



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
DISEÑO INDUSTRIAL

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial

**TRABAJO FIN DE GRADO**

# CONEXIÓN DE ROBOHEALTHARM A UNA RED DOMÓTICA EMPLEANDO RADIOFRECUENCIA

José Luis Grande Morón

*Tutor:* Alberto Brunete González

*Departamento:* Eléctrica, Electrónica, Automática y Física Aplicada

Madrid, junio, 2019





UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y  
DISEÑO INDUSTRIAL

Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial

**TRABAJO FIN DE GRADO**

CONEXIÓN DE ROBOHEALTHARM A  
UNA RED DOMÓTICA EMPLEANDO  
RADIOFRECUENCIA

Firma Autor

*Firma Cotutor (si lo hay)*

*Firma Tutor*



Copyright ©2019. José Luis Grande Morón.

Esta obra está licenciada bajo la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0). Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es> o envíe una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, EE.UU.

Todas las opiniones aquí expresadas son del autor, y no reflejan necesariamente las opiniones de la Universidad Politécnica de Madrid.



**Título:** Conexión de RoboHealthArm a una red domótica empleando radiofrecuencia

**Autor:** José Luis Grande Morón

**Tutor:** Alberto Brunete González

## EL TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo Fin de Grado el día ..... de ..... de ... en ....., en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





# Agradecimientos

Agradezco a .....



# Resumen

Este proyecto se resume en.....

**Palabras clave:** palabraclave1, palabraclave2, palabraclave3.



# Abstract

In this project...

**Keywords:** keyword1, keyword2, keyword3.



# Índice general

Agradecimientos	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
Índice	XVI
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación del proyecto . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.3. Materiales utilizados . . . . .	3
1.3.1. Componentes hardware . . . . .	3
1.3.2. Componentes software . . . . .	3
1.4. Estructura del documento . . . . .	3
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
<b>3. Estado del arte</b>	<b>7</b>
3.1. ¿En qué consiste el Estado del Arte? . . . . .	7
<b>4. Cómo escribir en Latex</b>	<b>9</b>
4.1. Estilo . . . . .	9
4.2. Citas . . . . .	9
4.3. Listas . . . . .	9
4.4. Tablas . . . . .	9
4.5. Referencia a una sección . . . . .	10
4.6. Texto . . . . .	10
4.7. Figuras . . . . .	10
4.8. Código software . . . . .	10
4.9. Pie de página . . . . .	11
<b>5. Resultados y discusión</b>	<b>13</b>
5.1. Resultados . . . . .	13
5.2. Discusión . . . . .	13
<b>6. Gestión del proyecto</b>	<b>15</b>
6.1. Ciclo de vida . . . . .	15
6.2. Planificación . . . . .	15

6.2.1. Planificación inicial . . . . .	15
6.2.2. Planificación final . . . . .	15
6.3. Presupuesto . . . . .	15
6.3.1. Personal . . . . .	15
6.3.2. Material . . . . .	15
6.3.3. Resumen de costes . . . . .	15
<b>7. Conclusiones</b>	<b>17</b>
7.1. Conclusión . . . . .	17
7.2. Desarrollos futuros . . . . .	17
<b>A. Anexo ...</b>	<b>19</b>
A.1. Lorem ipsum . . . . .	19
<b>Bibliografía</b>	<b>21</b>



# Índice de figuras

1.1. Estructura RoboHealth . . . . .	2
4.1. Logotipo de la UPM . . . . .	10



# Índice de tablas

4.1. Ejemplo de tabla . . . . .	9
---------------------------------	---



# Capítulo 1

## Introducción

El presente documento corresponde a la realización de un Trabajo Final del Grado en Electrónica Industrial y Automática basado en la conexión e integración de un brazo robótico en una red domótica. A continuación, se recoge de manera ordenada y detallada el desarrollo e implementación del proyecto; así como los resultados obtenidos y las conclusiones a las que es posible llegar.

### 1.1. Motivación del proyecto

El punto de partida es el proyecto Robohealth. Consiste en un conjunto de entidades en colaboración para el desarrollo de soluciones relacionadas con la robótica y la domótica con el fin de introducir mejoras en el sistema sanitario. Como se puede observar, entre estas entidades está, además de otras dos universidades públicas de la Comunidad de Madrid, la Universidad Politécnica de Madrid.

Los resultados del proyecto están orientados a pacientes con enfermedades crónicas o capacidades cognitivas limitadas, pacientes en una situación de dependencia a los que es posible mejorar la calidad de vida. Estas mejoras se obtienen a través del diseño y fabricación de robots de asistencia, tanto para pacientes como para sus cuidadores, y la implementación de entornos inteligentes.

En la figura 1.1, se pueden observar los diferentes paquetes de trabajo y subproyectos en los que se trabaja dentro de la estructura de RoboHealth, repartidos entre las entidades colaboradoras. En la Universidad Politécnica de Madrid, encargada del desarrollo de entornos inteligentes de asistencia y rehabilitación, se ha venido trabajando en distintas herramientas enmarcadas en Trabajos Finales de Grado durante los últimos años.

Dentro del marco previamente expuesto, se han desarrollado dos plataformas que sirven de base para el proyecto objetivo de este documento.

- **RoboHealth Arm** es un brazo robótico de tres grados de libertad (actualmente, cuenta con sólo dos grados de libertad operativos) diseñado para sustentar una tablet en su extremo, haciendo más accesible su uso para pacientes y cuidadores. Está basado en un sistema de cuerdas y poleas accionado por tres servomotores.
- Por otro lado, existe una aplicación de **Node-RED** que integra los diferentes dispositivos y proyectos desarrollados en una red domótica. Incluye una inter-

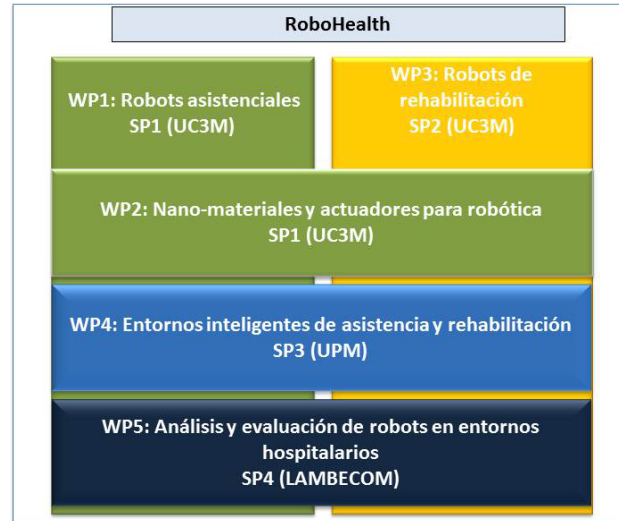


Figura 1.1: Estructura RoboHealth

faz gráfica que facilita su interacción vía internet, posibilitando controlar los dispositivos desde cualquier lugar.

La idea es continuar el proceso de integración de los diferentes dispositivos en Node-RED con la intención de controlar todo desde la misma interfaz. En ese contexto, surge el proyecto de hacerlo con el brazo RoboHealth Arm. Con el fin de tratar de explorar todas las tecnologías posibles, se comprueba que la radiofrecuencia aún no había sido y existen soluciones económicas en el mercado.

Así, el planteamiento del Trabajo Final de Grado tomó forma, definiéndose como la conexión mediante el uso de radiofrecuencia del brazo RoboHealth Arm a la interfaz de Node-RED. Para la radiofrecuencia, se usarán dispositivos XBee.

## 1.2. Objetivos

El fin del proyecto es la completa integración de un control a través de internet del brazo robótico. Los comandos se lanzan desde la interfaz de Node-Red y el ordenador de la sala transmite la orden vía radiofrecuencia al brazo.

Se ha desarrollado a posibilidad de configurar las coordenadas articulares del brazo antes de ser enviadas, dentro de su rango óptimo de trabajo actual.

La orden de Node-Red pone en marcha la ejecución de un script en Python que toma esos parámetros previamente especificados y envía por uno de los puertos serie el correspondiente frame. Este frame está pensado de acuerdo a las especificaciones de comunicación del brazo y del encapsulamiento de las comunicaciones de radio.

Un dispositivo XBee ha sido configurado para enviar el frame de datos recibido por comunicación serial. Al poder concentrarse todo el procesamiento de la información correspondiente al emisor en el anteriormente mencionado script, no se precisa de ningún microcontrolador adicional que funcione junto al módulo de radiofrecuencia. Así pues, el módulo XBee funciona de manera exclusiva como un traductor entre la información en el puerto serie correspondiente y las ondas de radiofrecuencia.

El dispositivo XBee receptor de la información que comanda el brazo robótico está situado en el mismo. Su objetivo es ser capaz de captar el mensaje de radio

específicamente diseñado para él y transmitirlo al microcontrolador del brazo. De la misma manera que en el otro XBee, su función será la de traductor de las ondas de radio (exclusivamente de las destinadas a él) en información en el puerto serial. Esto es posible gracias al prediseño de los frames de información de acuerdo a las especificaciones y protocolos de comunicación del brazo.

El dispositivo operativo provoca la reacción esperada en el brazo, moviendo sus servos hasta las coordenadas articulares especificadas.

### **1.3. Materiales utilizados**

Aquí se pueden citar todos los materiales utilizados, tanto software como hardware, para que el lector tenga una primera de lo que se va a hablar en el TFG.

#### **1.3.1. Componentes hardware**

#### **1.3.2. Componentes software**

### **1.4. Estructura del documento**

A continuación y para facilitar la lectura del documento, se detalla el contenido de cada capítulo.

- En el capítulo 1 se realiza una introducción.
- En el capítulo 2 se hace un repaso...





## Capítulo 2

# Marco Teórico

En este capítulo se describen (brevemente) todos los conceptos necesarios para entender el trabajo. No se trata de copiar el contenido de los libros de texto, si no de hacer un resumen de los conceptos necesarios para facilitar la lectura del documento al lector. Se entiende que el lector de un TFG tiene que tener unos conocimientos mínimos sobre el tema.



## Capítulo 3

# Estado del arte

En este capítulo...

### 3.1. ¿En qué consiste el Estado del Arte?

Tal y como indica Wikipedia <sup>1</sup>, *en el ámbito de la investigación científica, el SoA (por sus siglas en inglés) hace referencia al estado último de la materia en términos de I+D, refiriéndose incluso al límite de conocimiento humano público sobre la materia.*

*Dentro del ambiente tecnológico industrial, se entiende como “estado del arte”, “estado de la técnica” o “estado de la cuestión”, todos aquellos desarrollos de última tecnología realizados a un producto, que han sido probados en la industria y han sido acogidos y aceptados por diferentes fabricantes.*

Es muy importante no confundir el estado del arte con un marco teórico o una guía de tecnologías o productos. En el estado del arte se sitúa al lector en el marco tecnológico en el que se ha desarrollado el TFG, comparándolo con desarrollos o productos parecidos.

---

<sup>1</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Estado\\_del\\_arte](https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_del_arte)



## Capítulo 4

# Cómo escribir en Latex

### 4.1. Estilo

Al ser un documento científico-técnico, debe ser expuesto en tercera persona del singular. También se admite usar la primera persona cuando son apreciaciones personales del autor.

### 4.2. Citas

Esto es un ejemplo de cita de un artículo [2]. Y este para una página web [1].

Se recomienda usar un archivo que contenga la bibliografía (.bibtex), aunque también se puede incluir la bibliografía directamente en el .tex mediante `\bibitem`.

### 4.3. Listas

Ejemplo de lista de puntos:

- Ejemplo1.
- Ejemplo2.

Y lista numerada:

1. Elemento 1
2. Elemento 2

### 4.4. Tablas

Ejemplo de tabla. Como se aprecia en la tabla 4.1...

Tabla 4.1: Ejemplo de tabla

One	Two	Three
F1A	F1B	F1C
F2A	F2B	F2C



Figura 4.1: Logotipo de la UPM

## 4.5. Referencia a una sección

Ejemplo de referencia a la sección 4.5

## 4.6. Texto

Texto en **negrita** y *cursiva*.

## 4.7. Figuras

Ejemplo de referencia a figura (figura 4.1). Es importante que todas las figuras que aparezcan estén referenciadas, así como las tablas. En general las figuras se colocarán al principio o al final de cada página ([tb] en latex), a no ser que por alguna necesidad se deban colocar en una posición exacta ([h]).

**Muy importante!:** Todas las figuras no originales que aparezcan en la memoria deben ir referenciadas.

## 4.8. Código software

Existen muchas formas de escribir código en el TFG. Aquí se muestra una de ellas. En general es interesante numerar las líneas para que sean referenciables y destacar palabras clave del lenguaje correspondiente. Ver código 4.1.

Código 4.1: Hola Mundo

```

1 | #include <iostream>
2 |
3 | using namespace std;
4 |
5 | int main(int argc, char *argv[]) {
6 |     cout << "Hola mundo" << endl;
7 |     return 0;
8 | }
```

En general no se debe incluir mucho código en la memoria. El código debe ir en el Anexo.

## 4.9. Pie de página

Esto es un pie de página <sup>1</sup>. Y para usar direcciones web y no tener problemas con caracteres especiales (como el “\_”), se usa el comando url <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Pie de página

<sup>2</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Estado\\_del\\_arte](https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_del_arte)





## Capítulo 5

# Resultados y discusión

En este capítulo...

### 5.1. Resultados

Los resultados son una parte imprescindible del TFG. Muestran lo que realmente se ha hecho y deben ser explicados con rigor y claridad

### 5.2. Discusión

Una vez expuestos los resultados en la sección anterior, aquí se deben comentar y analizar su validez.



## Capítulo 6

# Gestión del proyecto

En este capítulo se describe la gestión del proyecto: ciclo de vida, planificación, presupuesto, etc.

### 6.1. Ciclo de vida

Explicación de las fases del proyecto: definición, análisis, diseño, construcción, pruebas, implementación, validación, documentación. Ejemplo: diagrama de Pert.

### 6.2. Planificación

Se puede indicar mediante un diagram de Gantt.

#### 6.2.1. Planificación inicial

#### 6.2.2. Planificación final

### 6.3. Presupuesto

#### 6.3.1. Personal

#### 6.3.2. Material

#### 6.3.3. Resumen de costes



## Capítulo 7

# Conclusiones

Se presentan a continuación las conclusiones...

### **7.1. Conclusión**

Una vez finalizado el proyecto...

### **7.2. Desarrollos futuros**

Un posible desarrollo...



# Apéndice A

## Anexo ...

En este apéndice...

### A.1. Lorem ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas ornare erat nisl, a laoreet purus pellentesque id. Duis laoreet ipsum posuere est hendrerit, quis ornare nisi iaculis. Quisque imperdiet gravida egestas. Maecenas in mauris felis. Quisque quis imperdiet enim. Curabitur dignissim eget nisi lobortis placerat. Donec et magna rutrum, tempor magna a, consectetur tortor. Donec faucibus sodales sem, eu iaculis leo eleifend id. Nam semper lectus nisl, sed molestie erat pharetra quis. Quisque vestibulum metus elit, id interdum ligula dignissim a.

Praesent eu velit ac lectus tristique tristique vitae et tellus. Mauris dignissim feugiat orci, vitae luctus dolor finibus ut. Ut congue bibendum lectus, vitae congue ligula. Donec commodo, lacus ac iaculis scelerisque, nunc purus finibus diam, at lacinia sem justo non quam. Aenean tempor urna vitae quam pretium porta. Sed in lacinia ipsum. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Integer ut tristique est. Nam vitae interdum ligula, ac sodales dolor. Nulla mollis bibendum urna, sit amet interdum est aliquet at. Sed sagittis mi vel tellus posuere, eu rutrum arcu tristique.

Vestibulum aliquet orci pharetra justo auctor, pharetra viverra felis finibus. Ut ac gravida quam. Donec egestas turpis nisi, nec elementum orci feugiat at. In hac habitasse platea dictumst. Praesent mollis sem in felis feugiat, dapibus finibus metus scelerisque. Aliquam ultricies ante quis nibh laoreet, ac aliquam justo maximus. Etiam rhoncus pharetra imperdiet.

Nullam at libero quis augue tristique luctus eget placerat lorem. Donec pretium, dui scelerisque dapibus feugiat, ex lacus auctor ipsum, in ultricies odio justo in eros. Proin sodales velit non accumsan tempor. Mauris at consectetur est. Donec aliquam porttitor tortor, id malesuada nunc euismod vel. Ut id ullamcorper turpis, nec feugiat sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Morbi aliquam tempus tortor, et gravida lectus iaculis non. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Integer non maximus felis. Nullam ac tempor augue. Vestibulum in efficitur mauris. Sed in nulla ultrices, pharetra ligula et, blandit nunc. Quisque dictum magna eget diam maximus, ac pulvinar nisi tempor. Pellentesque quis feugiat elit.

Integer euismod in urna id placerat. Etiam urna elit, tempor et turpis venenatis, volutpat viverra lacus. In luctus arcu sit amet lectus rutrum, id ultricies mi pellentesque. Nulla bibendum, orci in elementum aliquam, mi purus sollicitudin orci, quis ornare nulla arcu placerat urna. Integer consequat, risus ac elementum pellentesque, nulla est lobortis justo, sed mattis nibh ligula nec velit. Integer sem mauris, luctus vitae venenatis a, tincidunt egestas purus. In et lectus semper, dapibus massa sed, ultrices nisi. Ut sit amet dolor porta, accumsan lectus ut, semper tellus. Praesent velit odio, facilisis quis sodales vel, molestie at risus. In sollicitudin mauris risus, ullamcorper ullamcorper ligula commodo sed. Ut libero tortor, rhoncus ut sagittis quis, fringilla nec nunc. Ut efficitur nisi id leo feugiat ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Sed at malesuada arcu.

Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed consectetur, justo nec scelerisque accumsan, leo erat dictum odio, id feugiat nibh felis vel ipsum. Duis urna ante, commodo vitae neque varius, congue egestas turpis. Donec condimentum ullamcorper dapibus. Nulla sed sapien eu diam commodo finibus. Nulla fringilla lectus vitae augue rutrum volutpat. Nulla in accumsan orci. Suspendisse eget diam massa.



# Bibliografía

- [1] Google. url: <https://www.google.es> (visitada el 15/06/2018).
- [2] A. Brunete, M. Hernando, and E. Gambao. Offline ga-based optimisation for heterogeneous modular multi-configurable chained micro-robots. *Transactions on Mechatronics*, 18(2):578 – 585, 2013.