

EL SISTEMA ELECTRÒNIC D'UN DRON

1- INTRODUCCIÓ

Els vehicles aeris no tripulats (VANT) en anglès UAV (*Unmanned Aircraft Vehicle*) també són anomenats drons (de l'anglès *drone*, abellot). Com el seu nom indica, aquests sistemes són aeronaus que no porten tripulació. Inicialment els drons eren aeronaus controlades remotament però cada vegada més s'està imposant el control automàtic.

Electrònicus: Bon dia Episteme. Com estàs avui?

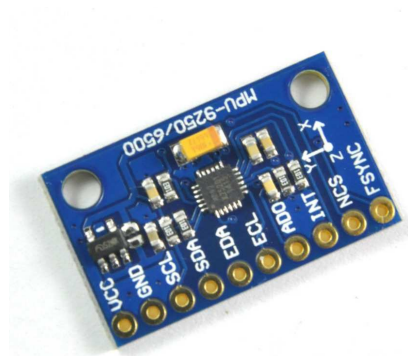
Episteme: Molt bé, amb moltes ganes d'aprendre. Què farem avui en aquest taller?

Electrònicus: Un dels principals sistemes per realitzar el control automàtic de la navegació d'un dron és el seu sistema de mesura inercial (IMU) de l'anglès *Inertial Measurement Unit*. Aquests sistemes utilitzen acceleròmetres, giroscopis i sensors magnètics. En aquest taller es treballaran aquests conceptes i com intervenen en el sistema de navegació.

Episteme: D'acord, d'acord, ja friso per començar. Què haig de fer?

Electrònicus: Tranquil, anem pas a pas. Primer començarem per entendre els sensors de que es compona una IMU.

2- SENSORS D'UNA IMU (SISTEMA DE MESURA INERCIAL).



Ref 1 <http://g03.a.alicdn.com/>

Com ja s'ha comentat les IMUs utilitzen acceleròmetres, giroscopis i sensors magnètics per realitzar el control del sistema de navegació. En aquest taller es treballa amb la IMU comercial MPU-9150 que ja disposa d'aquests tipus de sensors tots aplegats en un únic circuit integrat. Per que funcioni correctament són necessàries unes resistències i uns condensadors externs. A més també ens caldrà utilitzar una placa de circuit imprès per poder adquirir els senyals mesurats per la IMU.

Les connexions que s'utilitzen són GND i Vcc, que són la massa i l'alimentació del sistema. La comunicació que utilitzarem es farà mitjançant busos I2C. És un tipus de comunicació que necessita dues connexions: una línia SDA, per on s'enviaran les dades i una línia SCL que serà l'encarregada de sincronitzar l'enviament d'aquestes dades per a que la recepció sigui la correcta. També utilitzarem ADO, que és una connexió amb la que configurarem la direcció de la IMU si la connectem a la massa. I per últim INT, que serà la connexió encarregada de donar-nos la informació de les interrupcions. Mitjançant les interrupcions sabrem si la IMU ens ha enviat una dada.

2.1- Acceleròmetre.

Com el seu nom indica, aquest sensor mesura l'acceleració. El seu full d'especificacions indica que té 3 graus de llibertat. Això vol dir que pot mesurar l'acceleració en les tres direccions de l'espai (X,Y,Z). També indica que té un fons d'escala programable de 2g fins a $\pm 16g$. El símbol g vol dir

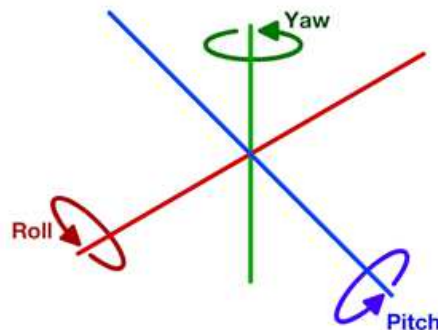
l'acceleració de la gravetat que si considerem que és 9.81m/s^2 vol dir que es pot seleccionar un valor màxim de mesura des de $\pm 19,62\text{ m/s}^2$ fins a $\pm 156,96\text{ m/s}^2$.

Episteme: Amb aquest sensor podríem mesurar l'acceleració d'un cotxe de fórmula 1?

Electrònicus: Els cotxes de fórmula 1 poden passar de 0 a 100km/h en aproximadament 2s. Fes tu mateix el càlcul. (Solució $13,9\text{ m/s}^2$)

2.2- Giroscopi.

El giroscopi s'utilitza per mesurar la velocitat amb la que gira el dron. Per aquest motiu les seves unitats són de graus per segon ($^\circ/\text{s}$) i no de metres per segon (m/s). Aquest sensor també té 3 graus de llibertat això vol dir que pot mesurar velocitats de rotació respecte els eixos X (*roll*), Y (*pitch*) i Z (*yaw*). El full d'especificacions indica que té un fons d'escala també programable de $\pm 250\text{ }^\circ/\text{s}$ fins a $\pm 2000\text{ }^\circ/\text{s}$.



Ref 2 <http://theboredengineers.com>

Episteme: I això és molt o poc?

Electrònicus: Imagina que el dron fes 5 voltes en un segon. Això sí que és anar ràpid! Sabries dir-me si es pot mesurar aquest valor amb la IMU-9150?

2.3- Sensor magnètic.

Com el seu nom indica el sensor magnètic s'encarrega de mesurar el camp magnètic. Aquest sensor també té tres graus de llibertat, és a dir, pot mesurar el camp magnètic en les tres direccions de l'espai. El seu fons d'escala és $1200\mu\text{T}$ (Tesles) i s'utilitza per a mesurar el camp magnètic terrestre i ajudar a realitzar el càlcul de l'orientació del dron.

Episteme: Quant val el camp magnètic terrestre?

Electrònicus: La magnitud del camp magnètic terrestre a la superfície és de $0,25\text{-}0,65\text{ G}$. G és una unitat per mesurar camp magnètic i equival a 10^{-4} T . Em podries dir si amb el nostre sensor podem mesurar el camp magnètic terrestre?

Episteme: Perfecte, ja ho he entès tot.

Electrònicus: Això et penses tu, innocent. Fins que no ho hagi provat no ho podràs dir. I per ajudar-te a retenir els conceptes et proposo les següents activitats:

- Comprova el correcte funcionament dels sensors
- Comprova que amb la informació dels sensors es pot conèixer l'orientació del dron.
- Comprova que es pot controlar l'orientació del dron.

3. CARACTERITZACIÓ DE LA IMU

Episteme: Què vol dir caracteritzar una IMU?

Electrònicus: Vol dir comprovar el correcte funcionament del sensors. Per realitzar aquesta comprovació utilitzarem un programa realitzat pels estudiants del grau d'Enginyeria Electrònica de Telecomunicació (EET) on es pot observar en diferents gràfiques el valor de l'acceleració i la velocitat angular en les tres direccions de l'espai.

Electrònicus: Per poder caracteritzar la nostre IMU utilitzarem una placa anomenada Arduino com a DAQ (sistema d'adquisició de dades).

Las plaques Arduino són unes plaques de circuit imprès simple basades en uns microcontroladors de codi obert. L'objectiu d'aquestes plaques és fer més simple i accessible el disseny de circuits electrònics amb microcontroladors. Aquestes plaques es poden utilitzar per desenvolupar objectes interactius autònoms o poden ser connectades a programari de l'ordinador. L'IDE (Entorn integrat de desenvolupament) serveix per poder-la programar i es pot descarregar gratuïtament. És una molt bona eina per començar a endinsar-se en el món de l'electrònica.



Ref 3 <https://www.arduino.cc/>

```

LIFA_Base Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
LIFA_Base AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h
/*****
**
** LVFA_Firmware - Provides Basic Arduino Sketch For Interfacin
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
*****/
/*****
**
** Includes.
*****/

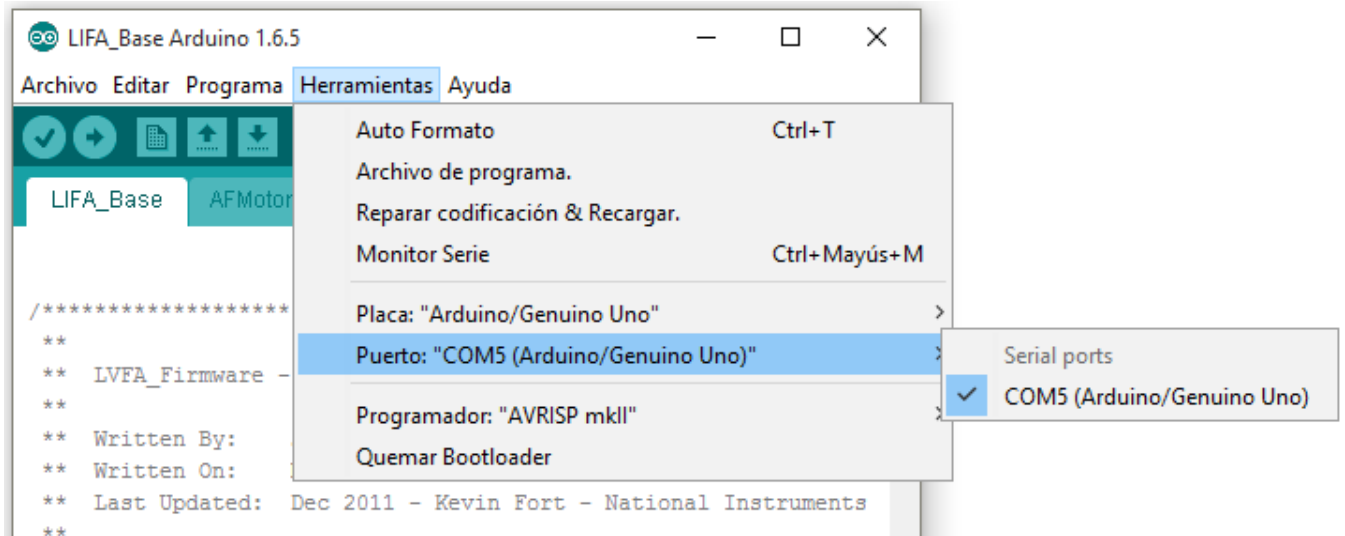
```

Com podeu observar, l'Arduino que teniu a sobre de la taula no és exactament com el que veieu a la foto, ja que a sobre d'aquesta li hem col·locat una placa dissenyada pels estudiants del grau d'Enginyeria Electrònica de Telecomunicació per tal de poder connectar fàcilment la nostra IMU amb l'Arduino. Aquest Arduino agafarà la informació de la nostra IMU i la enviarà mitjançant el cable USB a l'ordinador.

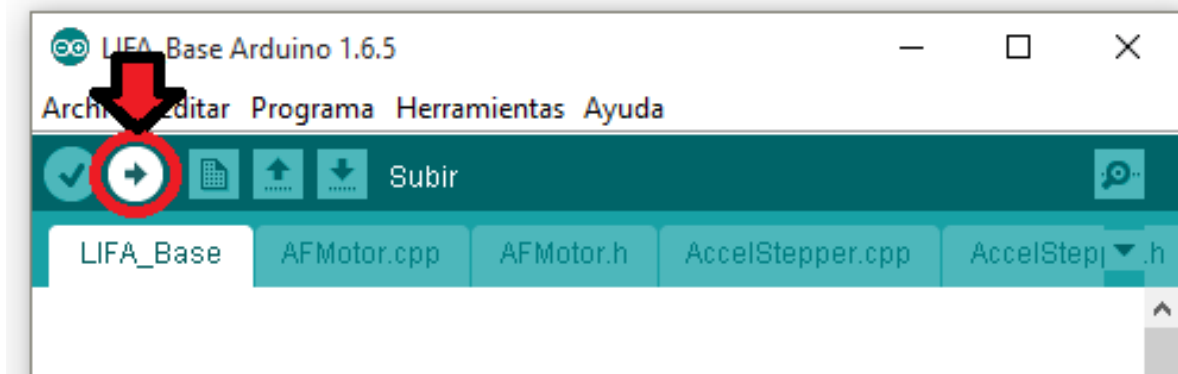
El programa que utilitzarem està programat amb LabVIEW, un entorn de programació gràfic. El que primer hauré de fer és carregar dintre de l'Arduino un programa per tal de que l'Arduino i el LabVIEW es puguin entendre. Carregarem el programa de la següent forma:

Connecteu la placa Arduino que trobareu a sobre de la taula al port USB. Obriu el programa "LIFA_Base.ino" (el podeu trobar a l'escriptori).

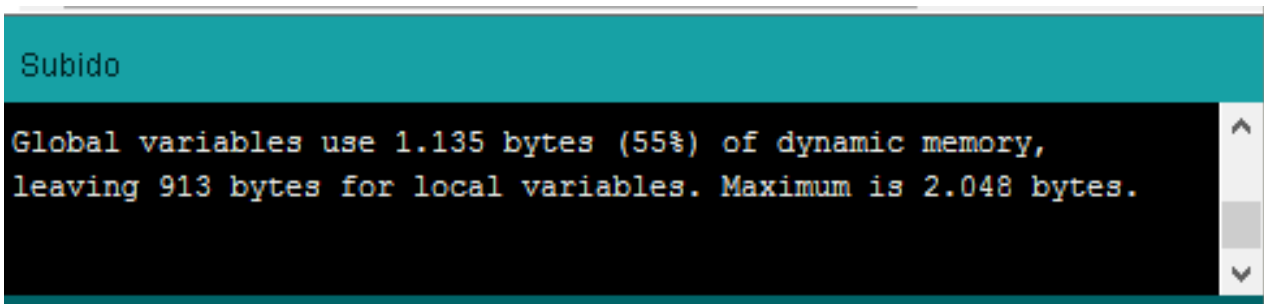
Un cop obert cliqueu a “Herramientas” i comproveu que dintre de Puerto teniu seleccionat un port COM. Si no és així, seleccioneu el que aparegui com a Arduino.



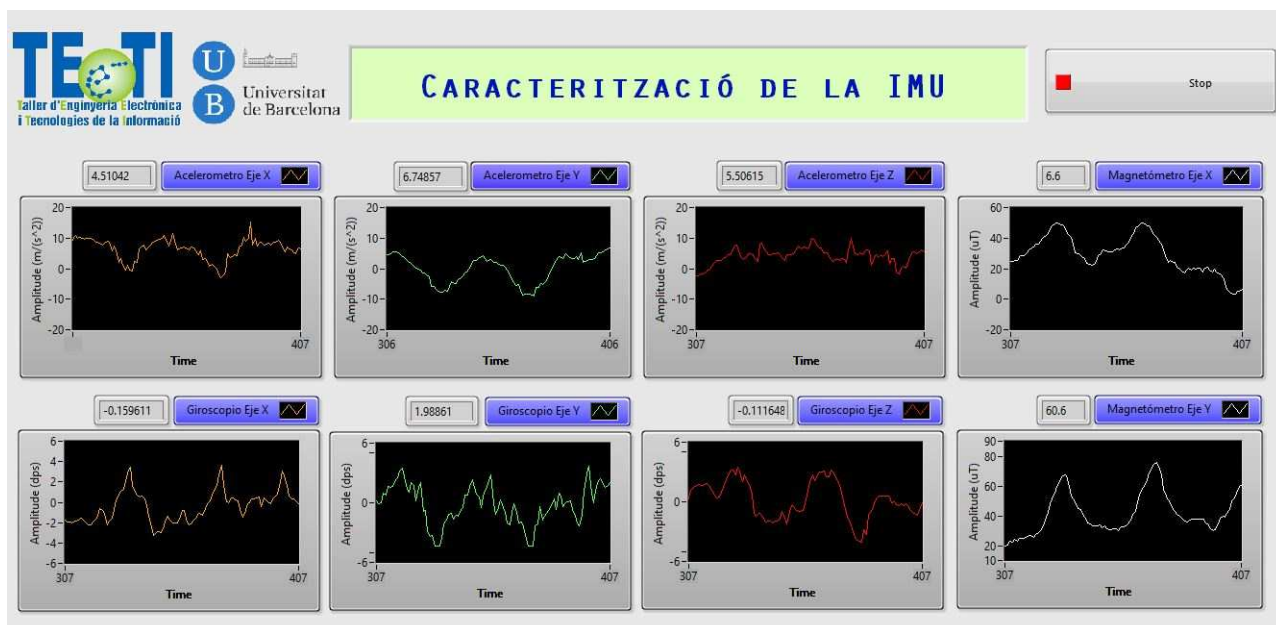
A continuació feu clic a “Subir” (Es el botó que te una fletxa que apunta a la dreta).



Si tot ha estat efectuat correctament ens trobarem que a la part inferior del programa tenim el següent:



Un cop carregat desconnectarem la placa i la tornarem a connectar. D’aquesta forma la reiniciarem. A continuació obrirem el programa “DadesIMU” que trobarem a l’escriptori i se’ns obrirà el següent programa:



En el programa observarem 8 gràfics. Els tres primers de dalt corresponen a les dades l'acceleròmetre (Eix X, Y i Z consecutivament). Els tres primers de sota són les dades corresponents al giroscopi (Eix X, Y i Z consecutivament). I els dos del costat dret corresponen a les dades del magnetòmetre (Eix X i Eix Y)

3.1- Acceleròmetre.

Episteme: Com comprovem que el sensor d'acceleració funciona?

Electrònicus: Els sensors de la IMU en tot moment han de mesurar l'acceleració de la gravetat. Això vol dir que en l'eix Z s'ha de mesurar 9.81m/s^2 . Aprofita el full de respostes per dibuixar el que has observat en les tres pantalles d'acceleració. A més si dones mitja volta al sensor hauràs canviat el sentit i la mesura serà de -9.81m/s^2 .

Episteme: I com comprovem si funcionen els sensors en les altres direccions.

Electrònicus: És molt fàcil continuarem utilitzant l'acceleració de la gravetat. Si canvies la direcció del sensor pots comprovar que el sensors també mesuren correctament en els eixos X i Y.

3.2- Giroscopi.

Episteme: Per comprovar que funciona el giroscopi també utilitzarem l'acceleració de la gravetat?

Electrònicus: Doncs no, ara el que farem és només girar en un sentit i en un altre la IMU. S'ha de veure com varien les dades obtingudes en el programa. Quan gires de forma horària els valors són negatius i quan gires de forma antihorària els valors són positius. Gira en torn a l'eix Z i dibuixa en el full de respostes el que has observat en les tres pantalles quan gires al voltant d'una direcció.

Episteme: I ara haurem de girar en les altres direccions per a comprovar que el giroscopi funciona en els eixos X i Y.

Electrònicus: Correcte, veig que vas agafant el fil.

3.3- Sensor magnètic.

Episteme: I com comproves que pots mesurar el camp magnètic?

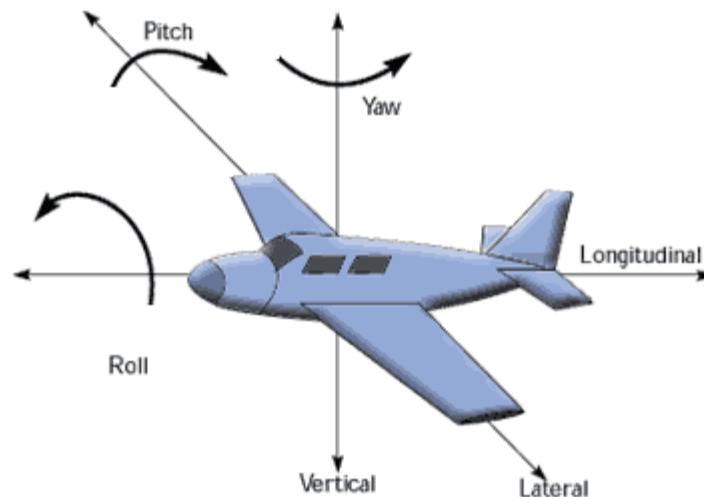
Electrònicus: Doncs el magnetòmetre llegeix el camp magnètic de la terra. Es mesura en μT . Podem comprovar el seu funcionament si al donar-li voltes com si fos una brúixola podem veure un sinus a la gràfica. És a dir, sempre que apunta a una direcció ens donarà un valor determinat.

4. ORIENTACIÓ DE LA IMU

Episteme: Perfecte, i ara què hem de fer?

Electrònicus: Per a saber l'orientació d'una aeronau es necessita saber el valor dels angles guinyada (*yaw*), capcineig (*pitch*) i balanceig (*roll*).

- **Guinyada:** rotació al voltant de l'eix vertical perpendicular a l'avió.
- **Capcineig:** inclinació del morro de l'avió.



Ref 4 <http://www.novatel.com/>

- **Balanceig:** rotació respecte a l'eix morro-cua de l'avió.

Electrònicus: Amb les dades dels sensors (acceleració, velocitat angular i camp magnètic) hi ha diferents algorismes que permeten calcular els angles de navegació d'una aeronau.

(<https://sites.google.com/site/myimuestimationexperience/home>)

$$Pitch = \text{atan}^2 \left(\frac{acc_x}{\sqrt{acc_x^2 + acc_z^2}} \right)$$

$$Roll = \text{atan}^2 \left(\frac{acc_y}{\sqrt{acc_x^2 + acc_z^2}} \right)$$

$$Yaw = \text{atan}^2 \left(\frac{-mag_y \cdot \cos(Roll) + mag_z \cdot \sin(Roll)}{-mag_x \cdot \cos(Pitch) + mag_y \cdot \sin(Pitch) \cdot \sin(Roll) + mag_z \cdot \sin(Pitch) \cdot \cos(Roll)} \right)$$

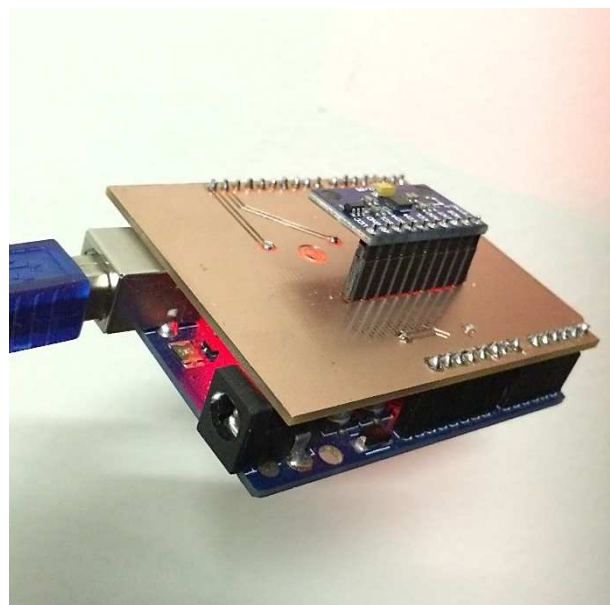
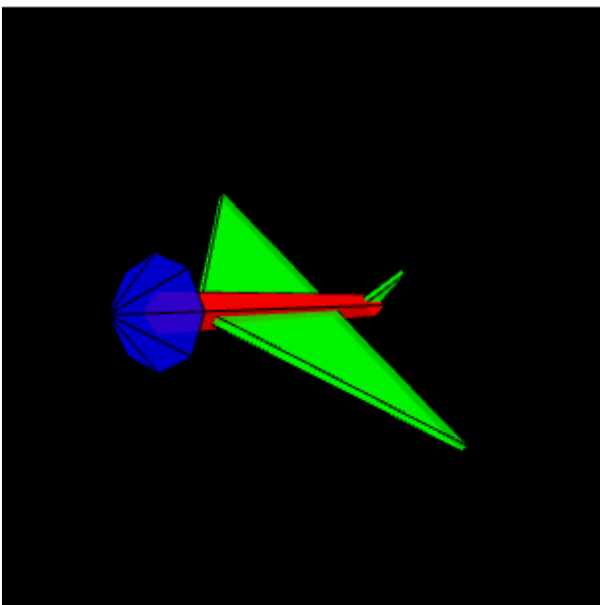
Episteme: Per a fer aquests càlculs podem utilitzar la calculadora?

Electrònicus: No et preocupis. Aquests càlculs els ha de fer un microprocessador o un ordinador doncs les dades d'acceleració, velocitat angular i camp magnètic estan canviant contínuament. Els estudiants d'EET han realitzat diferents codis però sempre hi ha petits errors que fan que el càlcul no sigui del tot correcte. Per això anem a utilitzar un codi de lliure distribució que ens permet comprovar el correcte funcionament de tota la IMU.

Electrònicus: Recordes que hem utilitzat l'Arduino i hem carregat un programa per a que LabVIEW i l'Arduino s'entenguin? Doncs ara hem de carregar un altre per a que un programa creat pels estudiants mitjançant el programa Processor entengui les dades que envia la IMU a l'ordinador.

- Connecteu la placa Arduino com heu fet fa uns moments. Obriu el programa que teniu a l'escriptori anomenat "MPU9150_DMP9.ino".
- Comproveu, com s'ha explicat anteriorment, que dintre de "Herramientas/Puertos Serie" teniu el port COM(Arduino) connectat.
- Carregueu el programa fent clic al botó "Subir".
- Un cop carregat obriu el programa "MPUteapot.pde" (el trobareu també a l'escriptori).
- S'obrirà un programa anomenat "Processing".
- Un cop comprovat doneu-li al boto "Ejecutar".

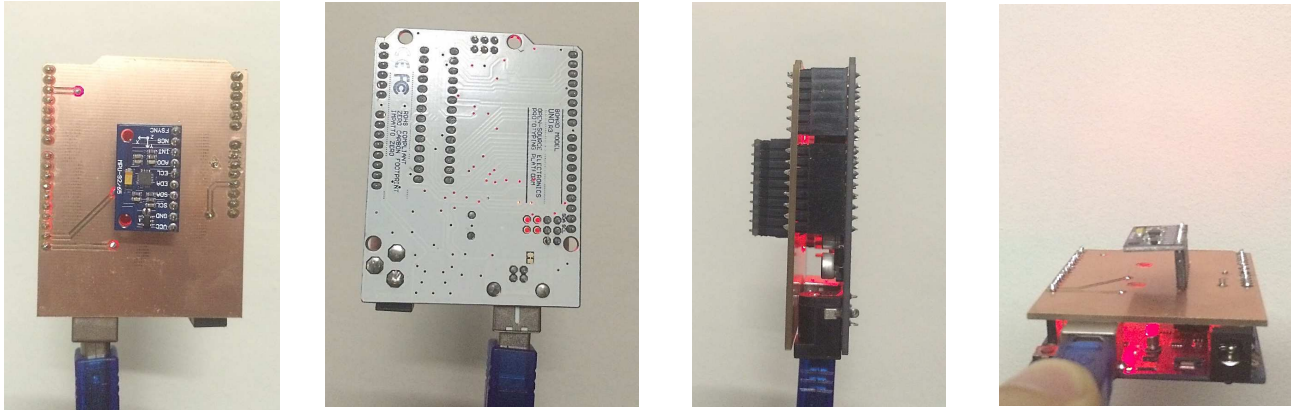
Episteme: Caram! És un petit avió! Vols dir Electrònicus que puc comprovar com l'ordinador reconeix la posició de la meua placa mitjançant aquest programa?



Electrònicus: Oh, i tant! Comprova-ho tu mateix. Mou la IMU i comprova en la pantalla que l'ordinador segueix el moviment de la IMU. Això vol dir que l'ordinador coneix en tot moment l'orientació de l'aeronau Això és gracies al programa carregat a l'Arduino. Aquest programa fa els càlculs amb les dades de la IMU per tal de treure *pitch*, *roll* i *yaw*. Aquestes dades les envia a Processing que orienta la figura depenent d'aquests angles.

Mou la IMU cap amunt sense girar-la i comprova que efectivament la posició de la figura tampoc gira. Pots comprovar com graciés al magnetòmetre només iniciar el programa tenim el dibuix orientat tal i com està orientada la nostra IMU.

Proveu diferents posicions tal i com es mostra en les següents figures:



5. NAVEGACIÓ AUTOMÀTICA

Episteme: Perfecte, ja sé com funciona el sistema de navegació d'una aeronau.

Electrònicus: No creguis, encara n'hi ha més. Amb un balancí, dos motors i una IMU controlem l'angle *pitch*. De forma anàloga es controlaria el *roll* i el *yaw*. Amb un sistema informàtic, un comandament o amb la pròpia IMU podríem indicar la inclinació de l'avió. A l'exemple s'utilitzarà un ordinador com a comandament, i introduïrem els angles mitjançant el teclat. D'aquesta forma és com els estudiants del grau comproven el funcionament de la seva programació en certes assignatures on l'estudiant crea un dron propi. Aquesta part la faré jo, doncs només disposem d'un balancí, però si has encertat les preguntes anteriors et deixaré que juguis una estona amb aquest.

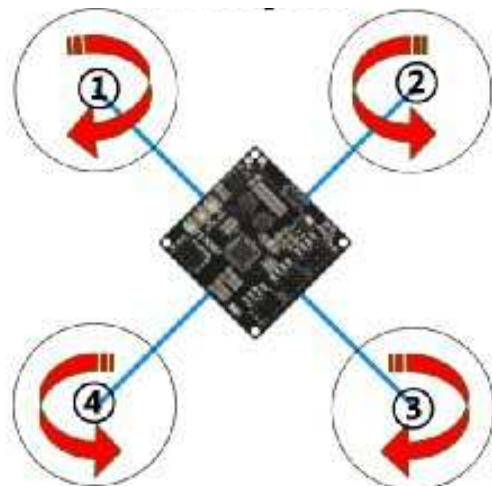


Episteme: Però això no és un dron, això és un balanci.

Electrònics: Els alumnes del grau d'EET al final treballen amb un dron però amb protecció, per temes de seguretat. Com que et veig tant interessat en el tema pots controlar amb un comandament a distància l'orientació del dron.



Controlant el sentit de gir de cada motor és possible realitzar moviments diferents moviments, per exemple si els motors 1 i 3 giren en sentit horari i els motors 2 i 4 antihorari el motor s'enlairarà. Si els motors 1 i 3 es paren el dron començarà a realitzar un gir en sentit horari. Per contra si els motors 2 i 4 es paren el dron realitzarà un moviment de gir antihorari.



Ref 5 <http://www.kkmulticopter.kr/>