



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

**TRABAJO FIN DE GRADO**

ESTABILIZACIÓN DE UN DRONE USANDO FPGAs  
LIBRES

Autor: Eloy Navarro Morales

Tutor: José María Cañas Plaza

Cotutor: Juan Ordoñez Cerezo

Curso académico 2018/2019

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Aplicaciones para drones . . . . .	3
1.2. Sistemas básicos del drone . . . . .	3
1.2.1. Hardware . . . . .	3
1.2.2. Software . . . . .	4
1.3. FPGA . . . . .	4
1.3.1. Concepto . . . . .	4
1.3.2. Aplicaciones . . . . .	4
1.3.3. FPGAs Libres . . . . .	4
1.4. Sistemas de control . . . . .	4
1.4.1. Bucle abierto . . . . .	4
1.4.2. Bucle cerrado . . . . .	4
<b>2. Objetivos</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo principal . . . . .	4
2.2. Requisitos . . . . .	4
2.2.1. Estabilización de un drone de bajo coste . . . . .	4
2.2.2. Diseño de un sistema de control basado en FPGAs libres . . . . .	4
2.2.3. Diseño de electrónica periférica para comunicaciones entre PC, Drone y Electrónica de control . . . . .	4
2.2.4. Implementación de librería de control del drone para PC . . . . .	4
2.2.5. Software . . . . .	5
2.3. Metodología . . . . .	5
2.4. Plan de trabajo . . . . .	5
<b>3. Arquitectura del sistema</b>	<b>5</b>
3.1. Estación de tierra . . . . .	5
3.1.1. Descripción . . . . .	5
3.1.2. Objetivo . . . . .	5
3.1.3. Subsistemas . . . . .	5
3.1.4. Interfaces externos . . . . .	5
3.1.5. Interfaces internos . . . . .	6
3.2. Sistemas embarcados . . . . .	6

3.2.1. Descripción . . . . .	6
3.2.2. Objetivo . . . . .	6
3.2.3. Subsistemas . . . . .	6
3.2.4. Interfaces externos . . . . .	6
3.2.5. Interfaces internos . . . . .	6
<b>4. Algoritmos de control</b>	<b>7</b>
4.1. Controles de bucle abierto . . . . .	7
4.1.1. Directo . . . . .	7
4.1.2. Pre-énfasis . . . . .	7
4.2. Controles de bucle cerrado . . . . .	7
4.2.1. PID en plano vertical retroalimentado . . . . .	7
4.2.2. PIDs en plano horizontal retroalimentados . . . . .	7
<b>5. Experimentos</b>	<b>7</b>
5.1. Eachine E010 . . . . .	7
5.2. Syma X5C en Bucle abierto . . . . .	7
<b>6. Trabajo futuro</b>	<b>7</b>
6.1. Mejoras hardware . . . . .	7
6.2. Mejoras software . . . . .	7
6.3. Cambios a mejor en la arquitectura del sistema . . . . .	7
<b>7. 7. Conclusiones</b>	<b>7</b>
<b>8. 8. Bibliografía</b>	<b>7</b>

# **1. Introducción**

## **1.1. Aplicaciones para drones**

## **1.2. Sistemas básicos del drone**

### **1.2.1. Hardware**

**Comunicaciones**

**Electrónica de Control**

**Drivers**

### **1.2.2. Software**

## **1.3. FPGA**

### **1.3.1. Concepto**

### **1.3.2. Aplicaciones**

### **1.3.3. FPGAs Libres**

## **1.4. Sistemas de control**

### **1.4.1. Bucle abierto**

### **1.4.2. Bucle cerrado**

# **2. Objetivos**

## **2.1. Objetivo principal**

Controlar un drone de bajo coste usando un PC y FPGAs libres.

## **2.2. Requisitos**

**2.2.1. Estabilización de un drone de bajo coste**

**2.2.2. Diseño de un sistema de control basado en FPGAs libres**

**2.2.3. Diseño de electrónica periférica para comunicaciones entre PC, Drone y Electrónica de control**

**2.2.4. Implementación de librería de control del drone para PC**

**Parámetros reconfigurables**

**Control de Posición**

**Control de Trayectoria**

**2.2.5. Software**

## **2.3. Metodología**

Diseño, Implementación, test, análisis de resultados, informes y feedback vía mail y conferencia.

## **2.4. Plan de trabajo**

Se inicia el proyecto con un control teledirigido directo del drone.

Se procede a diseñar todo el sistema para un control en bucle abierto.

Se continúa con la electrónica y software necesarios para cerrar un eje.

Se amplía el sistema para controlar los 3 ejes principales.

### **3. Arquitectura del sistema**

#### **3.1. Estación de tierra**

##### **3.1.1. Descripción**

##### **3.1.2. Objetivo**

##### **3.1.3. Subsistemas**

**Radio**

**Procesador principal FPGA**

**Procesador secundario ATMEL**

##### **3.1.4. Interfaces externos**

**Enlaces Radio**

**USB**

**Programación**

##### **3.1.5. Interfaces internos**

**SPI**

**RS232**

#### **3.2. Sistemas embarcados**

##### **3.2.1. Descripción**

##### **3.2.2. Objetivo**

##### **3.2.3. Subsistemas**

**Radio**

**Procesador**

**Sensores**

#### **3.2.4. Interfaces externos**

**Radio**

**Programación**

#### **3.2.5. Interfaces internos**

**I2C**

**SPI**

## **4. Algoritmos de control**

### **4.1. Controles de bucle abierto**

#### **4.1.1. Directo**

#### **4.1.2. Pre-énfasis**

### **4.2. Controles de bucle cerrado**

#### **4.2.1. PID en plano vertical retroalimentado**

#### **4.2.2. PIDs en plano horizontal retroalimentados**

## **5. Experimentos**

### **5.1. Eachine E010**

### **5.2. Syma X5C en Bucle abierto**

## **6. Trabajo futuro**

### **6.1. Mejoras hardware**

### **6.2. Mejoras software**

### **6.3. Cambios a mejor en la arquitectura del sistema**

## **7. Conclusiones**

## **8. Bibliografía**