



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Universidad  
Rey Juan Carlos

# Sistema de control autónomo en FPGAs libres para robots

Juan Ordóñez Cerezo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Granada

# Index

## 1 Contexto

## 2 Infraestructura

## 3 Robot Balancín

- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

## 4 Cuadricóptero con visión artificial

- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- Diseño del control

## 5 Conclusiones y trabajo futuro

## Robots Autónomos



(a) Roomba



(b) Boston dynamics

## Robótica Educativa





- En este contexto nace IceStudio



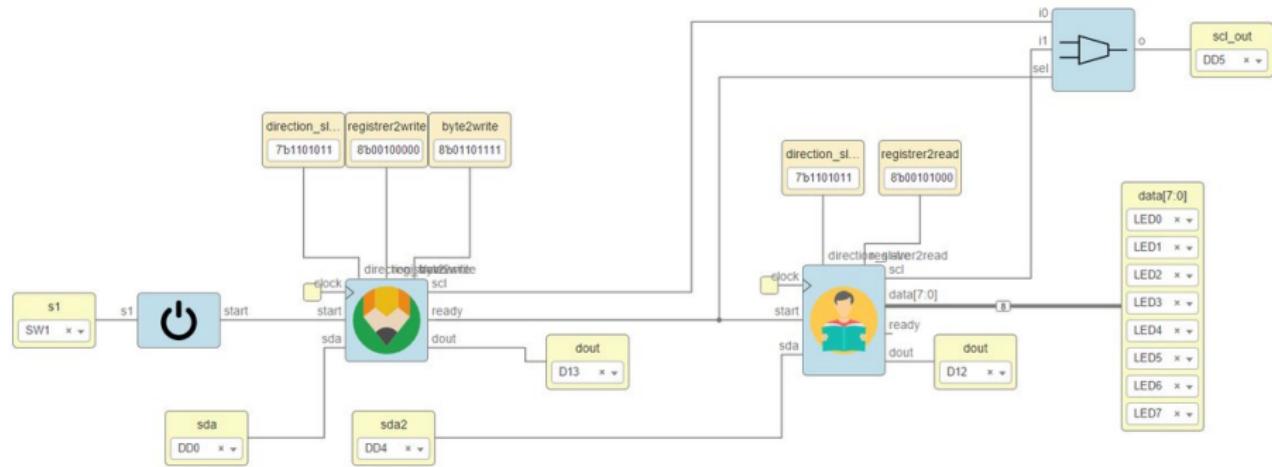
- En este contexto nace IceStudio
- Ensalza el uso de FPGAs incluyendo todas sus ventajas



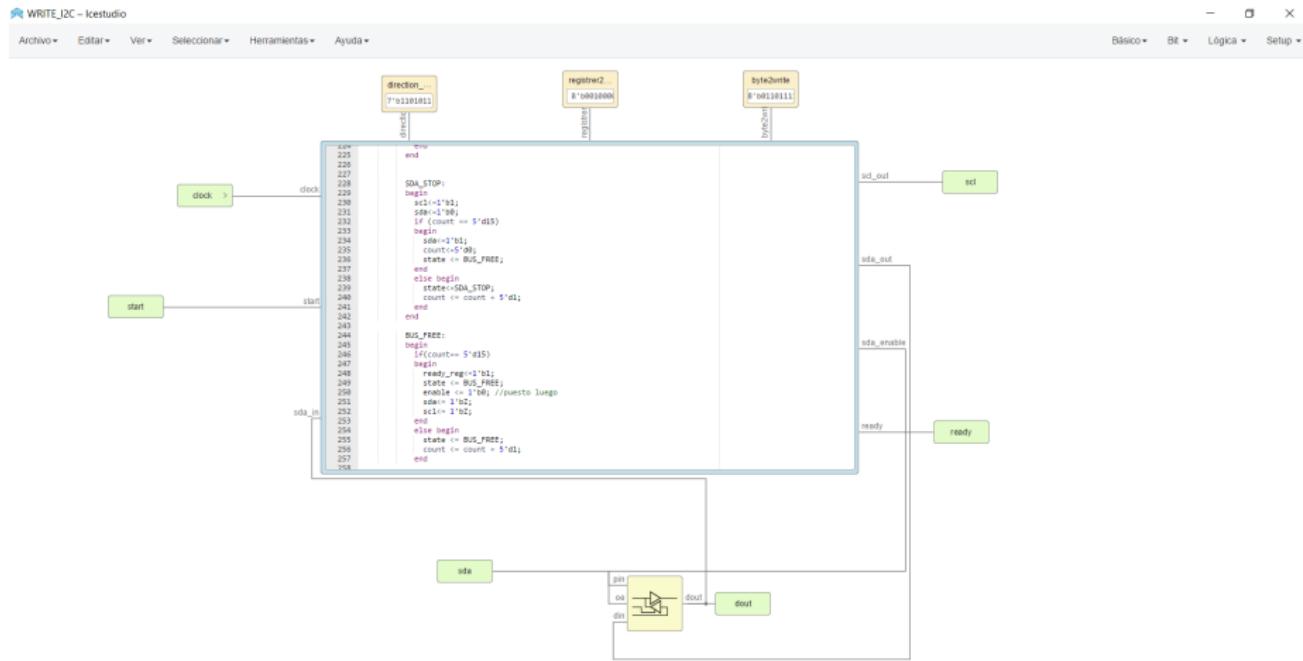
- En este contexto nace IceStudio
- Ensalza el uso de FPGAs incluyendo todas sus ventajas
- Permite implementación hardware de manera gráfica



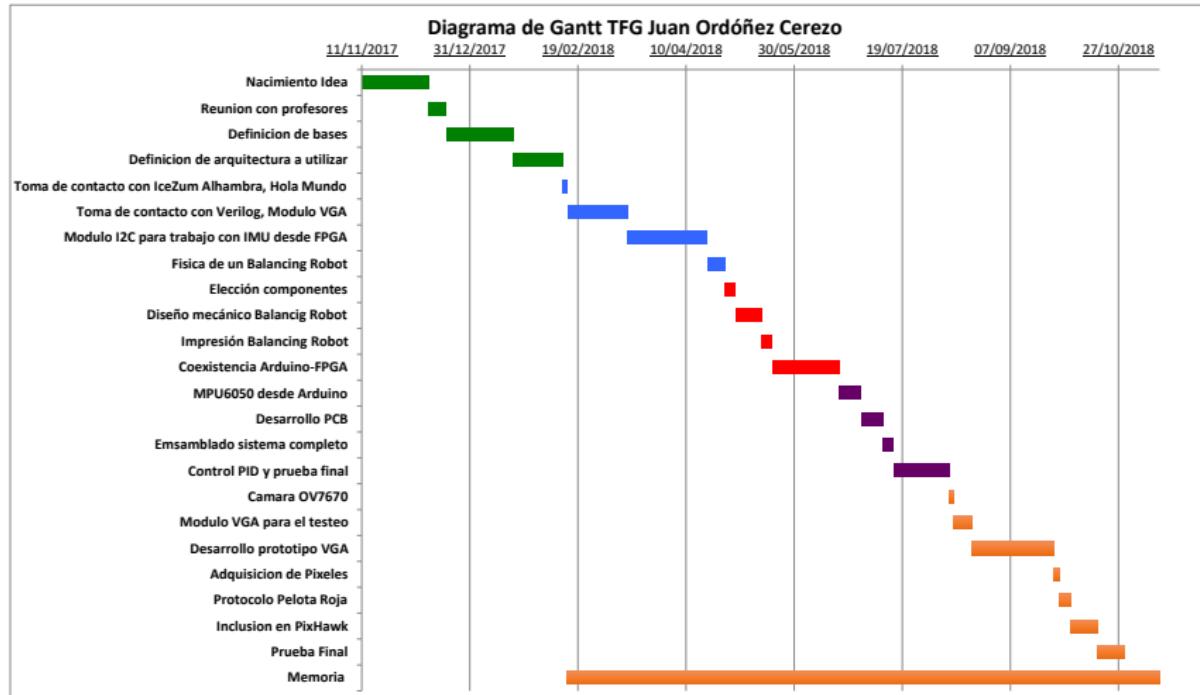
- En este contexto nace IceStudio
- Ensalza el uso de FPGAs incluyendo todas sus ventajas
- Permite implementación hardware de manera gráfica
- Ventaja: Configuración del nivel de abstracción



IceStudio



# Planificación y Metodología de trabajo



# Planificación y Metodología de trabajo



(c) GitHub



(d) Appear

# Objetivos

Objetivos principales de este trabajo

# Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

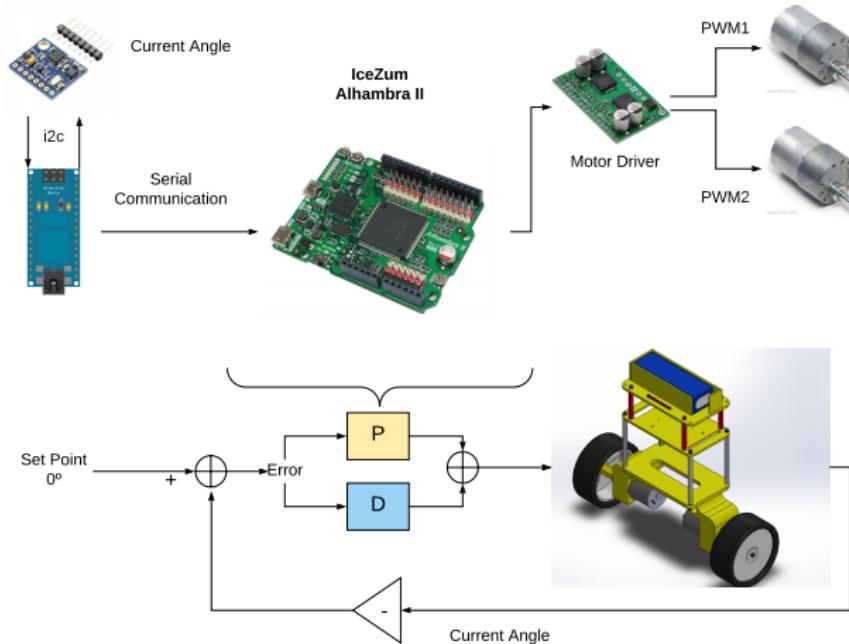
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

4 Cuadricóptero con visión artificial

- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- Diseño del control

5 Conclusiones y trabajo futuro

# Diseño del sistema



Figure

# Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

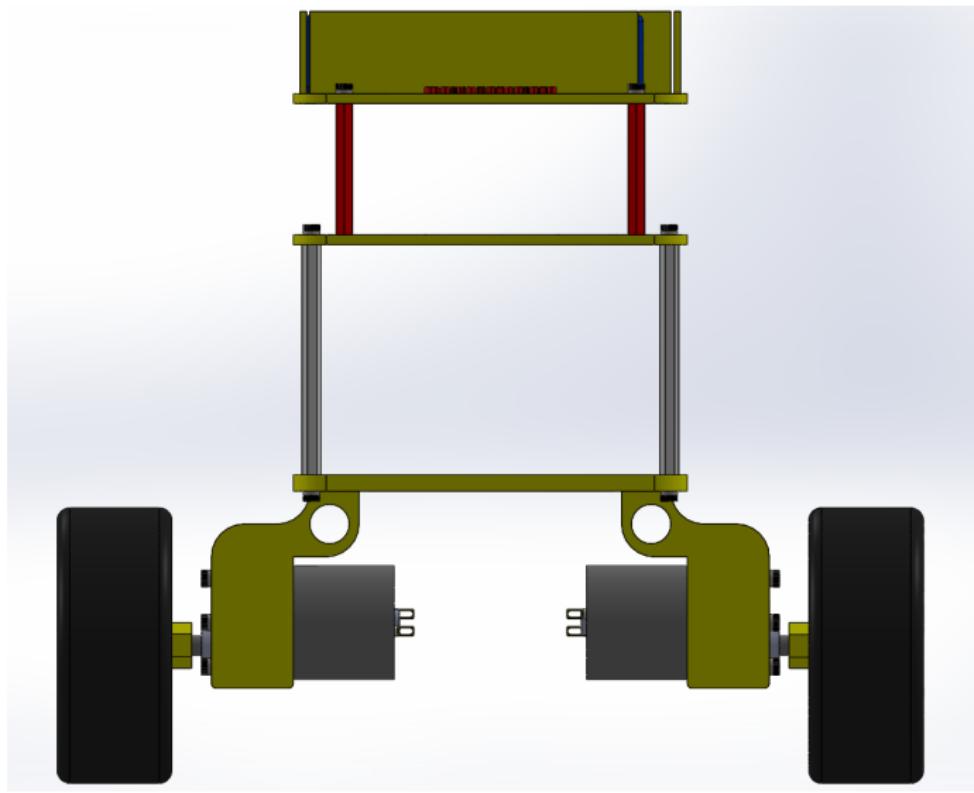
- Diseño del sistema
- **Implementación del sistema**
- Ensamblado y sistema final

4 Cuadricóptero con visión artificial

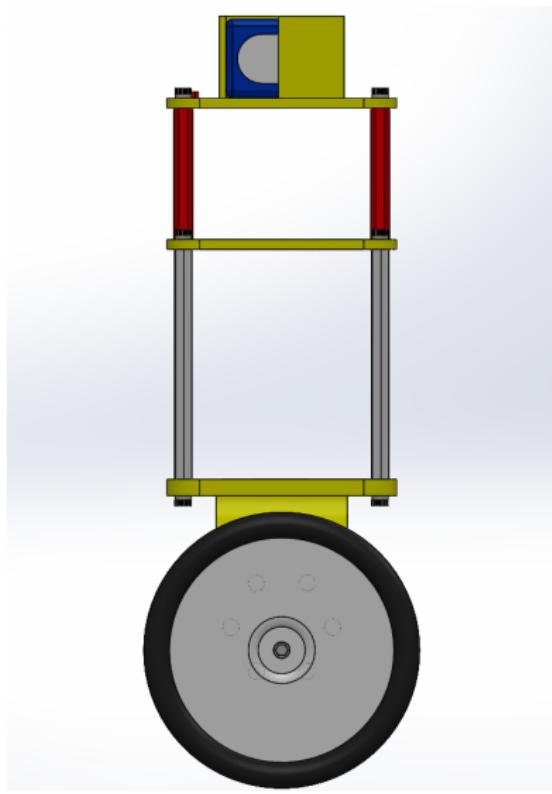
- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- Diseño del control

5 Conclusiones y trabajo futuro

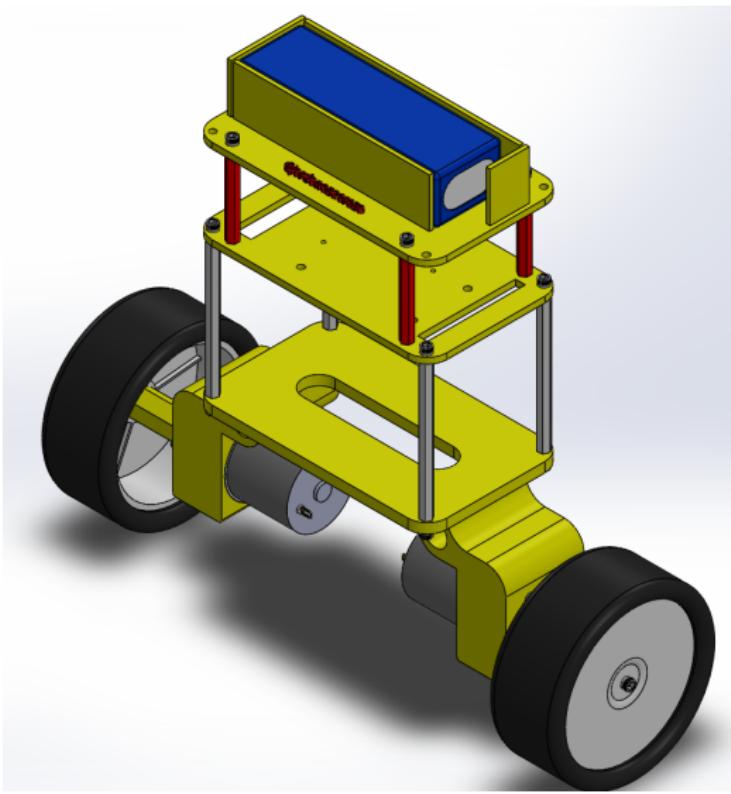
# Estructura mecánica



# Estructura mecánica



# Estructura mecánica



# Estructura mecánica

- ¿Cuál es la mejor opción para facilitar la estabilización?

# Estructura mecánica

- ¿Cuál es la mejor opción para facilitar la estabilización?
- Caracterización matemática del modelo físico

# Estructura mecánica

- ¿Cuál es la mejor opción para facilitar la estabilización?
- Caracterización matemática del modelo físico
- Centro de masas en el centro del eje vertical

# Estructura mecánica

- ¿Cuál es la mejor opción para facilitar la estabilización?
- Caracterización matemática del modelo físico
- Centro de masas en el centro del eje vertical

SE HACE USO DE SOLIDWORKS PARA EL DISEÑO DE LAS PIEZAS Y  
EL CÁLCULO DEL CENTRO DE MASAS



# Estructura mecánica

Propiedades físicas

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativas a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de EmanBalanceCab

Configuración: Predeterminado Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 844.98 gramos

Volumen = 537110.62 milímetros cúbicos

Área de superficie = 198034.83 milímetros cuadrados

Centro de masa ( milímetros ):  
X = -8.46  
Y = 56.93  
Z = 169.98

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros desde el centro de masa )

Medio desde el centro de masa.

	Px = 3978306.17	Py = 6215169.35	Lx = -1001.61
Ix = (-0.07, 1.00, 0.00)			
Iy = (-1.00, -0.07, 0.00)			
Iz = (0.00, 0.00, 1.00)			

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )

Obligados en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

	Lx = 6204379.51	Ly = -154983.04	Lz = -1001.61
Lxx = 6204379.51			
Lyy = -154983.04			
Lzz = -1001.61			

Medios en el sistema de coordenadas de salida.

	lx = 3335944.29	ly = 561.61	lz = -1215702.34
lx = 3335944.29			
ly = 561.61			
lz = -1215702.34			

Medios en el sistema de coordenadas de salida.

	lx = 3335944.29	ly = 561.61	lz = -1215702.34
lx = 3335944.29			
ly = 561.61			
lz = -1215702.34			

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

The image shows a 3D CAD rendering of a mechanical structure, specifically a vehicle chassis. It features a central frame with two vertical red support posts and a horizontal beam. Four black wheels are attached to the frame. A coordinate system (X, Y, Z) is highlighted near the front wheel assembly. The background is a light gray, and the overall view is from a slightly elevated angle.

# Obtención ángulo

- Para corregir el ángulo es necesario el conocimiento de este en cada instante.

# Obtención ángulo

- Para corregir el ángulo es necesario el conocimiento de este en cada instante.
- Unidad de medida incencial (IMU)

# Obtención ángulo

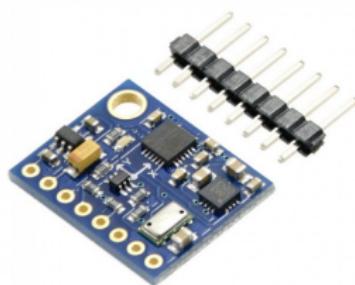
- Para corregir el ángulo es necesario el conocimiento de este en cada instante.
- Unidad de medida incencial (IMU)

**MPU6050**

# Obtención ángulo

- Para corregir el ángulo es necesario el conocimiento de este en cada instante.
- Unidad de medida incencial (IMU)

## MPU6050



# Obtención ángulo

- 6DOF

# Obtención ángulo

- 6DOF
- Acelerómetro y giroscopio

# Obtención ángulo

- 6DOF
- Acelerómetro y giroscopio
- Comunicación I2C

# Obtención ángulo

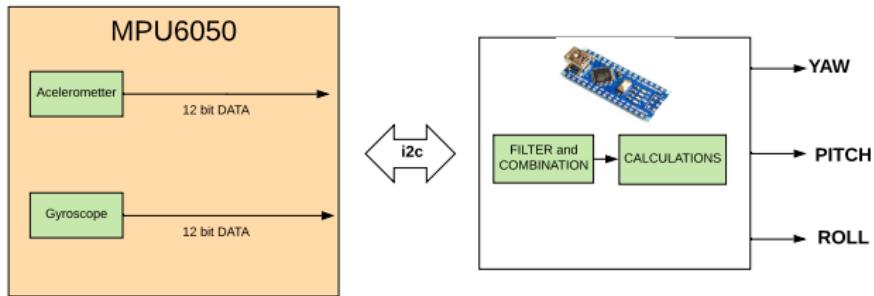
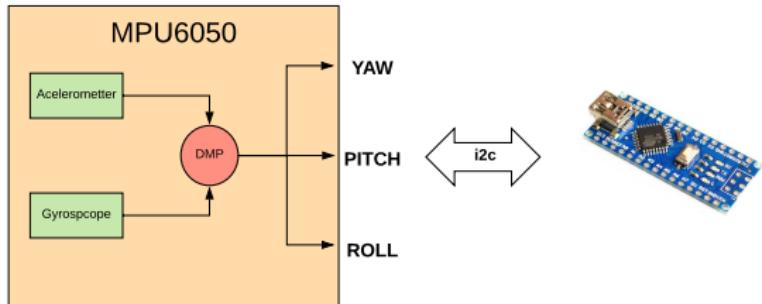
- 6DOF
- Acelerómetro y giroscopio
- Comunicación I2C
- Uso de DMP solo para Arduino

# Obtención ángulo

- 6DOF
- Acelerómetro y giroscopio
- Comunicación I2C
- Uso de DMP solo para Arduino

**MEJOR OPCIÓN CON ARDUINO**

# Obtención ángulo



# Coexistencia microcontrolador-FPGA

- Ángulo obtenido por Arduino-Nano

# Coexistencia microcontrolador-FPGA

- Ángulo obtenido por Arduino-Nano
- FPGA necesita conocer el ángulo

# Coexistencia microcontrolador-FPGA

- Ángulo obtenido por Arduino-Nano
- FPGA necesita conocer el ángulo

## Coexistencia microcontrador-FPGA

# Coexistencia microcontrolador-FPGA

- Ángulo obtenido por Arduino-Nano
- FPGA necesita conocer el ángulo

**Coexistencia microcontrador-FPGA**

**Paralelizar los procesos que pueden ser paralelizados**

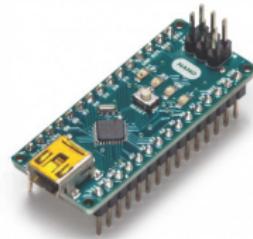
# Coexistencia microcontrolador-FPGA

- Ángulo obtenido por Arduino-Nano
- FPGA necesita conocer el ángulo

**Coexistencia microcontrador-FPGA**

**Paralelizar los procesos que pueden ser paralelizados**

# Coexistencia microcontrolador-FPGA



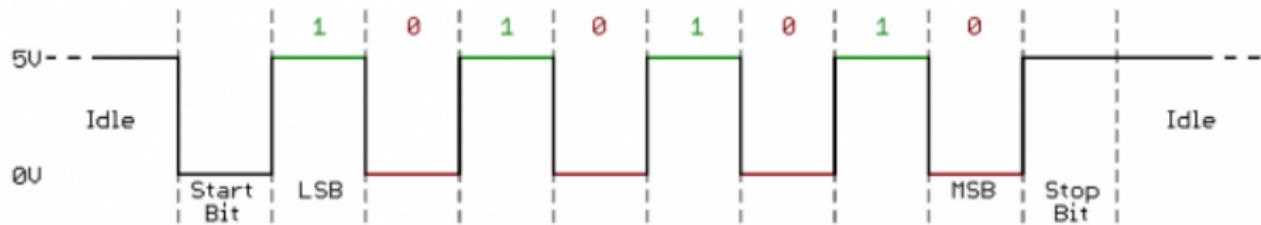
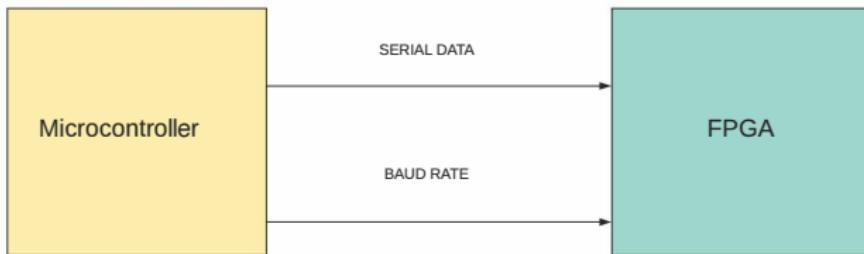
SEQUENTIAL PROCESS

COMUNICATION

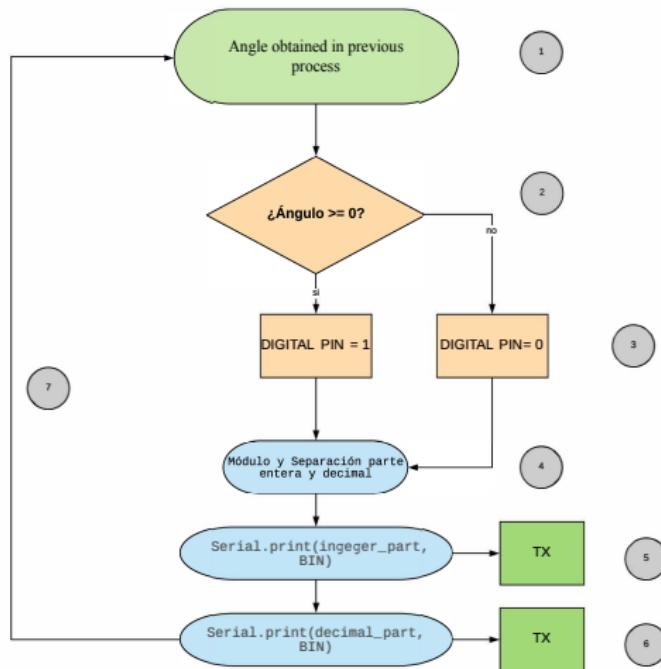
A horizontal grey arrow pointing from left to right, indicating the direction of communication between the two boards.

PARALLEL PROCESS

# Coexistencia microcontrolador-FPGA

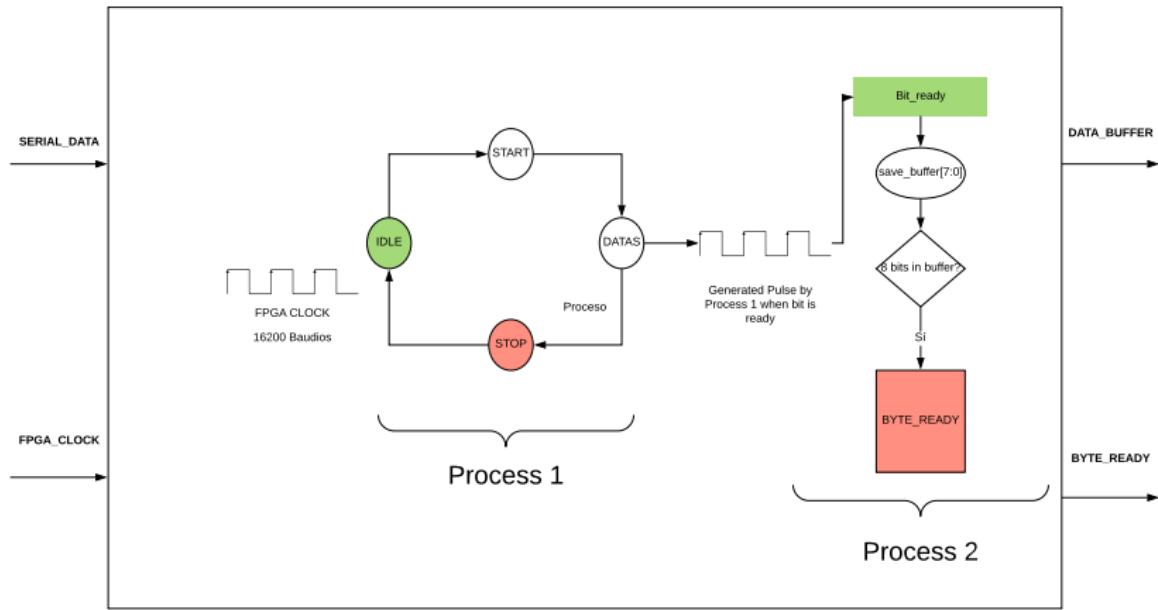


## Desde el punto de vista del microcontrolador

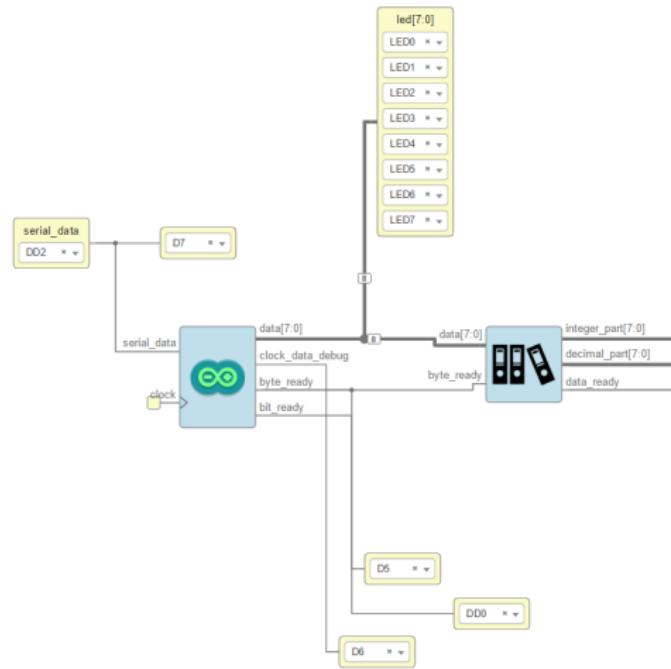


# Coexistencia microcontrolador-FPGA

## Desde el punto de vista de la FPGA



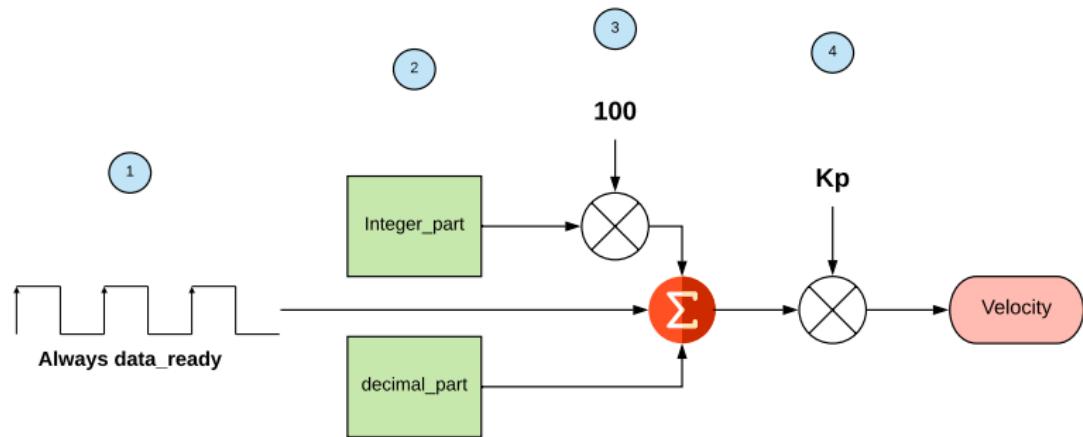
## Aspecto en IceStudio de la comunicación



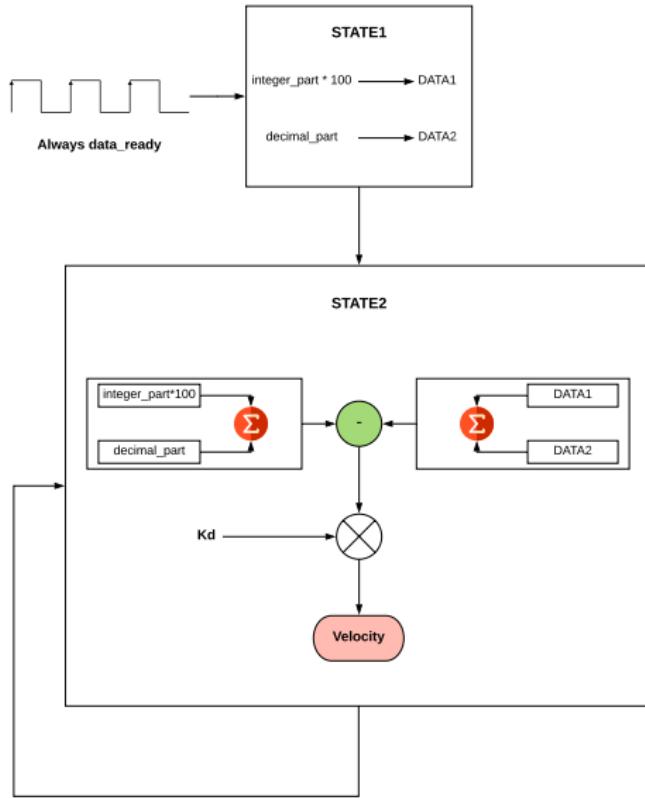
- Necesidad de minimizar el ángulo, en este caso a  $0^\circ$
- Surgen muchas opciones, lógica fuzzy, algoritmos genéticos, PID
- PID por su fácil implementación y paralelismo

**PID por su fácil implementación y paralelismo**

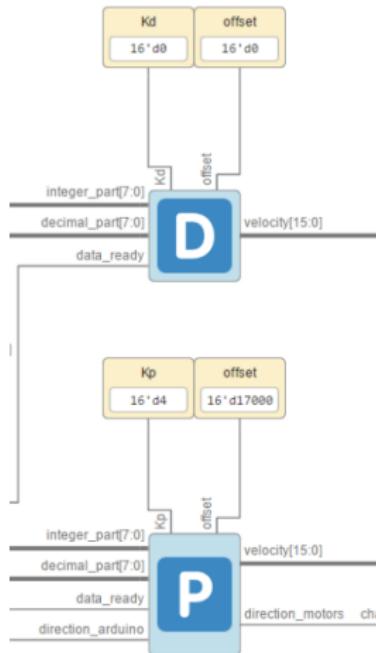
# Control P



# Control D



# Control PD

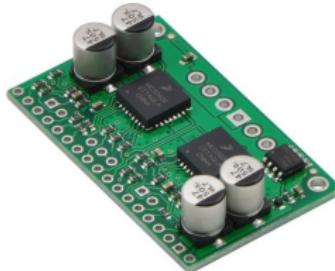


# Control de los motores

- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

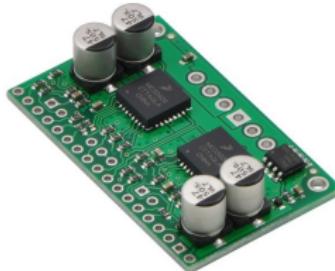
- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

## MC33926



- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

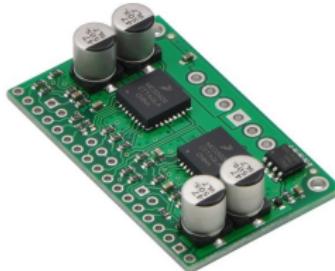
## MC33926



- Como entradas:
  - Señal PWM

- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

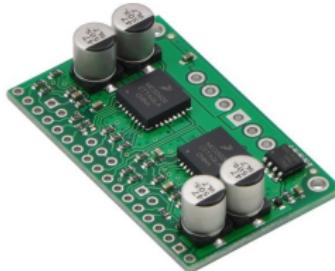
## MC33926



- Como entradas:
  - Señal PWM
  - Sentido de giro

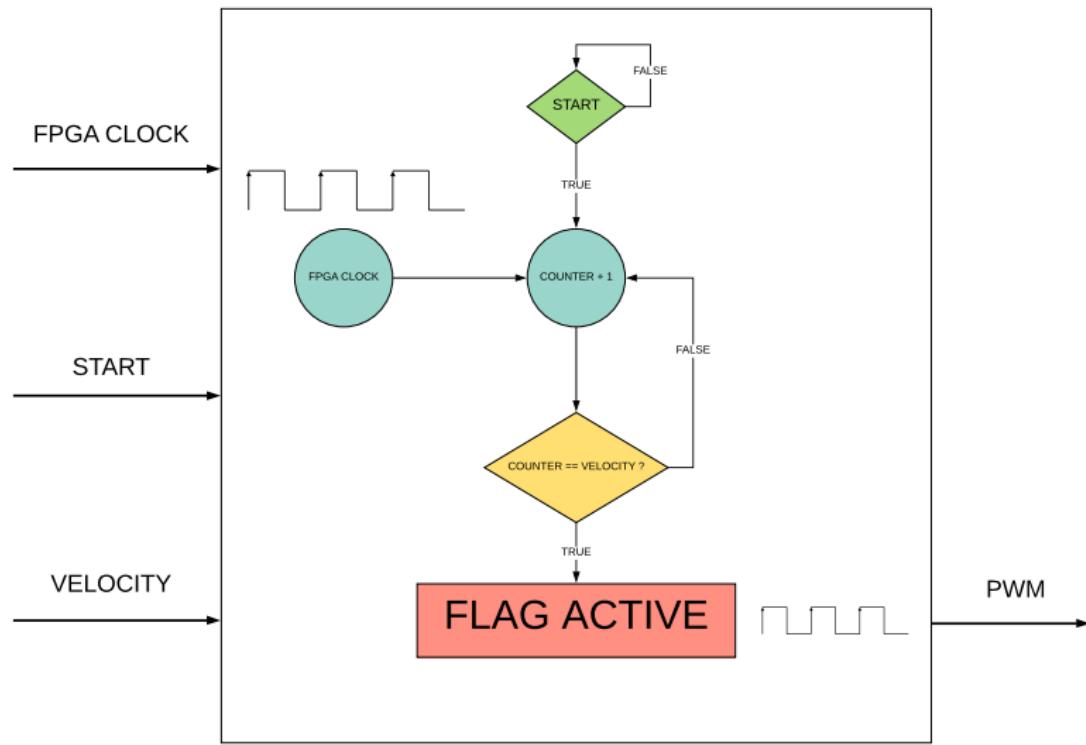
- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

## MC33926

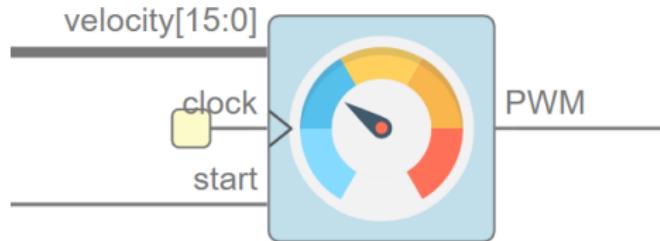


- Como entradas:
  - Señal PWM
  - Sentido de giro
- Como salidas:
  - Movimiento de los motores

# Módulo PWM



# Módulo PWM



# Diseño e Implementación PCB

- Demasiados cables sueltos y puentes en el sistema final

# Diseño e Implementación PCB

- Demasiados cables sueltos y puentes en el sistema final
- Necesidad de englobarlo todo en un sistema único y compacto

# Diseño e Implementación PCB

- Demasiados cables sueltos y puentes en el sistema final
- Necesidad de englobarlo todo en un sistema único y compacto
- Que resuelva problemas de ruido y referencia de tierra.

- Demasiados cables sueltos y puentes en el sistema final
- Necesidad de englobarlo todo en un sistema único y compacto
- Que resuelva problemas de ruido y referencia de tierra.

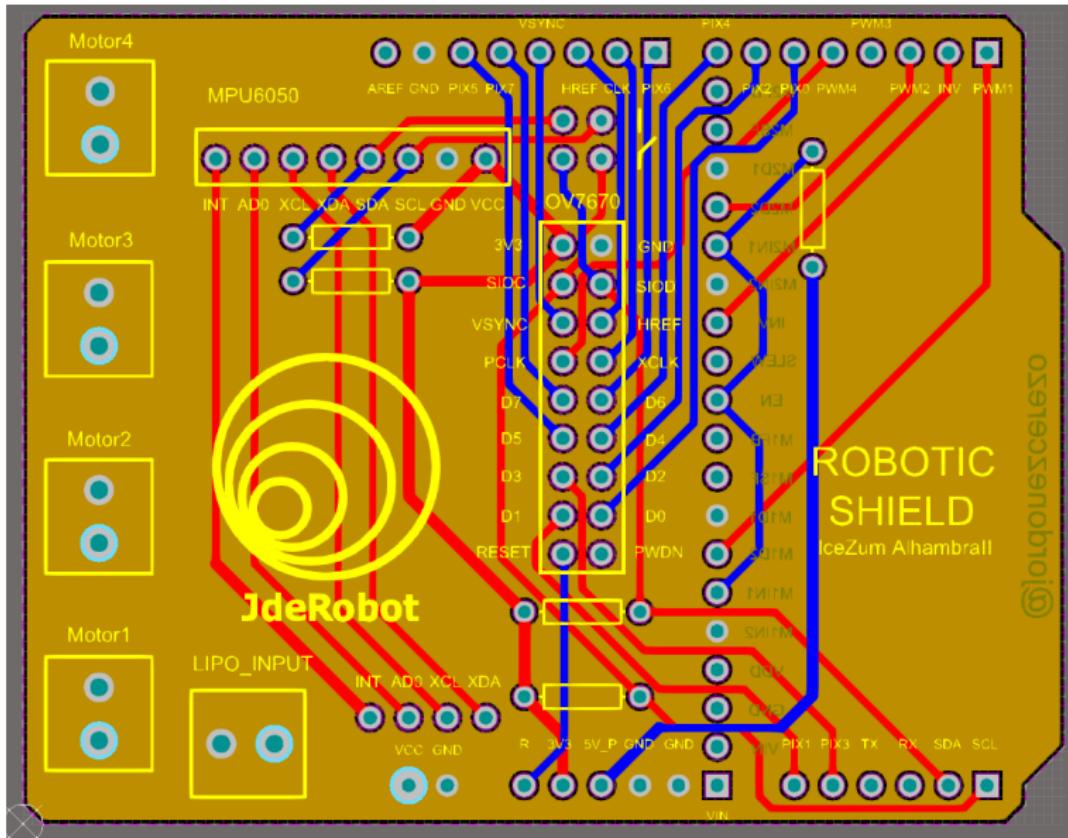
## Printed Circuit Board, PCB

- Demasiados cables sueltos y puentes en el sistema final
- Necesidad de englobarlo todo en un sistema único y compacto
- Que resuelva problemas de ruido y referencia de tierra.

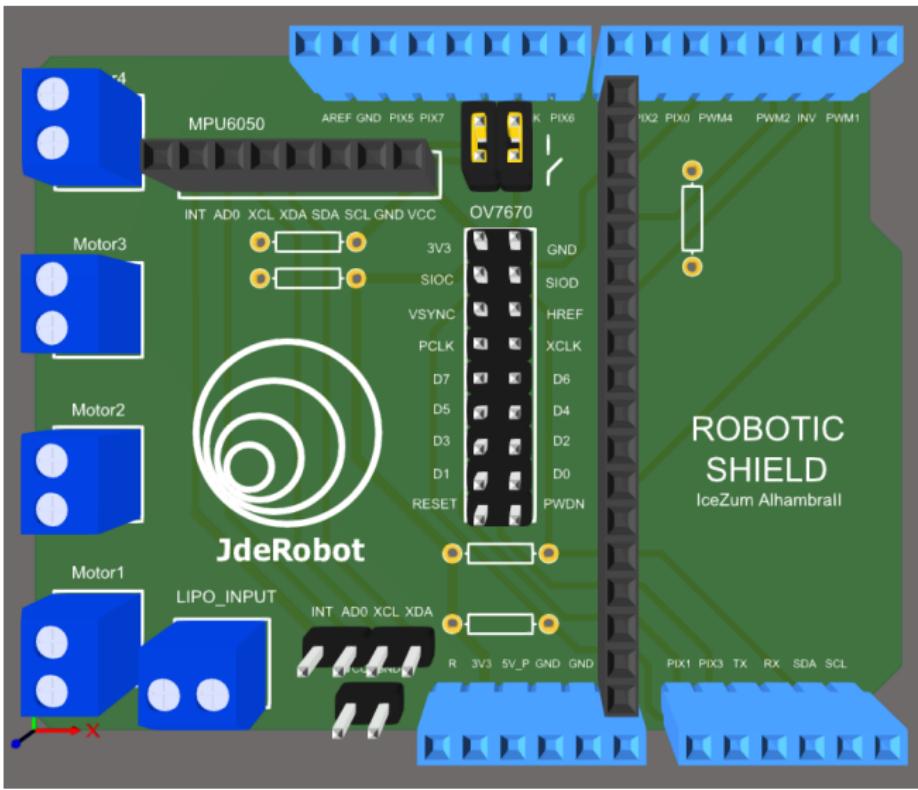
## Printed Circuit Board, PCB



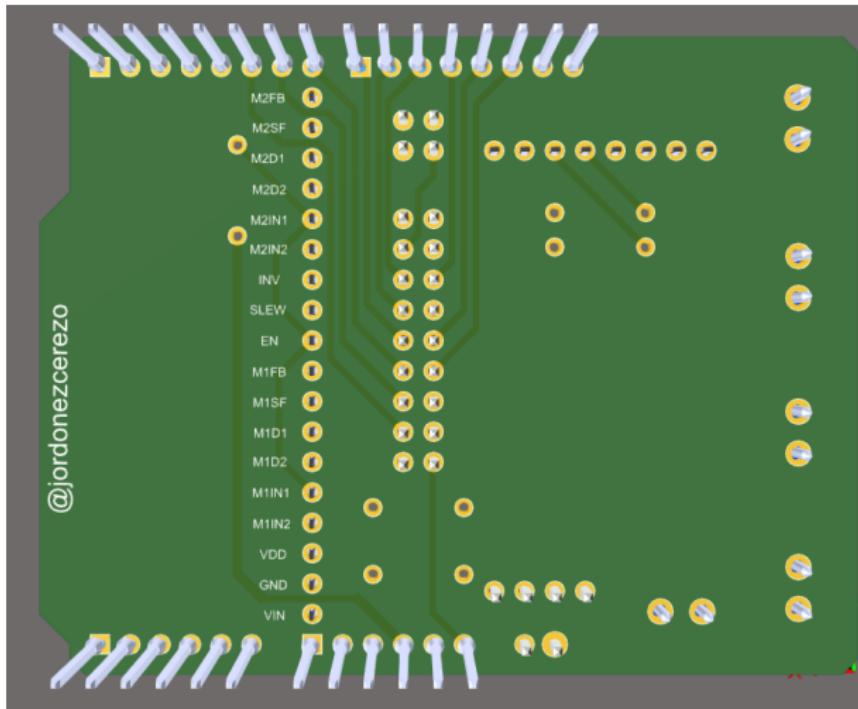
## Diseño e Implementación PCB



# Diseño e Implementación PCB

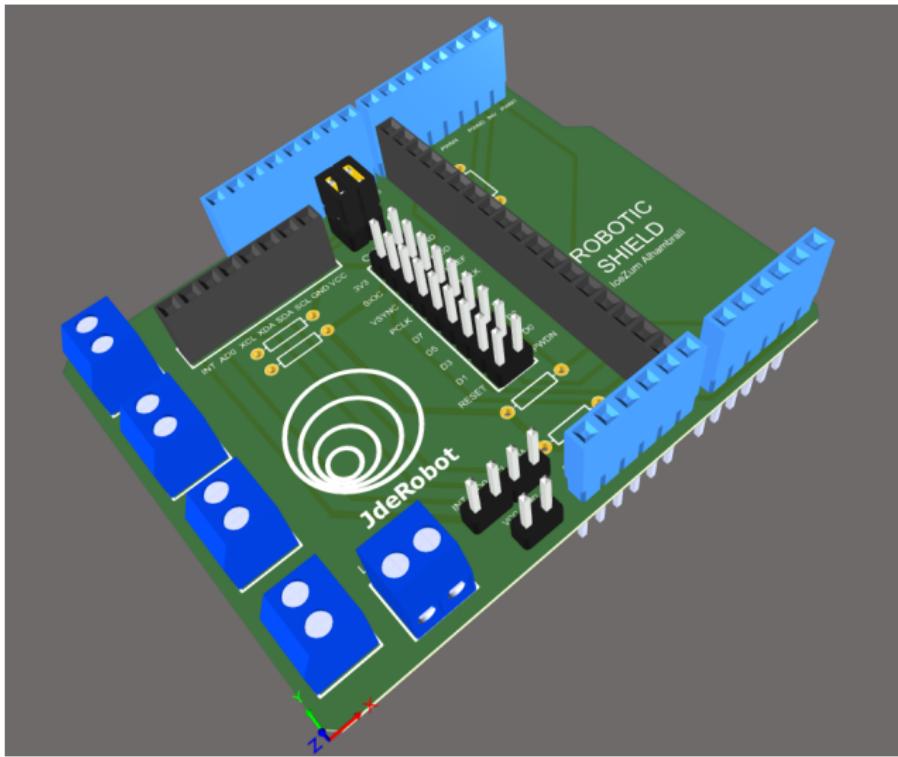


# Diseño e Implementación PCB

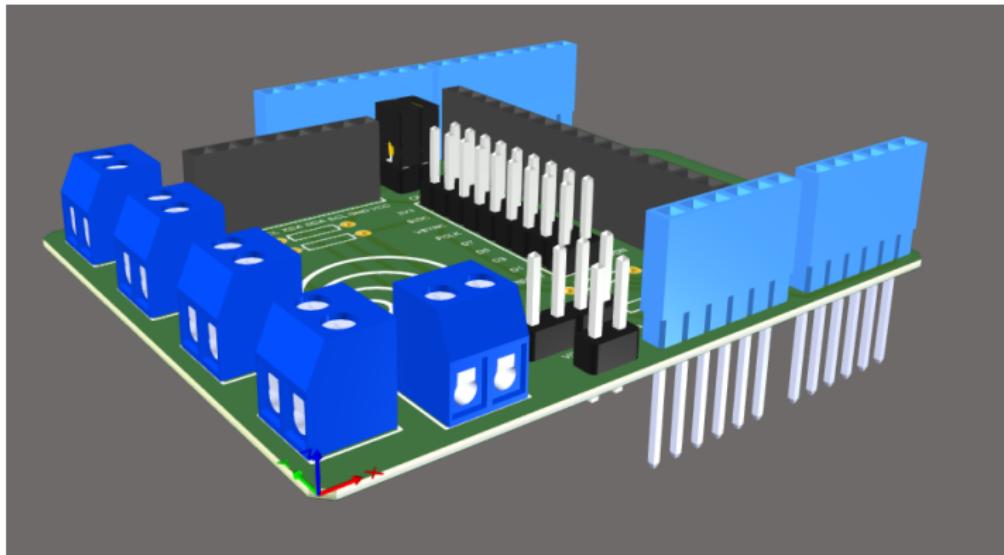


@jordonezcerezo

# Diseño e Implementación PCB



# Diseño e Implementación PCB



# Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

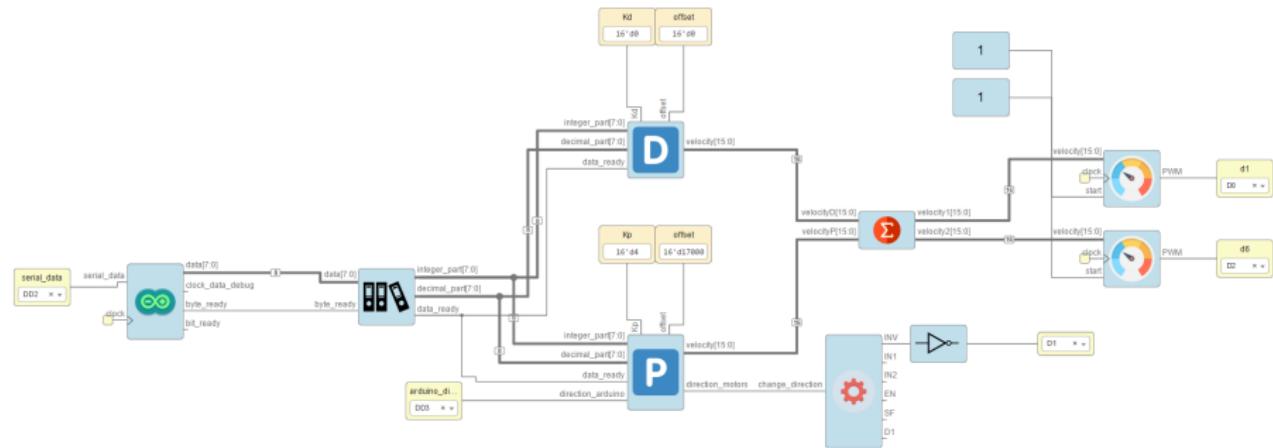
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- **Ensamblado y sistema final**

4 Cuadricóptero con visión artificial

- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- Diseño del control

5 Conclusiones y trabajo futuro

# Ensamblado y sistema final



# Ensamblado y sistema final

# Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

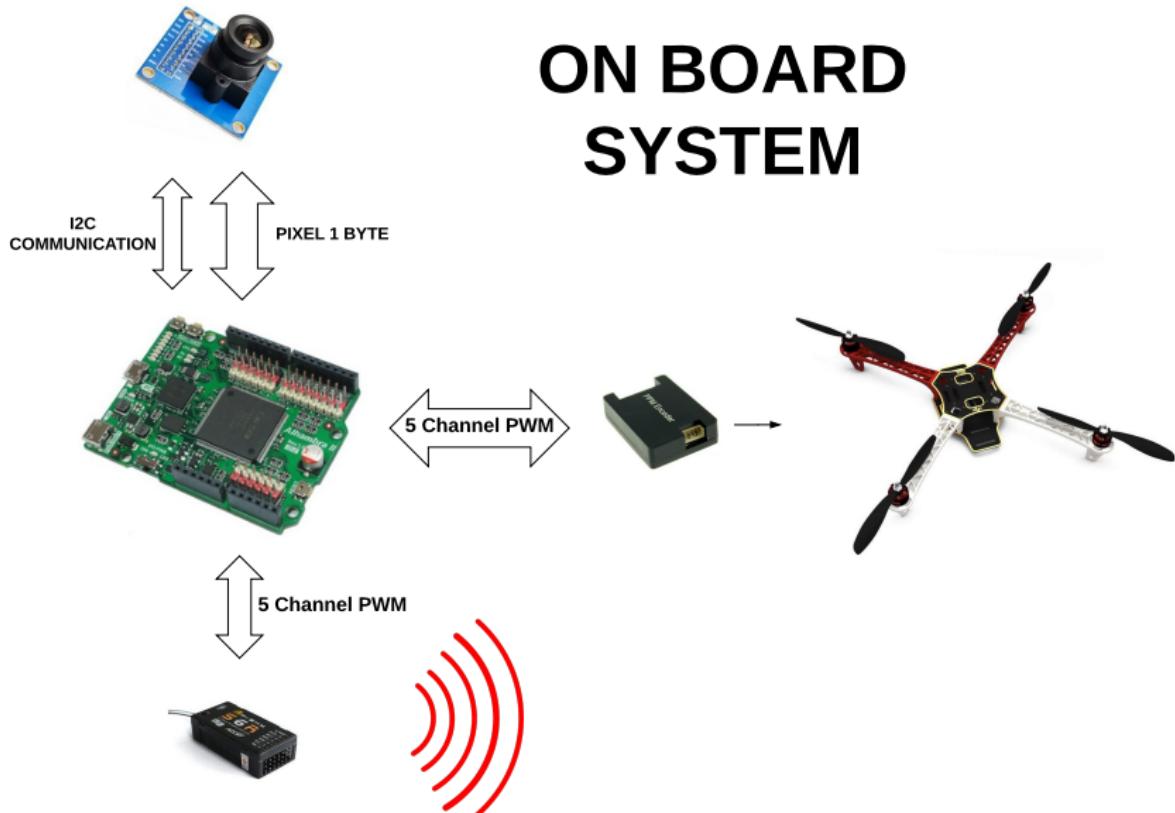
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

4 Cuadricóptero con visión artificial

- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- Diseño del control

5 Conclusiones y trabajo futuro

## ON BOARD SYSTEM



# Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

4 Cuadricóptero con visión artificial

- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción**
- Diseño del control

5 Conclusiones y trabajo futuro



- Transmisión de píxeles mediante 8 bits en paralelo
- Comunicación I2C para la configuración necesaria, 640x480, RGB565, frecuencia de píxeles.

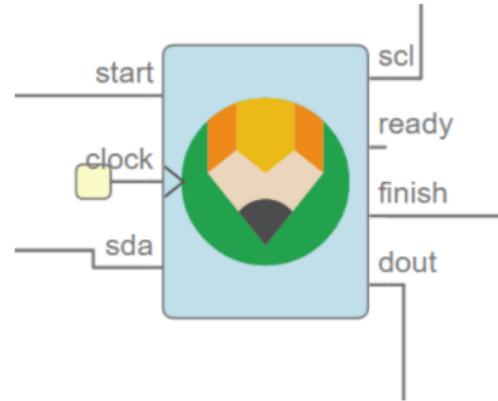
## NECESIDAD DE PROTOCOLO I2C



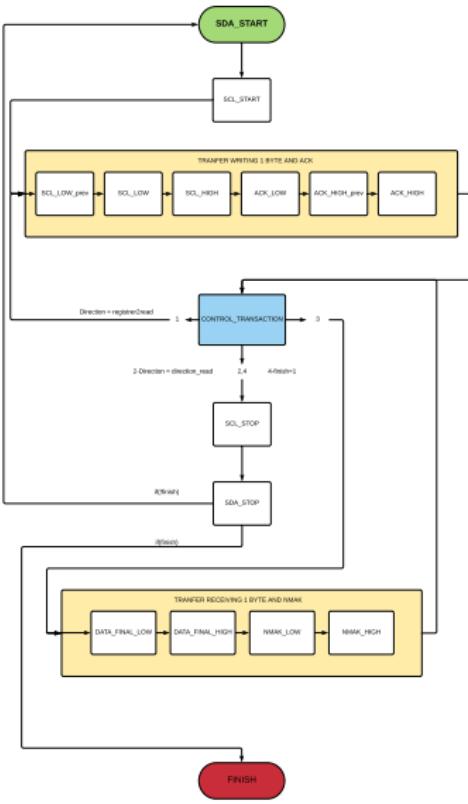
- Transmisión de píxeles mediante 8 bits en paralelo
- Comunicación I2C para la configuración necesaria, 640x480, RGB565, frecuencia de píxeles.

## NECESIDAD DE PROTOCOLO I2C

# Protocolo I2C



# Protocolo I2C



# Reconocimiento del volumen y posición

$$Volumen = \text{Num}_{\text{pixeles filtrados}} / \text{Num}_{\text{pixeles totales}}$$

# Reconocimiento del volumen y posición

$$Acum_x = \sum \text{columns of filtered pixels}$$

$$X_{media} = \frac{Acum_x}{Num_{\text{filtered pixels}}}$$

$$Error_x = X_{average} - \frac{width}{2}$$

# Reconocimiento del volumen y posición

$$Acum_Y = \sum \text{row filtered pixels}$$

$$Y_{average} = \frac{Acum_Y}{Num_{\text{filtered pixels}}}$$

$$Error_Y = Y_{average} - \frac{height}{2}$$

# Outline

## 1 Contexto

## 2 Infraestructura

## 3 Robot Balancín

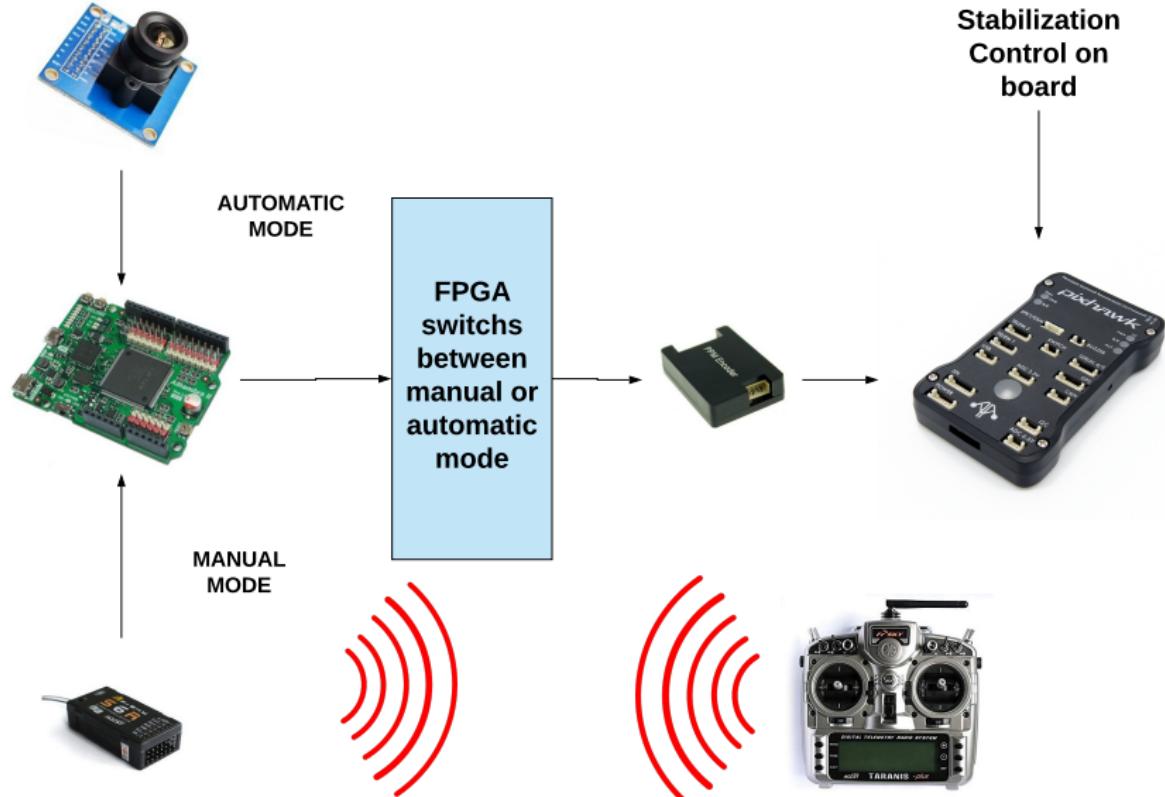
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

## 4 Cuadricóptero con visión artificial

- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- **Diseño del control**

## 5 Conclusiones y trabajo futuro

# Diseño del control



# Conclusiones

Conclusiones de este trabajo

# Trabajo futuro

Possible trabajo futuro