



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Máster Universitario en Ingeniería Informática



**TFM del Máster Universitario en
Ingeniería Informática**

**Comunicación TCP/IP con
sistemas empotrados
Documentación Técnica**



Presentado por RPC
en Universidad de Burgos — 7 de febrero
de 2019
Tutor: AMG

Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	III
Índice de tablas	IV
Apéndice A Plan de Proyecto Software	1
A.1. Introducción	1
A.2. Planificación temporal	2
A.3. Estudio de viabilidad	14
Apéndice B Especificación de Requisitos	21
B.1. Introducción	21
B.2. Objetivos generales	22
B.3. Catalogo de requisitos	23
B.4. Especificación de requisitos	25
Apéndice C Especificación de diseño	35
C.1. Introducción	35
C.2. Diseño de datos	35
C.3. Diseño procedimental	35
C.4. Diseño arquitectónico	35
Apéndice D Documentación técnica de programación	37
D.1. Introducción	37
D.2. Estructura de directorios	37
D.3. Manual del programador	37

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto	37
D.5. Pruebas del sistema	37
Apéndice E Documentación de usuario	39
E.1. Introducción	39
E.2. Requisitos de usuarios	39
E.3. Instalación	39
E.4. Manual del usuario	39
Bibliografía	41

Índice de figuras

A.1. Tareas planificadas para el Sprint 1	3
A.2. Tareas planificadas para el Sprint 2	4
A.3. Tareas planificadas para el Sprint 3	5
A.4. Tareas planificadas para el Sprint 4	6
A.5. Tareas planificadas para el Sprint 5	7
A.6. Tareas planificadas para el Sprint 6	8
A.7. Sprints planificados inicialmente	10
A.8. Sprints planificados finalmente	11
A.9. Diagrama de Gantt de la planificación inicial	12
A.10. Diagrama de Gantt de la planificación final	13
B.1. Diagrama de Casos de uso	26

Índice de tablas

A.1. Costes pertenecientes a la SS	15
A.2. Coste total de personal	15
A.3. Coste del <i>hardware</i>	16
A.4. Coste del <i>software</i>	17
A.5. Coste del SE	17
A.6. Coste total del proyecto	17
A.7. Licencia Apache 2.0	19
A.8. Licencia CC BY 4.0	20
B.1. CU-1 Seleccionar SE	27
B.2. CU-2 Cambiar color RGB	28
B.3. CU-3 Mostrar mensaje	29
B.4. CU-4 Regular PWM	30
B.5. CU-5 Recibir comando	31
B.6. CU-6 Actuar sobre LED RGB	32
B.7. CU-7 Actuar sobre LCD	33
B.8. CU-8 Actuar sobre LED PWM	34

Apéndice A

Plan de Proyecto Software

A.1. Introducción

En el este capítulo se describe el resultado obtenido tras la planificación del proyecto *software*.

La planificación toma dos vertientes. Primero se analiza la planificación temporal del proyecto. En esta fase se determina de manera general la cantidad y el tipo de tareas a realizar. Una vez descompuestas las tareas en subtareas se puede estimar el tiempo requerido para la realización de cada subtask. Y a su vez, tareas y el proyecto completo.

Cabe destacar que la planificación inicial puede sufrir desvíos que impliquen modificarla a lo largo del desarrollo. Al usar la metodología Scrum, tras terminar cada *sprint* se puede evaluar si el desarrollo se está ciñendo a lo esperado.

Por otro parte se realiza un análisis de la viabilidad del proyecto. En todo desarrollo se ven involucrados diferentes factores que pueden determinar la viabilidad o no del proyecto. Las circunstancias analizadas son la viabilidad económica y la viabilidad legal. Se busca conocer el coste económico estimado en la realización del proyecto. Y también se quiere analizar el tipo de licenciamiento *software* que afecta al proyecto. Así como las licencias que se van a asignar.

A.2. Planificación temporal

Como se han empleado la metodología Scrum, la planificación se ha realizado entorno a los *sprints*. En la planificación inicial se establecieron de forma general el número de *sprints* y el objetivo de cada uno de ellos.

La duración asignada a los *sprint* se extendía de una semana a un mes. Como se ha usado ZenHub para la gestión del proyecto, se pudo asignar una estimación a las tareas en forma de *Story points*. La puntuación abarca desde un punto, para las tareas más simples y breves; hasta los cuarenta puntos, de las tareas más complejas y que podían ocupar la mayor parte del tiempo del *sprint*.

La planificación inicial fue la siguiente:

- *Sprint* 1 Estudio e investigación
- *Sprint* 2 Comunicarse con la placa usando TCP/IP
- *Sprint* 3 Implementar las funciones del *hardware*
- *Sprint* 4 Desarrollar la aplicación web
- *Sprint* 5 Finalizar la documentación de la memoria
- *Sprint* 6 Finalizar la documentación de los apéndices

A continuación se muestra la planificación específica de cada *sprints* mostrando sus objetivos, las tareas que los componen, la estimación de cada tarea y el resultado obtenido tras su finalización.

Plan del *Sprint* 1

La estimación del *sprint* se estableció en una semana de duración. Con en este *sprint* se realizaba la primera toma de contacto con el proyecto. Las tareas a realizar giraban en torno al estudio de la placa de desarrollo y sobre la elección del resto de herramientas, técnicas y metodologías.

Acciones a realizar en este *sprint*:

- Estudio de las herramientas de trabajo.
- Investigación sobre la placa de desarrollo FRDM-K64F.
- Estudio sobre FreeRTOS y lwIP.
- Elección de las herramientas y *software* a emplear.









Completed Issues and Pull Requests	Story points
 Búsqueda de bibliografía enhancement k64f-lwip #1 III Closed Sprint 1	③
 Elección del entorno de desarrollo enhancement k64f-lwip #2 III Closed Sprint 1	②
 Estudio del entorno de desarrollo enhancement k64f-lwip #3 III Closed Sprint 1	②1
 Elección del repositorio enhancement k64f-lwip #4 III Closed Sprint 1	②
 Elección de las herramientas de documentación enhancement k64f-lwip #5 III Closed Sprint 1	②
 Elección de las herramientas de comunicación enhancement k64f-lwip #6 III Closed Sprint 1	①
 Elección de la herramienta de gestión de proyectos enhancement k64f-lwip #7 III Closed Sprint 1	②
 Completar el Sprint 1 Epic enhancement k64f-lwip #8 III Closed Sprint 1	Not estimated

Figura A.1: Tareas planificadas para el Sprint 1

Las tareas del *sprint* se realizaron según lo previsto al plan. El estudio sobre el IDE resulto la tarea más compleja según lo estimado al tener que usar la nuevas herramientas del IDE. Al terminar sin imprevistos, se pudo planear las tareas del siguiente *sprint*.

Plan del *Sprint* 2

La estimación del *sprint* se estableció en una semana de duración. Conociendo las herramientas con la que trabajar en este *sprint* se pretendía comenzar el desarrollo.

Acciones a realizar en este *sprint*:

- Creación del proyecto de trabajo.
- Realizar las primeras comunicaciones TCP/IP.
- Realizar las operaciones remotas con la placa.

Completed Issues and Pull Requests				Story points
🔗	Crear nuevo proyecto	enhancement	k64f-lwip #9 III Closed ↗ Sprint 2	2
🔗	Configurar el entorno del proyecto	enhancement	k64f-lwip #11 III Closed ↗ Sprint 2	5
🔗	Añadir el código para usar lwIP	enhancement	k64f-lwip #12 III Closed ↗ Sprint 2	5
🔗	Conmutar los colores de los ledes	enhancement	k64f-lwip #13 III Closed ↗ Sprint 2	3

Figura A.2: Tareas planificadas para el Sprint 2

El *sprint* se completó de acuerdo a lo previsto. Aunque se estimó que la configuración del proyecto y el uso de lwIP no serían muy complejos su ejecución resultó más compleja, sin embargo, se realizó a tiempo para planificar y empezar el siguiente *sprint*.

Plan del *Sprint* 3

De nuevo, la estimación del *sprint* se estableció en una semana de duración. Como era posible enviar datos a la placa, en este *sprint* se deseaba ampliar la funcionalidad de la placa K64F con el uso de sus periféricos.

Acciones a realizar en este *sprint*:

- Configurar los LED RGB y realizar la programación para su manejo remoto.
- Configurar el LCD y realizar la programación para su manejo remoto.
- Configurar los LED PWM y realizar la programación para su manejo remoto.

Completed Issues and Pull Requests	Story points
 Configuración del hardware para el uso de señales digitales enhancement k64f-lwip #15 III Closed Sprint 3	5
 Configuración del hardware para el uso de señales analógicas enhancement k64f-lwip #16 III Closed Sprint 3	5
 Recepción de cadenas de caracteres y retransmisión por un bus serie. enhancement k64f-lwip #17 III Closed Sprint 3	5
 Recepción de órdenes y realizar cambios en el hardware mediante PWM. enhancement k64f-lwip #18 III Closed Sprint 3	5
 Completar el Sprint 3 Epic k64f-lwip #19 III Closed Sprint 3	Not estimated

Figura A.3: Tareas planificadas para el Sprint 3

Este fue el primer *sprint* en desviarse de lo previsto. La configuración del bus I²C y la adaptación de la librería del LCD requirió mucho más tiempo de lo estimado. Al aumentar la duración de este *sprint* se tuvo que retrasar el inicio del siguiente. Tras terminarlo, se pudieron planificar las tareas siguientes.

Plan del *Sprint* 4

Con el cambio al desarrollo de la aplicación web y teniendo en cuenta la posibilidad de nuevos retrasos como en el *sprint* anterior, en este se decidió aumentar la planificación temporal a dos semanas.

Acciones a realizar en este *sprint*:

- Analizar el intercambio de datos necesario entre app y placa.
- Diseñar las interfaces de la aplicación.
- Implementar las funciones de comunicación.
- Desarrollar la interfaz web.






Completed Issues and Pull Requests	Story points
 Analizar y declarar las operaciones de la aplicación. enhancement k64f-lwip #20 III Closed ↕ Sprint 4	③
 Crear funciones que operan con la placa. enhancement k64f-lwip #21 III Closed ↕ Sprint 4	⑤
 Desarrollar el panel de operaciones enhancement k64f-lwip #22 III Closed ↕ Sprint 4	⑧
 Verificar la funcionalidad de la aplicación web. enhancement k64f-lwip #23 III Closed ↕ Sprint 4	②
 Completar el Sprint 4 Epic k64f-lwip #24 III Closed ↕ Sprint 4	Not estimated

Figura A.4: Tareas planificadas para el Sprint 4

El desarrollo de la aplicación presentó varios desafíos, el aprendizaje y programación con CSS fueron algunos de ellos. Pese a todo la duración no se desvió demasiado de lo previsto.

Plan del *Sprint* 5

Terminados el desarrollo del *software* de la placa y el desarrollo de la aplicación web faltaba completar la documentación del proyecto. Inicialmente se planificó que el *sprint* tendría una duración de dos semanas.

Acciones a realizar en este *sprint*:

- Completar los distintos capítulos de la memoria.









Completed Issues and Pull Requests	Story points
 Documentación del resumen e introducción. enhancement k64f-lwip #25 III Closed ↗ Sprint 5	5
 Documentación de los objetivos del proyecto. enhancement k64f-lwip #26 III Closed ↗ Sprint 5	8
 Documentación de los conceptos teóricos. enhancement k64f-lwip #27 III Closed ↗ Sprint 5	13
 Documentación de las técnicas y herramientas. enhancement k64f-lwip #28 III Closed ↗ Sprint 5	8
 Documentación de los aspectos relevantes. enhancement k64f-lwip #29 III Closed ↗ Sprint 5	8
 Documentación de los trabajos relacionados. enhancement k64f-lwip #30 III Closed ↗ Sprint 5	8
 LaTeX enhancement k64f-lwip #33 III Closed ↗ Sprint 5	3
 Documentación de las conclusiones. enhancement k64f-lwip #34 III Closed ↗ Sprint 5	5

Figura A.5: Tareas planificadas para el Sprint 5

El tiempo dedicado a prepararse para usar L^AT_EX fue erróneamente subestimado. Al tener que dedicar varios días más de lo previsto en este punto, el último *sprint* tuvo que empezar jornadas un tiempo más tarde.

Plan del *Sprint* 6

Completada la memoria se completaría la información proporcionada con una serie de anexos. La duración se estimó en una semana debido a los plazos temporales restantes.

Acciones a realizar en este *sprint*:

- Completar los distintos apéndices.

Remaining Issues and Pull Requests			Story points
①	Documentación del Plan de proyecto. enhancement		8
k64f-lwip #35 III In Progress ↕ Sprint 6			
①	Completar el Sprint 6 Epic enhancement		Not estimated
k64f-lwip #36 III Backlog ↕ Sprint 6			
①	Documentación de los Requisitos. enhancement		8
k64f-lwip #37 III Backlog ↕ Sprint 6			
①	Documentación del Diseño. enhancement		8
k64f-lwip #38 III Backlog ↕ Sprint 6			
①	Documentación del Manual del programador. enhancement		8
k64f-lwip #39 III Backlog ↕ Sprint 6			
①	Documentación del Manual de Usuario. enhancement		8
k64f-lwip #40 III Backlog ↕ Sprint 6			

Figura A.6: Tareas planificadas para el Sprint 6

Completada la documentación se pudo proceder a la conclusión satisfactoria del proyecto.

Planificación temporal completa

En las siguientes páginas se pueden comparar la planificación inicial y la final.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	🚀	Sprint #1	7 días	lun 26/11/18	dom 02/12/18
2	🔧	Estudio de las herramientas de trabajo	3 días	lun 26/11/18	mié 28/11/18
3	🔧	Investigar sobre la placa K64F	2 días	jue 29/11/18	vie 30/11/18
4	🔧	Estudio sobre FreeRTOS y lwIP	2 días	sáb 01/12/18	dom 02/12/18
5	🔧	Elección de las herramientas y software a emplear	7 días	lun 26/11/18	dom 02/12/18
6	🚀	Sprint #2	7 días	lun 03/12/18	dom 09/12/18
7	🔧	Creación del proyecto de trabajo	1 día	lun 03/12/18	lun 03/12/18
8	🔧	Realizar las primeras comunicaciones TCP/IP	4 días	mar 04/12/18	vie 07/12/18
9	🔧	Realizar operaciones remotas con la placa	2 días	sáb 08/12/18	dom 09/12/18
10	🚀	Sprint #3	7 días	lun 10/12/18	dom 16/12/18
11	🔧	Configurar y programar LED RGB	2 días	lun 10/12/18	mar 11/12/18
12	🔧	Configurar y programar LCD	3 días	mié 12/12/18	vie 14/12/18
13	🔧	Configurar y programar LED PWM	2 días	sáb 15/12/18	dom 16/12/18
14	🚀	Sprint 4	14 días	lun 17/12/18	dom 30/12/18
15	🔧	Análisis de la web app	2 días	lun 17/12/18	mar 18/12/18
16	🔧	Diseño de las interfaces	2 días	mié 19/12/18	jue 20/12/18
17	🔧	Implementación de las funciones	4 días	vie 21/12/18	lun 24/12/18
18	🔧	Desarrollo gráfico de la web	6 días	mar 25/12/18	dom 30/12/18
19	🚀	Sprint 5	7 días	lun 31/12/18	dom 06/01/19
20	🔧	Completar la memoria	7 días	lun 31/12/18	dom 06/01/19
21	🚀	Sprint 6	7 días	lun 07/01/19	dom 13/01/19
22	🔧	Completar los apéndices	7 días	lun 07/01/19	dom 13/01/19

Figura A.7: Sprints planificados inicialmente

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	🚩	Sprint #1	7 días	lun 26/11/18	dom 02/12/18
2	🔧	Estudio de las herramientas de trabajo	3 días	lun 26/11/18	mié 28/11/18
3	🔧	Investigar sobre la placa K64F	2 días	jue 29/11/18	vie 30/11/18
4	🔧	Estudio sobre FreeRTOS y lwIP	2 días	sáb 01/12/18	dom 02/12/18
5	🔧	Elección de las herramientas y software a emplear	7 días	lun 26/11/18	dom 02/12/18
6	🚩	Sprint #2	7 días	lun 03/12/18	dom 09/12/18
7	🔧	Creación del proyecto de trabajo	1 día	lun 03/12/18	lun 03/12/18
8	🔧	Realizar las primeras comunicaciones TCP/IP	4 días	mar 04/12/18	vie 07/12/18
9	🔧	Realizar operaciones remotas con la placa	2 días	sáb 08/12/18	dom 09/12/18
10	🚩	Sprint #3	10 días	lun 10/12/18	mié 19/12/18
11	🔧	Configurar y programar LED RGB	2 días	lun 10/12/18	mar 11/12/18
12	🔧	Configurar y programar LCD	5 días	mié 12/12/18	dom 16/12/18
13	🔧	Configurar y programar LED PWM	3 días	lun 17/12/18	mié 19/12/18
14	🚩	Sprint 4	19 días	jue 20/12/18	lun 07/01/19
15	🔧	Análisis de la web app	2 días	jue 20/12/18	vie 21/12/18
16	🔧	Diseño de las interfaces	3 días	sáb 22/12/18	lun 24/12/18
17	🔧	Implementación de las funciones	5 días	mar 25/12/18	sáb 29/12/18
18	🔧	Desarrollo gráfico de la web	9 días	dom 30/12/18	lun 07/01/19
19	🚩	Sprint 5	29 días	mar 08/01/19	mar 05/02/19
20	🔧	Completar la memoria	29 días	mar 08/01/19	mar 05/02/19
21	🚩	Sprint 6	6 días	mié 06/02/19	lun 11/02/19
22	🔧	Completar los apéndices	6 días	mié 06/02/19	lun 11/02/19

Figura A.8: Sprints planificados finalmente

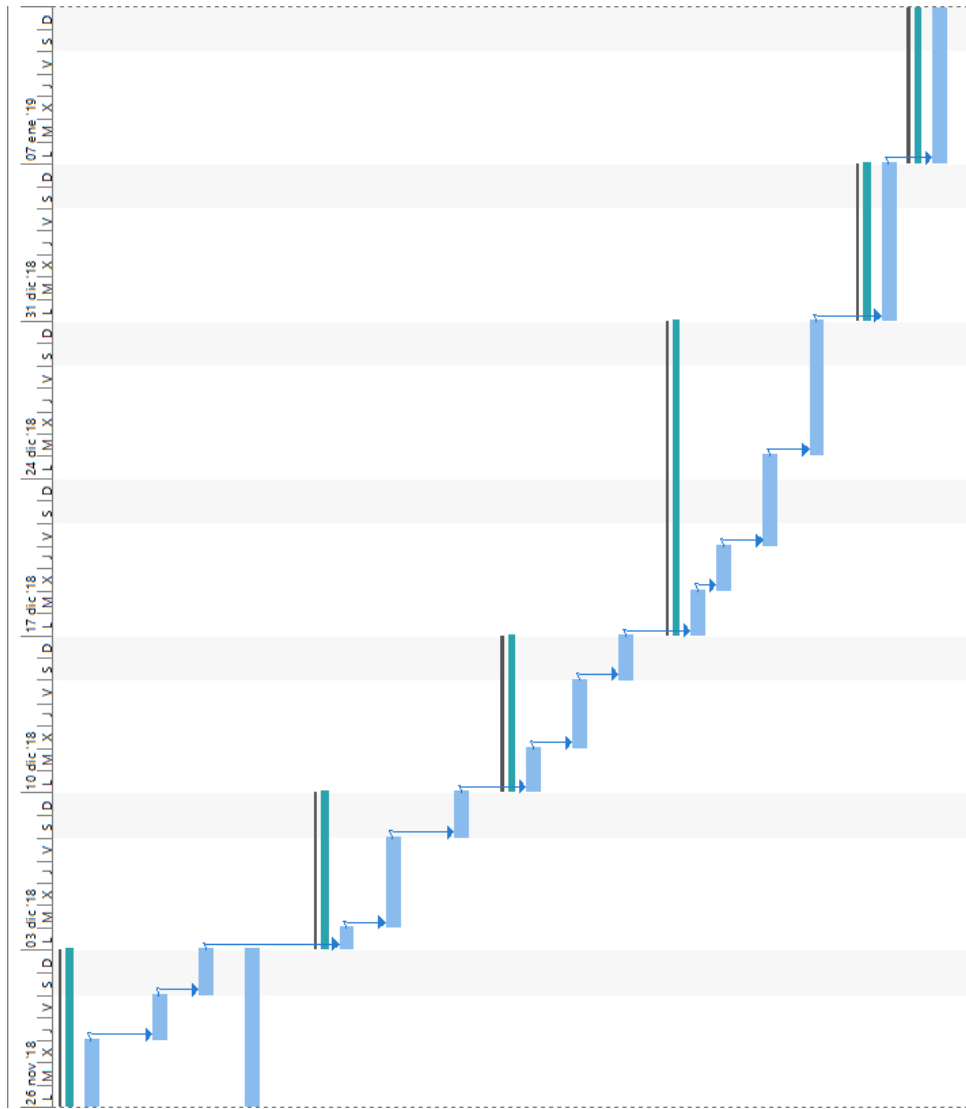


Figura A.9: Diagrama de Gantt de la planificación inicial

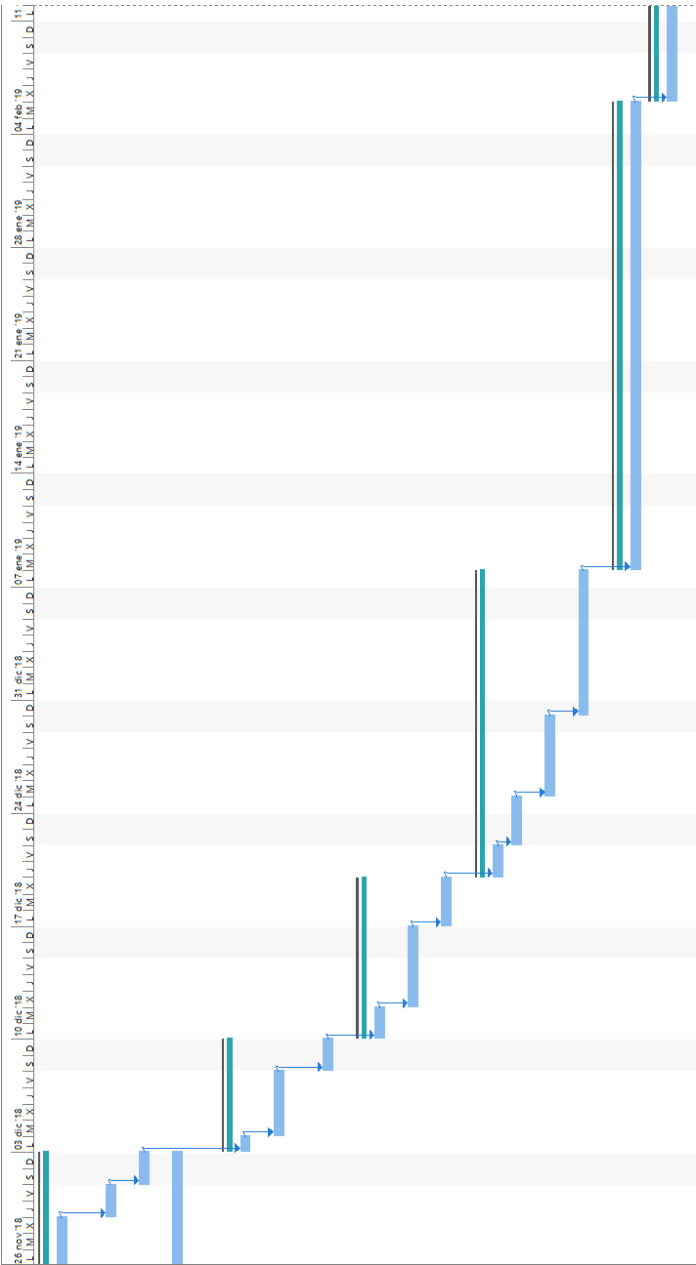


Figura A.10: Diagrama de Gantt de la planificación final

A.3. Estudio de viabilidad

Viabilidad económica

Para determinar la viabilidad económica del proyecto, en este apartado se computan los gastos previstos durante el desarrollo y los posibles beneficios si los hubiera. De haberse realizado en una empresa, los costes se calcularían como se muestra a continuación.

Coste de personal

El desarrollo se ha realizado por una sola persona en un tiempo aproximado de 90 días, así que, todos los costes de personal son relativos a esa única persona. El salario mensual bruto asignado ha sido de 2200 €.

De manera simplificada, el salario neto se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{salario bruto} - IRFP - SS = \text{salario neto} \quad (\text{A.1})$$

Por tanto, para un mes dado el salario neto a percibir sería el siguiente:

$$2200\text{€} - 14\%¹ - 6,35\% = 1752,30\text{€} \quad (\text{A.2})$$

Costes pertenecientes a la SS

Sobre el salarios se producen ciertas retenciones y pagos a la Seguridad Social, algunos conceptos corren a cargo de la empresa contratante y otros por parte del trabajador. A continuación se calculan sus importes.

Para el cálculo de la retenciones se toma como referencia la tablas de bases de cotización ofrecida por la propia Seguridad Social [2]. En concreto datos del primer grupo de cotización: “Ingenieros y Licenciados. Personal de alta dirección no incluido en el artículo 1.3.c) del Estatuto de los Trabajadores”. Este grupo tiene unas bases mínimas de 1466,40 €/mes. Y unas máximas de 4070,10 €/mes.

¹Usado el tramo más alto de la escala autonómica de Castilla y León aplicable a la base liquidable general del IRPF [1]

Concepto	Empresa	Trabajador
Contingencias comunes	23,60 %	4,70 %
Desempleo	5,50 %	1,55 %
FOGASA	0,20 %	0,00 %
Formación	0,60 %	0,10 %
Total	29,9 %	6,35 %

Tabla A.1: Costes pertenecientes a la SS

Por consiguiente, la empresa tendría que añadir a los costes el 23,9 % del salario del trabajador y el trabajador sufriría una retención del 6,35 %.

Coste total de personal

El coste total se calcula con la siguiente fórmula:

$$(\text{salario mensual} + \text{retenciones ss}) \times n^{\circ} \text{ meses} = \text{coste total} \quad (\text{A.3})$$

De modo que el coste total se obtiene así:

$$(2200\text{€} + 657,8\text{€}) \times 3 = 8573,4\text{€} \quad (\text{A.4})$$

La tabla siguiente tabla recoge diferentes costes asociados al personal y su coste total.

Concepto	Coste
Salarios	2200 €
Seguridad Social	657,8 €
Meses	3 meses
Total	8573,4 €

Tabla A.2: Coste total de personal

Coste del *hardware*

Para realizar el desarrollo se precisa contar con varios dispositivos. Aunque en la Ley del Impuesto sobre Sociedades [3] se permite un máximo de 8

años para amortizar equipos para procesos de información, se considera la que renovación de *hardware* se produce en un periodo más corto de 4 años. Así pues, la amortización se calcula en función de esos 4 años.

El coste mensual de un dispositivo se calcula así:

$$\text{coste del dispositivo} / \text{periodo de amortización (en meses)} \quad (\text{A.5})$$

Por lo tanto, el coste de un dispositivo es el siguiente:

$$\text{coste mensual amortizado} \times n^{\circ} \text{meses} \quad (\text{A.6})$$

En el desarrollo solo se va a necesitar una estación de trabajo, así pues, el coste total del *hardware* es el mostrado en la tabla a continuación.

<i>Hardware</i>	Coste	Coste amortizado
Estación de trabajo	1250 €	104,16 €
Total	1250 €	104,16 €

Tabla A.3: Coste del *hardware*

Coste del *software*

El desarrollo necesita de varios programas y aplicaciones. De igual manera que el *hardware*, la Ley del Impuesto sobre Sociedades [3] indica el máximo de años para realizar la amortización. En sistemas y programas informáticos es de 6 años. Pero coincidiendo con el periodo de renovación del *hardware*, la amortización se calcula en un periodo menor de 4 años.

Las fórmulas para calcular las amortizaciones son equivalentes a las usadas en el *hardware* A.5 y A.6.

Otra parte de *software* se emplea bajo suscripción, en los cálculos solo se computa el coste de los meses que se usó dicha suscripción.

Hay que tener en cuenta, que gran parte del *software* utilizado se publica bajo licencias que permiten su uso sin coste y que gracias a esto se reducen significativamente los costes del *software*. En consecuencia solo se calculan los costes del *software* que no es gratuito.

<i>Software</i>	Coste	Coste amortizado
Windows 10 Pro[4]	259 €	21,58 €
Office 365[5]	126 €	31,5 €
Adobe CC[6]	359,88 €	89,97 €
Total	744,88 €	143,05 €

Tabla A.4: Coste del *software*

Coste del sistema empotrado

El sistema empotrado se ha realizado con la ayuda de diversos componentes que también tienen unos costes de adquisición asociados.

Componente	Coste
Placa FRDM-K64F[7]	32,52 €
Placa Arduino Basic I/O[8]	19,00 €
Pantalla LCD[9]	8,91 €
Placas de pruebas[10]	12,24 €
Cables puente[11]	4,98 €
Cable de par trenzado[12]	4,88 €
Total	82,53 €

Tabla A.5: Coste del SE

Coste total del proyecto

Sumando todos los costes anteriores se puede calcular el coste total de todo el proyecto.

Tipo de coste	Coste
Personal	8573,4 €
<i>Hardware</i>	104,16 €
<i>Software</i>	143,05 €
Componentes del SE	82,53 €
Total	8903,14 €

Tabla A.6: Coste total del proyecto

Beneficios del proyecto

El código fuente del sistema empujado (SE) y de la aplicación web se encuentran disponibles abiertamente. Además, el SE tampoco tiene definida una función claramente comercial. Por ello, no se considera que el proyecto pueda tener un beneficio económico directo.

Esto tampoco quiere decir que los gastos se hagan a fondo perdido. Más bien, se pueden considerar los gastos como una inversión en investigación y formación. Competencias que permitirán en el futuro crear nuevos SE que rentabilicen todos los costes.

Viabilidad legal

Al desarrollar un *software* hay que tener en consideración las implicaciones legales que se presentan al usar *software* de terceros.

Las licencias sirven como instrumento para establecer los términos y condiciones en los que se pueden utilizar el *software* licenciado. Para poder definir que licencias usar en el proyecto es necesario conocer las licencias utilizadas y las restricciones que pueden imponer.

Licencias utilizadas en el desarrollo del SE

Para desarrollar el *software* de la placa se ha utilizado de código fuente de terceros que se describe a continuación.

- El código generado por MCUXpresso se proporciona bajo la licencia “The 3-Clause BSD License” (BSD-3), también conocida como la “New BSD License” o “Modified BSD License”.
- Otra parte del código generado por MCUXpress se licencia con “The Clear BSD License”. La licencia es similar a BSD-3, pero indica expresamente que no se conceden derechos sobre patentes.
- El código perteneciente a FreeRTOS es propiedad de Amazon.com, Inc. Se permite el uso, copia, modificación, publicación, distribución, volver a licenciar y comercializar, manteniendo siempre el aviso de derechos de autor.
- El código de lwIP se entrega con la licencia BSD-3.
- Parte del código relacionado con el procesador de la placa pertenece a ARM Limited. El código se proporciona con la licencia Apache 2.0.

Así pues, se encuentran licencias que permiten el uso, copia, modificación y redistribución del código. Como BSD-3 o Apache 2.0

Licencia para el SE

Teniendo en cuenta que el código fuente del *software* del SE se pretende que sea abierto, se va a utilizar una licencia en línea con las mostradas anteriormente.

En concreto se va a emplear la licencia Apache 2.0. Sus características principales se pueden ver resumidas en la siguiente tabla.

Permisos	Condiciones	Limitaciones
Uso comercial	Aviso de licencia	Uso de marcas registradas
Modificación	y derechos de autor	Responsabilidad
Distribución	Declaración de los cambios	Garantía
Uso en patentes		
Uso privado		

Tabla A.7: Licencia Apache 2.0

Licencia para la aplicación web

En el caso de la aplicación web no se ha requerido de bibliotecas o librerías de terceros como en el caso del SE. De igual forma que el SE, la aplicación web se licencia con Apache 2.0

Aviso de Apache

Para aplicar la licencia Apache [13] es necesario adjuntar un archivo de texto con la licencia con el nombre “LICENSE” en el directorio raíz del proyecto. El archivo de texto se puede copiar desde su propia web [14].

En caso de ser necesario, se incluirá un fichero llamado “NOTICE” en el mismo directorio que la licencia que contenga información adicional.

Por último, el texto a continuación será incluido en todos los ficheros fuente. Se tiene que añadir como comentario en el comienzo del fichero, sustituyendo el texto entre corchetes por el nombre del autor y por la fecha que correspondan.

Copyright [yyyy] [name of copyright owner]

Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License"); you may not use this file except in compliance with the License. You may obtain a copy of the License at

<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an “AS IS” BASIS, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License.

Licencia para la documentación

Para el licenciamiento de la documentación se opta por otro tipo de licencia más adecuada al tipo de obra. La licencia escogida es Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [15].

Esta licencia permite que la obra sea compartida libremente. Puede ser copiada y redistribuida en cualquier medio o formato. También se puede reeditar, transformar y crear obras derivadas a partir de la obra original, incluso comercialmente. Solo se requiere la atribución de la autoría original.

Permisos	Condiciones	Limitaciones
Distribución	Crédito al autor	Responsabilidad
Modificación	Aviso de licencia	Uso de patentes
Uso privado	y derechos de autor	Uso de marcas registradas
Uso comercial	Declaración de los cambios	Garantía

Tabla A.8: Licencia CC BY 4.0

El uso de la licencia se indica con la siguiente imagen y texto:



Este obra está bajo una **licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional**.

Apéndice B

Especificación de Requisitos

B.1. Introducción

En este apéndice de especificación de requisitos del *software* se proporciona una descripción completa del propósito y funcionalidad del *software*. Se detallan las funciones que debe realizar el *software* y se muestran casos de uso de como los usuarios utilizarán el *software*.

También sirve para definir como tiene que interactuar el *software* con el *hardware* y con otros *softwares*. Además, sirve para definir otros requisitos de carácter no funcional.

Para realizar la especificación de requisitos del *software* The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ha publicado varios estándares al respecto, IEEE 830-1998 [16] y IEEE 29148-2011 [17]¹. La especificación de requisitos del *software* se realizará siguiendo algunas de las indicaciones de estos estándares.

Identificación

Este apéndice sirve para especificar los requisitos del *software* realizado en el proyecto. Es decir:

- El *software* utilizado por un sistema empotrado para realizar transmisiones TCP/IP.
- El *software* utilizado por la aplicación web para realizar transmisiones TCP/IP con destino al sistema.

¹Actualizado recientemente a IEEE 29148-2018 [18].

Está previsto que ambos *softwares* se publiquen con la versión 1.0 y en este documento se describe su funcionalidad.

Audiencia destinataria

Como audiencia destinataria de este documento se incluye cualquier persona interesada en el proyecto. Tanto tutor, evaluadores, usuarios, como futuros desarrolladores interesados en conocer la funcionalidad del *software* del sistema empotrado y del *software* de la aplicación web.

Abreviaciones

Sistema empotrado: SE

***Software* del sistema empotrado:** SW del SE

Aplicación web: AW

***Software* de la aplicación web:** SW de la AW

Requisito de interfaces externas: RE

Requisito funcional: RF

Requisito no funcional: RNF

Caso de uso: CU

B.2. Objetivos generales

El proyecto cuenta con los siguientes objetivos en relación al funcionamiento del SE y de la AW.

- Configurar un SE que sea capaz de conectarse en red usando TCP/IP.
- El SW del SE puede realizar varias acciones sobre el *hardware*.
- El SW de la AW puede comunicarse con el SE enviando comandos via TCP/IP.
- El SW de la AW puede ordenar la realización de una acción sobre el *hardware*.

Clases de usuario y características

Cualquier persona interesada en SE puede ser usuaria del SE y de la AW. Además, no se requieren conocimientos avanzados ni experiencia técnica para su uso. Bastará con conectar el SE y acceder a la AW.

Entorno operativo

Por un lado, el SE requiere de un servidor DHCP para obtener una dirección IP que le permita comunicarse con el resto de los dispositivos de la red.

Por el otro, para acceder a la AW solo se requiere de un navegador sin importar si es un equipo de sobremesa o en un dispositivo móvil. Sin embargo, si el usuario desea ejecutar la AW por si mismo, se requiere de un sistema que cuente con un servidor de aplicaciones como GlassFish.

Documentación del usuario

Junto con el *software* se proporciona la memoria que describe el desarrollo y sus anexos con información complementaria. A destacar, el apéndice con el manual de usuario que cuenta con indicaciones para el uso del *software*.

B.3. Catalogo de requisitos

Requisitos de interfaces externas

Interfaces de usuario

- **RE-1 Acceso web** El usuario debe poder interactuar con el SE mediante una interfaz web.

Interfaces de *hardware*

- **RE-2 Acceso a la red** El SE tiene que ser capaz de usar Ethernet. RE de alta prioridad.
- **RE-3 Transmisiones en red** El SE tiene que ser capaz de usar TCP/IP. RE de alta prioridad.
- **RE-4 Uso de LED** El SE tiene que ser capaz de usar LED. RE de alta prioridad.

- **RE-5 Uso de I²C** El SE tiene que ser capaz de usar I²C. RE de alta prioridad.
- **RE-3 Uso de PWM** El SE tiene que ser capaz de usar PWM. RE de alta prioridad.

Requisitos funcionales del SW del SE

- **RF-1 Recepción de comandos** El SE tiene que recibir comandos transmitidos mediante paquetes TCP con destino a su correspondiente dirección IP y puerto TCP abierto. RF de alta prioridad.
- **RF-2 Identificación de comandos** El SE tiene que ser capaz de identificar los comandos recibidos para poder ejecutar las acciones correctas. RF de alta prioridad.
- **RF-3 Acción sobre los LED RGB** El SE tiene que poder variar los colores producidos por los LED RGB. RF de alta prioridad.
- **RF-4 Acción sobre el LCD** El SE tiene que poder mostrar cadenas de caracteres en el LCD. RF de alta prioridad.
- **RF-5 Acción sobre los LED PWM** El SE tiene que poder regular la intensidad del brillo de los LED mediante PWM. RF de alta prioridad.

Requisitos funcionales del SW de la AW

- **RF-6 Selección del SE** El usuario debe poder seleccionar el SE con el que desea interactuar. La selección se realiza introduciendo la dirección IP y el puerto del SE escogido. RF de alta prioridad.
- **RF-7 Envío de comandos** La aplicación tiene que ser capaz de construir comandos inteligibles por el SE y que realicen las operaciones indicadas por el usuario. RF de alta prioridad.
- **RF-8 Selección del color** El usuario debe poder escoger un color a ser exhibido por los LED RGB. RF de alta prioridad.
- **RF-9 Introducción de mensajes** El usuario debe poder introducir las cadenas de caracteres a mostrar por el LCD. RF de alta prioridad.
- **RF-10 Regulación del brillo** El usuario debe poder regular la intensidad del brillo de los LED PWM. RF de alta prioridad.

Requisitos no funcionales del SE y de la AW

- **RNF-1 *hardware* del SE** El SE tiene que ser desarrollado con una placa de desarrollo FRDM-K64F. RNF de alta prioridad.
- **RNF-2 Rendimiento del SE** El SE tiene que ser capaz de realizar las acciones indicadas por el usuario con prontitud. RNF de media prioridad.
- **RNF-3 Seguridad del SE** El SE tiene que asegurar que sus componentes no presentan riesgos eléctricos al usuario. RNF de alta prioridad.
- **RNF-4 Calidad del SW** El SW tiene que garantizar cierto nivel de calidad, p. ej., incluyendo comentarios que faciliten su comprensión para un mantenimiento o portabilidad posteriores. RNF de media prioridad.
- **RNF-5 Experiencia de usuario** La AW debe poder adaptarse a los diferentes dispositivos desde los que se pueda acceder. RNF de media prioridad.

B.4. Especificación de requisitos**Diagrama de Casos de uso**

Con el actor se representa a cualquier usuario de la AW. La aplicación se encargará de transmitir los comandos a través de una red usando TCP/IP. Los comandos los procesará el SE para realizar la acción oportuna.

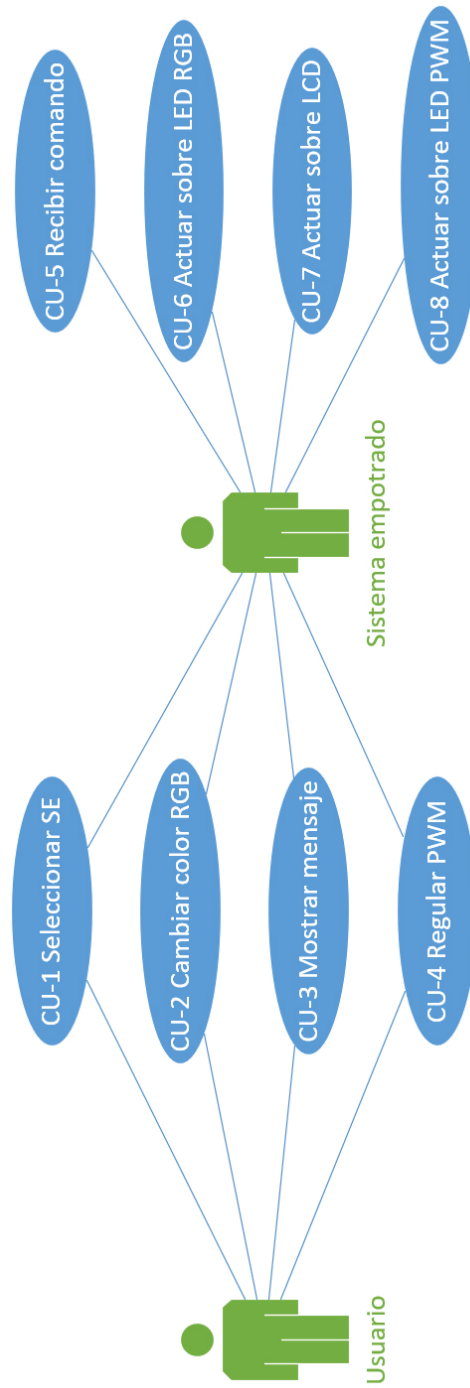


Figura B.1: Diagrama de Casos de uso

Casos de uso

CU-1	Seleccionar SE
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-6
Descripción	El usuario introduce en la AW la dirección IP y el puerto TCP a la escucha del SE.
Precondición	El usuario debe consultar datos en la pantalla LCD del SE.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario introduce la dirección IP en un cuadro de texto. 2. El usuario introduce el puerto TCP en un cuadro de texto. 3. El usuario pulsa un botón para confirmar los parámetros.
Postcondición	La AW queda configurada para enviar comandos al SE.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si la dirección IP es errónea, la configuración no se realiza. ■ Si el puerto TCP es erróneo, la configuración no se realiza.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.1: CU-1 Seleccionar SE

Cu-2	Cambiar color RGB
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-7 RF-8
Descripción	El usuario selecciona un botón con el mismo color que desea iluminar con los LED RGB.
Precondición	El usuario ha seleccionado el SE.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario pulsa uno de los botones de colores disponibles. 2. La AW envía un comando al SE indicando la operación.
Postcondición	El SE ilumina el color indicado.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si no se ha establecido el SE, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.2: CU-2 Cambiar color RGB

Cu-3	Mostrar mensaje
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-7 RF-9
Descripción	El usuario muestra un mensaje en una de las líneas del LCD.
Precondición	El usuario ha seleccionado el SE.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario escoge un cuadro de texto correspondiente a la línea del LCD deseada. 2. El usuario escribe en ese cuadro la cadena de caracteres a mostrar. 3. El usuario pulsa un botón para confirmar el envío de la cadena. 4. La AW envía un comando al SE indicando la operación.
Postcondición	El SE muestra la cadena enviada.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si no se ha establecido el SE, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.3: CU-3 Mostrar mensaje

Cu-4	Regular PWM
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-7 RF-10
Descripción	El usuario usa un control deslizante para indicar la intensidad del brillo.
Precondición	El usuario ha seleccionado el SE.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario utiliza el control deslizante del mismo color el LED a regular. 2. La AW envía un comando al SE indicando la operación.
Postcondición	El SE regula la intensidad LED indicado.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si no se ha establecido el SE, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.4: CU-4 Regular PWM

Cu-5	Recibir comando
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-1 RF-2
Descripción	El SE recibe un comando e interpreta su contenido.
Precondición	La AW ha enviado un comando al SE.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El SE analiza el contenido de un paquete TCP y analiza el comando. 2. El SE ordena realizar la acción solicitada.
Postcondición	El SE debe quedar a la espera de más comandos.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si el comando no es válido, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.5: CU-5 Recibir comando

Cu-6	Actuar sobre LED RGB
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-1 RF-2 RF-3
Descripción	El SE modifica los LED RGB.
Precondición	El SE ha recibido un comando que ordena encender o apagar un color determinado.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El SE identifica el color que se desea encender. 2. El SE enciende o apaga los LED RGB necesarios para mostrar el color.
Postcondición	El SE debe quedar a la espera de más comandos.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si el color no es válido, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.6: CU-6 Actuar sobre LED RGB

Cu-7	Actuar sobre LCD
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-1 RF-2 RF-4
Descripción	El SE modifica el texto mostrado por el LCD.
Precondición	El SE ha recibido un comando que ordena mostrar una cadena de caracteres en el LCD.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El SE identifica la línea del LCD donde escribir el mensaje. 2. El SE escribe la cadena de caracteres en dicha línea del LCD.
Postcondición	El SE debe quedar a la espera de más comandos.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si la línea no es válida, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Ninguno

Tabla B.7: CU-7 Actuar sobre LCD

Cu-8	Actuar sobre LED PWM
Versión	1.0
Fecha	2018-11
Requisitos asociados	RF-1 RF-2 RF-5
Descripción	El SE regula la intensidad del brillo de uno de los LED PWM.
Precondición	El SE ha recibido un comando que ordena regular la intensidad de los LED PWM.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El SE identifica el LED PWM que hay que regular. 2. El SE regula mediante PWM la intensidad del brillo del LED indicado.
Postcondición	El SE debe quedar a la espera de más comandos.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Si el valor de intensidad no es válido, no se realiza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	La intensidad está expresada en forma de porcentaje con valores desde 0 % hasta 100 %.

Tabla B.8: CU-8 Actuar sobre LED PWM

Apéndice C

Especificación de diseño

- C.1. Introducción
- C.2. Diseño de datos
- C.3. Diseño procedimental
- C.4. Diseño arquitectónico

Apéndice D

Documentación técnica de programación

- D.1. Introducción
- D.2. Estructura de directorios
- D.3. Manual del programador
- D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto
- D.5. Pruebas del sistema

Apéndice E

Documentación de usuario

- E.1. Introducción
- E.2. Requisitos de usuarios
- E.3. Instalación
- E.4. Manual del usuario

Bibliografía

1. CONSEJERÍA DE HACIENDA, JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. *DECRETO LEGISLATIVO 1/2013, de 12 de septiembre, por el que se aprueba el texto refundido de las disposiciones legales de la Comunidad de Castilla y León en materia de tributos propios y cedidos* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <http://bocyl.jcyl.es/boletines/2013/09/18/pdf/BOCYL-D-18092013-1.pdf>.
2. SEGURIDAD SOCIAL. *Bases y tipos de cotización 2019* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <http://www.seg-social.es/wps/portal/wss/internet/Trabajadores/CotizacionRecaudacionTrabajadores/36537>.
3. JEFATURA DEL ESTADO. *Ley 27/2014, de 27 de noviembre, del Impuesto sobre Sociedades* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2014/BOE-A-2014-12328-consolidado.pdf>.
4. MICROSOFT. *Windows 10 Pro* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.microsoft.com/es-es/p/windows-10-pro/df77x4d43rkt/48DN>.
5. MICROSOFT. *Office 365* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://products.office.com/es-ES/business/office>.
6. ADOBE. *Creative Cloud para equipos* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.adobe.com/es/creativecloud/business/teams.html>.
7. FARNELL COMPONENTS SL. *FRDM-K64F - Placa de Desarrollo* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.>

- farnell.com/nxp/frdm-k64f/placa-desarrollo-ethernet-usb/dp/2406741.
8. MK ELECTRÓNICA. *BASIC I/O* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://mkelectronica.com/producto/basic-i-o/>.
 9. FARNELL COMPONENTS SL. *Pantalla LCD Alfanumérica, 16 x 2* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.farnell.com/midas/mc21605c6w-bnmlwi-v2/pantalla-alfanum-rica-16x2-blanca/dp/2748649>.
 10. FARNELL COMPONENTS SL. *SOLDERLESS BREADBOARD* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.farnell.com/bud-industries/bb-32655/solderless-breadboard-830-tie/dp/2885079>.
 11. FARNELL COMPONENTS SL. *WIRE BUNDLE, BREADBOARD* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.farnell.com/adafruit-industries/153/wire-bundle-breadboard/dp/2409349>.
 12. FARNELL COMPONENTS SL. *Cable de Ethernet* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.farnell.com/videx/2996-1y/cable-de-conexi-n-cat6-amarillo/dp/1525699>.
 13. THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. *Applying the Apache License, Version 2.0* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.apache.org/dev/apply-license.html>.
 14. THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. *Apache License, Version 2.0* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0.txt>.
 15. CREATIVE COMMONS. *CC BY-NC-SA 4.0* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>.
 16. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *IEEE 830-1998: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications* [online]. 1998 [visitado 2019-02-07]. Disponible desde: <https://standards.ieee.org/standard/830-1998.html>.
 17. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *IEEE 29148-2011: ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering* [online]. 2011 [visitado 2019-02-07]. Disponible desde: <https://standards.ieee.org/standard/29148-2011.html>.

18. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *IEEE 29148-2018: ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Life cycle processes –Requirements engineering* [online]. 2018 [visitado 2019-02-07]. Disponible desde: <https://standards.ieee.org/standard/29148-2018.html>.