



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



Universidad
Rey Juan Carlos

Sistema de control autónomo en FPGAs libres para robots

Juan Ordóñez Cerezo¹

¹Universidad 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



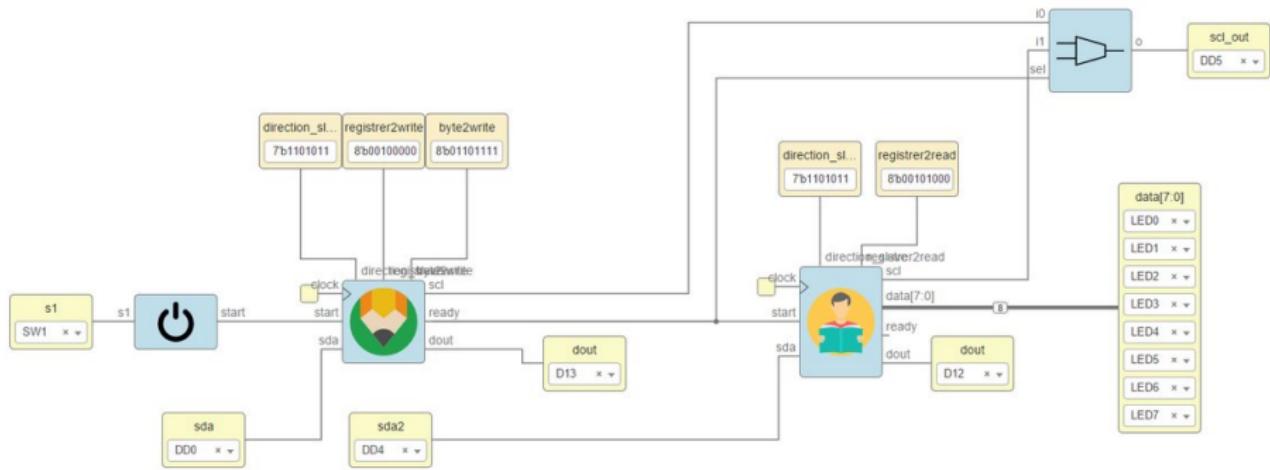
- En este contexto nace IceStudio
- Ensalza el uso de FPGAs incluyendo todas sus ventajas
- Permite implementación hardware de manera gráfica



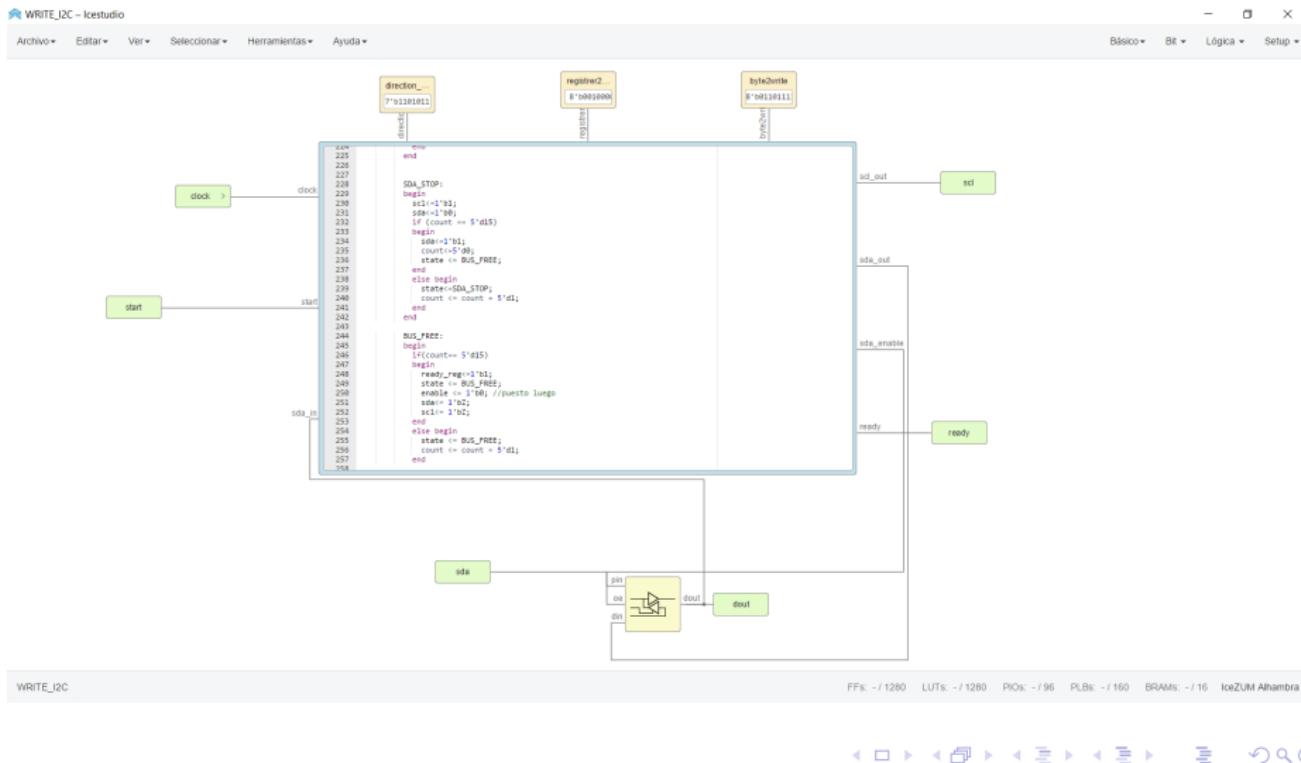
icestudio

- 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



IceStudio



- Tarjeta FPGA con Lattice iCE40HK

- Tarjeta FPGA con Lattice iCE40HK
- 4K de memoria

- Tarjeta FPGA con Lattice iCE40HK
- 4K de memoria
- 12 pines digitales

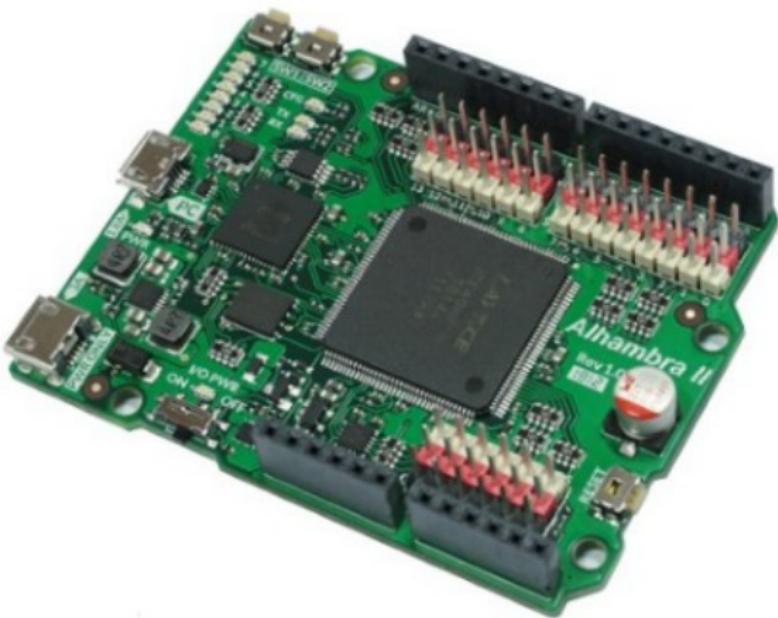
- Tarjeta FPGA con Lattice iCE40HK
- 4K de memoria
- 12 pines digitales
- 3 pines analógicos mediante i2c

- Tarjeta FPGA con Lattice iCE40HK
- 4K de memoria
- 12 pines digitales
- 3 pines analógicos mediante i2c

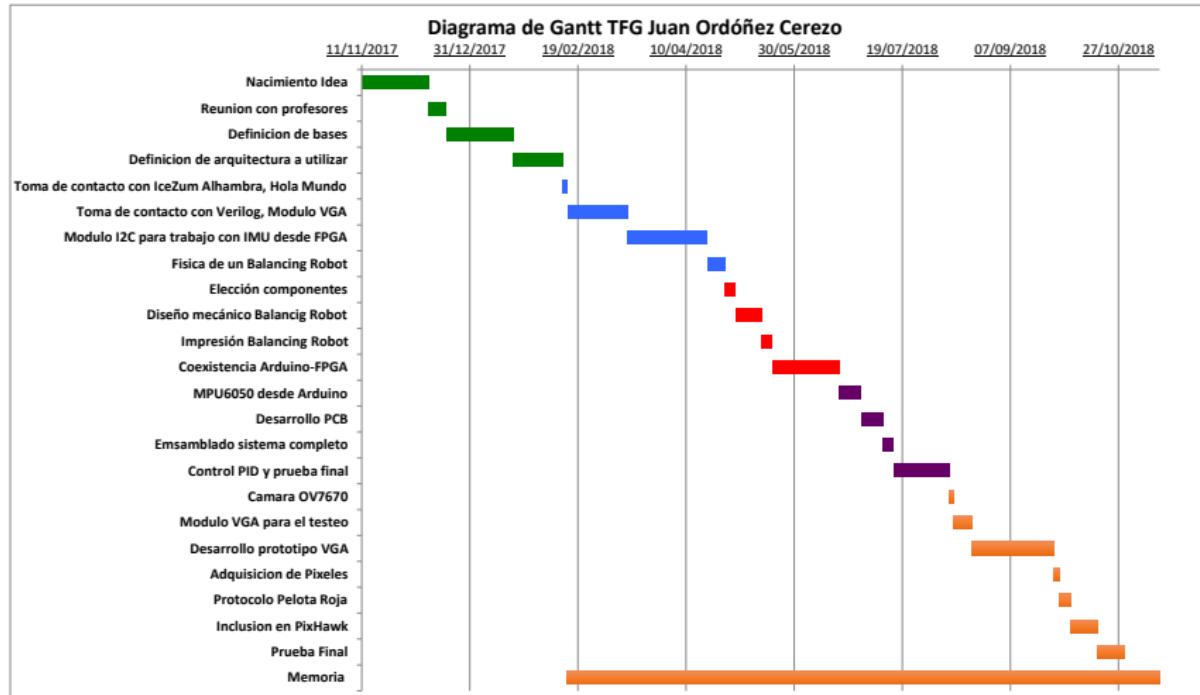
Diseñada y ensamblada en Granada



IceZum Alhambra



Planificación y Metodología de trabajo



Planificación y Metodología de trabajo



(c) GitHub



(d) Appear

Objetivos

- Comportamientos robóticos mediante lenguajes de implementación hardware

Objetivos

- Comportamientos robóticos mediante lenguajes de implementación hardware
- Uso de herramientas libres como IceStudio o IceZum Alhambra

Objetivos

- Comportamientos robóticos mediante lenguajes de implementación hardware
- Uso de herramientas libres como IceStudio o IceZum Alhambra
- Habilidad para el desarrollo de PCB

Objetivos

- Comportamientos robóticos mediante lenguajes de implementación hardware
- Uso de herramientas libres como IceStudio o IceZum Alhambra
- Habilidad para el desarrollo de PCB
- Habilidad para el diseño e impresión de estructuras mecánicas

Objetivos

- Comportamientos robóticos mediante lenguajes de implementación hardware
- Uso de herramientas libres como IceStudio o IceZum Alhambra
- Habilidad para el desarrollo de PCB
- Habilidad para el diseño e impresión de estructuras mecánicas
- Entender la importancia de la coexistencia entre microcontrolador y FPGA

Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

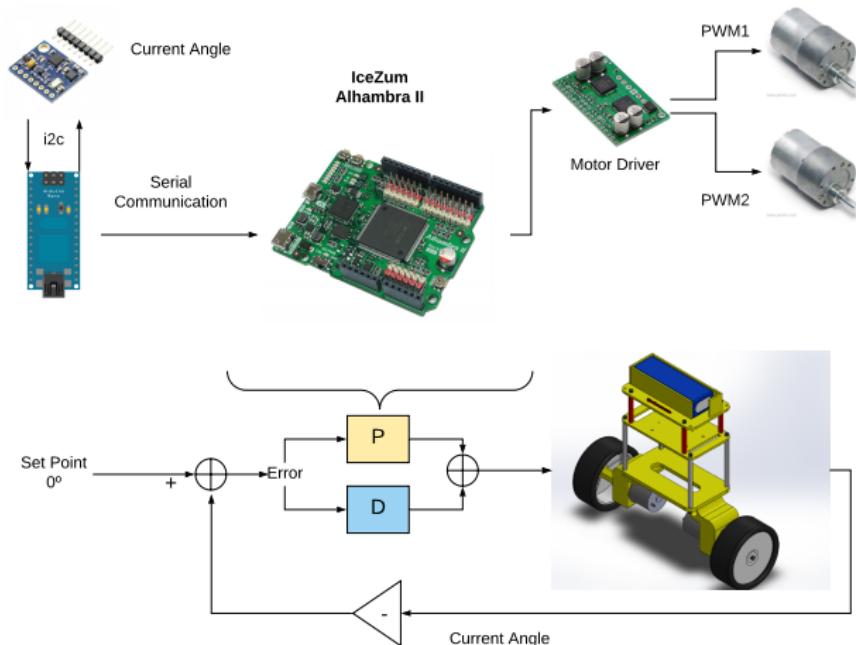
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

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

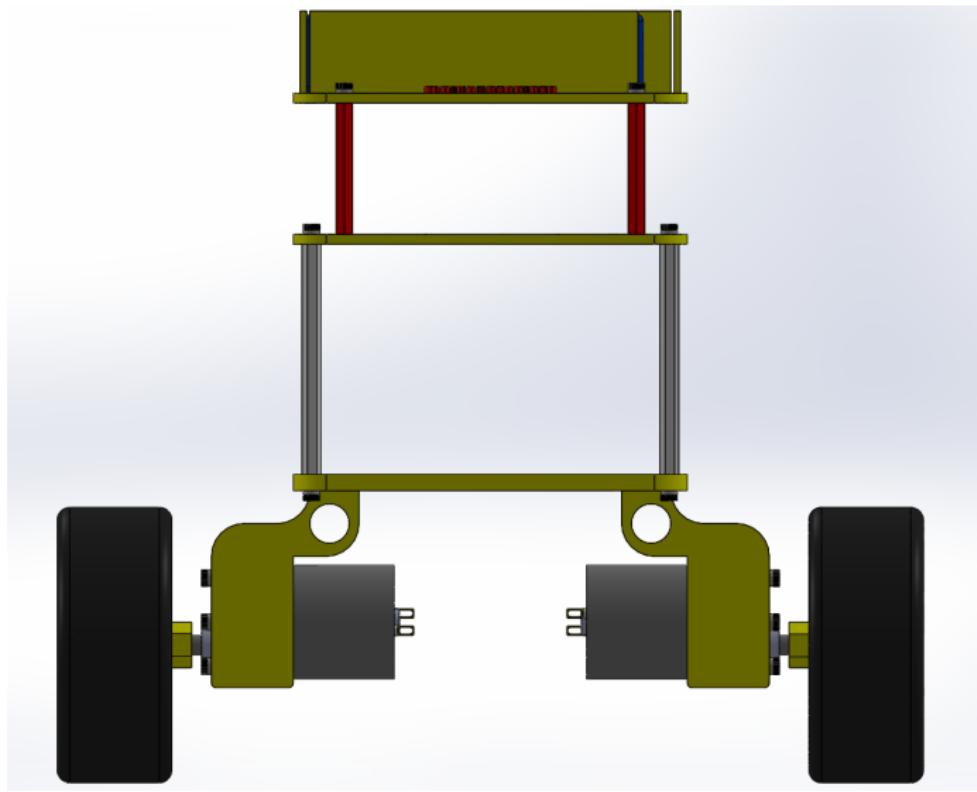
- Diseño del sistema
- **Implementación del sistema**
- Ensamblado y sistema final

4 Cuadricóptero con visión artificial

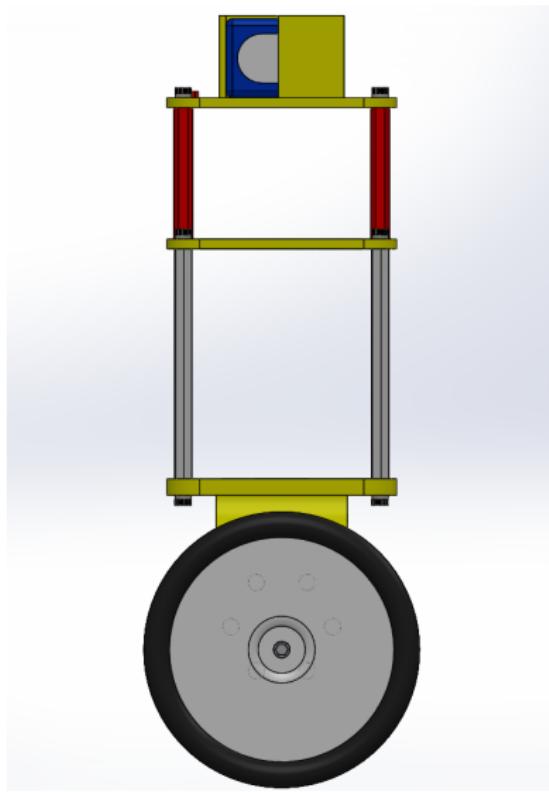
- Diseño del sistema
- Implementación de la percepción
- Diseño del control

5 Conclusiones y trabajo futuro

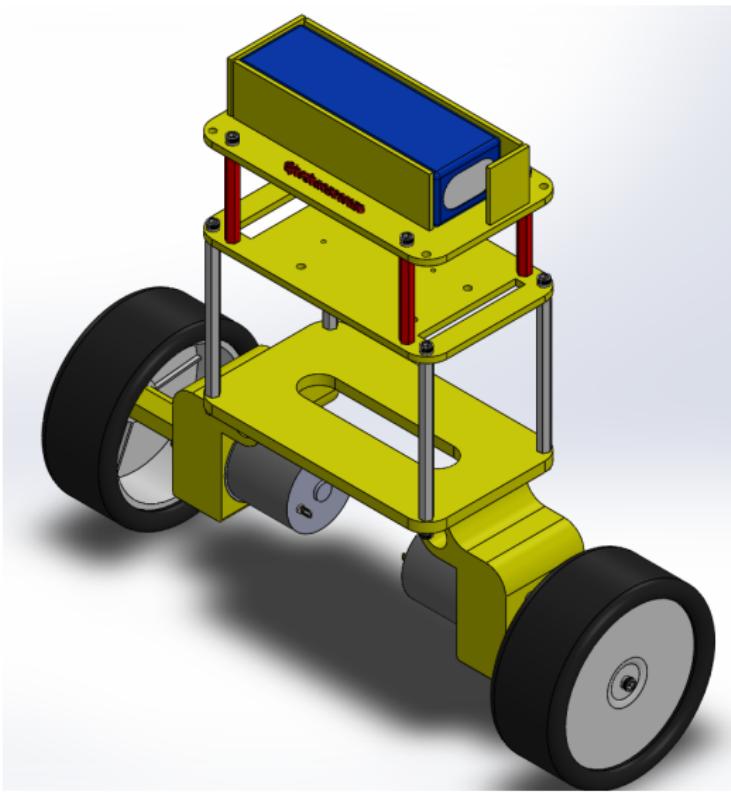
Estructura mecánica



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

EnsanBalanceCab.SLDASM

Reemplazar las propiedades de masa...

Incluir sólidos/componentes ocultos
 Crear operación de centro de masa
 Mostrar masa de cordón de soldadura

Información de valores de coordenadas relativas a:

Propiedades de masa de EnsanBalanceCab
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 cuadrados) Medido desde el centro de masa.

Ixx	Iyy	Izz	Px	Py	Pz
-0.07	1.00	0.00	3978306.17	6215169.35	9712137.10
-1.00	-0.07	0.00			
0.00	0.00	1.00			

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

Lxx	Lyy	Lzz	Lxy	Lyz	Lzx
620579.51	-1540.76	-1001.61			
549490.04	29464270.33	8175944.70			
-1001.61	1540.76	9772156.46			

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados) Medido en el interior de coordenadas de medida.

Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Iyz	Izx
33355089.67	561635.54	1215702.34			
-561835.54	29464270.33	8175944.70			
1215702.34	8175944.70	9772156.45			

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 incercial (IMU)

Obtención ángulo

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

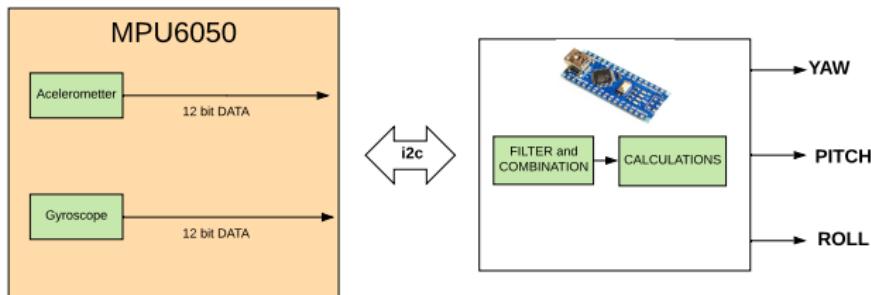
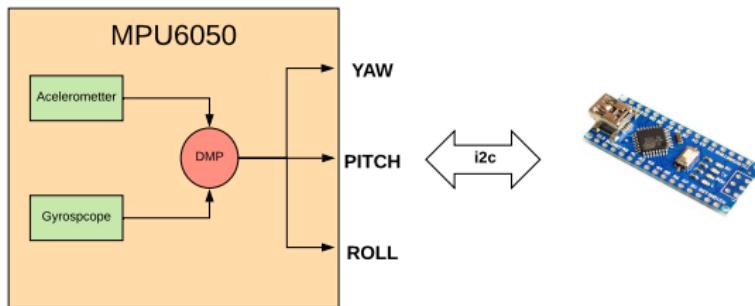
- 6DOF
- Acelerómetro y giroscopio
- Comunicación I2C
- Uso de DMP solo para Arduino

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

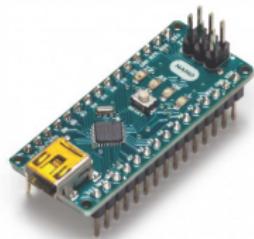
Coexistencia microcontrolador-FPGA

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

Coexistencia microcontrador-FPGA

Paralelizar los procesos que pueden ser paralelizados

Coexistencia microcontrolador-FPGA



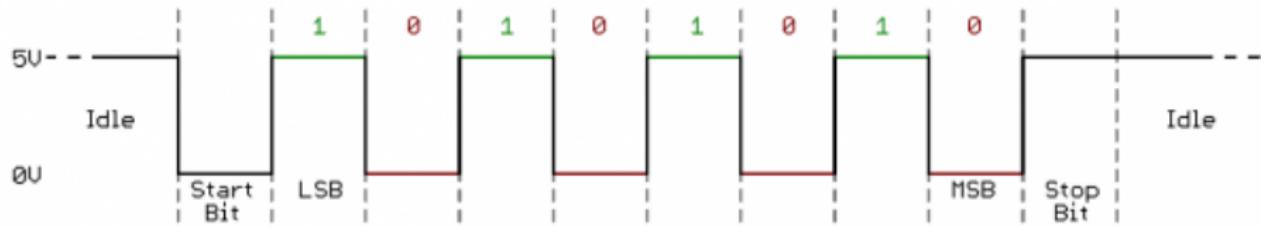
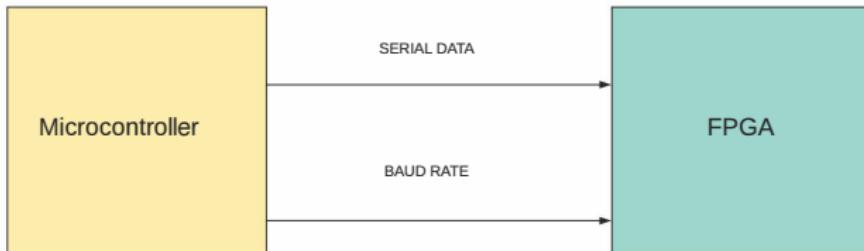
SEQUENTIAL PROCESS

COMUNICATION

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

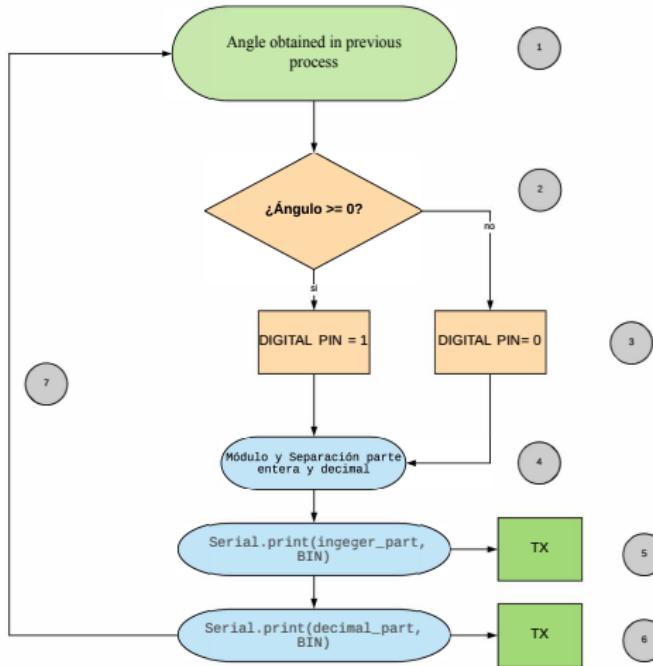
PARALLEL PROCESS

Coexistencia microcontrolador-FPGA



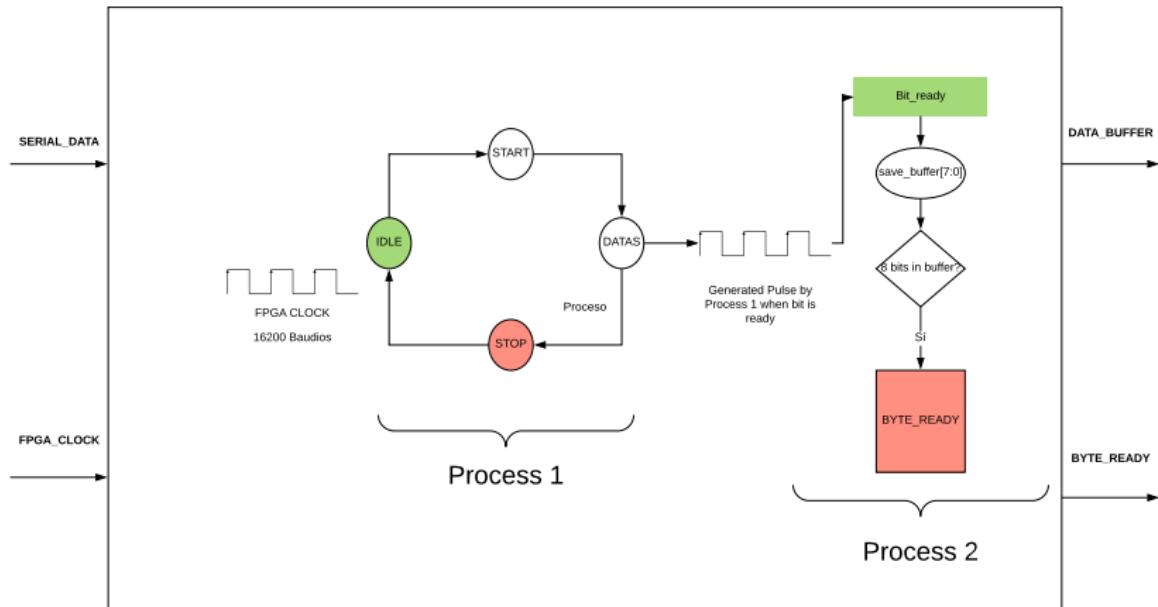
Coexistencia microcontrolador-FPGA

Desde el punto de vista del microcontrolador



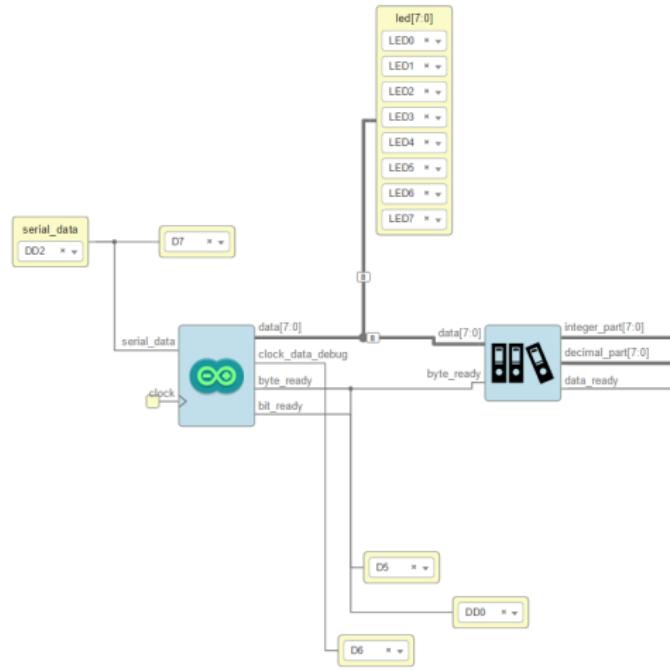
Coexistencia microcontrolador-FPGA

Desde el punto de vista de la FPGA



Coexistencia microcontrolador-FPGA

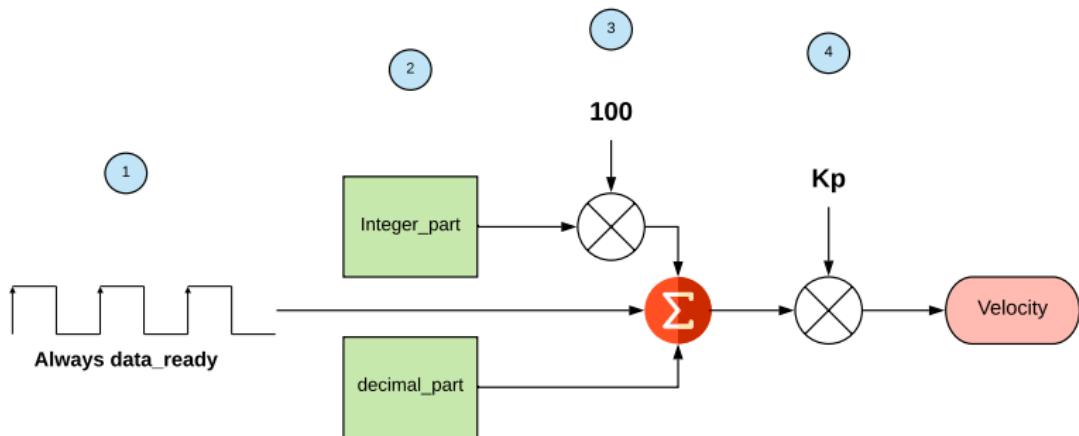
Aspecto en IceStudio de la comunicación



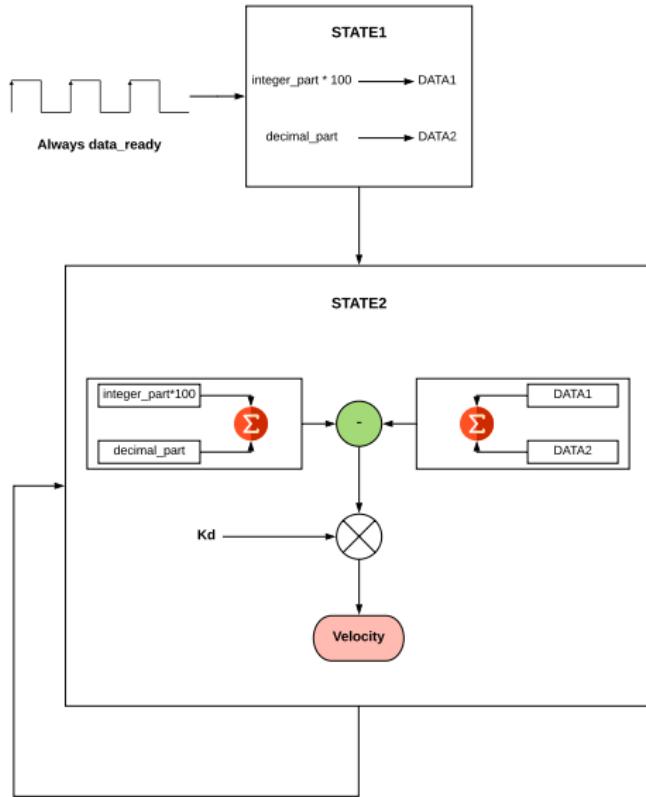
- Necesidad de minimizar el ángulo, en este caso a 0°
- Surgen muchas opciones, lógica fuzzy, algoritmos genéticos, PID
- PID por su fácil implementación y paralelismo

PID por su fácil implementación y paralelismo

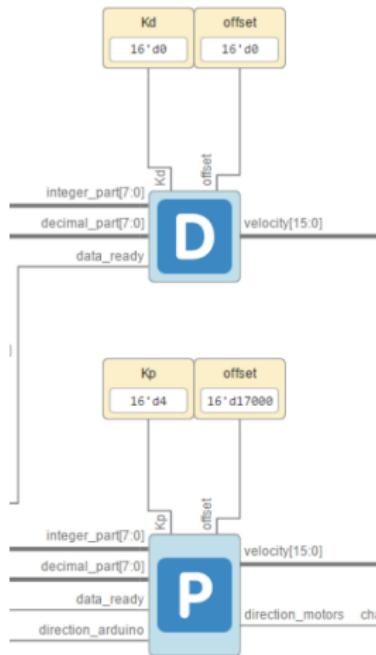
Control P



Control D



Control PD

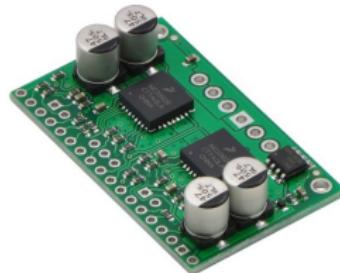


Control de los motores

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

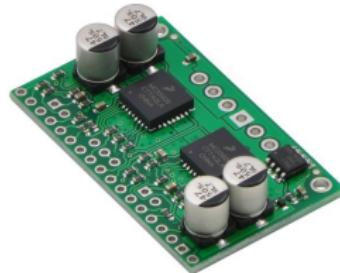
- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

MC33926



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

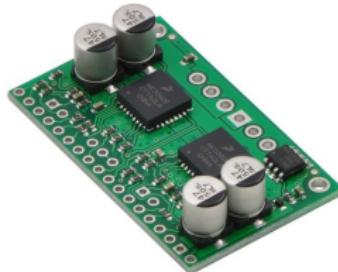
MC33926



- Como entradas:
 - Señal PWM

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

MC33926

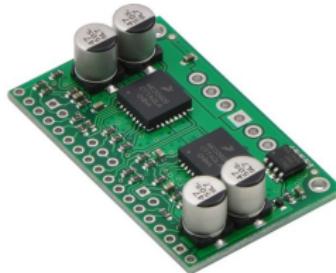


- Como entradas:
 - Señal PWM
 - Sentido de giro

Control de los motores

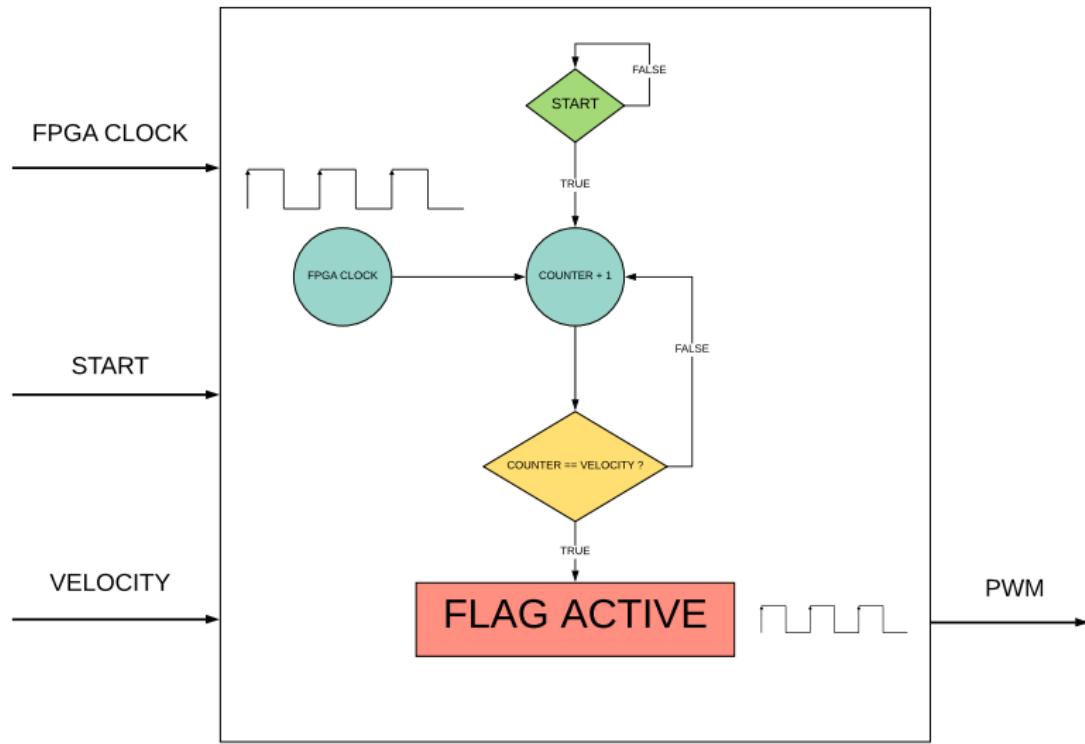
- Traducción de la salida del PD, velocidad y sentido de motores DC

MC33926

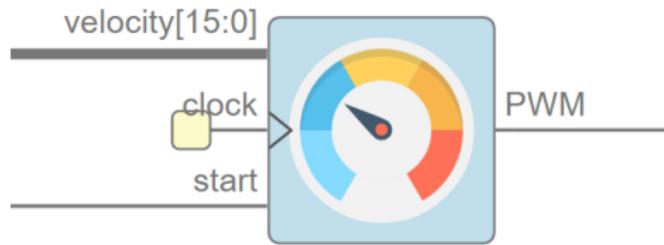


- Como entradas:
 - Señal PWM
 - Sentido de giro
- Como salidas:
 - Movimiento de los motores

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.

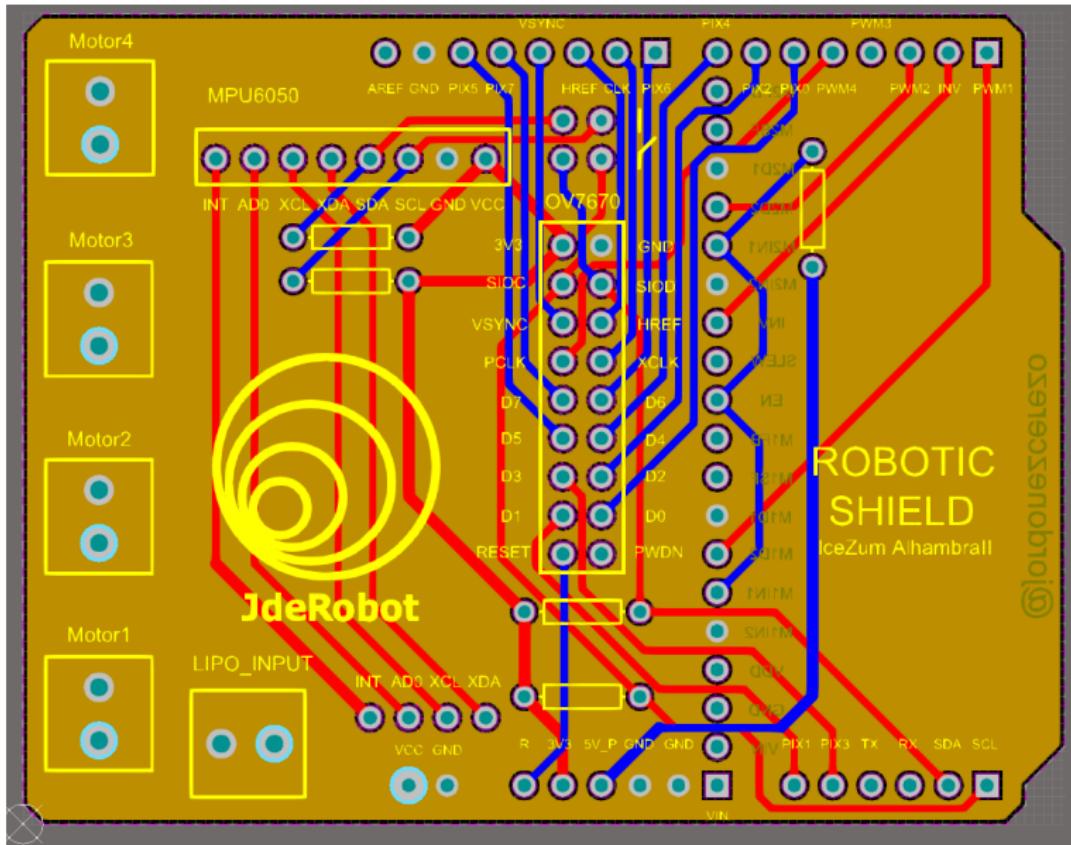
Printed Circuit Board, PCB

- 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.

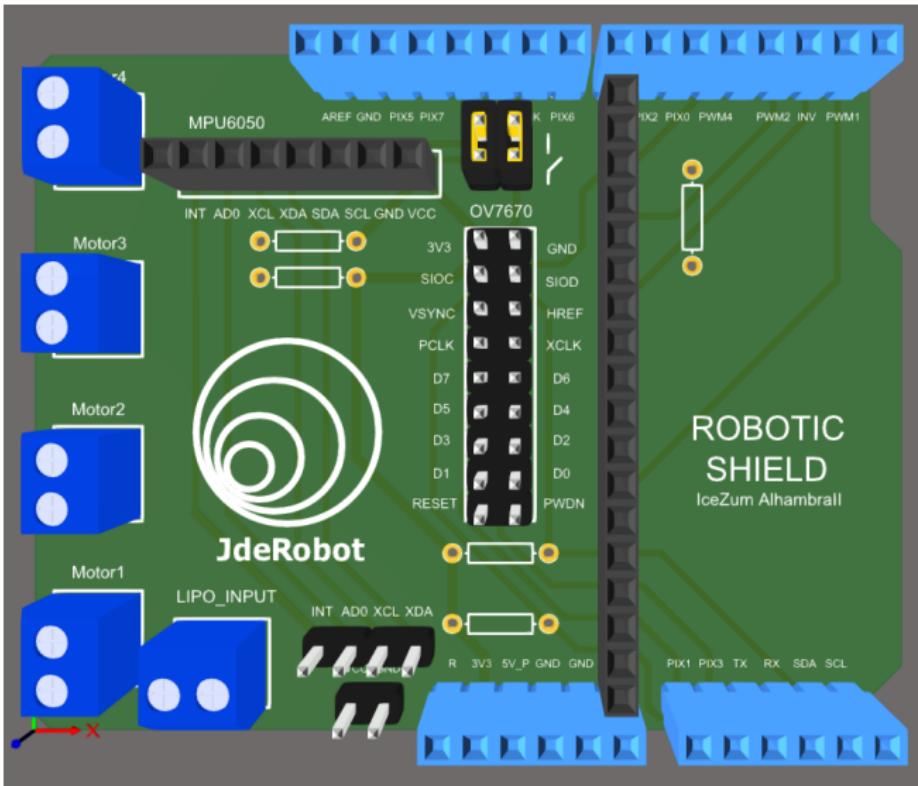
Printed Circuit Board, PCB



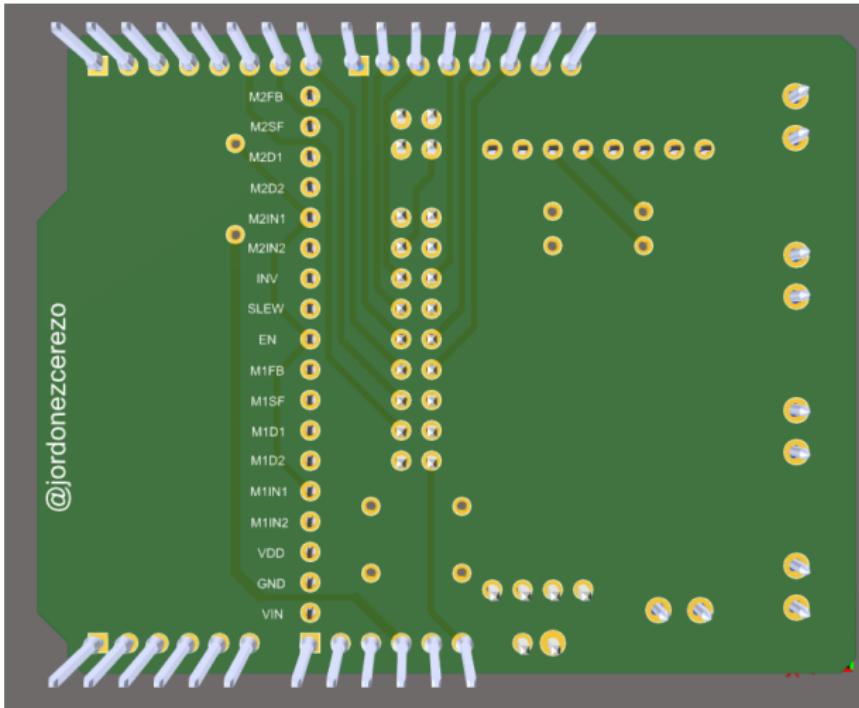
Diseño e Implementación PCB



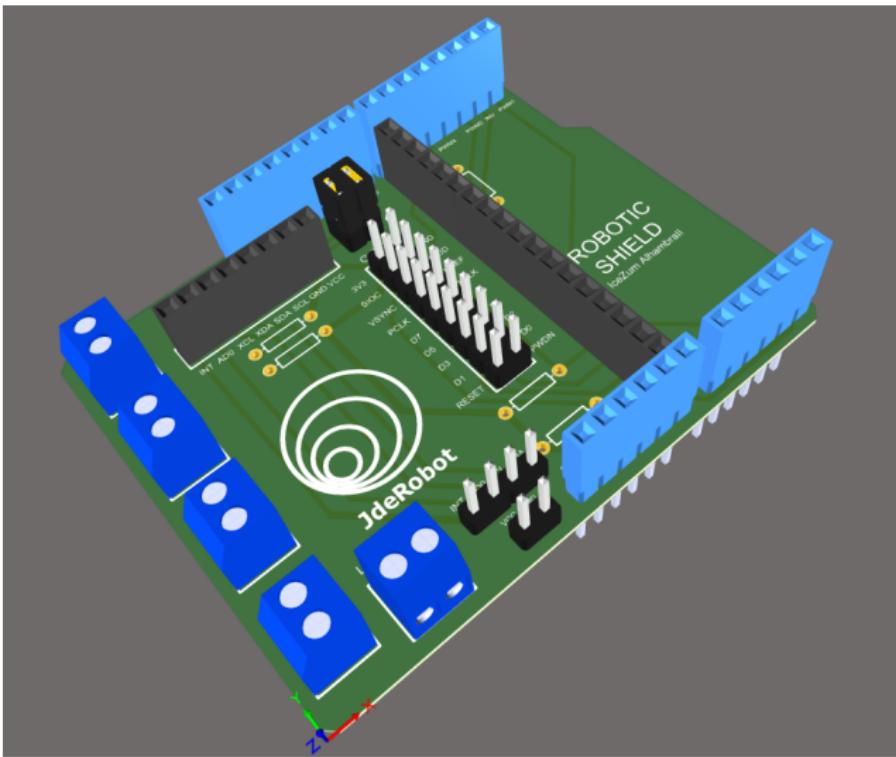
Diseño e Implementación PCB



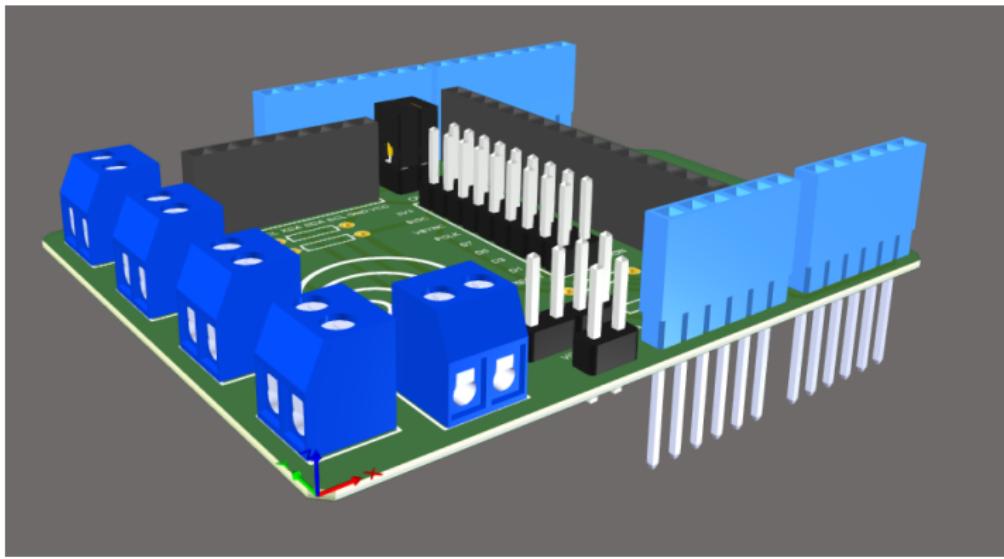
Diseño e Implementación PCB



Diseño e Implementación PCB



Diseño e Implementación PCB



Outline

1 Contexto

2 Infraestructura

3 Robot Balancín

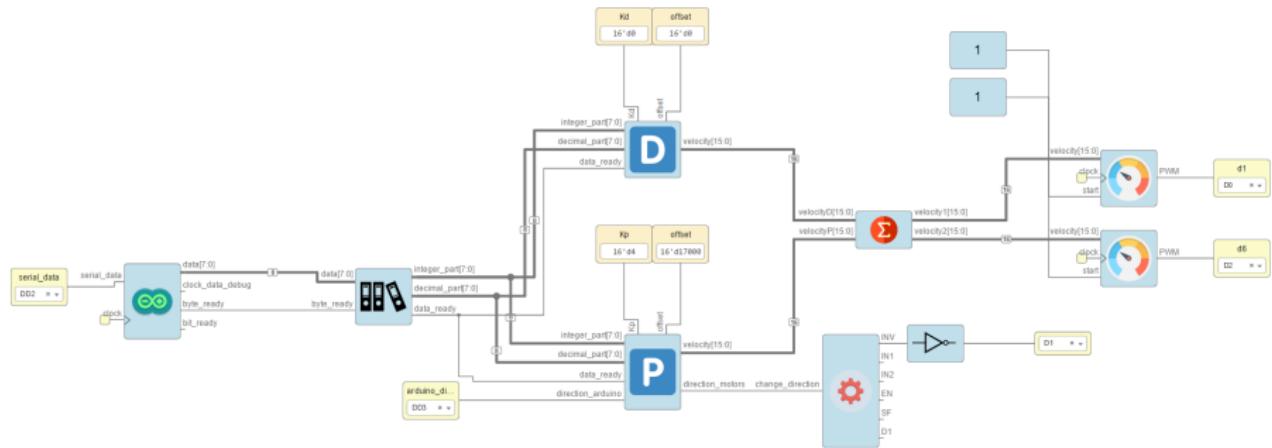
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- **Ensamblado y sistema final**

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

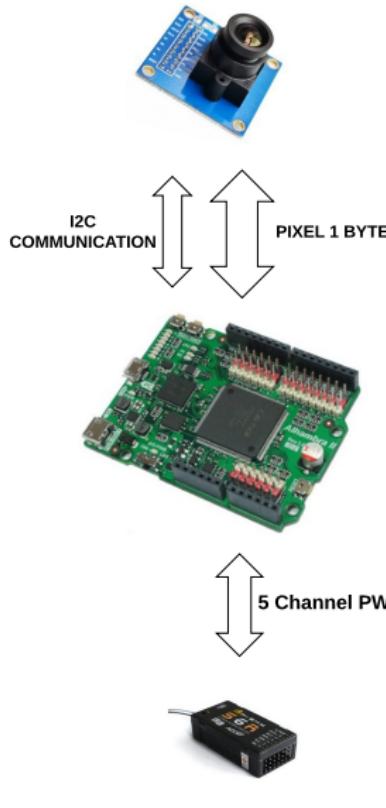
3 Robot Balancín

- 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.

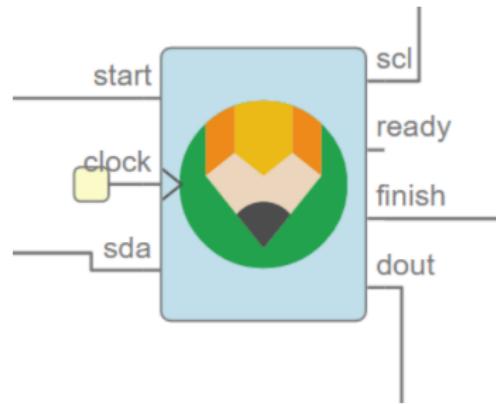
NECESIDAD DE PROTOCOLO I2C



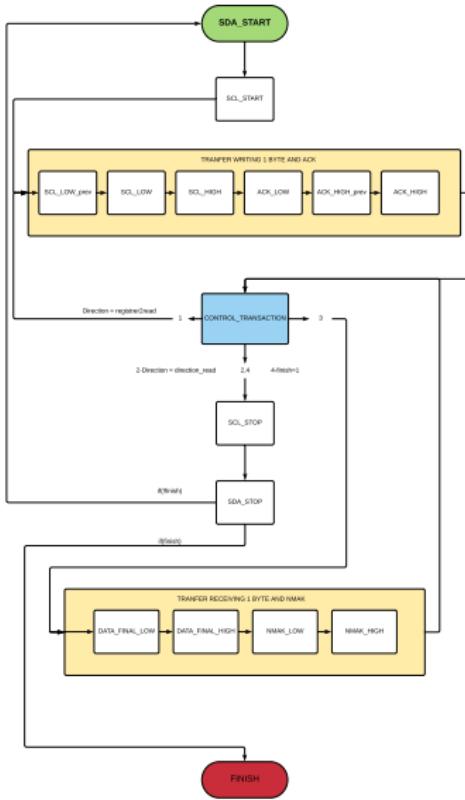
- Transmisión de píxeles mediante 8 bits en paralelo
- Comunicación I2C para la configuración necesaria, 640x480, RGB565, frecuencia de píxeles.

NECESIDAD DE PROTOCOLO I2C

Protocolo I2C



Protocolo I2C



Reconocimiento del volumen y posición

$Volumen = Num_{\text{pixeles filtrados}} / Num_{\text{pixeles totales}}$

Reconocimiento del volumen y posición

$Acum_x = \sum$ 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

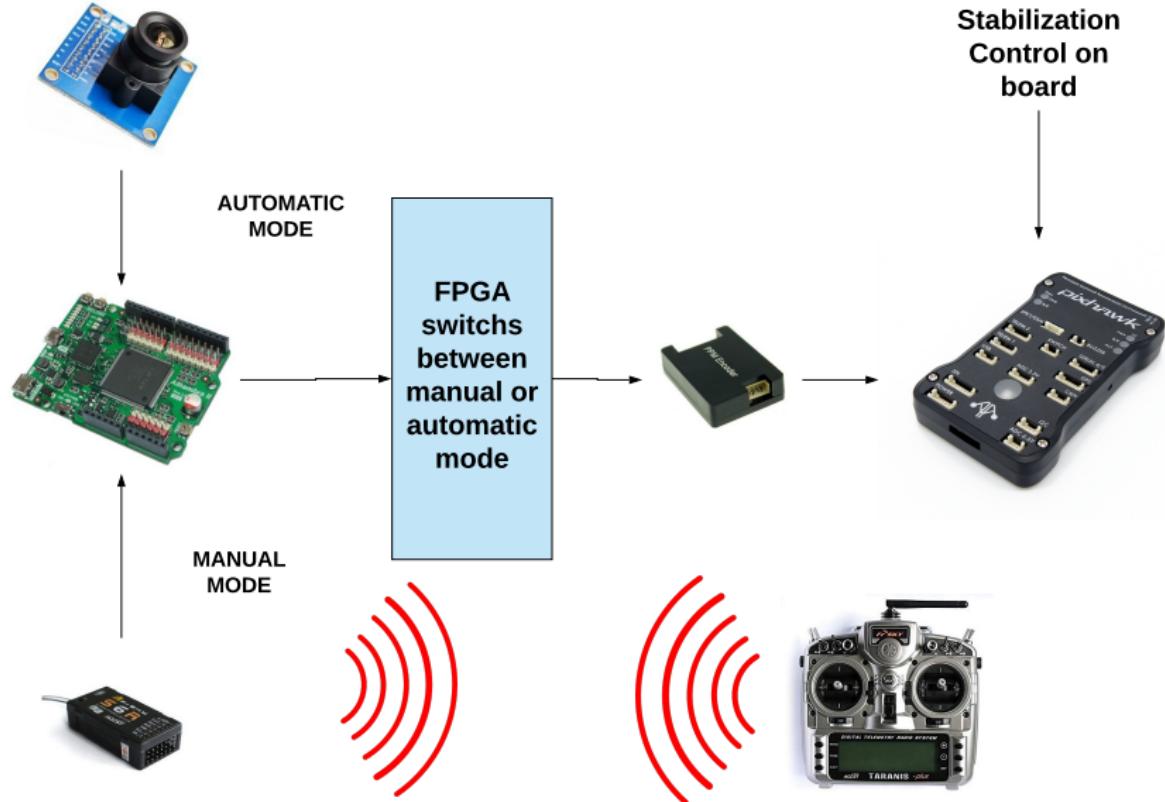
- Diseño del sistema
- Implementación del sistema
- Ensamblado y sistema final

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

- Mejora de la mecánica del robot balancín

Trabajo futuro

- Mejora de la mecánica del robot balancín
- Integrar una mejora del control PD

Trabajo futuro

- Mejora de la mecánica del robot balancín
- Integrar una mejora del control PD
- Permitir fallos en el protocolo i2c

Trabajo futuro

- Mejora de la mecánica del robot balancín
- Integrar una mejora del control PD
- Permitir fallos en el protocolo i2c
- Permitir una comunicación bidireccional en microcontrolador-FPGA

Trabajo futuro

- Mejora de la mecánica del robot balancín
- Integrar una mejora del control PD
- Permitir fallos en el protocolo i2c
- Permitir una comunicación bidireccional en microcontrolador-FPGA
- Implementación del control a bordo del cuadricóptero