



**VNiVERSIDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE

---

# **DISEÑO Y REALIZACIÓN DE UN ROBOT BÍPEDO MICROCONTROLADO**

---

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ZAMORA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA  
ÁREA DE ELECTRÓNICA**



**TFG-RESUMEN**

**AUTOR: JOSÉ GARCÍA MANZANARO**

**TUTOR: BEATRIZ GARCÍA VASALLO**

**COTUTOR: MIGUEL ÁNGEL RABANILLO DE LA FUENTE**

**FECHA DE ADJUDICACIÓN: MARZO DE 2016**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: SEPTIEMBRE DE 2016**

---

## RESUMEN

---

El presente proyecto explica el funcionamiento y fabricación de un robot bípedo autónomo. Dicho robot es capaz de caminar frontalmente, girar a los lados y detectar obstáculos siempre asistido por un acelerómetro con giróscopo y un sensor de ultrasonidos.

Es un trabajo que ha sido multidisciplinar desde el primer momento. Combina varias técnicas: diseño mecánico, impresión 3D, electrónica y programación que unidas dan lugar a la mecatrónica orientada a la bipedestación.

Comienza con una introducción sobre el estado de la técnica en robótica y en la impresión 3D por deposición. En este punto, hay recalcar que se construyó una impresora 3D para la realización del robot.

A continuación, el trabajo se desglosa en 4 capítulos:

- Capítulo 1. Mecánica del robot
- Capítulo 2. Electrónica
- Capítulo 3. Programación y código
- Capítulo 4. Bipedestación y características finales.

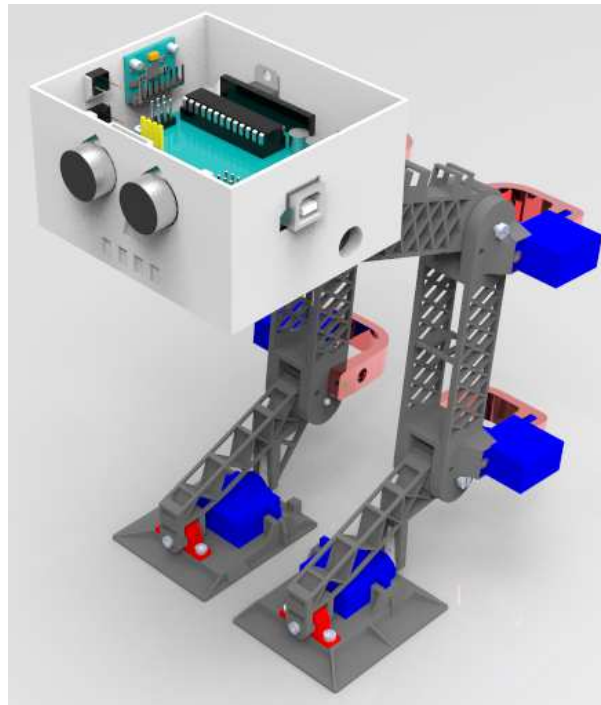
---

## CAPÍTULO 1. MECÁNICA DEL ROBOT

---

En esta sección se explica cómo fue diseñado y construido en orden cronológico

- Diseño global
- Diseño de los engranajes para las articulaciones
- Diversas uniones
- Ilustración con diseño final



*Ilustración 1. Diseño final*

## CAPÍTULO 2. ELECTRÓNICA

---

Se enumeran todos los componentes y se explica el funcionamiento de todos ellos, haciendo especial hincapié en el acelerómetro con giróscopo, también llamado IMU (Inertial Motion Unit) o MPU (Motion Process Unit). Entre estos dos términos existe una diferencia que se explica en la introducción de este punto. El esquema del apartado IMU es el siguiente:

- Protocolo I2C
- Tecnología MEMS (MicroElectroMechanical Systems)
- Funcionamiento del acelerómetro
- Funcionamiento del giróscopo
- Filtro complementario

### **CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN Y CÓDIGO**

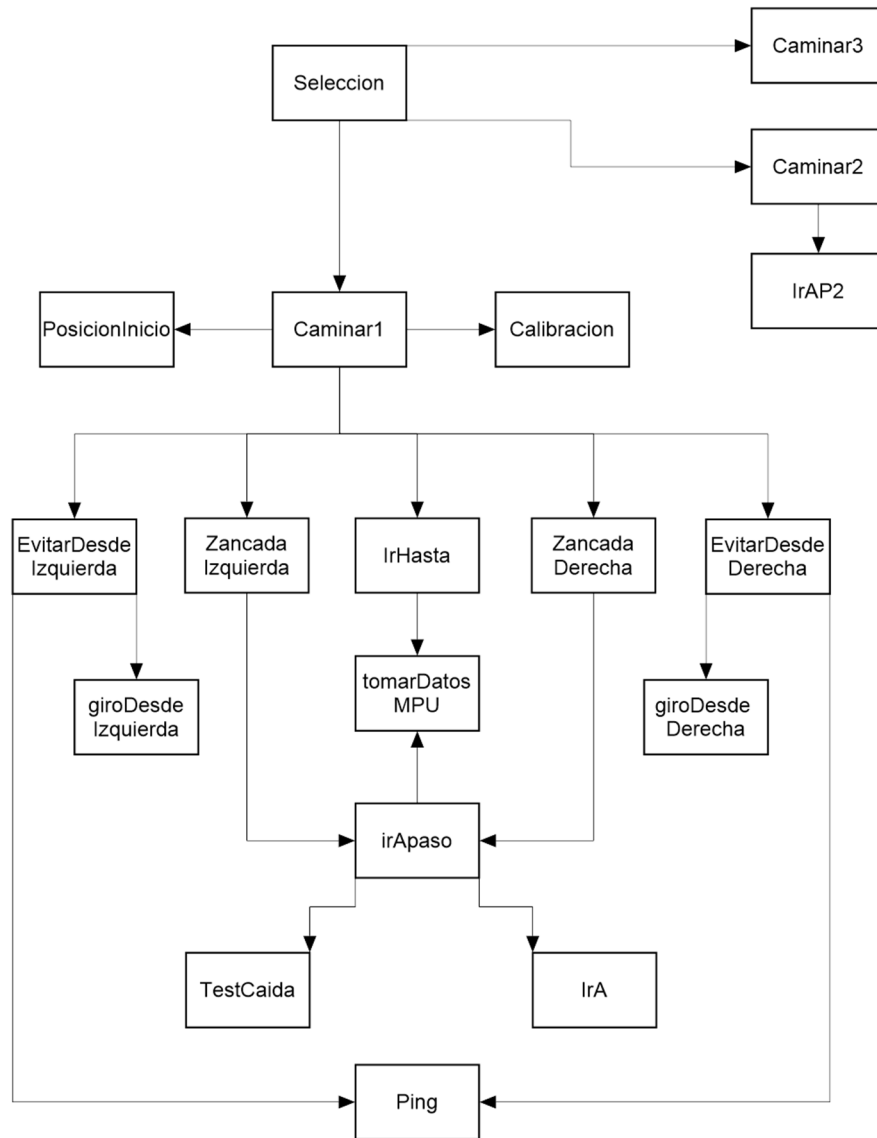
---

En este capítulo se explica el funcionamiento de las rutinas principales haciendo referencia al código y organigramas de los anexos. También se describe el funcionamiento de la forma de caminar y cómo interactúa con el acelerómetro-giróscopo y cómo detecta obstáculos y gira, pero rutina a rutina.

Las rutinas explicadas son:

- IrA. Convierte el valor de la articulación al valor que recibe el servo.
- Posición de Inicio. Equilibra la cabeza colocándola en horizontal. Funciona sobre planos inclinados
- Ir Hasta. Se inclina lateralmente
- Zancada derecha/izquierda. Da una zancada
- Ir A Paso. Lleva al robot una posición (o a un paso) determinada, en un tiempo determinado y detecta si se cae
- Evitar desde derecha/izquierda. Detecta y evita obstáculos
- Programa Caminar1. Programa principal. Camina recto, detecta obstáculos y gira con ayuda del acelerómetro y giróscopo. Es lento
- Programa Caminar2. Programa secundario. Más primitivo. Solo camina, pero es más rápido

En los anexos pueden encontrarse el código y los organigramas de estas rutinas y algunos más.



*Ilustración 2. Organigrama del código*

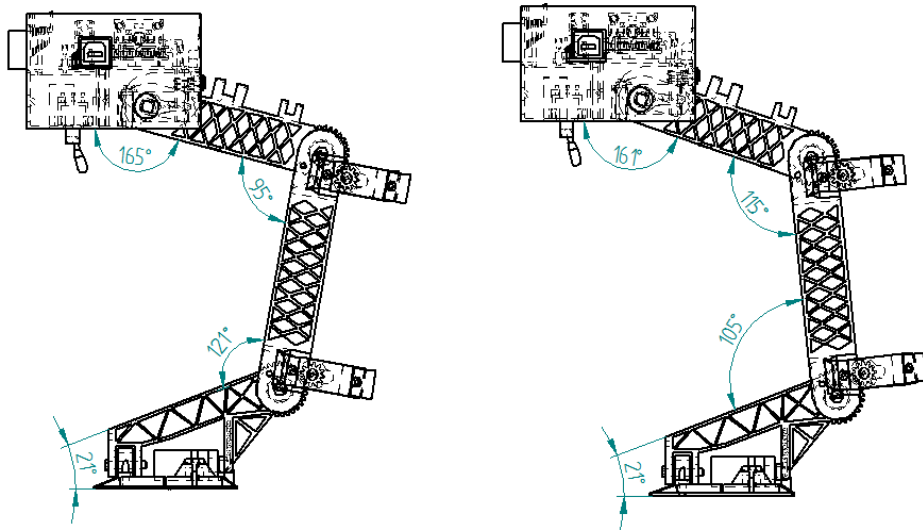
## CAPÍTULO 4. BIPEDESTACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FINALES

En la parte de la bipedestación se explica cómo funciona el robot:

El avance del robot es simple: se inclina, se levanta una pierna, se la hace avanzar, se asienta en una nueva posición y se inclina hacia la nueva posición. Al final de cada zancada utiliza el sensor de ultrasonidos para saber si hay algún obstáculo, y si lo hay, lo rodea en la dirección opuesta a la zancada (si es la zancada izquierda, lo rodea hacia la derecha, y viceversa).

Durante la elaboración de los códigos de movimiento se encontraron algunas reglas y particularidades a las que se hace referencia:

- Sumatorio de ángulos igual a 360



Para asentar el pie, se comprobó que los ángulos debían sumar lo mismo. En la teoría 360°

- Enlace entre zancadas

Se explica cómo se consiguió que caminara recto renunciando a caminar rápido. Consiste en cambiar la distribución de pesos lateralmente y no en diagonal. Cuando se hace en diagonal el pie nunca se apoya completamente recto, principalmente por la baja precisión de los componentes.

- Caminar recto

Se profundiza en los problemas que tiene el robot para caminar recto y se concluye que la mejor forma para que así lo hiciera sería añadir un magnetómetro para conocer el norte terrestre y poder corregir el rumbo cuando sea necesario

En cuanto a características finales de algunos parámetros importante del proyecto:

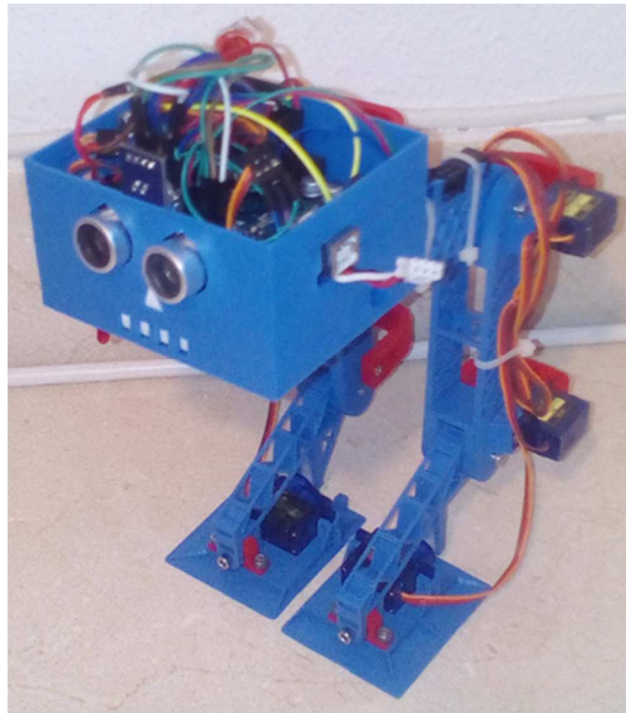
- Desglose de coste
- Características técnicas finales
- Líneas de futuro

---

## ANEXOS

---

En los anexos, aparte de encontrar el código completo explicado y con ordinogramas y demás tablas y datos relativos al proyecto, se encuentra la lista de piezas con los diseños en CAD impresos, y los componentes (también en CAD) modelizados para este proyecto.



*Ilustración 3. Fotografía final del robot*

## FUENTES DE INFORMACIÓN

---

- Esteban Viso El origen de la palabra robot. Enero 2016  
<http://m.xatakaciencia.com/robotica/el-origen-de-la-palabra-robot>
- Real Academia Española  
<http://dle.rae.es/?id=WYRIhzm>
- Escuela técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos.  
Universidad Politécnica de Madrid  
[https://www.etsisi.upm.es/museo\\_virtual/origenes/jmjacquard](https://www.etsisi.upm.es/museo_virtual/origenes/jmjacquard)
- Comunicación en visita (2010) y Centro de Automática y Robótica (CAR)  
CSIC-UPM.
- Honda Motor Co.  
<http://world.honda.com/ASIMO/technology/2000/index.html>
- Distribuidor Oficial de Nao  
<http://aliverobots.com/nao>
- E. Ackerman and E. Guizzo Spectrum Boston Dynamics Now Belongs to  
Google IEEE 14 Dec 2013  
<http://spectrum.ieee.org/autaton/robotics/military-robots/boston-dynamics-now-belongs-to-google>
- E. Ackerman, ATLAS DRC Robot Is 75 Percent New, Completely  
Unplugged. Spectrum IEEE, 20 junio 2015:  
<http://spectrum.ieee.org/autaton/robotics/military-robots/atlas-drc-robot-is-75-percent-new-completely-unplugged>
- Página oficial de *Boston Dynamics*.  
[www.bostondynamics.com](http://www.bostondynamics.com)
- Página oficial del proyecto *ICub*  
<http://www.icub.org/>



- E. Guizzo *Researchers Build Fast Running Robot Inspired by Velociraptor* Spectrum IEEE. 29 May 2014  
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/fast-running-biped-robot-based-on-velociraptor>
- Comunicación en conferencia en la Escuela Politécnica Superior de Zamora. 2014
- Especificaciones de los plásticos. hxx, proveedor de sistemas de impresión 3D  
<http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>  
<http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>
- Página oficial de Arduino.  
<https://www.arduino.cc/en/Reference/Comparison>
- Página oficial de Fritzing  
<http://fritzing.org/projects/mpu-6050-board-gy-521-acelerometro-y-giroscopio>
- Página oficial del fabricante (Invensense) del MPU6050  
<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>
- Página especializada en tutoriales de Arduino  
<http://www.prometec.net/bus-i2c/>
- Página de los laboratorios SANDIA  
[http://www.sandia.gov/mstc/mems\\_info/movie\\_gallery.html](http://www.sandia.gov/mstc/mems_info/movie_gallery.html)
- National Informal STEM Education Network (NISE Network)  
[http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsqueeze\\_images\\_13nov13\\_sp.pdf](http://www.nisenet.org/sites/default/files/catalog/uploads/spanish/12194/electricsqueeze_images_13nov13_sp.pdf)
- Página oficial del fabricante PCB  
[http://www.pcb.com/techsupport/tech\\_accel.aspx](http://www.pcb.com/techsupport/tech_accel.aspx)

- Hoja de especificaciones MPU-6050  
<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>
- Instrumentation-Electronics  
<http://www.instrumentationtoday.com/?s=accelerometer>
- Á. Solera Ramírez. *El filtro de Kalman*. Banco central de costa rica  
división económica departamento de investigaciones económicas. 2003