



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.

Índice general

Agradecimientos	IX
Resumen	XI
Índice	XIV
1. Introducción	1
1.1. Motivación del proyecto	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Materiales utilizados	4
1.3.1. Componentes hardware	4
1.3.2. Componentes software	5
1.4. Estructura del documento	6
2. Marco Teórico	7
2.1. Conceptos de la comunicación serial	7
2.1.1. Características	7
2.1.2. Problemas	7
2.1.3. Usos y aplicaciones	7
2.2. Conceptos de la comunicación por radiofrecuencia	7
3. Estado del arte	9
3.1. ¿En qué consiste el Estado del Arte?	9
4. Cómo escribir en Latex	11
4.1. Estilo	11
4.2. Citas	11
4.3. Listas	11
4.4. Tablas	11
4.5. Referencia a una sección	12
4.6. Texto	12
4.7. Figuras	12
4.8. Código software	12
4.9. Pie de página	13
5. Resultados y discusión	15
5.1. Resultados	15
5.2. Discusión	15

6. Gestión del proyecto	17
6.1. Ciclo de vida	17
6.2. Planificación	17
6.2.1. Planificación inicial	17
6.2.2. Planificación final	17
6.3. Presupuesto	17
6.3.1. Personal	17
6.3.2. Material	17
6.3.3. Resumen de costes	17
7. Conclusiones	19
7.1. Conclusión	19
7.2. Desarrollos futuros	19
A. Anexo ...	21
A.1. Lorem ipsum	21
Bibliografía	23

Índice de figuras

1.1. Estructura RoboHealth	2
1.2. Raspberry Pi 3 model B	4
1.3. Arduino Uno R3	4
1.4. XBee Shield	5
1.5. XBee Module	5
1.6. Arduino Mega	5
1.7. Interfaz de edición de Node-RED	6
4.1. Logotipo de la UPM	12

Índice de tablas

4.1. Ejemplo de tabla	11
---------------------------------	----

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-

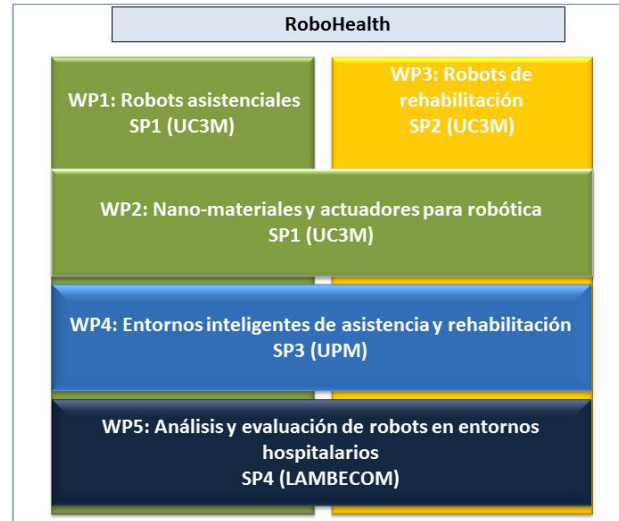


Figura 1.1: Estructura RoboHealth

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

Como se ha indicado con anterioridad, el **objetivo global** 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.

Posteriormente, se pueden establecer pequeños **objetivos parciales** que resulten en la consecución completa del proyecto. Estos objetivos secundarios están más orientados al correcto funcionamiento de cada una de las etapas y tecnologías utilizadas, así como de la correcta interacción entre estas y su posterior integración. Es este el procedimiento que se ha seguido a lo largo de todo el trabajo: hacer funcionar cada etapa de manera individual, para después ir integrándolas paso a paso.

Los objetivos parciales mencionados son los siguientes, yendo desde el lado de Node-RED hacia el lado del RoboHealth Arm:

- Un programa de flujos en Node-RED debe correr sin errores en la Raspberry Pi, generando un nuevo apartado en la actual interfaz para controlar el RoboHealth Arm.

- Desarrollar una *user interface* para comandar el brazo desde Node-RED. El objetivo no es otro que permitir configurar las coordenadas articulares del brazo, parámetros necesarios en el frame que posteriormente deberá recibir el RoboHealth Arm. Una vez configurados, se tendrá acceso a un botón encargado de poner en marcha la transmisión de información.
- La orden enviada desde la interfaz de Node-RED pondrá en marcha un script programado en Python que tomará como parámetros la configuración previamente establecida y enviará por uno de los puertos serie el frame generado de acuerdo a las especificaciones de diseño de la comunicación del RoboHealth Arm y el encapsulamiento de las comunicaciones vía radiofrecuencia. Toda la gestión de la ejecución de este script ha sido programada en Node-RED.
- El firmware cargado a los dispositivos XBee debe hacerlos compatibles entre ellos, de acuerdo a las características y casos de uso a los que cada uno se va a enfrentar.
- La configuración de los módulos XBee es vital para su comunicación. Esta configuración debe habilitar la comunicación entre los dos dispositivos XBee sin dejar de permitir la comunicación serial con el RoboHealth Arm ni con la Raspberry Pi. Es decir, los módulos XBee deben ser configurados de tal manera que esta configuración sea intersección entre la compatible con el brazo robótico y la compatible con la Raspberry Pi.
- 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. Por tanto, no es necesario procesar en ningún caso la información recibida a través de radiofrecuencia, evitando un segundo microcontrolador que escuche y adapte constantemente el módulo XBee. Esto es posible gracias al prediseño de los frames de información de acuerdo a las especificaciones y protocolos de comunicación del brazo.
- El RoboHealth Arm debe ser capaz de leer e interpretar de manera correcta la información depositada en el adecuado puerto serial. Se debe provocar la reacción esperada en el brazo, moviendo sus servos hasta las coordenadas articulares especificadas.

1.3. Materiales utilizados

Con el fin de facilitar al lector una visión global de los campos objeto del presente proyecto, a continuación se indican los componentes del mismo.

1.3.1. Componentes hardware

- **Raspberry Pi 3 Model B** (figura 1.2). Ordenador central donde corre la red domótica de toda la habitación



Figura 1.2: Raspberry Pi 3 model B

- **Arduino Uno R3** o clon (figura 1.3). Plataforma necesaria para el uso de la XBee Shield.

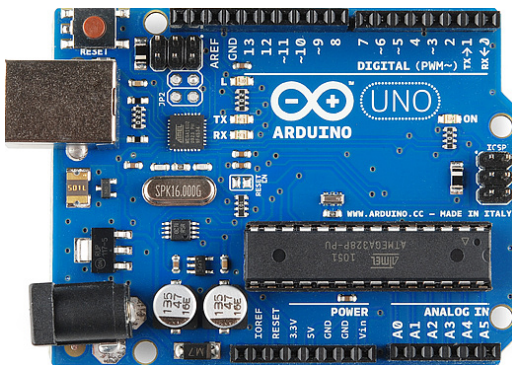


Figura 1.3: Arduino Uno R3

- **Xbee Shield** (figura 1.4 ¹). *Add-on* que permite la interacción sencilla con el módulo XBee a través de Arduino.

¹La imagen contiene el módulo XBee además de la XBee Shield

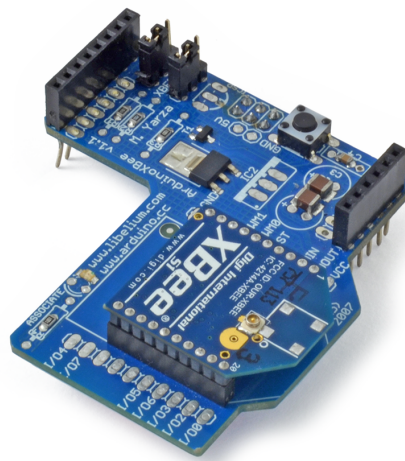


Figura 1.4: XBee Shield

- **XBee S2** (figura 1.5). Módulo de radiofrecuencia para la transmisión inalámbrica de datos

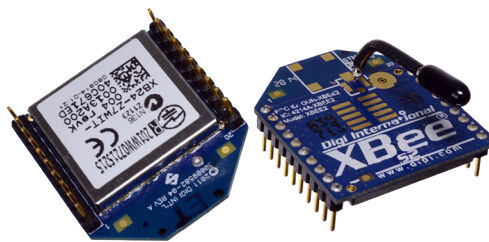


Figura 1.5: XBee Module

- **Arduino Mega** (figura 1.6). Microcontrolador sobre el que se monta RoboHealth Arm.

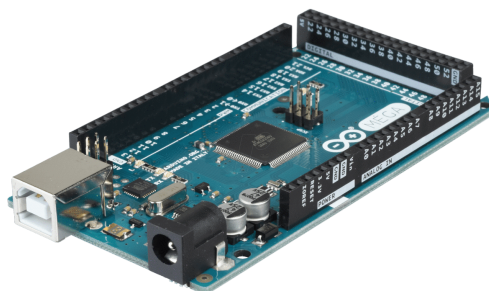


Figura 1.6: Arduino Mega

1.3.2. Componentes software

- **Raspbian**. Sistema operativo instalado sobre la Raspberry Pi.

- **Python script.** Programa escrito en lenguaje Python para ser ejecutado por la Raspberry Pi.
- **Node-RED** (figura 1.7). Aplicación programable que es capaz de integrar múltiples dispositivos hardware.

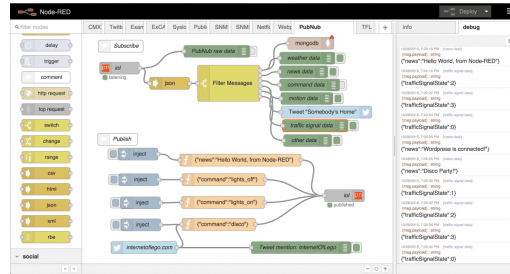


Figura 1.7: Interfaz de edición de Node-RED

- **RHA.** Software del RoboHealth Arm.

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 al proyecto. Un breve comentario sobre la idea y componentes del trabajo.
- En el capítulo 2 se exponen los fundamentos teóricos que pueden facilitar la lectura posterior del desarrollo del proyecto.
- En el capítulo 3 se encuentra el estado del arte, un repaso a la tecnología actualmente desarrollada incluida en el proyecto, para conocer con mayor precisión el punto de partida del mismo.
- En el capítulo 4 se detalla el desarrollo del trabajo. Se exploran las soluciones hardware, software, montaje...
- En el capítulo 5 se exponen y discuten las pruebas y los resultados del proyecto.
- En el capítulo 6 se describe la gestión del proyecto; incluyendo la planificación, el presupuesto, ciclo de vida...
- Para finalizar, en el capítulo 7 se termina con las conclusiones sacadas del proyecto y potenciales desarrollos futuros.

Capítulo 2

Marco Teórico

El marco teórico del proyecto se limita al estudio de la naturaleza de las comunicaciones usadas. El trabajo emplea dos tipos de comunicaciones: radiofrecuencia y serial. La radiofrecuencia es la comunicación usada entre los módulos XBee. Por otro lado, la comunicación entre los módulos mencionados y sus correspondientes dispositivos de control se realiza por método serial. A continuación se comentan los conceptos básicos para comprender ambos métodos de comunicación.

2.1. Conceptos de la comunicación serial

La comunicación serie (o serial) es un método de transmisión de datos consistente en el envío de un único bit en un mismo instante de forma secuencial por una simple línea de transmisión. Lo simple de este método ha hecho que la comunicación serial se extienda masivamente entre los dispositivos comerciales, siendo actualmente un método común para comunicar ordenadores con distintos periféricos.

Se opone a la llamada comunicación paralela, que precisa de una línea de transmisión por cada bit de datos a cambio de un aumento de las prestaciones. Es bastante usual usar ocho líneas de datos, correspondiente a un byte.

2.1.1. Características

Existen varios parámetros que especifican y definen la comunicación serial [3], y que deberán ser comunes entre los dispositivos partícipes de la transmisión de datos. Una diferencia en la configuración de los dispositivos impedirá la comunicación.

- **Baud rate.**
- El número de **bits de datos** que se precisan para codificar un caracter.
- **Parity bit.**
- **Stop bits.**

2.1.2. Problemas

2.1.3. Usos y aplicaciones

2.2. Conceptos de la comunicación por radiofrecuencia

Capítulo 3

Estado del arte

En este capítulo...

3.1. ¿En qué consiste el Estado del Arte?

Tal y como indica Wikipedia ¹, *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.

¹https://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 ¹. Y para usar direcciones web y no tener problemas con caracteres especiales (como el “_”), se usa el comando url ²

¹Pie de página

²https://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.
- [3] National Instruments. *LabVIEW Graphical Programming Course*. National Instruments, Elizabeth Gregory, Malan Shiralkar, Harika Basana, 4.6 edition, 2004.