



UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



**TFM del Máster Universitario en  
Ingeniería Informática**

**Comunicación TCP/IP con  
sistemas empotrados**



Presentado por RPC  
en Universidad de Burgos — 24 de enero  
de 2019  
Tutor: AMG







UNIVERSIDAD DE BURGOS  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Grado en Ingeniería Informática



D. tutor, profesor del Departamento de Ingeniería Electromecánica, Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Expone:

Que el alumno D. RPC, con DNI 12345678Z, ha realizado el Trabajo final de Máster Universitario en Ingeniería Informática titulado Comunicación TCP/IP con sistemas empotrados.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 24 de enero de 2019

Vº. Bº. del Tutor:

D. AMG





## Resumen

Las placas de desarrollo facilitan el estudio y desarrollo de sistemas empuetrados. Un sistema empuetrado conectado a una red de comunicaciones de datos obtiene una nueva vía de interacción con otros sistemas, ya sean empuetrados o convencionales. Un sistema empuetrado conectado permite interactuar de forma remota con él, pudiendo realizar entre otras operaciones la consulta de sus sensores o la activación de sus actuadores.

En este proyecto se muestra como conectar una placa de desarrollo FRDM-K64F a una red de área local usando el conjunto de protocolos TCP/IP. Aprovechando tanto el *hardware* del que dispone la placa como del *hardware* conectado a ella, se ejemplifica la interacción con algunos de sus dispositivos a través de una aplicación web. Como dispositivos configurados para su uso remoto se encuentran el led integrado en la placa, una pantalla LCD y una placa de expansión.

## Descriptores

Sistemas embebidos, placa desarrollo, familia de protocolos de internet, aplicación web.

### **Abstract**

Development boards facilitate the study and development of embedded systems. An embedded systems connected to a data network obtains a new way of interaction with other systems, whether embedded or conventional. A connected embedded system allows to interact remotely with it, being able to carry out, among other operations, the query of its sensors or the activation of its actuators.

This project shows how to connect a FRDM-K64F development board to a local area network using the TCP / IP protocol suite. Taking advantage of both the hardware available on the board and the hardware connected to it, the interaction with some of its devices is exemplified through a web application. As devices configured for remote use are the LED integrated in the board, an LCD screen and an expansion board.

### **Keywords**

Embedded systems, development board, Internet protocol suite, web application.



---

# Índice general

---

Índice general	III
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VI
Introducción	1
1.1. Estructura de la memoria . . . . .	2
1.2. Anexos a la memoria . . . . .	3
1.3. Contenido adjunto . . . . .	4
Objetivos del proyecto	5
Conceptos teóricos	7
3.1. Secciones . . . . .	7
3.2. Referencias . . . . .	7
3.3. Imágenes . . . . .	8
3.4. Listas de items . . . . .	8
3.5. Tablas . . . . .	9
Técnicas y herramientas	11
Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto	13
Trabajos relacionados	15
Conclusiones y Líneas de trabajo futuras	17

**Bibliografía**

**19**

---

# Índice de figuras

---

3.1. Autómata para una expresión vacía . . . . .	8
--	---

---

# Índice de tablas

---

3.1. Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto	10
---	----

---

# Introducción

---

Los sistemas empotrados o embebidos (SE) son sistemas diseñados para realiza una función específica y, por tanto, solo realizan una o unas pocas tareas concretas. Este hecho les diferencia de otros sistemas de propósito general como son los ordenadores o teléfonos móviles, que son capaces de realizar multitud de tareas de diferente naturaleza.

Como el propio nombre de los SE indica, este tipo de sistemas se suele encontrar integrado en otros sistemas eléctricos o mecánicos de mayor envergadura y que se encargan de controlar. Por esta razón, se requiere que los SE cuenten con ciertas características como son un tamaño reducido, un bajo consumo o un bajo coste. Requisitos que a su vez provocan nuevas características como la menor potencia de cálculo en comparación con otro tipo de sistemas. Además, en función de las condiciones ambientales donde se encuentre el SE, es posible que necesite ser dotado de protección adicional ante situaciones de temperatura, humedad, vibración, etc. no habituales.

Ciertos SE controlan el funcionamiento de otros sistemas que requieren que sus operaciones se realicen de manera determinista. Es decir, una instrucción dada se tiene que realizar de manera inmediata o con un retardo mínimo y conocido de antemano. Para dar soporte a operaciones en tiempo real, los SE cuentan con Sistemas Operativos en Tiempo Real (RTOS) que se encargan de repartir el tiempo de ejecución de cada tarea y asignándolo en función de la prioridad de cada tarea.

A nivel de *hardware*, es un microcontrolador quien se encarga de ejecutar las instrucciones programadas. Un microcontrolador cuenta con un microprocesador, con la memoria y con los periféricos de entrada y salida. Periféricos habituales y que permiten la interacción entre el SE y otros dispositivos son aquellos que usan buses serie de datos. Algunos de los buses

más frecuentes son Inter-Integrated Circuit (I2C), Serial Peripheral Interface (SPI), o Universal Serial Bus (USB).

Otro medio que emplean los SE para comunicarse son las redes de comunicaciones de datos, a las que se puede conectar tanto por cable como de manera inalámbrica. Existen varios protocolos para comunicarse en red, siendo unos de los más comunes los pertenecientes a la familia de protocolos TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Esta familia de protocolos es ampliamente utilizada para comunicar equipos en redes de área local (LAN), en redes de área local inalámbricas (WLAN) y en todo el mundo a través de Internet.

Con el uso de TCP/IP abre un abanico de nuevas funcionalidades permitiendo realizar funciones que antes no eran posible. Por ejemplo, usando el Hypertext Transfer Protocol (HTTP) se pueden transferir páginas web, con File Transfer Protocol (FTP) transferir archivos, con Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) enviar o recibir correo electrónico o con Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) se pueden enviar mensajes bajo el patrón de mensajería de publicar-suscribir.

En este trabajo se muestra como crear un SE conectado usando una placa de desarrollo FRDM-K64F del fabricante NXP. Se parte de la configuración de los componentes *hardware* y *software* necesarios, para terminar demostrando la interacción (de manera remota) de un SE desde una aplicación web. Desde dicha aplicación es posible enviar comandos para realizar alguna de las funciones programadas en la placa.

## 1.1. Estructura de la memoria

La presente memoria se estructura de la siguiente manera:

- **Introducción:** descripción abreviada de los temas principales abordados en el proyecto tanto los sistemas embebidos como las comunicaciones realizadas mediante la familia de protocolos TCP/IP. La introducción está acompañada de la estructura que toma la memoria y un listado con el contenido adjunto a la misma.
- **Objetivos del proyecto:** declaración de los objetivos que se pretenden conseguir con el desarrollo de este trabajo.
- **Conceptos teóricos:** explicación de los conceptos teóricos más relevantes en la realización del proyecto.

- **Técnicas y herramientas:** descripción de las técnicas y las herramientas que han sido empleadas para el desarrollo del proyecto.
- **Aspectos relevantes del desarrollo:** presentación de los aspectos o facetas que han tomado mayor relevancia durante la ejecución de trabajo.
- **Trabajos relacionados:** estado de la técnica entorno a los sistemas empujados y los protocolos TCP/IP.
- **Conclusiones y líneas de trabajo futuras:** conclusiones extraídas tras la realización del proyecto, así como nuevas líneas de trabajo sobre las que mejorar o ampliar lo presentando en este proyecto.

## 1.2. Anexos a la memoria

La memoria se presenta acompañada de los siguientes anexos:

- **Plan del proyecto software:** exposición de la planificación temporal y del estudio de viabilidad del proyecto, tanto la económica como la legal.
- **Especificación de requisitos del software:** presentación del catálogo de requisitos, así como la descripción de cada uno de ellos.
- **Especificación de diseño:** descripción de la fase de diseño, el diseño de datos, el diseño procedimental y el diseño arquitectónico, del *firmware* del SE y de la aplicación web.
- **Manual del programador:** explicación en detalle de aquellos aspectos que un programador debe conocer para trabajar con el código fuente del proyecto.
- **Manual de usuario:** explicación para que un usuario interesado en el proyecto sea capaz de instalar, configurar y operar con el SE y con la aplicación web.

### 1.3. Contenido adjunto

Se adjunta el siguiente contenido a la memoria y los anexos:

- *Firmware* para la placa de desarrollo.
- Aplicación web para interacción remota.
- Documentación del *firmware*.
- Documentación de la aplicación web.
- Repositorio en línea con el código del *firmware*.
- Repositorio en línea con el código de la aplicación web.



---

## Objetivos del proyecto

---

Este apartado explica de forma precisa y concisa cuales son los objetivos que se persiguen con la realización del proyecto. Se puede distinguir entre los objetivos marcados por los requisitos del software a construir y los objetivos de carácter técnico que plantea a la hora de llevar a la práctica el proyecto.



---

# Conceptos teóricos

---

En aquellos proyectos que necesiten para su comprensión y desarrollo de unos conceptos teóricos de una determinada materia o de un determinado dominio de conocimiento, debe existir un apartado que sintetice dichos conceptos.

Algunos conceptos teóricos de L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X<sup>1</sup>.

## 3.1. Secciones

Las secciones se incluyen con el comando `section`.

### Subsecciones

Además de secciones tenemos subsecciones.

### Subsubsecciones

Y subsecciones.

## 3.2. Referencias

Las referencias se incluyen en el texto usando `cite` [2]. Para citar webs, artículos o libros [1].

---

<sup>1</sup>Créditos a los proyectos de Álvaro López Cantero: Configurador de Presupuestos y Roberto Izquierdo Amo: PLQuiz

### 3.3. Imágenes

Se pueden incluir imágenes con los comandos standard de  $\text{\LaTeX}$ , pero esta plantilla dispone de comandos propios como por ejemplo el siguiente:



Figura 3.1: Autómata para una expresión vacía

### 3.4. Listas de items

Existen tres posibilidades:

- primer item.
- segundo item.

1. primer item.
2. segundo item.

**Primer item** más información sobre el primer item.

**Segundo item** más información sobre el segundo item.

▪

## 3.5. Tablas

Igualmente se pueden usar los comandos específicos de  $\text{\LaTeX}$  o bien usar alguno de los comandos de la plantilla.

Herramientas	App	AngularJS	API REST	BD	Memoria
HTML5		X			
CSS3		X			
BOOTSTRAP		X			
JavaScript		X			
AngularJS		X			
Bower		X			
PHP			X		
Karma + Jasmine		X			
Slim framework			X		
Idiorm			X		
Composer			X		
JSON		X	X		
PhpStorm		X	X		
MySQL				X	
PhpMyAdmin				X	
Git + BitBucket		X	X	X	X
MikTeX					X
TeXMaker					X
Astah					X
Balsamiq Mockups		X			
VersionOne		X	X	X	X

Tabla 3.1: Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto

---

## Técnicas y herramientas

---

Esta parte de la memoria tiene como objetivo presentar las técnicas metodológicas y las herramientas de desarrollo que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto. Si se han estudiado diferentes alternativas de metodologías, herramientas, bibliotecas se puede hacer un resumen de los aspectos más destacados de cada alternativa, incluyendo comparativas entre las distintas opciones y una justificación de las elecciones realizadas. No se pretende que este apartado se convierta en un capítulo de un libro dedicado a cada una de las alternativas, sino comentar los aspectos más destacados de cada opción, con un repaso somero a los fundamentos esenciales y referencias bibliográficas para que el lector pueda ampliar su conocimiento sobre el tema.





---

## Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto

---

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del desarrollo del proyecto, comentados por los autores del mismo. Debe incluir desde la exposición del ciclo de vida utilizado, hasta los detalles de mayor relevancia de las fases de análisis, diseño e implementación. Se busca que no sea una mera operación de copiar y pegar diagramas y extractos del código fuente, sino que realmente se justifiquen los caminos de solución que se han tomado, especialmente aquellos que no sean triviales. Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del diseño y de la implementación, con un mayor hincapié en aspectos tales como el tipo de arquitectura elegido, los índices de las tablas de la base de datos, normalización y desnormalización, distribución en ficheros<sup>3</sup>, reglas de negocio dentro de las bases de datos (EDVHV GH GDWRV DFWLYDV), aspectos de desarrollo relacionados con el WWW... Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.



---

## **Trabajos relacionados**

---

Este apartado sería parecido a un estado del arte de una tesis o tesina. En un trabajo final grado no parece obligada su presencia, aunque se puede dejar a juicio del tutor el incluir un pequeño resumen comentado de los trabajos y proyectos ya realizados en el campo del proyecto en curso.



---

## **Conclusiones y Líneas de trabajo futuras**

---

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas. Además, resulta muy útil realizar un informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado.



---

# Bibliografía

---

- [1] John R. Koza. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 1992.
- [2] Wikipedia. Latex — wikipedia, la enciclopedia libre, 2015. [Internet; descargado 30-septiembre-2015].