



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 — 11 de febrero
de 2019
Tutor: AMG

Índice general

Índice general	I
Índice de figuras	III
Índice de tablas	v
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. Catálogo de requisitos	23
B.4. Especificación de requisitos	25
Apéndice C Especificación de diseño	35
C.1. Introducción	35
C.2. Diseño de datos	36
C.3. Diseño arquitectónico	38
C.4. Diseño procedimental	46
Apéndice D Documentación técnica de programación	47
D.1. Introducción	47
D.2. Estructura de directorios	47
D.3. Manual del programador	49

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto	64
Apéndice E Documentación de usuario	71
E.1. Introducción	71
E.2. Requisitos de usuarios	71
E.3. Instalación	72
E.4. Manual del usuario	73
Bibliografía	77

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
C.1.	Conexión TCP [20]	36
C.2.	Tareas en bucle infinito	39
C.3.	Bucle principal del <i>software</i>	40
C.4.	Tareas para el RTOS	41
C.5.	Relación entre MVC y el usuario	42
C.6.	Diagrama de componentes del sistema	43
C.7.	Introducción de datos	43
C.8.	Panel para cambiar el color de los LED RGB	44
C.9.	Panel para enviar un texto al LCD	44
C.10.	Panel para regular el brillo de los LED PWM	45
C.11.	Diseño de la interfaz	46
D.1.	Descarga de MCUXpresso IDE	50
D.2.	MCUXpresso recién instalado	51
D.3.	Sitio de MCUXpresso SDK Builder [27]	51

D.4. Selección de la placa de desarrollo [27]	52
D.5. Resumen del SDK completo [27]	53
D.6. Importación del SDK	53
D.7. Detalles del SDK correctamente importado	54
D.8. Importación del proyecto desde GitHub	54
D.9. Datos del repositorio	55
D.10. Proyecto correctamente importado	56
D.11. Pines del grupo Ethernet en verde brillante	57
D.12. Configuración de los pines del grupo Ethernet	57
D.13. Diagrama con los relojes del sistema	58
D.14. Configuración del periférico FTM	59
D.15. Instalador de Eclipse IDE	61
D.16. Instalación de las Eclipse GlassFish Tools	62
D.17. Proyecto correctamente importado	63
D.18. Reconocimiento de la placa de desarrollo	64
D.19. Placa de desarrollo reconocida	65
D.20. Sistema en ejecución	66
D.21. Aplicación configurada para ser publicada	67
D.22. Aplicación publicada	67
D.23. Acceso a la aplicación web desde un navegador	68
E.1. Arranque del sistema empotrado	72
E.2. Vista general de la web	73
E.3. Barra de navegación	73
E.4. Ajustes de red iniciales	74
E.5. IP y puerto del sistema empotrado	74
E.6. Ajustes de red establecidos	74
E.7. Colores iluminables con los LED RGB	74
E.8. Envío de mensajes a la pantalla LCD	75
E.9. Mensajes enviados a la pantalla LCD	75
E.10. Controles deslizantes para los LED PWM	75
E.11. Controles ajustados a diferentes valores	76

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-NC-SA 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
C.1. Comando LED	37
C.2. Comando MSG	37
C.3. Comando MSG	38

Apéndice A

Plan de Proyecto Software

A.1. Introducción

En 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 identificadas las tareas se puede estimar el tiempo requerido para su realización. Agregando las estimaciones se puede calcular el tiempo total estimado para realizar el proyecto completo.

Al usar la metodología Scrum, tras terminar cada *sprint* se evalúa si el desarrollo se está ciñendo a lo esperado y modificar las estimaciones en consecuencia. Por lo que la planificación inicial puede desviarse a lo largo del desarrollo.

Por otra 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. Los 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 *sprints* se extendía desde una semana a un mes. Para la gestión del proyecto se ha usado ZenHub y con él se pudo asignar una estimación temporal a las tareas en forma de *Story points*. La puntuación va 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 *sprint* 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 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 Closed ↑ Sprint 1	(3)
Elección del entorno de desarrollo [enhancement] k64f-lwip #2 Closed ↑ Sprint 1	(2)
Estudio del entorno de desarrollo [enhancement] k64f-lwip #3 Closed ↑ Sprint 1	(2)
Elección del repositorio [enhancement] k64f-lwip #4 Closed ↑ Sprint 1	(2)
Elección de las herramientas de documentación [enhancement] k64f-lwip #5 Closed ↑ Sprint 1	(2)
Elección de las herramientas de comunicación [enhancement] k64f-lwip #6 Closed ↑ Sprint 1	(1)
Elección de la herramienta de gestión de proyectos [enhancement] k64f-lwip #7 Closed ↑ Sprint 1	(2)
Completar el Sprint 1 [Epic] [enhancement] k64f-lwip #8 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 resultó la tarea más compleja de acuerdo a lo estimado, pues hubo que aprender a usar el IDE y sus herramientas. 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 las que trabajar en este *sprint* se pretendía comenzar el desarrollo.

Acciones a realizar en este *sprint*:

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

Completed Issues and Pull Requests	Story points
② Crear nuevo proyecto enhancement k64f-lwip #9 Closed ↑ Sprint 2	(2)
⑤ Configurar el entorno del proyecto enhancement k64f-lwip #11 Closed ↑ Sprint 2	(5)
⑤ Añadir el código para usar lwIP enhancement k64f-lwip #12 Closed ↑ Sprint 2	(5)
③ Comutar los colores de los ledes enhancement k64f-lwip #13 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 difíciles 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 transmitir 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
② Configuración del hardware para el uso de señales digitales enhancement k64f-lwip #15 Closed ↑ Sprint 3	5
② Configuración del hardware para el uso de señales analógicas enhancement k64f-lwip #16 Closed ↑ Sprint 3	5
② Recepción de cadenas de caracteres y retransmisión por un bus serie. enhancement k64f-lwip #17 Closed ↑ Sprint 3	5
② Recepción de órdenes y realizar cambios en el hardware mediante PWM. enhancement k64f-lwip #18 Closed ↑ Sprint 3	5
② Completar el Sprint 3 Epic k64f-lwip #19 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 Closed ↑ Sprint 4	(3)
⌚ Crear funciones que operan con la placa. enhancement k64f-lwip #21 Closed ↑ Sprint 4	(5)
⌚ Desarrollar el panel de operaciones enhancement k64f-lwip #22 Closed ↑ Sprint 4	(8)
⌚ Verificar la funcionalidad de la aplicación web. enhancement k64f-lwip #23 Closed ↑ Sprint 4	(2)
⌚ Completar el Sprint 4 Epic k64f-lwip #24 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
② Documentación del resumen e introducción. enhancement k64f-lwip #25 Closed ↑ Sprint 5	5
② Documentación de los objetivos del proyecto. enhancement k64f-lwip #26 Closed ↑ Sprint 5	8
② Documentación de los conceptos teóricos. enhancement k64f-lwip #27 Closed ↑ Sprint 5	13
② Documentación de las técnicas y herramientas. enhancement k64f-lwip #28 Closed ↑ Sprint 5	8
② Documentación de los aspectos relevantes. enhancement k64f-lwip #29 Closed ↑ Sprint 5	8
② Documentación de los trabajos relacionados. enhancement k64f-lwip #30 Closed ↑ Sprint 5	8
② LaTeX enhancement k64f-lwip #33 Closed ↑ Sprint 5	3
② Documentación de las conclusiones. enhancement k64f-lwip #34 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 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 k64f-lwip #35 In Progress ↑ Sprint 6	8
① Completar el Sprint 6 Epic enhancement k64f-lwip #36 Backlog ↑ Sprint 6	Not estimated
① Documentación de los Requisitos. enhancement k64f-lwip #37 Backlog ↑ Sprint 6	8
① Documentación del Diseño. enhancement k64f-lwip #38 Backlog ↑ Sprint 6	8
① Documentación del Manual del programador. enhancement k64f-lwip #39 Backlog ↑ Sprint 6	8
① Documentación del Manual de Usuario. enhancement k64f-lwip #40 Backlog ↑ Sprint 6	8

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

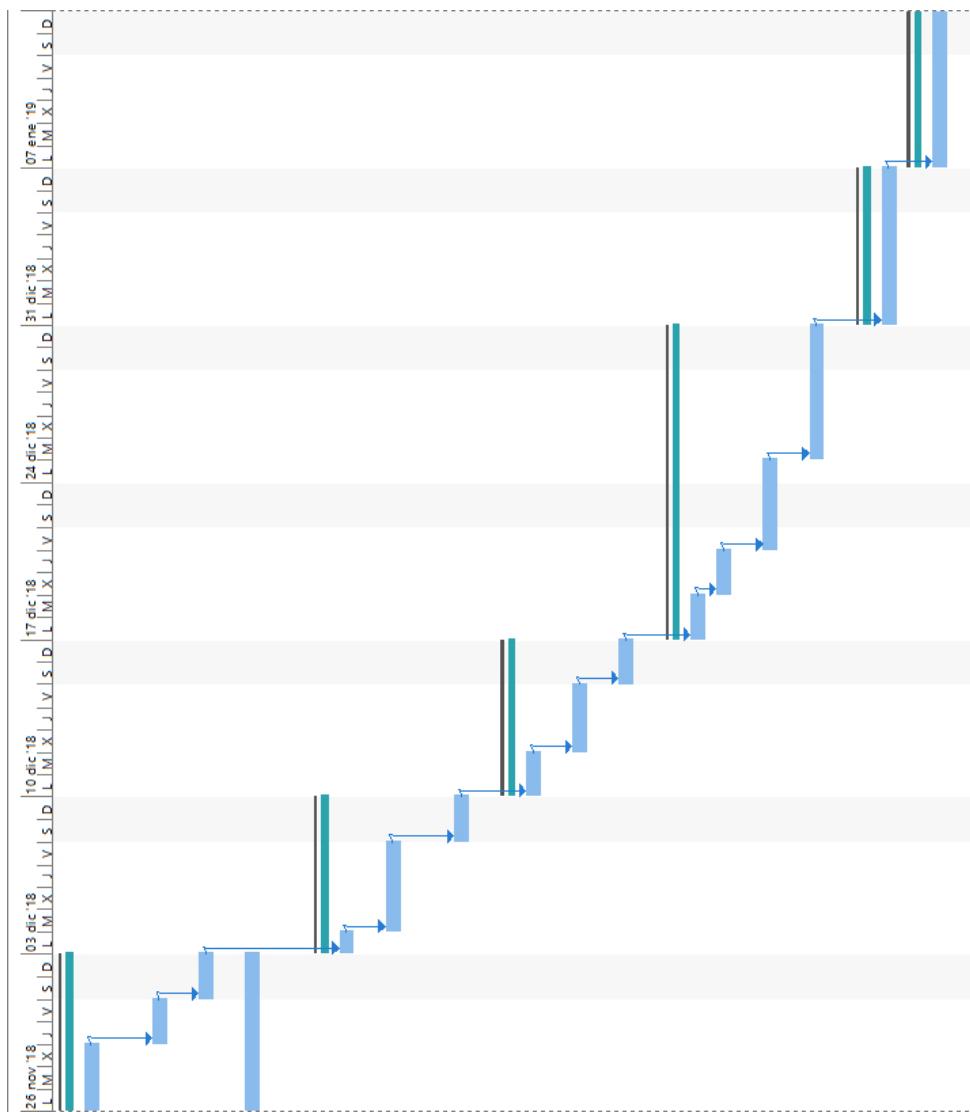


Figura A.9: Diagrama de Gantt de la planificación inicial

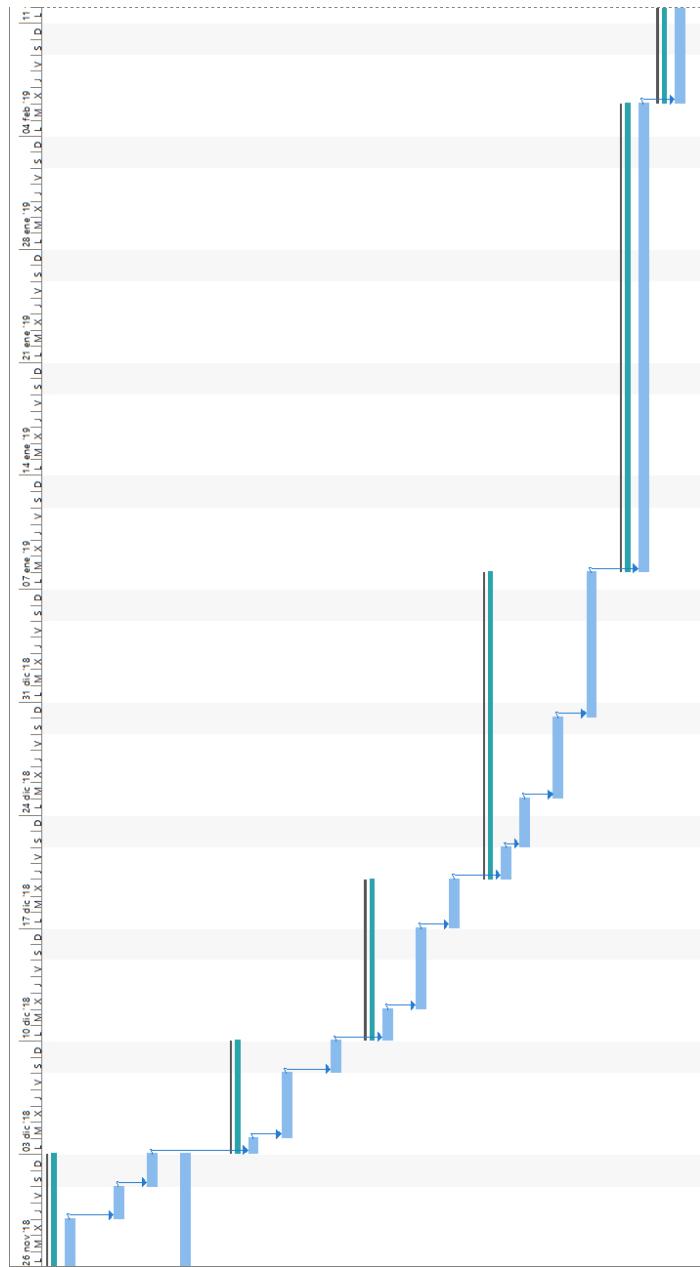


Figura A.10: Diagrama de Gantt de la planificación final

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, sin calcular el salario neto se puede calcular de la siguiente forma:

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

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

$$2200\text{€} - 29\%^{\textcolor{red}{1}} - 6,35\% = 1422,30\text{€} \quad (\text{A.2})$$

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 de 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 [3]. En concreto los 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.

¹Usados los tramos más altos de las escalas autonómica [1] y estatal [2] aplicables, el cálculo está simplificado al no tener en cuenta la progresividad de la escala de tramos.

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:

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

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 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 [4] se indica un máximo de 8

años para amortizar los 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:

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

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 [4] indica el máximo de años para realizar la amortización. En los 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[5]	259€	21,58€
Office 365[6]	126€	31,5€
Adobe CC[7]	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[8]	32,52€
Placa Arduino Basic I/O[9]	19,00€
Pantalla LCD[10]	8,91€
Placas de pruebas[11]	12,24€
Cables puente[12]	4,98€
Cable de par trenzado[13]	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 empotrado (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 a los gastos como una inversión en investigación, formación y adquisición de 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 qué licencias usar en el proyecto es necesario conocer las licencias utilizadas y la 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 como BSD-3 o Apache 2.0 que permiten el uso, copia, modificación y redistribución del código.

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. Del mismo modo que en el SE, la aplicación web se licencia con Apache 2.0.

Utilización de la licencia Apache

Para poner en conocimiento el uso de la licencia Apache [14] se ubica en el directorio raíz del proyecto un archivo de texto con el nombre “LICENSE” que incluye los términos de la licencia. El archivo de texto se puede obtener desde el sitio web de Apache [15].

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

Por último, el texto a continuación es 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-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) [16].

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. Como condición se requiere la atribución de la autoría original y que nuevas publicaciones se realicen de forma gratuita y con el mismo licenciamiento que la actual.

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
	Declaración de los cambios	Garantía
	No comercial	
	Mismo licenciamiento	

Tabla A.8: Licencia CC BY-NC-SA 4.0

El uso de la licencia se indica con una imagen y un breve texto al final de cada documento.

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 [17] y IEEE 29148-2011 [18]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 [19].

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 tiene que realizar varias acciones sobre el *hardware*.
- Desarrollar una AW que pueda comunicarse con el SE enviando comandos vía TCP/IP.
- El SW de la AW tiene que ordenar la ejecución de las funciones del SE.

Clases de usuario y características

Cualquier persona interesada en sistemas empotrados puede ser usuaria del SE y de la AW. Además, no se requerirán conocimientos avanzados ni experiencia técnica para su uso. Bastará con conectar el SE y utilizar 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, además de varios apéndices con información complementaria. En concreto, los usuarios pueden consultar el apéndice con el manual de usuario E que cuenta con indicaciones para el uso del *software*.

B.3. Catálogo 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 en uso. 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 iluminado 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 sin demora. 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 serán procesados por el SE para realizar la acción oportuna.

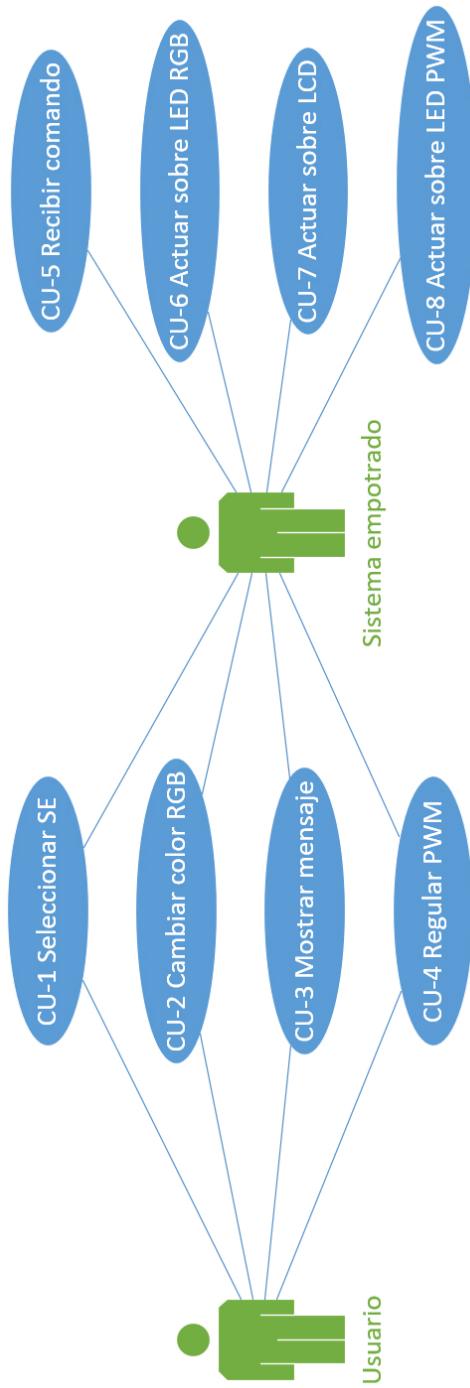


Figura B.1: Diagrama de Casos de uso

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 abierto por el SE.
Precondición	El usuario debe consultar los 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. <ul style="list-style-type: none"> ■ Si la dirección IP es errónea, la configuración no se realiza.
Excepciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 pulsa un botón con el mismo color que desea iluminar 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 el 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 del 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 iluminar un color determinado.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El SE identifica el color que se desea iluminar. 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 re-liza ninguna acción.
Importancia	Alta
Comentarios	Se considera el color negro como instrucción para apagar todos los LED.

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	<p>El SE debe quedar a la espera de más comandos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Si el color del LED no es válido no se realiza ninguna acción. ■ Si el valor de la intensidad no es válido no se realiza ninguna acción.
Excepciones	
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

Tras recoger las especificaciones de los requisitos del *software* se puede comenzar con la especificación del diseño. Este apéndice detalla las soluciones tomadas respecto al diseño del *software*.

Con el diseño del *software* se trata de dar respuesta a cuestiones relativas a los datos, y su representación; las división lógica en módulos, y su funcionamiento interno; y como estructurar el *software* arquitectónicamente.

Ámbito del *software*

El *software* a desarrollar debe permitir a un usuario operar con un sistema empotrado de forma remota a través de una aplicación web. Al ser entidades tan diferenciadas, tanto el sistema empotrado como la aplicación web tienen que contar con *software* propio y específico a cada plataforma.

El *software* del sistema empotrado tiene que residir en el propio sistema. Con su ejecución se pretende actuar sobre el *hardware* habilitado a tal fin.

En cuanto al *software* de la aplicación web, ejecutado en un servidor de aplicaciones, va a servir como interfaz de usuario frente al sistema empotrado que le va a permitir ordenar la ejecución de las funciones del sistema empotrado.

C.2. Diseño de datos

Para que la aplicación web pueda ordenar al sistema empotrado actuar de una determinada manera se precisa de la transmisión de unos comandos concretos. En consecuencia, se tiene que definir la estructura de los comandos para que ambos *softwares* sean capaces de entenderse.

Transferencia de los comandos

Los comandos van a ser transferidos usando el protocolo Transmission Control Protocol (TCP). El protocolo está orientado a la conexión y se encarga de establecerla la comunicación mediante unos mensajes de sincronización (SYN) y reconocimiento (ACK), como se puede ver en C.1.

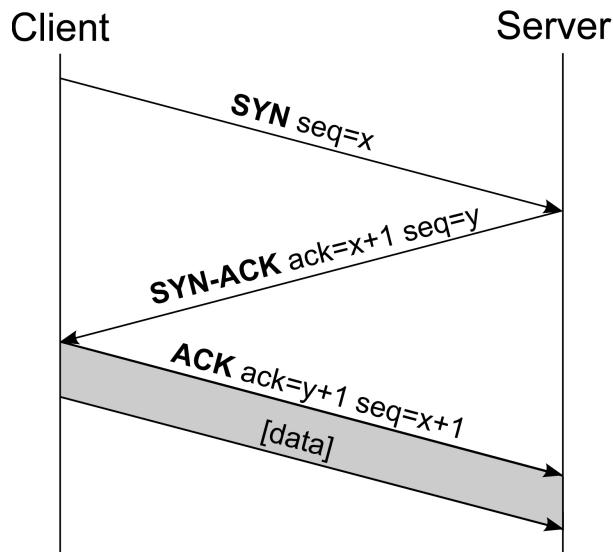


Figura C.1: Conexión TCP [20]

Aprovechando que el protocolo TCP se encarga establecer una conexión fiable, se delega en él el establecimiento de la conexión y los comandos serán enviados después como segmentos dentro de un paquete TCP.

Comando LED

Con este comando se indica al sistema empotrado que muestre una luz con el color indicado. Hay un LED para cada uno de los tres colores primarios: rojo, verde y azul. Aunque los LED pueden encenderse individualmente, encendiéndolos simultáneamente se pueden combinar los colores primarios y

generar otros nuevos. Los colores obtenidos por adición son el cian, magenta, amarillo y blanco. Además, debe ser posible que los LED se apaguen y dejen de iluminar.

Para conseguir lo anterior, el nombre del comando refleja la alusión a los LED RGB. El comando se acompaña de un argumento que especifica el color concreto a iluminar. Para ayudar a diferenciar el comando del argumento se ubica un carácter separador.

Color	Comando	Separador	Argumento	Comando resultante
Rojo	led	:	r	led:r
Verde	led	:	g	led:g
Azul	led	:	b	led:b
Cian	led	:	c	led:c
Magenta	led	:	m	led:m
Amarillo	led	:	y	led:y
Blanco	led	:	w	led:w
No color	led	:	o	led:o

Tabla C.1: Comando LED

Comando MSG

Este comando indica al sistema empotrado que muestre una cadena de caracteres en la pantalla LCD. Como la pantalla tiene dos líneas se necesita indicar la línea donde mostrar el texto.

El nombre del comando refleja que trata con los mensajes de texto. El comando se acompaña de un argumento que especifica la línea donde escribir la cadena de caracteres. Después se añade otro argumento con la cadena de caracteres a mostrar. Como en el resto de comandos, entre el comando y cada uno de los argumentos se ubica un carácter separador.

Línea	Comando	S.	Arg. 1	S.	Arg. 2	Comando resultante
1 ^a línea	msg	:	0	:	<chars>	msg:0:<chars>
2 ^a línea	msg	:	1	:	<chars>	msg:1:<chars>

Tabla C.2: Comando MSG

Comando PWM

Este comando indica al sistema empotrado que regule la intensidad del brillo de los LED compatibles con PWM. El sistema empotrado cuenta con 4 LED regulables por lo que es necesario identificar cual de ellos hay que regular.

El nombre del comando refleja que se van a utilizar los LED PWM. Como hay 4 LED hace falta un argumento que permita seleccionar el LED a regular. Para indicar la intensidad se añade otro argumento con el valor nuevo, entre 0 y 100. De nuevo, entre el comando y cada uno de los argumentos se ubica un carácter separador.

LED	Comando	S.	Arg. 1	S.	Arg. 2	Comando resultante
Blanco	pwm	:	w	:	<0-100>	pwm:w:<0-100>
Verde	pwm	:	g	:	<0-100>	pwm:g:<0-100>
Amarillo	pwm	:	y	:	<0-100>	pwm:y:<0-100>
Rojo	pwm	:	r	:	<0-100>	pwm:r:<0-100>

Tabla C.3: Comando MSG

C.3. Diseño arquitectónico

La arquitectura de un *software* se describe en el estándar IEEE 42010-2011 [21] como los “conceptos fundamentales o propiedades de un sistema en su entorno encarnados por sus elementos, relaciones, y en los principios de su diseño y evolución.”

Así pues, como los entornos del *software* del sistema empotrado y de la aplicación web están tan diferenciados, se opta por usar estilos arquitectónicos diferentes y adaptados a cada *software*.

Diseño arquitectónico del SE

Los sistemas empotrados se relacionan con el entorno en el que se encuentran mediante actuadores y sensores, y dependiendo de su finalidad, con restricciones de tiempo real. La organización del *software* debe ajustarse a estas realidades.

En sistemas sistemas simples sin restricciones de tiempo se puede organizar el *software* de forma simple. En cambio, cuando las tareas de un sistema

empotrado tienen que responder rápidamente a eventos con restricciones de tiempo se hace necesario organizar el *software* de forma más compleja.

En un sistema empotrado sin restricciones se podría utilizar la arquitectura del *software* más simple conocida como Round Robin. Las tareas del sistema empotrado se ejecutan dentro de un bucle principal, en ellas se examina el estado *hardware* y de ser necesario se realiza el tratamiento correspondiente. Una vez terminada una tarea, se ejecuta la siguiente, y al completar la última se vuelve a empezar el ciclo con la primera de todas.



Figura C.2: Tareas en bucle infinito

Para no tener que estar sondeando constantemente el *hardware*, se puede mejorar la arquitectura anterior incluyendo interrupciones. Estas señales permiten indicar al sistema empotrado cuando ha ocurrido un evento y lo libera del sondeo constante.

Si bien ambas arquitecturas serían factibles de aplicar al sistema empotrado, con intención de dar respuesta al requisito no funcional sobre el rendimiento y respuesta del sistema se va a usar una arquitectura basada en un Sistema operativo en tiempo real (RTOS).

La decisión se fundamenta en la flexibilidad y el tiempo de respuesta que el RTOS es capaz de proporcionar. Cada función del sistema se implementa dentro de una tarea individual con una determinada prioridad. El RTOS se encarga de planificar el orden de ejecución de las tareas en base a la prioridad de cada una de ellas.

Por lo tanto, una tarea con prioridad alta, porque necesita un tiempo de respuesta estricto, es ejecutada antes que las demás. Más aún, se puede configurar el RTOS para que desaloje una tarea de menor prioridad y pase a ejecutar una de mayor prioridad.



Figura C.3: Bucle principal del *software*

Con las tareas C.4 se da respuesta a los casos de usos planteados para el sistema empotrado durante la especificación de los requisitos del *software*. Gracias a la flexibilidad que aporta esta solución se podrían añadir o quitar funciones rápidamente. Por ejemplo, bastaría con agregarlas o quitarlas del RTOS durante la inicialización C.3.

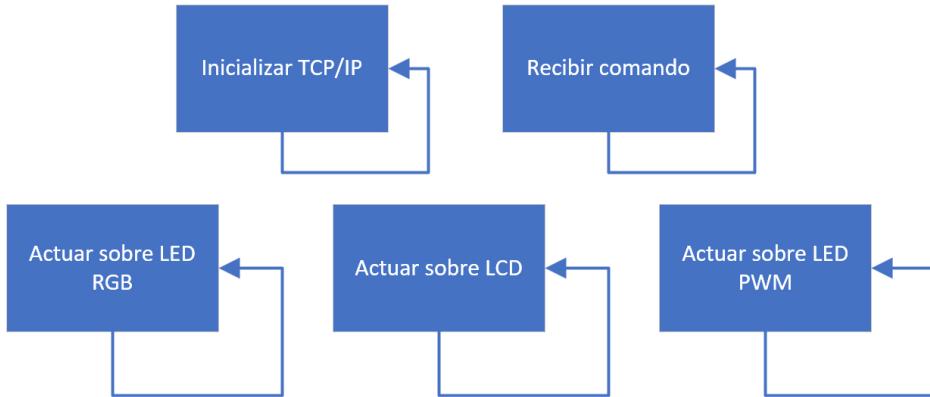


Figura C.4: Tareas para el RTOS

Diseño arquitectónico de la aplicación web

Por lo que se refiere al *software* de aplicación web, representa un cambio de contexto completo. La aplicación se encuentra alojada en un servidor de aplicaciones que permite al usuario acceder a la interfaz web desde un navegador web cualquiera.

La tecnología a utilizar en conjunción con el servidor de aplicaciones es JavaServer Faces (JSF) [22]. Su especificación concreta su propósito para construir aplicaciones web e interfaces de usuarios basadas en componentes. Cada componente de *software* sirve para encapsular un conjunto de funciones o datos estrechamente relacionados.

Además, JSF utiliza el patrón de arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC). Este patrón separa la lógica de la aplicación en tres componentes diferenciados. Con la separación se impulsa el desarrollo modular, facilitando la colaboración y la reutilización durante el desarrollo.

Los tres componentes de MVC son:

Modelo: Define los datos y su estructura empleados por la aplicación. Si los datos se modifican, la vista se actualiza para reflejar los cambios.

Vista: Define la interfaz y como se muestran los datos al usuario en ella.

Controlador: Contiene la lógica responsable de manipular el modelo en función de las acciones del usuario.

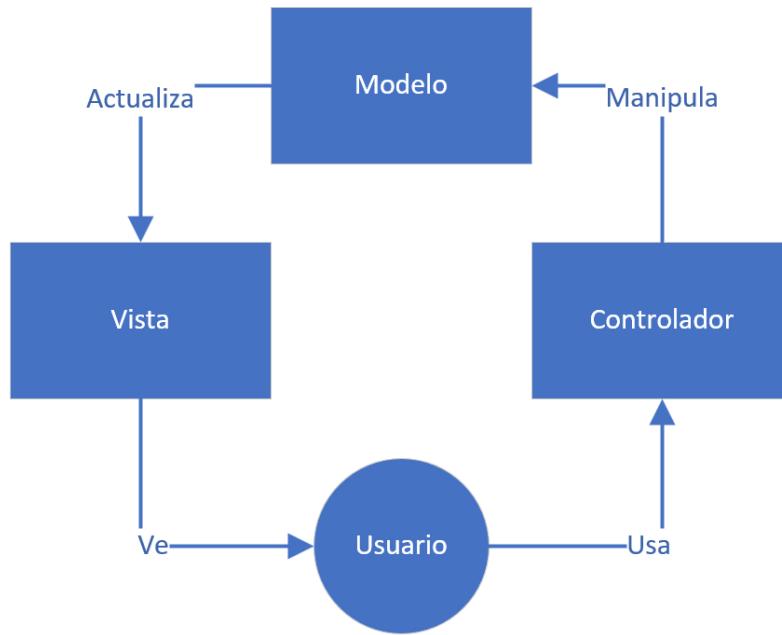


Figura C.5: Relación entre MVC y el usuario

Diseño del modelo

En JSF el modelo se define mediante *beans*. Los *beans* se crean con clases Java. Están compuestos por una conjunto de atributos y sus correspondientes métodos *getters* y *setters*.

Así pues, el valor de un atributo, también llamado propiedad, se consulta con su correspondiente método *get* y se puede actualizar con su método *set*.

Diseño de la vista

En JSF la vista se define mediante ficheros escritos en Extensible HyperText Markup Language (XHTML) que incluyen etiquetas especiales para añadir componentes específicos de JSF. Posteriormente, el código de los ficheros XHTML es traducido a código Hypertext Markup Language (HTML) interpretable por los navegadores web.

La conexión entre la interfaz y el resto de la aplicación se realiza con ayuda del Lenguaje de Expresiones de JSF (EL). Con estas expresiones se enlazan los componentes de la interfaz con las propiedades de los *beans*.

Diseño del controlador

En JSF el controlador se puede definir con *beans* al igual que en el modelo C.3. Pero a diferencia de los *beans* del modelo, los *beans* del controlador cuentan con los métodos necesarios para realizar la lógica de negocio requerida por la aplicación.

Diseño conjunto del sistema

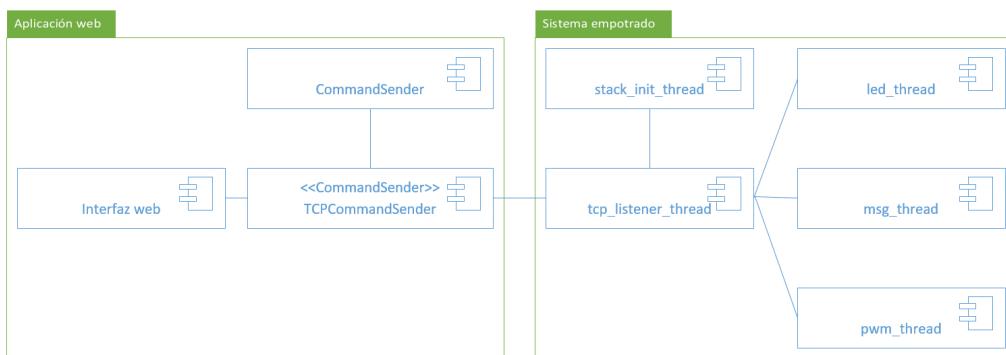


Figura C.6: Diagrama de componentes del sistema

Diseño de la interfaz

Para que el usuario pueda controlar el sistema empotrado, la aplicación web pone su disposición una interfaz web. En una sola página el usuario puede ver las funciones disponibles y operar con ellas.

En primer lugar la interfaz tiene que permitir que el usuario introduzca los datos de conexión con el sistema empotrado.

Este formulario es un cuadro rectangular que contiene tres campos horizontalmente dispuestos:

- Un cuadro rectangular con la etiqueta 'Dirección IP'.
- Un cuadro rectangular con la etiqueta 'Puerto'.
- Un cuadro rectangular con la etiqueta 'Confirmar'.

Figura C.7: Introducción de datos

Una vez establecidos los datos se muestran unos paneles con las funciones disponibles.

Con unos botones se puede escoger el color iluminado por los LED RGB.

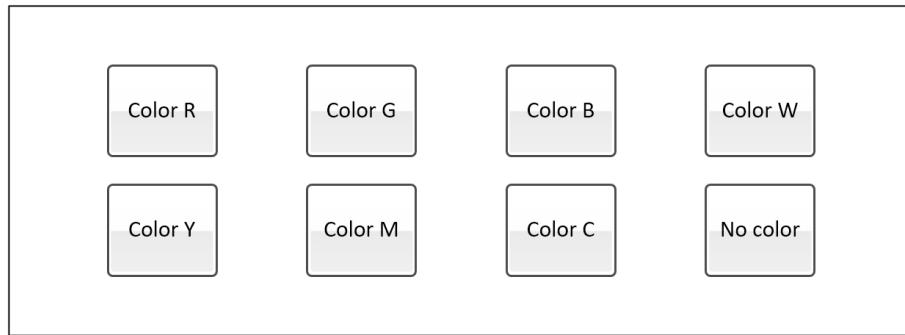


Figura C.8: Panel para cambiar el color de los LED RGB

En unos cuadros de texto, el usuario puede introducir un mensaje y pulsando un botón lo puede enviar.

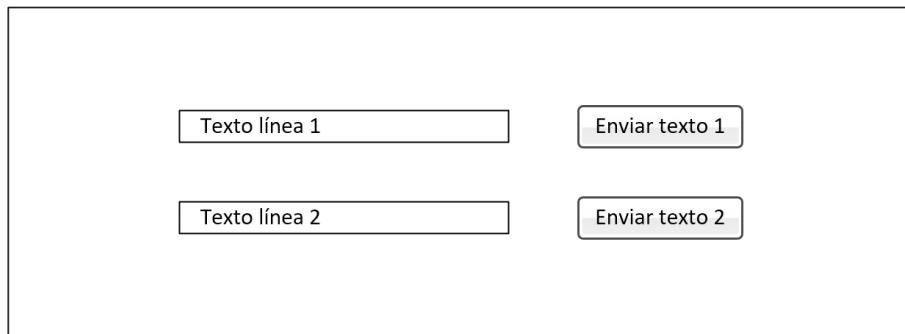


Figura C.9: Panel para enviar un texto al LCD

Con unos controles deslizantes, el usuario puede cambiar la intensidad del brillo de los LED regulados por PWM.

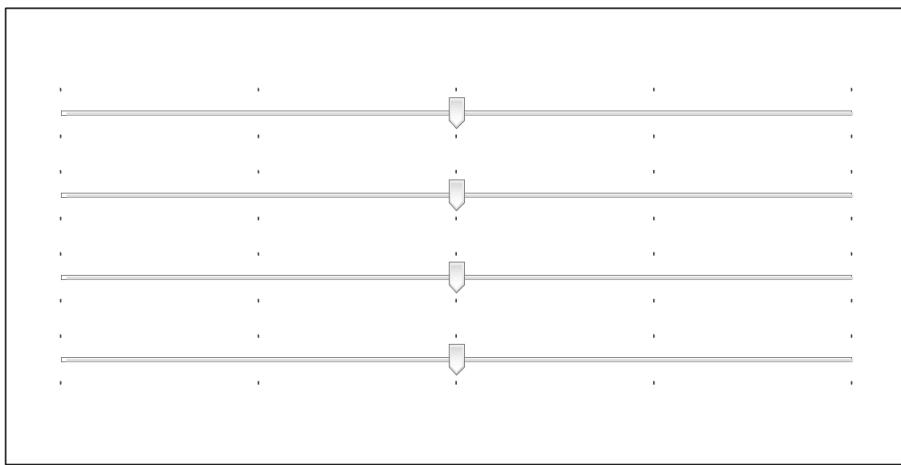


Figura C.10: Panel para regular el brillo de los LED PWM

La interfaz completa se construye según lo definido en el siguiente diseño.

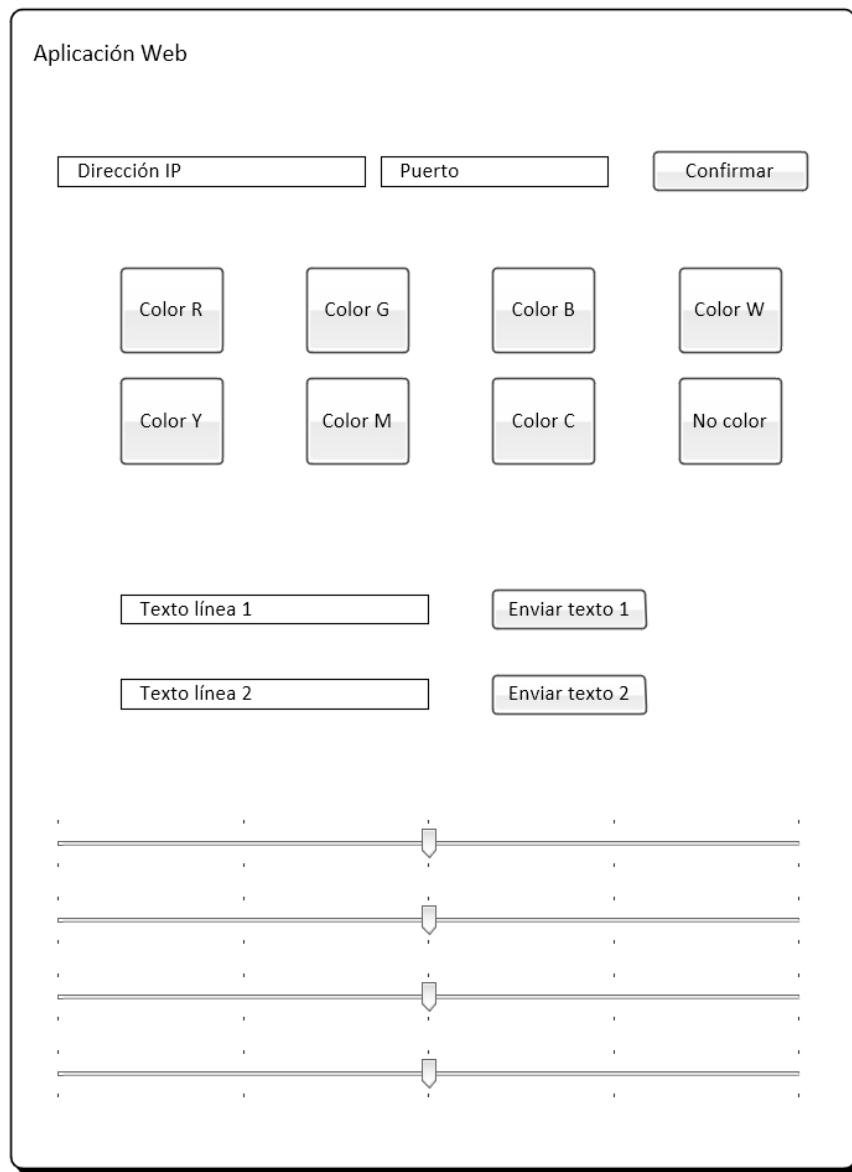


Figura C.11: Diseño de la interfaz

C.4. Diseño procedimental

Apéndice D

Documentación técnica de programación

D.1. Introducción

Para que cualquier persona interesada en conocer, modificar o extender el sistema desarrollado, este apéndice muestra los aspectos a tener en cuenta para lograrlo.

Como los componentes del sistema, el sistema empotrado y la aplicación web, tienen características tan diferentes cada uno necesita herramientas específicas para su desarrollo.

Se detallan las particularidades de cada herramienta, los ajustes de configuración, la estructura que toman los directorios con los ficheros y los pasos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto.

D.2. Estructura de directorios

Para empezar a trabajar con el proyecto lo primero que se necesita es una copia del código fuente. La manera más sencilla de consultar y obtener el código es acudir a los repositorios de GitHub. Hay un repositorio dedicado al *software* del sistema empotrado [23] y otro para el *software* de la aplicación web [24].

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

Estructura de directorios del sistema empotrado

El código fuente del *software* del sistema empotrado toma la siguiente estructura:

/ Directorio raíz, contiene el resto de directorios. Incluye el fichero LICENSE que contiene los términos y condiciones del licenciamiento del *software*. Además contiene un fichero de tipo “mex” generado por el entorno de desarrollo (IDE) que sirve para configurar el *hardware* de la placa de desarrollo. Y el fichero Doxyfile que configura la herramienta de documentación.

/CMSIS/ Fuentes pertenecientes al Cortex Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS). Proporciona interfaces al procesador y sus periféricos.

/amazon-freertos/ Fuentes pertenecientes a FreeRTOS, el RTOS usado por el sistema empotrado.

/board/ Fuentes autogenerados por el IDE y sus Config Tools que permiten habilitar y configurar el *hardware* de la placa de desarrollo.

/doc/ Contiene la documentación del código y del proyecto.

/doc/amazon-freertos/ Documentación incluida con FreeRTOS.

/doc/lwip/ Documentación incluida con lwIP.

/doc/memoria/ Documentación del proyecto, la memoria descriptiva junto con sus apéndices.

/doc/html Documentación del código fuente generada por Doxygen.

/drivers/ Fuentes con los controladores necesarios para trabajar con el *hardware*.

/lwip/ Fuentes relativos a lwIP, la implementación de la pila de protocolos TCP/IP.

/source/ Código fuente del proyecto. A destacar, el fichero “main.c” encargado del funcionamiento general del sistema. Están presentes los ficheros encargados de tratar con *hardware*. También se encuentran los ficheros de configuración.

/startup/ Código de arranque generado por el IDE.

/utilities/ Código generado por el IDE con utilidades auxiliares usadas para depuración o registro de eventos.

Estructura de directorios de la aplicación web

El código fuente del *software* de la aplicación web toma la siguiente estructura:

/ Directorio raíz, contiene el resto de directorios. Aquí se ubica el fichero “pom.xml” usando por la herramienta Maven para la gestión y construcción del proyecto.

/doc/ Documentación del código fuente generada por Javadoc.

/src/main/ Contiene todo el código perteneciente a la aplicación web.

/src/main/java/ Código Java que implementa la lógica de negocio.

/src/main/webapp/ Contiene el fichero XHTML con el código de la interfaz web.

/src/main/webapp/WEB-INF Contiene los ficheros XML usados por el servidor de aplicaciones.

/src/main/webapp/resources/ Recursos adicionales de la interfaz web.

/src/main/webapp/resources/css/ Contiene el fichero CSS que modifica el aspecto de la interfaz.

/src/main/webapp/resources/images/ Contiene las imágenes y otros recursos gráficos a usar en la interfaz.

D.3. Manual del programador

Para desarrollar el proyecto se han utilizado dos IDE diferentes, uno para cada *software*. Aunque no es indispensable usar las mismas herramientas, a continuación se muestra como obtener, instalar, configurar y utilizarlas de la misma manera que se ha hecho durante el proyecto.

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

MCUXpresso IDE

Instalación de MCUXpresso IDE

El IDE se puede obtener gratuitamente desde la zona de Recursos para desarrolladores de NXP [25]. El único requisito establecido por NXP es tener una cuenta registrada, gratuita también, en su sitio web.

Una vez iniciada la sesión y accedido al área de descarga se puede obtener la versión más reciente del IDE. De ser necesario, también es posible descargar una versión antigua desde la pestaña *Previous*.

Tras aceptar los términos y condiciones de uso se muestran los enlaces de descarga de los instaladores del IDE.

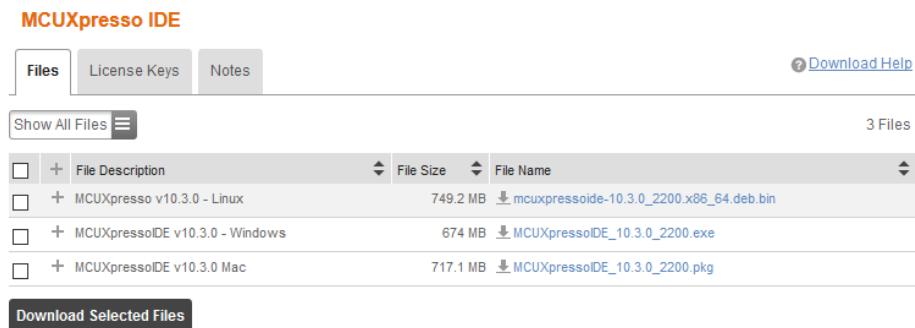


Figura D.1: Descarga de MCUXpresso IDE

El instalador sigue el proceso de instalación habitual a la mayoría de programas. Aceptar licencia de uso, indicar la ubicación del programa e informar que se van a instalar controladores de depuración son los pasos más relevantes.

Concluida la instalación MCUXpresso solicita la ubicación del espacio de trabajo o *workspace* donde situar los proyectos. Cuando MCUXpresso está listo para su uso presenta el aspecto habitual a cualquier otro IDE basado en Eclipse IDE.

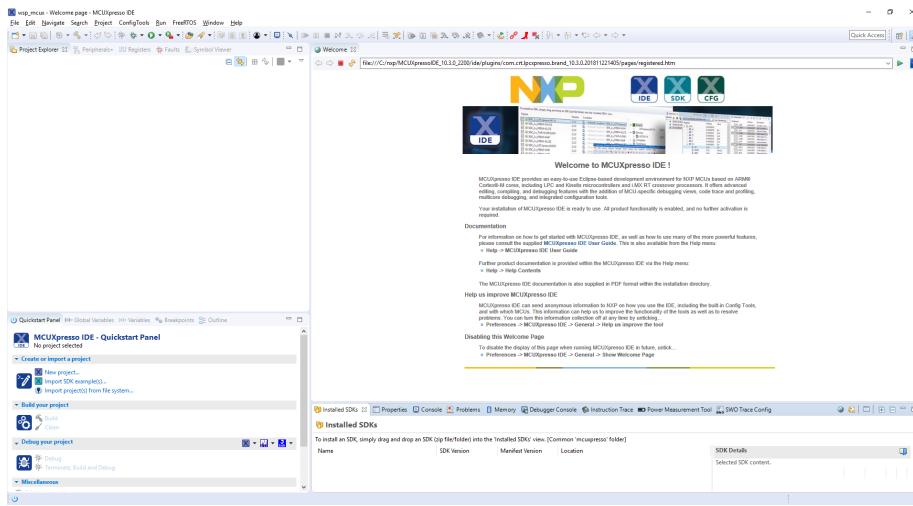


Figura D.2: MCUXpresso recién instalado

Instalación de MCUXpresso SDK

MCUXpresso IDE lleva integrado las MCUXpresso Config Tools, sin embargo, es necesario instalar MCUXpresso SDK, el kit de desarrollo de software (SDK), que incluye los *drivers*, *middleware* y otras utilidades necesarias para el desarrollo.

Las características del SDK están descritas en la web de NXP [26] al igual que las de MCUXpresso IDE. En cambio, la descarga se realiza desde un sitio dedicado a la configuración de los SDK.

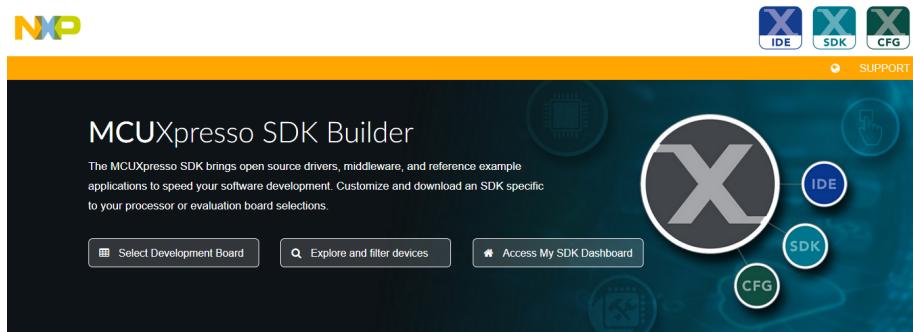


Figura D.3: Sitio de MCUXpresso SDK Builder [27]

El sitio de configuración de SDK permite personalizar, o construir, un SDK específico para la placa de desarrollo utilizada. Además permite seleccionar que componentes incluir o no en el SDK.

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

Para poder descargar el SDK, NXP requiere iniciar sesión con una cuenta de usuario de la misma manera que en la descarga del MCUXpresso IDE.

Dentro del configurador, el primer paso necesario consiste en buscar el *hardware* para el que está destinado el SDK. En este caso, el *hardware* de desarrollo va a ser la placa de desarrollo FRDM-K64F.

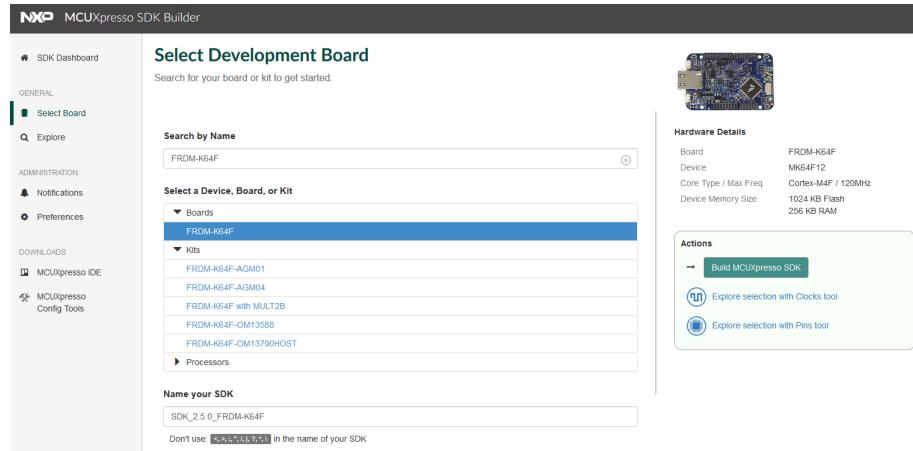


Figura D.4: Selección de la placa de desarrollo [27]

Seleccionada la placa de desarrollo falta configurar el SDK a las necesidades del proyecto. La elección del sistema operativo puede variar entre desarrolladores por lo que queda en su mano la elección. Por otro lado, el IDE va a ser necesariamente MCUXpresso IDE.

Por último, hay que configurar el *middleware* incluido con el SDK. Los componentes mínimos a seleccionar son FreeRTOS y lwIP aunque no supone ningún inconveniente elegir más componentes.



Hardware Details

Board	FRDM-K64F
Device	MK64F12
Core Type / Max Freq	Cortex-M4F / 120MHz
Device Memory Size	1024 KB Flash 256 KB RAM

SDK Details

SDK Version:	2.5.0 (released 2018-12-17)
Host OS:	Linux
Toolchain:	MCUXpresso IDE SDK v2.5.x requires MCUXpresso IDE v10.3.x or later
Middleware:	CMSIS DSP Library, Aml, AWS IoT, Azure IoT, emWin, FatFS, ISSDK, LVHB, lwIP, mbedtls, mcu-boot, MMCAU, multicore, NTAG I2C, sdmmc stack, Secure Element, secure-subsystem, Sigfox, USB stack, wifi_qca, wolfssl, Amazon-FreeRTOS Kernel

Documentation

Base SDK:	MCUXpresso SDK API Reference Manual
Middleware:	ISSDK API Reference Manual

Figura D.5: Resumen del SDK completo [27]

MCUXpresso IDE ofrece una vista con los SDK instalados. Para agregar el SDK recién descargado basta con hacer clic derecho en dicha vista e importar el fichero comprimido con el SDK. Como alternativa, también sirve arrastrar el fichero a la vista para para importar el SDK.

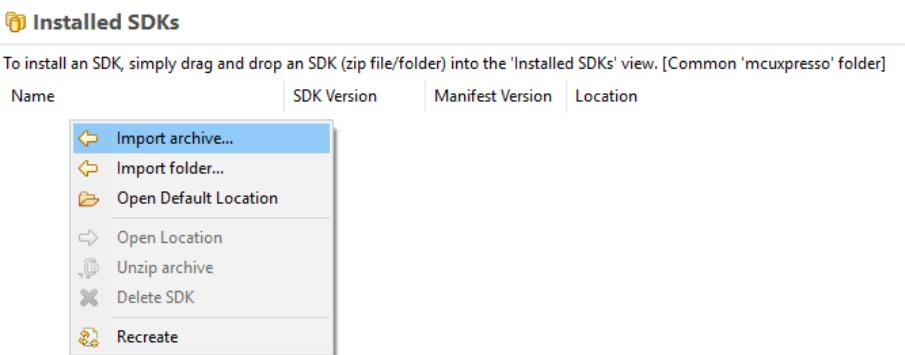


Figura D.6: Importación del SDK

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

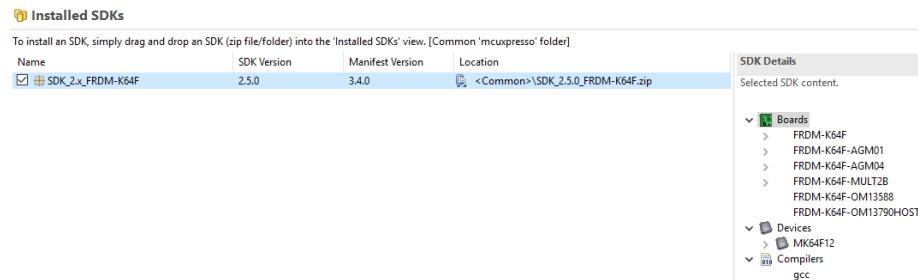


Figura D.7: Detalles del SDK correctamente importado

Importación del proyecto

Para empezar a trabajar con el proyecto falta importar una copia el código fuente. Una opción consiste en importar el proyecto directamente desde una carpeta con los ficheros o desde un fichero con el proyecto comprimido.

Copiarlo desde un repositorio es otra opción que permite obtener la versión del código más reciente. El código del *software* del sistema empotrado se halla en GitHub [23].

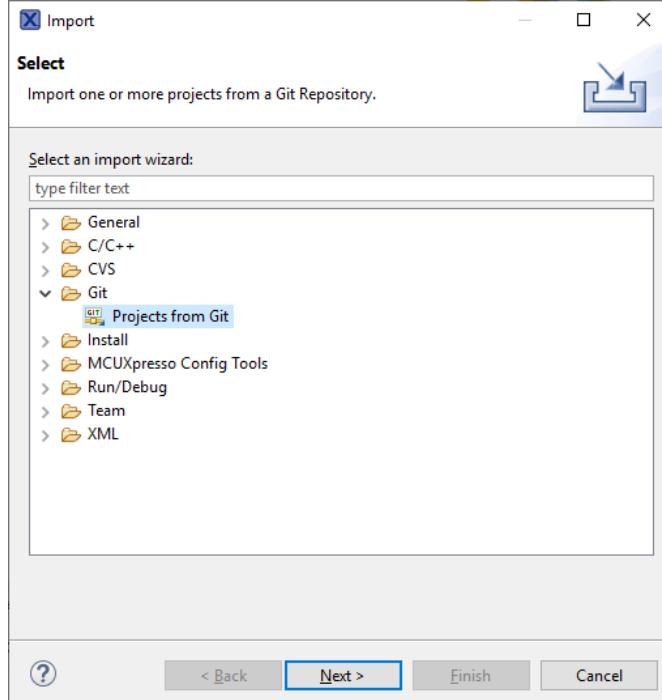


Figura D.8: Importación del proyecto desde GitHub

La introducción de credenciales es necesaria para poder realizar *commit*, *push* y el resto de operaciones de Git con destino a GitHub, siempre y cuando se tengan permisos para operar en el repositorio. Sino, solo se puede trabajar en local.

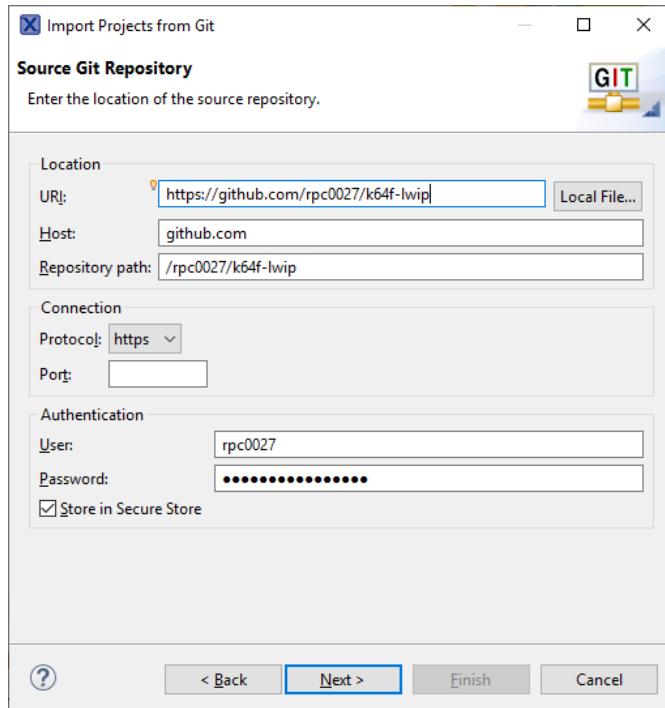


Figura D.9: Datos del repositorio

Al aceptar la conexión con el repositorio, una serie de ventanas solicita más información respecto a la ubicación del repositorio local, el proyecto a importar y si el proyecto se importa directamente o no.

Completado el proceso de importación el proyecto se encuentra listo para trabajar con él.

Vista general de las Config Tools

Uno de los elementos diferenciadores de MCUXpresso respecto a IDE anteriores es la incorporación de las Config Tools o herramientas de configuración.

En concreto, son tres herramientas que permiten configurar tres componentes del sistema: pines, relojes y periféricos. Además, generan automáticamente el código oportuno para habilitar e inicializar los dispositivos

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

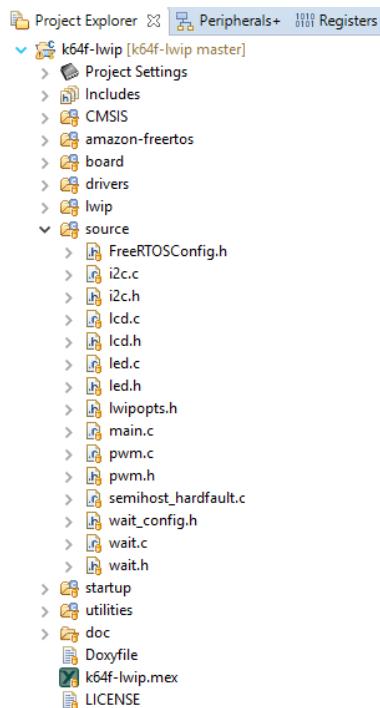


Figura D.10: Proyecto correctamente importado

configurados. El acceso a estas herramientas se consigue cambiando a sus respectivas perspectivas.

Con Pin Tools se configuran los pines del microcontrolador (MCU) enrutando sus pines con la salida o la entrada adecuada. Los pines se pueden seleccionar y enrutar en la vista “Pins” de la herramienta. Además, Pin Tools permite asociar los pines en grupos. De esta manera es posible habilitar e inicializar grupos de pines concretos simultáneamente.

Peripheral Signals							
Pin	Pin name	Label	Identifier	GPIO	UART	FTM	ADC
39	RMIIO_RXER			PTA5		FTM0_CH2	
40	VDD63						
41	VSS64						
42	RMIIO_RXD1			PTA12		FTM1_CH0[...]	
43	RMIIO_RXD0			PTA13		FTM1_CH1[...]	
44	RMIIO_CRS_DV			PTA14	UART0_TX		
45	RMIIO_TXEN			PTA15	UART0_RX		
46	RMIIO_RXDO			PTA16	UART0_CTS_b[...]		
47	RMIIO_TxD1			PTA17	UART0_RTS_b		ADC1_SE17
48	VDD80						
49	VSS81						
50	EXTAL0/PTA18/...			PTA18		FTM0_FLT2[...]	
51	XTAL0/PTA19/F...			PTA19		FTM1_FLT0[...]	
52	RESET_b						
53	RMIIO_MDIO			PTB0		FTM1_CH0[...]	ADC0_SE8[...]
54	RMIIO_MDC			PTB1		FTM1_CH1[...]	ADC0_SE9[...]
55	ADC0_SE12/PTB...			PTB2	UART0_RTS_b	FTM0_FLT3	ADC0_SE12
56	ADC0_SE13/PTB...			PTB3	UART0_CTS_b[...]	FTM0_FLT0[...]	ADC0_SE13
57	PTB9/SPI1_CS1...			PTB9	UART3_CTS_b		
58	ADC1_SE14/PTB...			PTB10	UART3_RX	FTM0_FLT1	ADC1_SE14
59	ADC1_SE15/PTB...			PTB11	UART3_TX	FTM0_FLT2	ADC1_SE15
60	VSS109						
61	VDD110						
62	PTB16/SPI1_SO...			PTB16	UART0_RX	FTM_CLKIN0[...]	FB_-
63	PTB17/SPI1_SIN...			PTB17	UART0_TX	FTM_CLKIN1[...]	FB_-
64	PTB18/CANO_T...			PTB18		FTM2_CH0[...]	FB_-
65	PTB19/CANO_R...			PTB19		FTM2_CH1[...]	FB_-

Figura D.11: Pines del grupo Ethernet en verde brillante

Algunos pines requieren configuración adicional que se puede ajustar en la vista “Routed Pins”.

Routed Pins for BOARD_InitENET															
#	Peripheral	Signal	Route to	Label	Identifier	Direction	GPIO initial state	GPIO interrupt	Slew rate	Open drain	Drive strength	Pull select	Pull enable	Passive filter	Digital filter
39	ENET	RMIIO_RXER	RMIIO_RXER		n/a	Input	n/a	n/a	Fast	Disabled	High	Pullup	Disabled	Disabled	n/a
42	ENET	RMIIO_RXD1	RMIIO_RXD1		n/a	Input	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
43	ENET	RMIIO_RXD0	RMIIO_RXD0		n/a	Input	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
44	ENET	RMIIO_CRS_DV	RMIIO_CRS_DV		n/a	Input	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
45	ENET	RMIIO_TXEN	RMIIO_TXEN		n/a	Output	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
46	ENET	RMIIO_RXDO	RMIIO_RXDO		n/a	Output	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
47	ENET	RMIIO_RXD1	RMIIO_RXD1		n/a	Output	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
53	ENET	RMIIO_MDO	RMIIO_MDO		n/a	Input/Output	n/a	n/a	Fast	Enabled	Low	Pulldown	Enabled	Enabled	n/a
54	ENET	RMIIO_MDC	RMIIO_MDC		n/a	Output	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
90	ENET	TMR_1588_0	ENETO_1588_TMR0		n/a	Not Specified	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
91	ENET	TMR_1588_1	ENETO_1588_TMR1		n/a	Not Specified	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a
92	ENET	TMR_1588_2	ENETO_1588_TMR2		n/a	Not Specified	n/a	n/a	Fast	Disabled	Low	Pulldown	Disabled	Disabled	n/a

Figura D.12: Configuración de los pines del grupo Ethernet

La herramienta Clock Tools se utiliza para configurar los relojes del sistema empotrado. En la vista “Clocks Table” se pueden introducir los valores de configuración: frecuencias, multiplicadores, divisores... Por otra parte, la vista “Clocks Diagram” muestra de forma gráfica la configuración establecida en ese momento, aunque también permite cambiar los ajustes sobre el diagrama directamente.

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

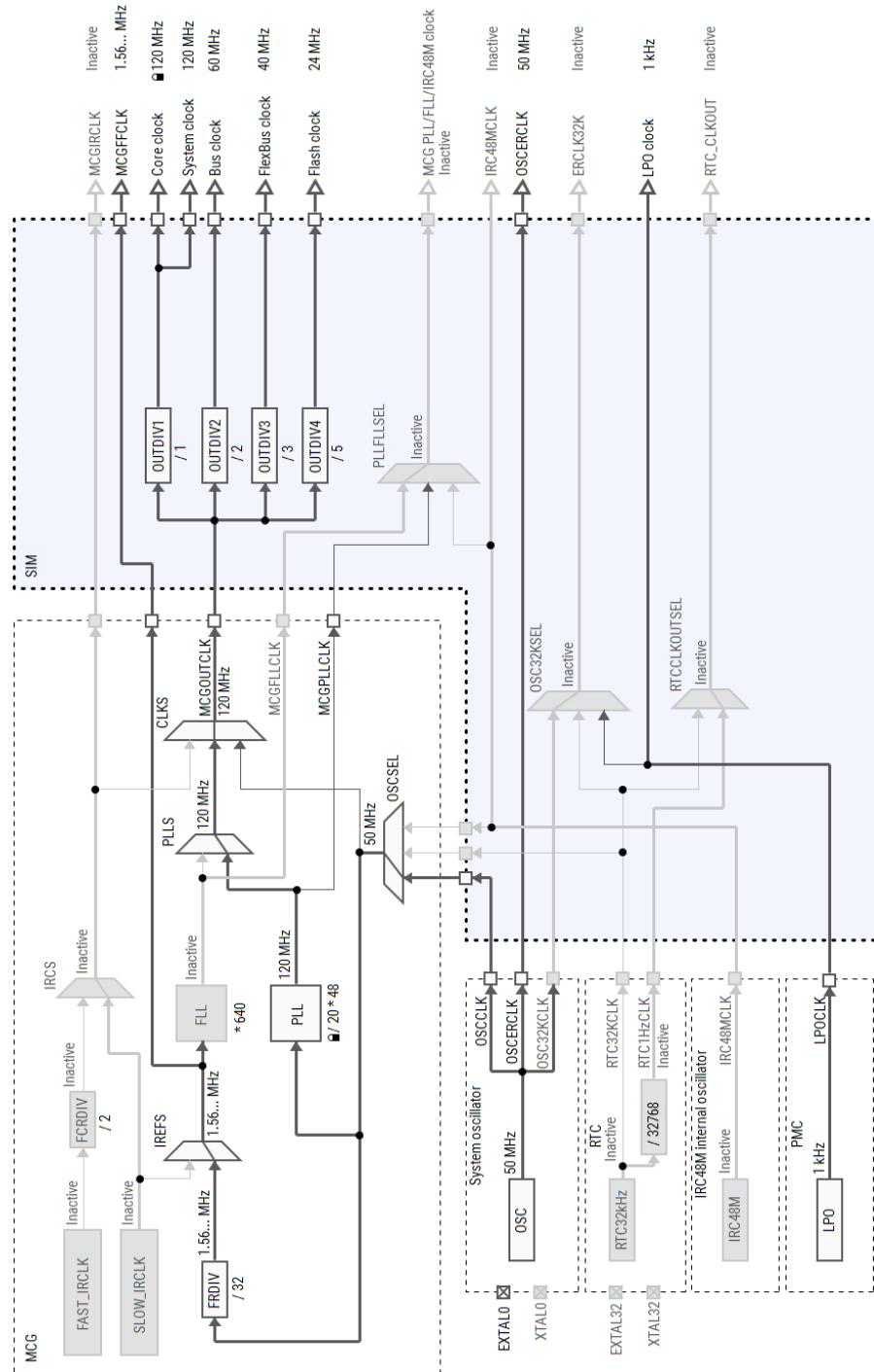


Figura D.13: Diagrama con los relojes del sistema

La última herramienta, Peripheral Tools, posibilita la configuración de los dispositivos periféricos conectados al MCU. En función del periférico se muestran las opciones específicas para cada uno de ellos.

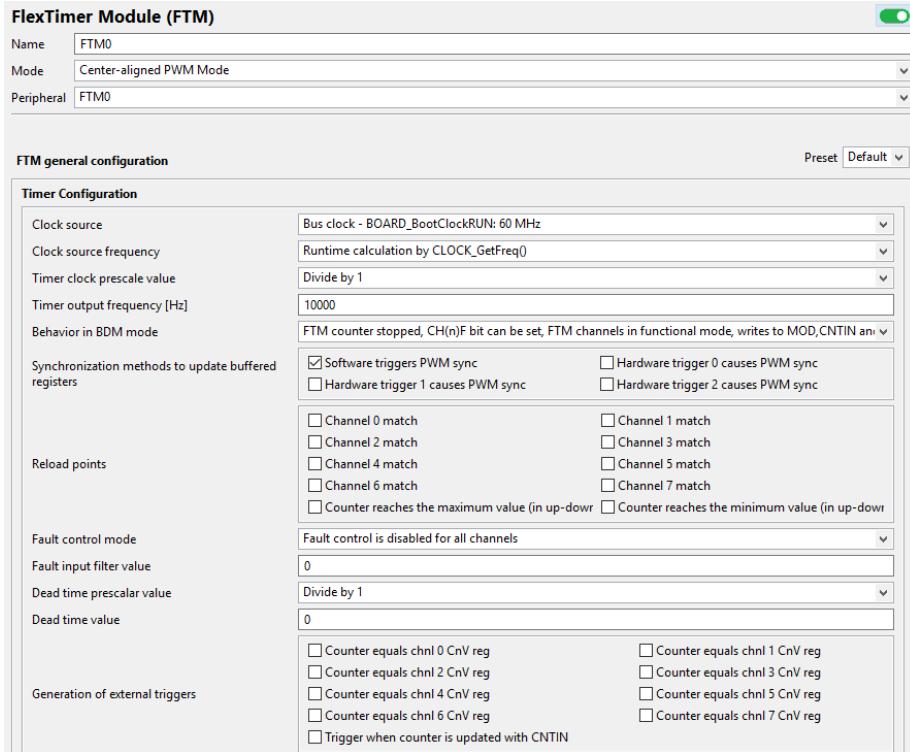


Figura D.14: Configuración del periférico FTM

Eclipse IDE

El desarrollo de la aplicación web requiere de varias herramientas aparte del propio IDE. Una es el kit de desarrollo de Java, JDK, y la otra es el SDK de Java EE. Además, como se usa Maven para la gestión del proyecto, también es necesaria su instalación.

Instalación de JDK

El JDK se puede obtener de la zona de descargas de Oracle [28]. Como el JDK es utilizado por el resto de herramientas, su descarga e instalación se debe realizar en primer lugar. El instalador se encarga de todo el proceso a excepción de la creación de dos variables de entorno.

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

Para poder usar el JDK desde la consola de comandos, es necesario crear una variable de entorno llamada “JAVA_HOME” que apunte al directorio de instalación del JDK. Después, hay que modificar el “PATH” al que hay que añadir la nueva variable.

Instalación de Maven

Maven está disponible en su sitio web [29]. La descarga consiste en un fichero comprimido que no contiene ningún instalador. Para su uso, basta con descomprimir el fichero en algún directorio del sistema. Después, para localizar el directorio hay que crear una variable de entorno al igual que con el JDK. En este caso, la variable se tiene que llamar “M2_HOME” y también hay que agregarla al “PATH”.

Instalación de GlassFish

La manera de instalar GlassFish es similar a la anterior. Hay que descargar un fichero comprimido desde su sitio web [30], descomprimir el fichero en un directorio a elegir y que crear una variable que apunte a ese directorio. En este caso, la variable de entorno toma el nombre de “GLASSFISH_HOME” y también se añade al “PATH”.

Instalación de Eclipse IDE

El instalador del IDE se puede obtener libremente desde el sitio de Eclipse [31]. Como existen varias versiones de Eclipse, el instalador permite escoger la versión requerida, en este caso, se selecciona “Eclipse IDE for Enterprise Java Developers”.



Figura D.15: Instalador de Eclipse IDE

Después de terminar la instalación de Eclipse, es necesario instalar una pequeña herramienta llamada Eclipse GlassFish Tools capaz de conectar el GlassFish con Eclipse. De esta manera es posible publicar las aplicaciones web y controlar el estado del servidor directamente desde el IDE.

La herramienta se encuentra disponible tanto en el Eclipse Marketplace como en el repositorio de la propia herramienta [32]. Una vez instalada, se puede configurar el servidor desde la vista “Servers”.

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

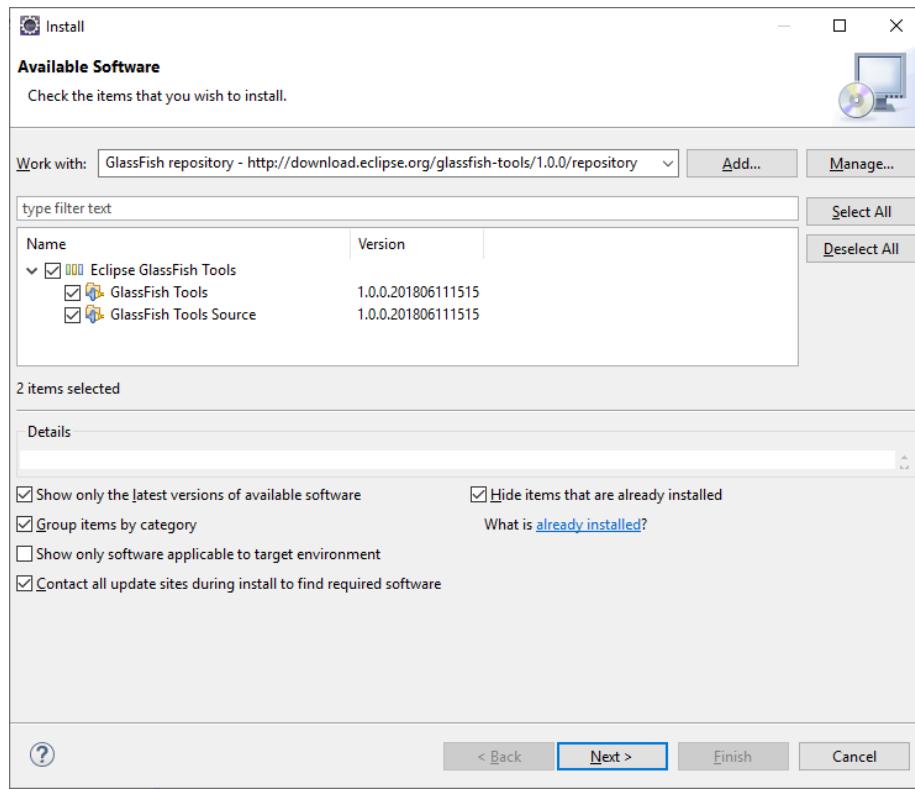


Figura D.16: Instalación de las Eclipse GlassFish Tools

Importación del proyecto

La importación del proyecto es similar a la descrita para MCUXpresso [D.3](#), bien importando un fichero o bien descargándolo desde GitHub [\[24\]](#).

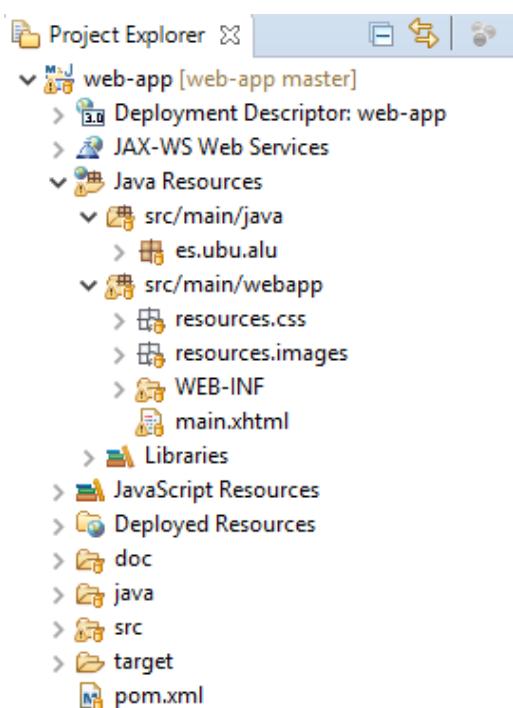


Figura D.17: Proyecto correctamente importado

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

D.4. Compilación, instalación y ejecución del proyecto

Con los entornos de desarrollo y sus respectivos proyectos preparados es posible compilar los códigos fuente. Dependiendo del *software* a ejecutar es necesario tomar diferentes caminos para su puesta en marcha.

Compilación, escritura y ejecución del sistema empotrado

Existen varias vías para compilar el código fuente. Una de ellas es hacer clic derecho sobre el proyecto y en el menú contextual, pulsar sobre “Build Project”. Otra forma es pulsar sobre su ícono en la barra de herramientas.

Para realizar la escritura, o *flash*, de los binarios en el sistema empotrado y que pueda ejecutarlos hay que lanzar desde el IDE la operación de “Debug”. Igual que la compilación, se puede hacer desde el menú contextual o desde la barra de herramientas. Cabe decir que la operación de depuración ejecuta automáticamente la de compilación, haciendo innecesario tener que ordenarla manualmente.

La primera vez que se lanza un *debug* el IDE solicita la identificación de la placa de desarrollo. Para identificar la placa de desarrollo hay que especificar el uso de “SEGGER J-Link probes”, compatibles con OpenSDA, el adaptador serie y de depuración integrado en la placa.

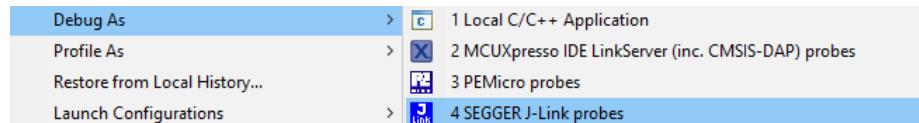


Figura D.18: Reconocimiento de la placa de desarrollo

D.4. COMPILACIÓN, INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

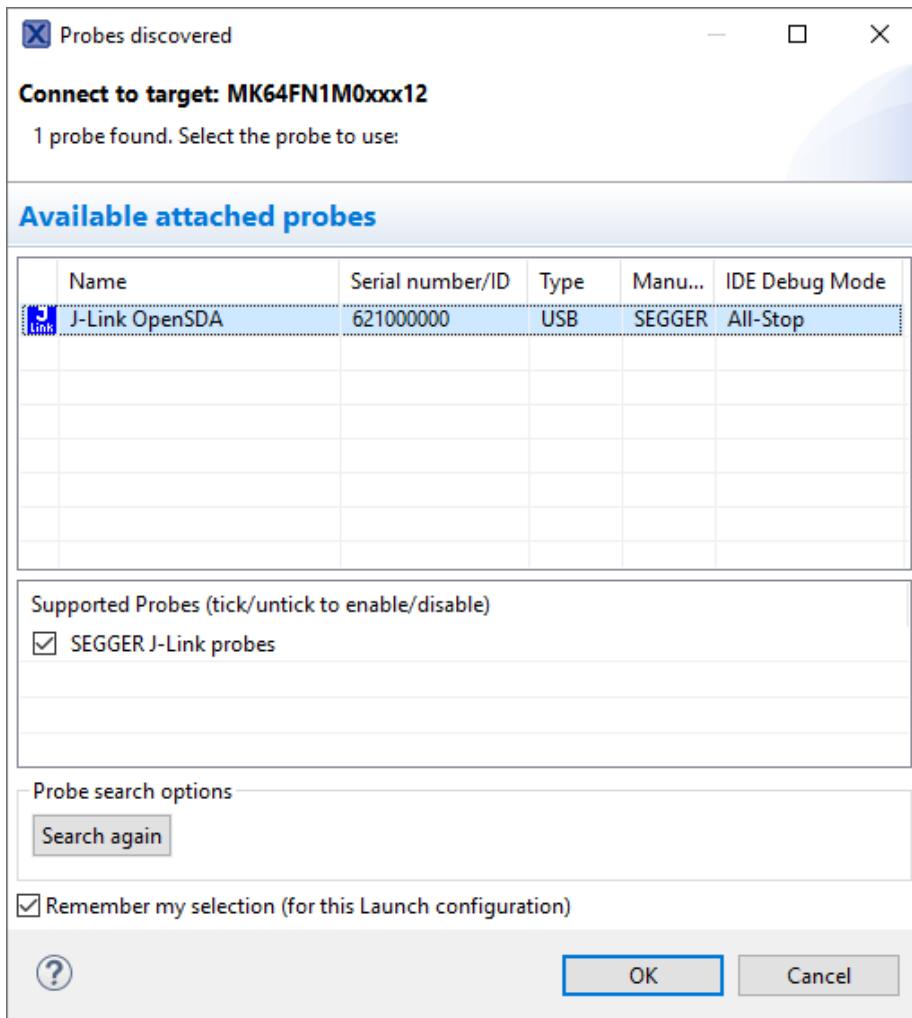
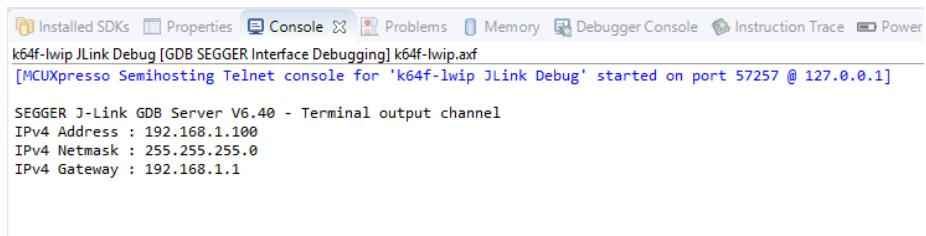


Figura D.19: Placa de desarrollo reconocida

Cuando la placa dispone del *software* arranca su ejecución. Al estar en modo de depuración, la consola de depuración se activa y queda lista para mostrar los mensajes enviados por la placa cuando corresponda.

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN



The screenshot shows a software interface for debugging a microcontroller. The title bar reads "k64f-lwip JLink Debug [GDB SEGGER Interface Debugging] k64f-lwip.axf". Below it, a message says "[MCUXpresso Semihosting Telnet console for 'k64f-lwip JLink Debug' started on port 57257 @ 127.0.0.1]". The main window displays the following text:
SEGGER J-Link GDB Server V6.40 - Terminal output channel
IPv4 Address : 192.168.1.100
IPv4 Netmask : 255.255.255.0
IPv4 Gateway : 192.168.1.1

Figura D.20: Sistema en ejecución

Despliegue y ejecución de la aplicación web

Como la aplicación web depende de un servidor de aplicaciones para funcionar, se hace necesario desplegarla en uno antes de poder utilizarla.

Eclipse junto con la herramienta GlassFish Tool [D.3](#) permite realizar el despliegue automáticamente. Además, permite controlar el servidor de aplicaciones pudiendo iniciarla, detenerlo o incluso, actualizar los ficheros de una aplicación ya desplegada.

En la vista “Servers” y haciendo clic derecho sobre el servidor GlassFish se puede desplegar la aplicación pulsando en la opción “Add and remove” del menú contextual. En la ventana que aparece después, se selecciona la aplicación en el cuadro de la derecha y pulsando “Add >” queda configurada para ser publicada en el servidor.

Mientras el código de la aplicación no sea modificado, la aplicación tendrá el estado de sincronizada. Si el código cambia, su estado indicará que necesita ser vuelta a publicar.

Si el despliegue se ha completado con éxito, ya es posible acceder a la aplicación web desde un navegador cualquiera. La URL de la aplicación es: <http://localhost:8080/web-app/>.

D.4. COMPILACIÓN, INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

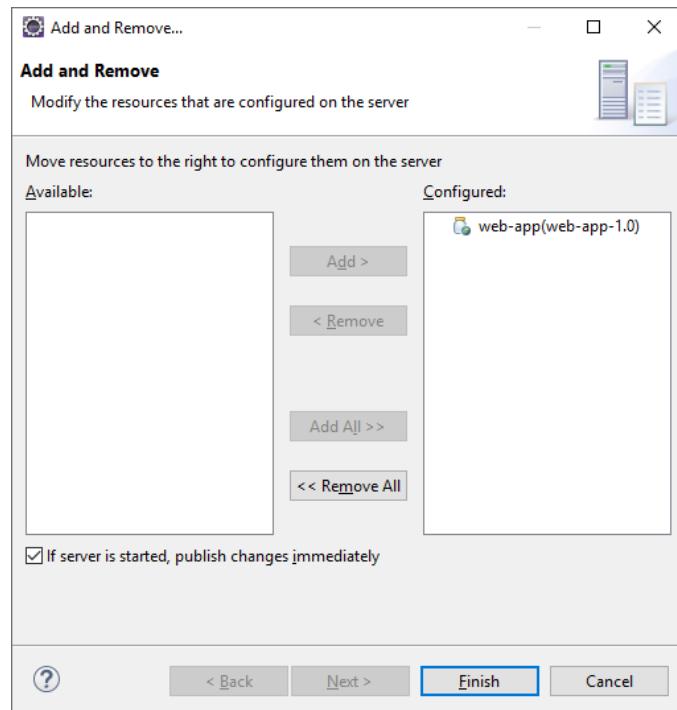


Figura D.21: Aplicación configurada para ser publicada

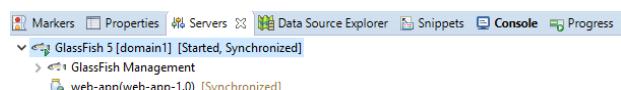


Figura D.22: Aplicación publicada

APÉNDICE D. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

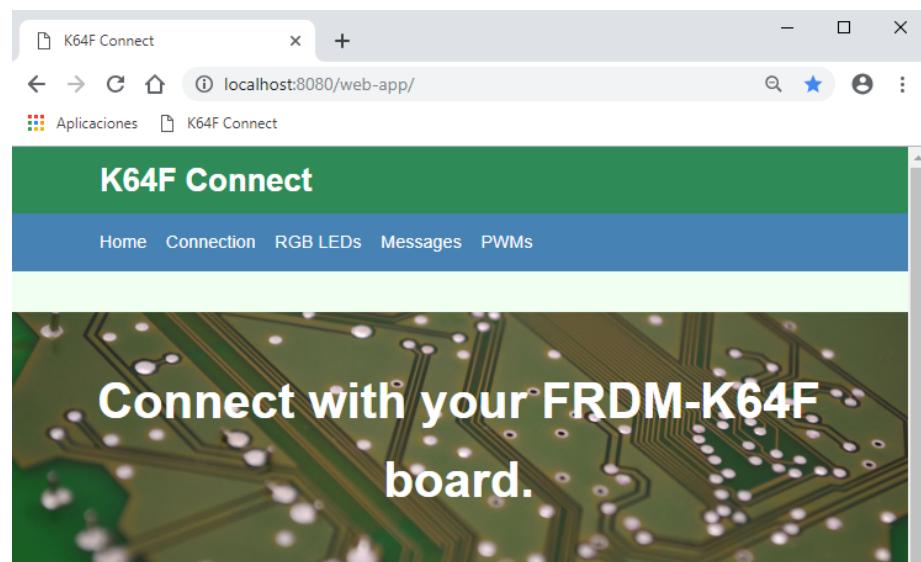


Figura D.23: Acceso a la aplicación web desde un navegador

D.4. COMPILACIÓN, INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO⁶⁹

Con Maven se presenta otra forma de abordar la construcción y publicación de la aplicación web. Ejecutando en el directorio raíz del proyecto el comando:

```
mvn package
```

Maven crea un archivo de tipo WAR, utilizados en Java para la distribución de aplicaciones web, llamado “web-app-1.0.war”. Ese archivo se puede publicar en el servidor con el siguiente comando:

```
asadmin deploy web-app-1.0.war
```

En caso de que la aplicación ya estuviera desplegada, por ejemplo, porque se ha desplegado desde Eclipse, el comando fallaría avisando de esta circunstancia. De no haber errores, la aplicación web queda disponible para ser utilizada usando la misma URL que en el caso anterior.

Apéndice E

Documentación de usuario

E.1. Introducción

Para que cualquier persona interesada pueda usar el sistema desarrollado, este apéndice muestra los pasos necesarios.

Se indican los requisitos para la puesta en marcha del sistema empotrado y de la aplicación web. También se indican las instrucciones para su correcta instalación. Por último, un pequeño manual explica brevemente las funciones accesibles desde la aplicación web.

E.2. Requisitos de usuarios

Como el sistema está compuesto por el sistema empotrado y por la aplicación web es requisito fundamental tener ambos componentes listos para su utilización por parte del usuario.

Requisitos del sistema empotrado

El sistema empotrado debe contar con el *software* almacenado en su memoria. En caso de no estarlo, se deben seguir los pasos descritos en el apéndice con la Documentación técnica de programación D, en concreto, la sección dedicada a la Compilación, escritura y ejecución del sistema empotrado D.4.

Para que el sistema empotrado pueda solicitar y recibir una dirección IP se utiliza el protocolo DHCP. Por lo tanto, se requiere de la presencia de un servidor DHCP en la red. Habitualmente, los *routers* usados en redes

pequeñas de tipo residenciales o Small Offices/Home Offices (SOHO) llevan incluido un servidor DHCP facilitando la instalación al usuario.

Requisitos de la aplicación web

La aplicación web es accesible desde cualquier navegador web. Se puede usar cualquiera de los dispositivos habituales usados para acceder a la web. Bien sean equipos de sobremesa o sean dispositivos móviles.

Como la aplicación se ejecuta en un servidor de aplicaciones, es necesario contar con uno en la misma red donde se conecta el sistema empotrado. Las instrucciones sobre como desplegar la aplicación se detallan en el apéndice con la Documentación técnica de programación D, en concreto, la sección dedicada a la Compilación, escritura y ejecución de la aplicación web D.4.

E.3. Instalación

Si se cumplen los requisitos anteriores, la instalación se reduce a conectar y arrancar el sistema empotrado.

Para establecer la conexión a la red basta con un cable de par trenzado conectado al sistema empotrado en un extremo y a un *switch*, *router* u otro dispositivo de acceso a la red en el otro.

Para finalizar, el arranque del sistema empotrado se realiza automáticamente cuando se conecta un cable USB en alguno de sus puertos Micro-USB. Esta conexión se encarga de suministrar la alimentación eléctrica al sistema.



Figura E.1: Arranque del sistema empotrado

Una vez encendido, el sistema empotrado solicitará una dirección IP. Tras obtenerla, la mostrará por pantalla junto al puerto TCP abierto. Cuando se muestran estos datos ya es posible enviar instrucciones al sistema empotrado desde la aplicación web.

E.4. Manual del usuario

La aplicación web está accesible desde la URL `http://servidor:8080/web-app/`, siendo “servidor” la dirección del servidor de aplicaciones.

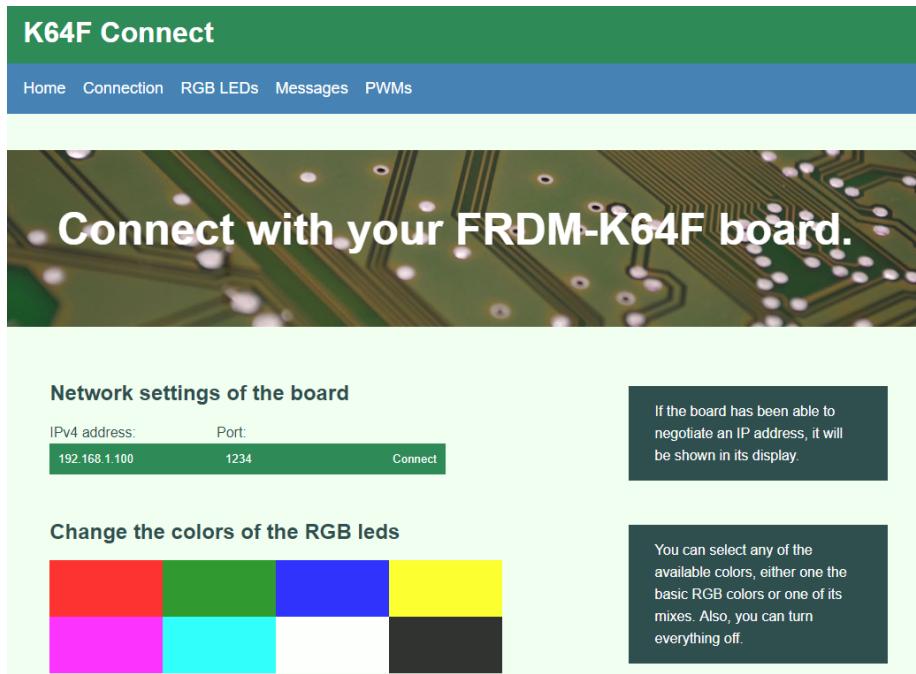


Figura E.2: Vista general de la web

Los botones de la barra de navegación permiten desplazarse directamente a las funciones.



Figura E.3: Barra de navegación

Para poder transmitir las instrucciones al sistema empotrado hay que indicar los ajustes de red. Por defecto se muestra un ejemplo del tipo de direcciones habitual en redes locales y el puerto TCP usado durante el desarrollo.

Estos datos los proporciona el sistema empotrado tras su arranque.

Tras escribir los datos, pulsando conectar la aplicación web queda preparada para comunicarse con ese sistema empotrado.



Figura E.4: Ajustes de red iniciales



Figura E.5: IP y puerto del sistema empotrado



Figura E.6: Ajustes de red establecidos

La primera función disponible es el encendido de las luces de colores usando los LED RGB. El color de cada botón refleja el color de la luz a mostrar. En cambio, pulsando el negro se apagan todos los LED encendidos.

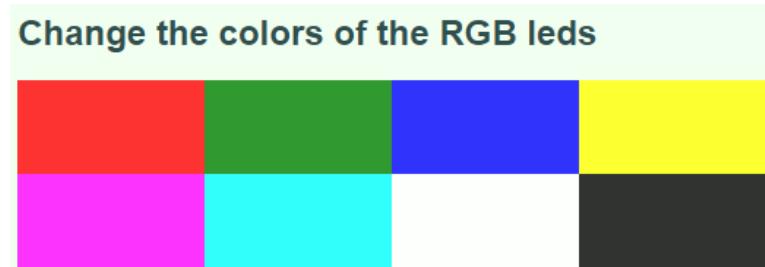


Figura E.7: Colores iluminables con los LED RGB

La segunda función muestra cadenas de caracteres en la pantalla LCD del sistema empotrado. Para cada línea del LCD se proporciona un cuadro

de texto diferente. Cada cuadro se acompaña de un botón para confirmar el envío del mensaje.



Figura E.8: Envío de mensajes a la pantalla LCD

Por ejemplo, enviando el texto que aparece por defecto la pantalla de sistema empotrado la muestra de la siguiente manera.¹



Figura E.9: Mensajes enviados a la pantalla LCD

La tercera y última función disponible es la regulación de la intensidad del brillo de unos LED mediante PWM. Para realizar esta regulación se muestran cuatro controles deslizantes de colores. Cada uno con el color del LED que regula.

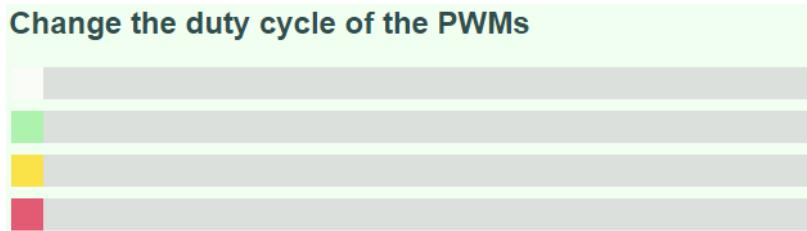


Figura E.10: Controles deslizantes para los LED PWM

Todos los controles parten de la posición inicial de apagado (o 0%). Deslizándolos a derecha e izquierda se puede ajustar al valor que se quiera.

¹Como el texto por defecto supera el límite de 16 caracteres del LCD, la última palabra se descarta.

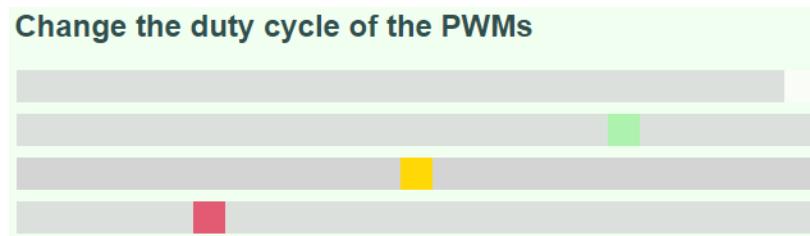


Figura E.11: Controles ajustados a diferentes valores

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/B0CYL-D-18092013-1.pdf>.
2. AGENCIA ESTATAL DE ADMINISTRACIÓN TRIBUTARIA. *RETENCIONES E INGRESOS A CUENTA DEL IRPF EN LOS EJERCICIOS 2017 y 2018* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: https://www.agenciatributaria.es/static_files/AEAT/Contenidos_Comunes/La_Agencia_Tributaria/Informacion_institucional/Campanias/Retenciones_trabajo_personal/2018/Cuadro_tipo_retencion_2018.pdf.
3. 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>.
4. 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>.
5. MICROSOFT. *Windows 10 Pro* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.microsoft.com/es-es/p/windows-10-pro/df77x4d43rkt/48DN>.
6. MICROSOFT. *Office 365* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://products.office.com/es-ES/business/office>.

7. ADOBE. *Creative Cloud para equipos* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://www.adobe.com/es/creativecloud/business/teams.html>.
8. FARRELL 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>.
9. MK ELECTRÓNICA. *BASIC I/O* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://mkelectronica.com/producto/basic-i-o/>.
10. FARRELL 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>.
11. FARRELL 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>.
12. FARRELL COMPONENTS SL. *WIRE BUNDLE, BREADBOARD* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.farnell.com/adafruit-industries/153/wire-bundle-breadboard/dp/2409349>.
13. FARRELL COMPONENTS SL. *Cable de Ethernet* [online] [visitado 2019-02-06]. Disponible desde: <https://es.farnell.com/videk/2996-1y/cable-de-conexion-cat6-amarillo/dp/1525699>.
14. 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>.
15. 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>.
16. 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>.
17. 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>.

18. 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>.
19. 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>.
20. WIKIMEDIA COMMONS. *Tcp-handshake* [online]. 2010 [visitado 2019-02-07]. Disponible desde: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tcp-handshake.svg>.
21. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *IEEE 42010-2011: ISO/IEC/IEEE Systems and software engineering – Architecture description* [online]. 2011 [visitado 2019-02-08]. Disponible desde: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tcp-handshake.svg>.
22. ORACLE. *javaserverfaces-spec* [online] [visitado 2019-02-08]. Disponible desde: <https://javaee.github.io/javaserverfaces-spec/>.
23. RPC0027. *k64f-lwip* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://github.com/rpc0027/k64f-lwip>.
24. RPC0027. *web-app* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://github.com/rpc0027/web-app>.
25. NXP SEMICONDUCTORS. *MCUXpresso Integrated Development Environment (IDE)* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://www.nxp.com/support/developer-resources/software-development-tools/mcuxpresso-software-and-tools/mcuxpresso-integrated-development-environment-ide:MCUXpresso-IDE>.
26. NXP SEMICONDUCTORS. *MCUXpresso Software Development Kit (SDK)* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://www.nxp.com/support/developer-resources/software-development-tools/mcuxpresso-software-and-tools/mcuxpresso-software-development-kit-sdk:MCUXpresso-SDK>.
27. NXP SEMICONDUCTORS. *MCUXpresso SDK Builder* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://mcuxpresso.nxp.com/en/welcome>.

28. ORACLE. *Java EE 8 SDK Downloads* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/downloads/index.html>.
29. THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. *Welcome to Apache Maven* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://maven.apache.org/>.
30. ECLIPSE FOUNDATION. *Eclipse GlassFish* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://projects.eclipse.org/projects/ee4j.glassfish>.
31. ECLIPSE FOUNDATION. *Eclipse IDE* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://www.eclipse.org/eclipseide/>.
32. ECLIPSE FOUNDATION. *Eclipse GlassFish Tools* [online] [visitado 2019-02-09]. Disponible desde: <https://projects.eclipse.org/projects/webtools.glassfish-tools>.



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#).