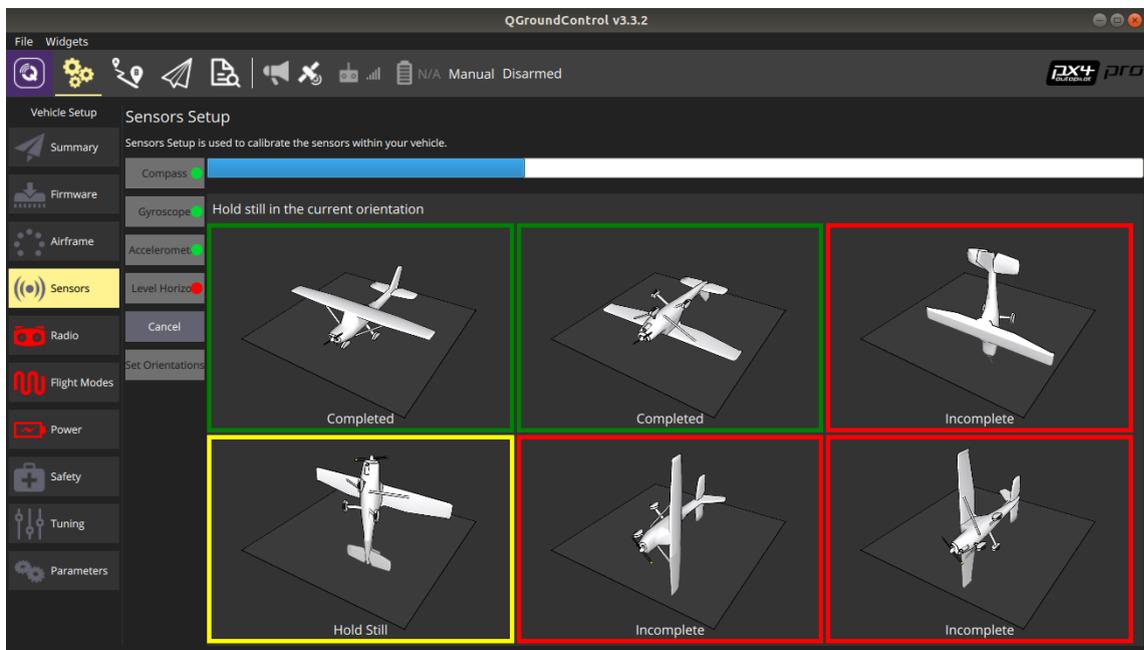


Fig. 6.3: Proceso de calibración del acelerómetro

# Conclusiones

A lo largo de este manual se han expuesto todos los pasos necesarios para compilar, ejecutar y calibrar el autopiloto PX4 sobre la BeagleBone Blue, detallándose todas las configuraciones, descargas y ajustes necesarios para cada uno de los pasos requeridos.

Sin embargo, pueden existir errores puntuales o configuraciones diferentes en función de las diferentes versiones de todos los softwares ejecutados. Además, este manual sólo ha cubierto la inicialización desde Cloud9 y ordenador terminal Linux, quedando otras combinaciones posibles a criterio y búsqueda del usuario. Por otra parte, toda la información contenida en este archivo se puede complementar con las páginas oficiales o bibliografía referida en la memoria anexada a este archivo.