

CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

PIDS: Sistema de información visual para pasajeros de Trenes Argentinos

Autor:

Ing. Carlos German Carreño Romano

Director:

Dr. Ing. Pablo Martín Gomez (UBA)

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre Marzo de 2020 y Diciembre de 2022.*

Resumen

En las formaciones ferroviarias modernas existen distintos sistemas de control que se interconectan a través de una red de comunicaciones (TCN). En particular, las formaciones de Trenes Argentinos cuentan con la TCN que sigue el estándar En Algunos ejemplos son el sistema de frenos, el control de puertas, el aire acondicionado y el sistema de información visual al pasajero (PIDS). El PIDS es el responsable de transmitir mensajes como el destino o la próxima estación a través de carteles de matriz led usando su propia red. El propósito de este trabajo es desarrollar firmware y hardware necesarios para controlar los carteles de matriz LED de salón (IDU) de las formaciones ferroviarias de Trenes Argentinos. El principal valor que aporta es generar herramientas de mantenimiento para extender la vida útil de los trenes. Si bien existen carteles led comerciales de propósito general, en los trenes hace falta conectarlos a la red, interpretar datos y protocolos del PIDS, presentar mensajes en función de los datos y considerar restricciones eléctricas. En el diseño e implementación del sistema embebido de este trabajo se aplicaron patrones de software concurrente (máquinas de estado y objeto activo) usando un sistema operativo de tiempo real (RTOS) sobre una plataforma EDU-CIAA. También se desarrollaron piezas de hardware para adaptar el sistema a la red y se realizaron capturas de tramas de datos en formaciones ferroviarias operando en vivo.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer al Dr. Ing. Pablo Gomez por su inagotable paciencia y excelente predisposición a lo largo de todo el tiempo que llevó concluir este trabajo. También quiero agradecer al Dr. Ing. Ariel Lutenberg por su empuje, su espíritu motivador y su actitud de concertación. Me gustaría destacar su liderazgo en la generación de propuestas concretas de vinculación entre la universidad y la industria a través de proyectos. También agradecer a ellos dos y a todo el plantel de profesores que han volcado a lo largo de los años un enorme y minucioso trabajo en el desarrollo de los contenidos del programa de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos. Ha sido altamente satisfactorio completar el posgrado.

Quiero agradecer al personal altamente calificado de la Gerencia de Material Rodante Eléctrico de la compañía Trenes Argentinos Operaciones (SOFSE), el Ing. Sergio Dieleke, y a todos los colaboradores que nos han brindado atención, seguridad y tiempo para realizar mediciones en las formaciones ferroviarias. En especial también quiero agradecer a Bruno Pilato por su colaboración desde los talleres de Castelar para realizar pruebas en conjunto durante la pandemia.

Por último también agradezco a Magui, que me brindó soporte en todo momento; a mi madre y padre por enseñarme a valorar tanto la formación académica como la experiencia técnica con igual importancia; y a mis tutores y colegas de la empresa con quienes comparto el día a día e intercambio ideas sumamente útiles para pensar fuera de la caja.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción	1
1.1. Introducción general	3
1.2. Objetivos y alcance	5
1.3. Estado del arte	8
1.4. Bibliografía	9
2. Introducción específica	11
2.1. Trenes: Red de comunicación TCN	11
2.2. PIDS: Sistema de información visual para pasajeros de trenes	12
2.3. Carteles y controladoras de matrices LED	13
3. Diseño e implementación	17
3.1. Requerimientos	18
3.2. Casos de Uso	19
3.3. Arquitectura	20
3.3.1. Contexto	20
3.3.2. Diseño	21
3.4. Patrones	22
3.5. Firmware	23
3.6. Hardware	24
4. Ensayos y resultados	27
4.1. Mediciones	27
4.2. Análisis de tramas	28
4.3. Pruebas en maqueta	29
4.4. Integración con red PIDS	30
4.5. Pruebas de campo	31
5. Conclusiones	33
5.1. Resultados obtenidos	34
5.2. Prospectivas	35
5.3. Bibliografía	36
Bibliografía	37

Índice de figuras

1.1.	Foto de una formación operativa de Trenes Argentinos. Se observa el cartel de matriz led frontal que indica el destino Tigre.	5
2.1.	11
2.2.	12
2.3.	13
2.4.	14
2.5.	15
2.6.	15
2.7.	16
2.8.	16
3.1.	20
3.2.	20
3.3.	20
3.4.	21
3.5.	21
3.6.	21
3.7.	22
3.8.	22
3.9.	23
3.10.	24
3.11.	25
3.12.	25

Índice de tablas

*Dedicado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de
Buenos Aires y a la empresa Trenes Argentinos
Operaciones*

Capítulo 1

Introducción

Los sistemas de información visual para pasajeros suelen estar presentes en diversas industrias y aplicaciones. Cumplen la función de facilitar información a pasajeros en tránsito. A grandes rasgos se componen de un sistema que genera o procesa información, una red de transmisión y carteles o pantallas que presentan mensajes para que las personas los consuman visualmente.

Estos sistemas tienen un rol fundamental en la industria del transporte. Las personas se trasladan tanto por tierra como por aire usando distintos medios tales como los automóviles, taxis, ómnibus, subtes, metros, trenes o aviones. En cada caso existen necesidades y soluciones de distintas características. En una autopista se suele comunicar accidentes u obras viales en ejecución a los conductores a través de carteles gigantes y con información en tiempo real. En los aeropuertos los pasajeros visualizan la información de arribo, estado o despegue de los vuelos programados. En estos sistemas se debe recolectar información de distintas aerolíneas. Por otro lado, los pasajeros de ómnibus pueden estar interesados en conocer las líneas en operación al llegar a la estación, y los tiempos de espera o de viaje durante el recorrido. En un caso los carteles suelen estar a la intemperie y en el otro dentro del coche, pero en ambos casos requieren estar sincronizados con los vehículos en movimiento. Los pasajeros en trenes usan estos sistemas para conocer el destino o la próxima estación cuando están viajando en una formación. En cada coche suele haber una o más unidades de visualización y en toda una formación una red de carteles sincronizados.

En este trabajo en particular se desarrolla el sistema de control para carteles de matriz led del sistema de información visual para pasajeros de trenes argentinos. Las formaciones de trenes argentinos cuentan con carteles de matriz led en sus coches y en el frente y contrafrente del tren. Todos los carteles se interconectan a una red de comunicación transversal por la que viajan datos de distintas fuentes: información de sensores, eventos que indican frenado o cierre de puertas, por citar algunos ejemplos.

Los carteles led presentan fallas a lo largo de su ciclo de vida. Esto implica realizar tareas de mantenimiento, reparación o reposición. Si bien existen muchos tipos de carteles led disponibles comercialmente, la integración al sistema de comunicaciones del tren es propietaria del fabricante de trenes. Para el caso de trenes argentinos, el proveedor en el caso de trenes está radicado en China, haciendo no sólo muy costoso sino también muy lento el proceso de reposición o mantenimiento

de este tipo de equipamiento. El desarrollo local de tecnología para sistemas de información visual al pasajero es estratégico porque extiende la vida útil de los trenes.

El desarrollo de un sistema a medida para Trenes Argentinos es el eje de este trabajo. La necesidad que prima es generar y brindar al personal de operaciones de la información necesaria para construir y mantener estos sistemas de información visual al pasajero. Como consecuencia, este trabajo también tiene impacto directo en el pasajero, ya que contribuye a la calidad del servicio.

En el capítulo 1 se introduce al lector a la motivación original del trabajo realizado. Se explica el marco de investigación del que forma parte este proyecto, se presenta el estado del arte en controles de carteles led.

En el capítulo 2 se introduce vocabulario técnico específico. Se presenta una descripción del sistema con el foco en la red de comunicaciones, el subsistema de visualización de información al pasajero, sus interacciones y componentes.

En el capítulo 3 se abordan cuestiones de diseño de sistema. Se especifican los requerimientos y casos de uso que se plantean en el espacio problema. Se detalla también la solución planteada en términos de arquitectura, patrones de software implementados, descripción de componentes e interfaces. Se incluye también circuitos eléctricos de las placas de hardware existentes al realizar este trabajo.

En el capítulo 4 se abordarán cuestiones relacionadas al entorno real del sistema: visitas técnicas, mediciones realizadas, hardware ad-hoc realizado para las mediciones y un breve análisis de las tramas de datos de la red PIDS existente.

En el capítulo 5 se tratan las conclusiones principales del desarrollo, su potencial fabricación en serie y los pasos a seguir para integrar al resto de ramales ferroviarios. En el apéndice de bibliografía se encontrarán las principales referencias técnicas, científicas e institucionales relevantes para este trabajo.

1.1. Introducción general

El cliente de mayor impacto de los servicios que provee un sistema PIDS es la red de transporte (trenes, subtes, metros, ómnibus) de una gran ciudad, debido a su masividad. Lo que se observa en general es que las empresas que proveen sistemas PIDS a las redes metropolitanas de transporte de las grandes ciudades lo hacen bajo formatos distintos. Algunas instalan televisores, otras carteles led, otras incluyen carteles impresos con algún elemento indicador tipo led, leds en forma de flecha para indicar nombres de estaciones impresos, pantallas led para desplegar publicidad entre mensajes, etcétera. En algunos países se han realizado esfuerzos durante la última década para que los sistemas PIDS faciliten el acceso a la información del transporte para personas con discapacidades y de edades avanzadas.

FOTOS

Cuatro principales consideraciones en el abastecimiento de un sistema de información al pasajero son: la disponibilidad de datos ya que su recolección puede requerir uso intensivo de recursos, la precisión de los datos ya que la recolección es susceptible a errores, los mecanismos de entrega de la información al pasajero como puede ser un cartel o una pantalla led y finalmente la latencia o tiempo de respuesta, donde aparecen soluciones de tiempo real.

[Hitachi] Una vez instalados, los sistemas PIDS suelen requerir mantenimiento. Muchas veces hay fallas de hardware, como por ejemplo leds que dejan de funcionar, una fuente de alimentación o una memoria que se deba reemplazar. Otras veces se requieren cambios en el software, por ejemplo actualizar el contenido de un mensaje o bien cambiarlo. Los atributos de mantenibilidad, versatilidad, modularidad y confiabilidad en la implementación pueden tener un impacto económico relevante en la operación de un servicio de transporte. Para líneas de trenes que cuentan con muchas formaciones ferroviarias operando en simultáneo, las tareas de actualización pueden ser muy intensivas en términos de horas de trabajo y requerir también capacitaciones técnicas periódicas al personal de mantenimiento. Incluso no todos los dispositivos pueden recibir actualizaciones en producción, esto es, en la locación física donde funciona. Muchas veces se los necesita desinstalar, llevar a un centro técnico y actualizar fuera de operación, lo que requiere de ventanas de mantenimiento y de tiempos reducidos para realizar tareas que pueden ser susceptibles a errores. Otra forma es enviar un técnico al sitio que pueda conectar algún periférico y actualizar manualmente cada dispositivo.

Hitachi ofrece una solución para publicidad de tres pantallas en array que se sincronizan para formar una sola y transmitir video. Cada uno de estos arreglos los posicionan arriba de las ventanas en ambos lados de los coches, alcanzando el despliegue de hasta dieciocho pantallas sincronizadas por coche. Con esto logran transmitir varios mensajes distintos en simultáneo a los pasajeros sin que tengan que moverse de su asiento.

https://www.hitachi.com/rev/archive/2021/r2021_05/05a09/index.html

Toshiba ofrece una solución que permite transmitir publicidad e información al pasajero en una misma pantalla LCD en simultáneo. La solución está centrada en la pantalla como dispositivo central, ofreciendo pantallas de 32 y 42 de 1920 x 540 píxeles, full color de hasta 16.7 millones de colores, de amplio ángulo de visión y de gran luminancia.

<https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/railway/rolling-stock/passenger-information-display.html>

1.2. Objetivos y alcance

El marco de este trabajo es un Proyecto de Desarrollo Estratégico (PDE) de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires (UBACyT). El PDE se titula PDE_15_2020 - "Sistema de monitoreo y gestión de la red TCN en formaciones ferroviarias". Las partes que se involucran y forman parte del equipo de trabajo en este proyecto son el Grupo de Investigación en Calidad y Seguridad de las Aplicaciones Ferroviarias (GICSAFE), creado en 2017 en el marco del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina, y la Operadora Ferroviaria Sociedad del Estado (SOFSE), también conocida como Trenes Argentinos Operaciones. El proyecto está orientado a cubrir necesidades tecnológicas concretas del sistema ferroviario argentino. Este tipo de proyectos son instrumentos de promoción científico-tecnológica que revalorizan e incrementan el aporte de la Universidad al desarrollo socioproductivo.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar e implementar un sistema de información visual para pasajeros a bordo del tren. El sistema de información visual para pasajeros existente tiene una parte manual y una automática. Cuando el conductor del tren toma cabina para brindar servicio, programa en una pantalla cuáles van a ser las estaciones cabecera. Los nombres de estas estaciones cabecera se visualizan en las marquesinas del frente y contrafrente del tren, como puede verse en la figura 1.1.



FIGURA 1.1. Foto de una formación operativa de Trenes Argentinos. Se observa el cartel de matriz led frontal que indica el destino Tigre.

En el interior de los coches también hay marquesinas led. En estas marquesinas se presentan mensajes a los pasajeros como el nombre de la próxima estación, o la estación arribada ("próxima estación Belgrano", "estás en estación Belgrano", por ejemplo). Ésta información se presenta automáticamente en base a variables de sistema que monitorean el detenimiento del tren, su velocidad y la apertura o cierre de puertas. Esta y otra información de monitoreo y

control viaja por una red de comunicación interna del tren que se denomina TCN (Train Communication Network) de acuerdo al estándar que la define [IEC-61375]. Este estándar define para la red TCN dos buses jerárquicos donde se conectan los subsistemas electrónicos: el WTB (Wire Train Bus) [3] y el MVB (Multi-Vehicle Bus) [4]. El primero es el bus de mayor jerarquía que se conecta entre vagones y que se usa para monitorear cambios topográficos del tren. El segundo se conectan los sensores y actuadores de cada coche como son los frenos, los controles de puertas, los monitores de velocidad, el sistema de información, etcétera. El sistema propuesto pretende leer del bus MVB los mensajes de información al pasajero que viajan por la red TCN existente y presentarlos en un display LED. El sistema se compone principalmente de cuatro partes: un display LED una placa de control y comunicación cables de interconexión firmware asociado. El diagrama del prototipo se presenta en la figura 2. El display LED matricial representa la marquesina del tren. La placa de control se debe poder conectar al bus MVB de la red TCN como entrada y al display LED como salida.

La placa de control estará basada en alguna de las plataformas desarrolladas por el CONICET-GICSAFe. La conexión entre el display y la placa así como de la placa con la red TCN deberá ser compatible con el estándar RS-485, definido como capa física en la red TCN. El firmware a desarrollar se cargará a la placa de control usando el puerto USB de una laptop. Este firmware será el responsable de leer los mensajes del sistema de información al pasajero y presentarlos en el display.

Las necesidades que debe satisfacer este proyecto son: compatibilidad tecnológica: debe cumplir con los estándares asociados a la red TCN practicidad: debe ser de uso simple para el personal de Trenes Argentinos Operaciones. Este proyecto permitirá implementar las funciones de visualización del sistema de información al pasajero sin depender del equipamiento existente. El sistema existente es un equipamiento integrado y propietario, y este proyecto busca desacoplar algunas de las funciones, las que corresponden a la visualización de información, y presentarlas en un display LED genérico. Por otro lado, permitirá reponer los carteles que en la actualidad quedan fuera de servicio por fallas o pérdida del material original y no pueden ser reparados. De esta manera, el valor principal que aporta este proyecto es contribuir con la sustitución de repuestos faltantes por medio de desarrollo y reducir la dependencia tecnológica de la empresa con los fabricantes. Este proyecto tiene impacto directo en las formaciones ferroviarias existentes que brindan servicio al pasajero todos los días.

En el trabajo se propone explorar los datos del sistema de información al pasajero que viajan por la red TCN. Mediante la implementación de firmware sobre una placa de control se pretende interpretar estos datos de sistema y presentarlos en un display LED. Algunos aspectos a resolver incluyen: obtener datos del bus MVB asociados al sistema de información al pasajero controlar un display LED para presentar la información recibida del bus MVB. Para resolver estos aspectos se considera el desarrollo de firmware sobre un microcontrolador con arquitectura de 32 bits. Usando la metodología del SWEBOk [6] se pretende garantizar calidad de software. Con este enfoque se pretende generar documentación sistemática, simple y de fácil lectura. La integración con la red TCN involucra el estudio de protocolos que usa la comunicación del bus MVB, que se vinculan con la materia de Protocolos de Comunicación del segundo bimestre. También existe la opción de usar sistemas operativos de tiempo real en la placa controladora para obtener los mensajes a visualizar. Estos puntos se vinculan con las materias del

segundo y tercer bimestre de Sistemas Operativos de Tiempo Real. Las pruebas del sistema se diseñarán en conjunto con las piezas de código funcional y de test en cada etapa.

1.3. Estado del arte

El uso de carteles de matriz led es de uso muy extendido en distintas aplicaciones. Además de los trenes, existen sistemas de información visual al pasajero en aeropuertos, en paradas de ómnibus, en señalamiento vial, en la industria del entretenimiento por mencionar algunos ejemplos. Las dimensiones del cartel, la densidad de píxeles por unidad de área, la cantidad de colores o leds por píxel, los niveles de intensidad lumínica, el brillo y contraste, la potencia eléctrica, son algunas de las especificaciones típicas.

Los controladores de los carteles de matriz led suelen basarse en circuitos digitales, en microcontroladores de 8, 16 o 32 bits o en FPGA. La transmisión de datos y el formato de los mismos dependen de la implementación de cada sistema.

En [b1] se utiliza el chip AT89C52 para enviar caracteres chinos sobre matrices de 32×192 leds de un solo color; en [b2] se implementa una pantalla led RGB de 320×240 píxeles que rota 360° permitiendo visualizar imágenes en color por persistencia de visión; en [b3] se desarrollan algoritmos sobre FPGA usando búferes de datos para controlar una pantalla LED de 160×32 píxeles alcanzando 32,768 colores; en [b4] se presenta el control de un micro display de transistores de película delgada (TFT) usando modulación por ancho de pulso (PWM) alcanzando 256 niveles de color a una frecuencia de refresco de 60 Hz, basado también en FPGA; en [b5] se presenta el control de píxeles virtuales para matrices led multi-color usando flip-flops tipo D.

En el diseño e implementación del presente trabajo, los carteles son de matriz led de un solo color y de distintas dimensiones (8×64 , 32×64 , 32×128). El control de los carteles tiene como factor común el uso del conjunto de chips digitales 74HC138, 74HC595 y 74HC245. La topología permite interconectar paneles en serie para construir carteles led de distinto tamaño usando la misma lógica de control.

1.4. Bibliografía

Las opciones de formato de la bibliografía se controlan a través del paquete de latex *biblatex* que se incluye en la memoria en el archivo memoria.tex. Estas opciones determinan cómo se generan las citas bibliográficas en el cuerpo del documento y cómo se genera la bibliografía al final de la memoria.

En el preámbulo se puede encontrar el código que incluye el paquete *biblatex*, que no requiere ninguna modificación del usuario de la plantilla, y que contiene las siguientes opciones:

```
\usepackage[backend=bibtex,
            natbib=true,
            style=numeric,
            sorting=none]
{biblatex}
```

En el archivo **reference.bib** se encuentran las referencias bibliográficas que se pueden citar en el documento. Para incorporar una nueva cita al documento lo primero es agregarla en este archivo con todos los campos necesario. Todas las entradas bibliográficas comienzan con @ y una palabra que define el formato de la entrada. Para cada formato existen campos obligatorios que deben completarse. No importa el orden en que las entradas estén definidas en el archivo .bib. Tampoco es importante el orden en que estén definidos los campos de una entrada bibliográfica. A continuación se muestran algunos ejemplos:

```
@ARTICLE{ARTICLE:1,
    AUTHOR="John Doe",
    TITLE="Title",
    JOURNAL="Journal",
    YEAR="2017",
}

@BOOK{BOOK:1,
    AUTHOR="John Doe",
    TITLE="The Book without Title",
    PUBLISHER="Dummy Publisher",
    YEAR="2100",
}

@INBOOK{BOOK:2,
    AUTHOR="John Doe",
    TITLE="The Book without Title",
    PUBLISHER="Dummy Publisher",
    YEAR="2100",
    PAGES="100–200",
}

@MISC{WEBSITE:1,
    HOWPUBLISHED = "\url{http://example.com}",
    AUTHOR = "Intel",
    TITLE = "Example Website",
    MONTH = "12",
```

```
YEAR = "1988",
URLDATE = {2012-11-26}
}
```

Se debe notar que los nombres *ARTICLE:1*, *BOOK:1*, *BOOK:2* y *WEBSITE:1* son nombres de fantasía que le sirve al autor del documento para identificar la entrada. En este sentido, se podrían reemplazar por cualquier otro nombre. Tampoco es necesario poner : seguido de un número, en los ejemplos sólo se incluye como un posible estilo para identificar las entradas.

La entradas se citan en el documento con el comando:

```
\citep{nombre_de_la_entrada}
```

Y cuando se usan, se muestran así: [1], [2], [3], [4]. Notar cómo se conforma la sección Bibliografía al final del documento.

Capítulo 2

Introducción específica

En este capítulo se introduce la terminología de la red de comunicaciones del tren y del sistema de información visual al pasajero. Se presenta una descripción de la arquitectura del sistema y de sus módulos principales. También se introduce el sistema de carteles led que presentan información al pasajeros, en particular en los coches de las formaciones ferroviarias de Trenes Argentinos.

2.1. Trenes: Red de comunicación TCN

La red de comunicaciones del tren (TCN) presenta una arquitectura de buses jerárquicos de dos niveles que se pueden identificar en la figura 1: el bus de datos WTB y el MVB[5]. El WTB se encarga de las comunicaciones entre coches a través de nodos con redundancia física, mientras que al bus MVB se conectan los dispositivos de cada coche. Algunos de estos dispositivos son el control de puertas (DOORL/R), el aire acondicionado (HVAC), el sistema de tracción (VVVF), el sistema de control de frenos (BCU), entre otros. El mapa de recorrido y los carteles LED en conjunto con otros dispositivos como los parlantes y las cámaras de video (CCTV) forman un sistema denominado Sistema de información al pasajero (PIDS).

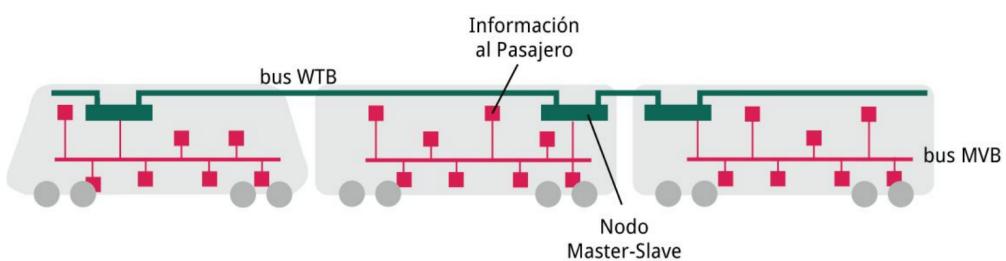


FIGURA 2.1

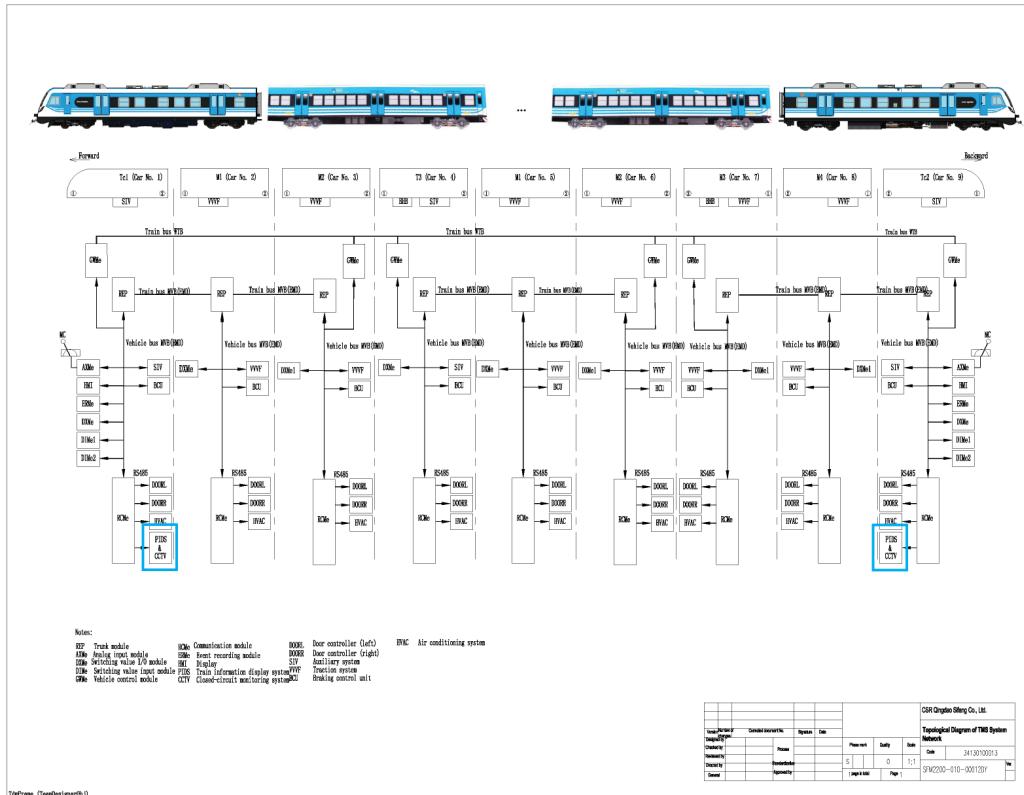


FIGURA 2.2

2.2. PIDS: Sistema de información visual para pasajeros de trenes



FIGURA 2.3

2.3. Carteles y controladoras de matrices LED

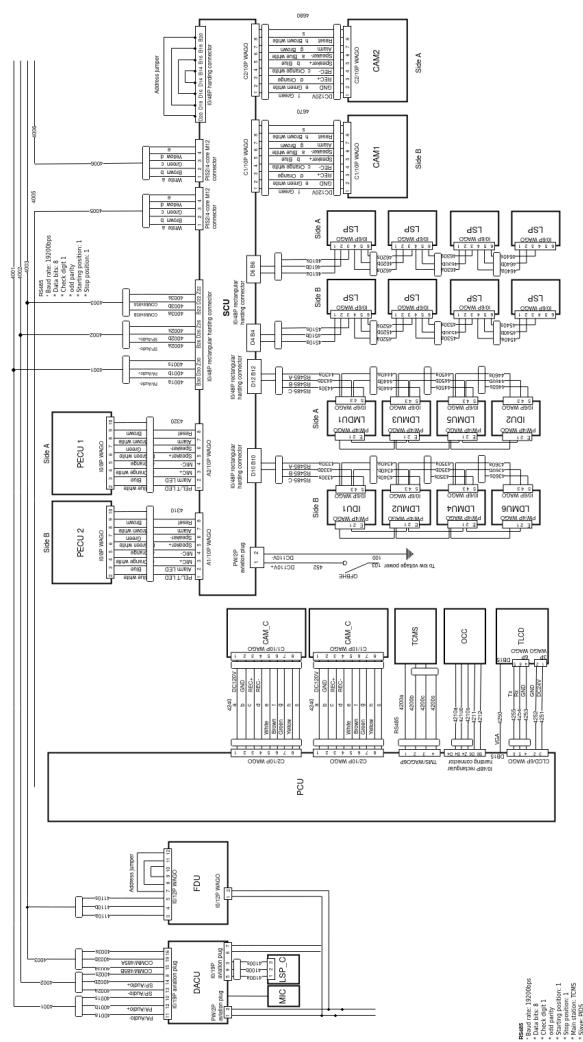


FIGURA 2.4



FIGURA 2.5



FIGURA 2.6

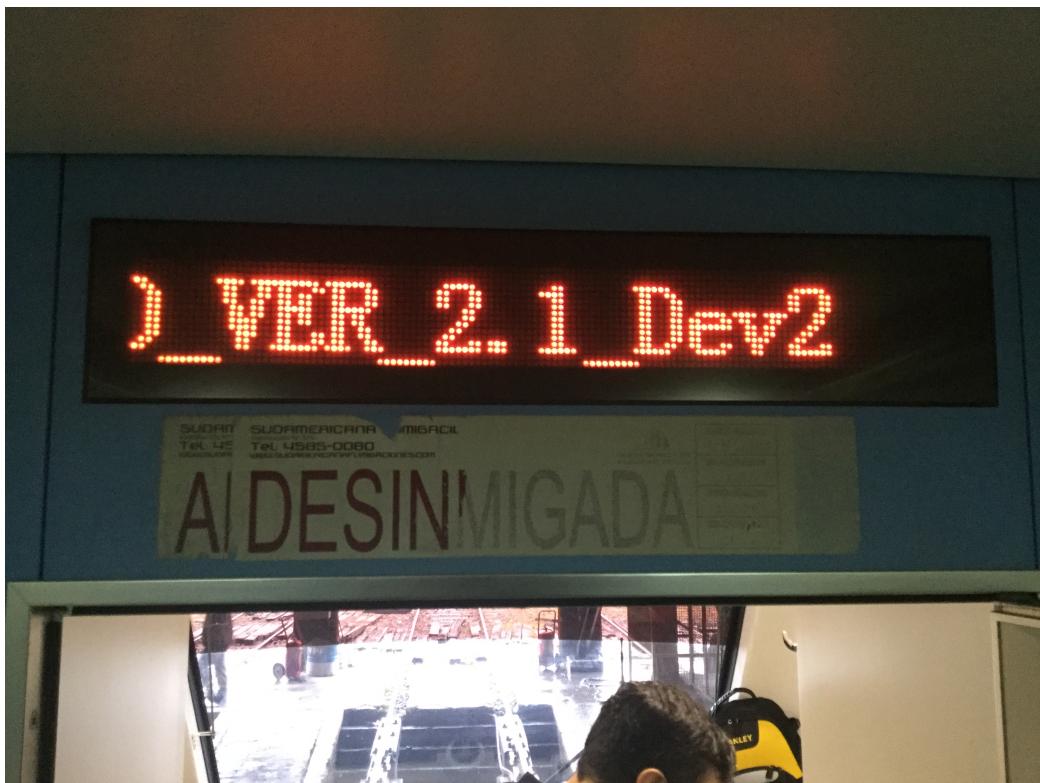


FIGURA 2.7



FIGURA 2.8

Capítulo 3

Diseño e implementación

En este capítulo se describe la arquitectura en detalle de la solución. Se presenta una breve introducción a los patrones de software utilizados con especial foco en las técnicas de concurrencia. El trabajo realizado utiliza la plataforma de hardware EDU-CIAA, la API desarrollada bajo el nombre de Firmware_v3, y el sistema operativo de tiempo real FreeRTOS.

Siguiendo los lineamientos del marco de trabajo en ingeniería de software, se presentan los requerimientos, las funcionalidades y los casos de uso principales como ejes del espacio problema. Para describir el espacio solución se presenta la arquitectura, patrones, firmware y planos del hardware en el resto de las secciones.

A modo de ejemplo:

```

1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 uint32_t sensorValue[MAX_SENSOR_NUMBER];
6 FunctionalState alarmControl[MAX_ALARM_NUMBER]; //ENABLE or DISABLE
7 state_t alarmState[MAX_ALARM_NUMBER]; //ON or OFF
8 state_t actuatorState[MAX_ACTUATOR_NUMBER]; //ON or OFF
9
10 void vControl() {
11     initGlobalVariables();
12     period = 500 ms;
13
14     while(1) {
15         ticks = xTaskGetTickCount();
16         updateSensors();
17         updateAlarms();
18         controlActuators();
19         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
20     }
21 }
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

3.1. Requerimientos

3.2. Casos de Uso

3.3. Arquitectura

3.3.1. Contexto

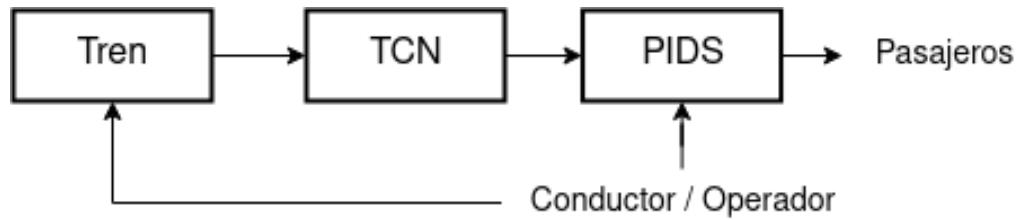


FIGURA 3.1

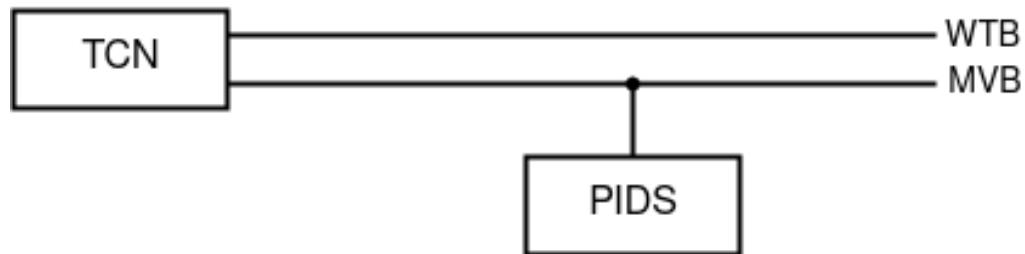


FIGURA 3.2

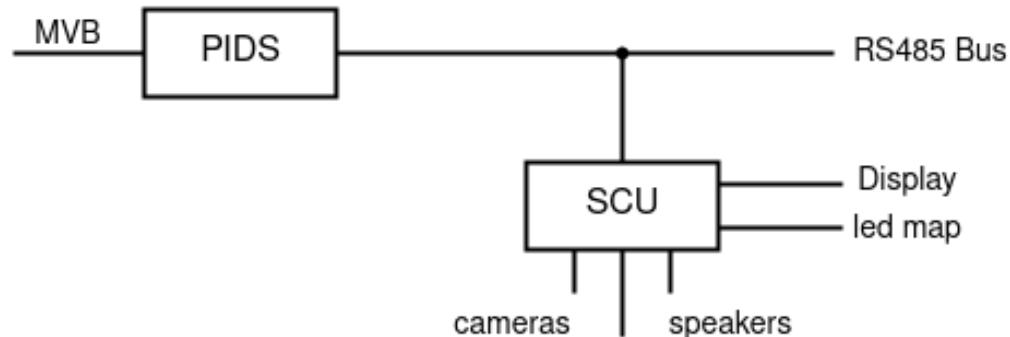


FIGURA 3.3

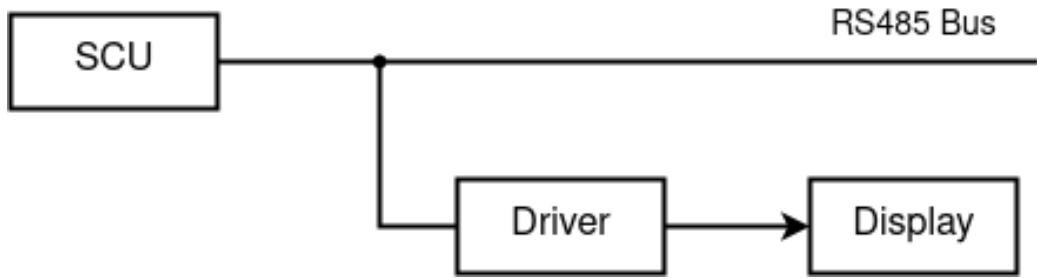


FIGURA 3.4

3.3.2. Diseño

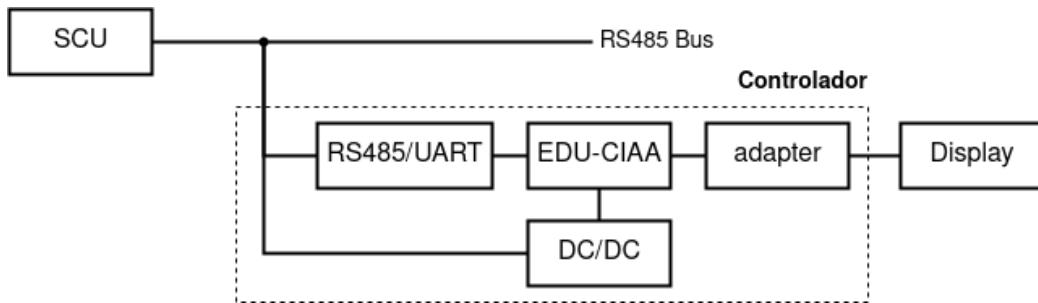


FIGURA 3.5

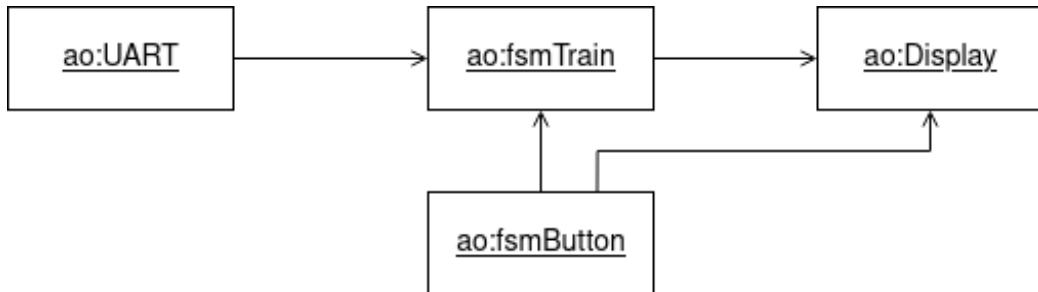


FIGURA 3.6

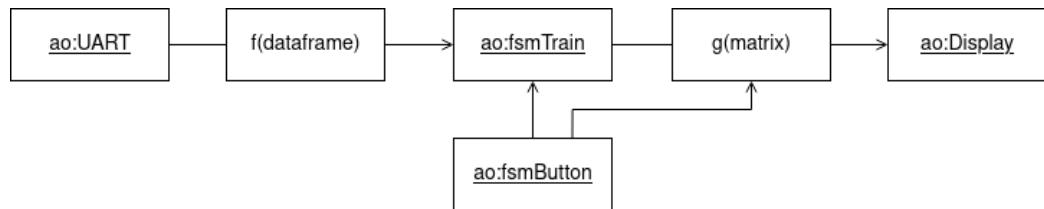


FIGURA 3.7

3.4. Patrones

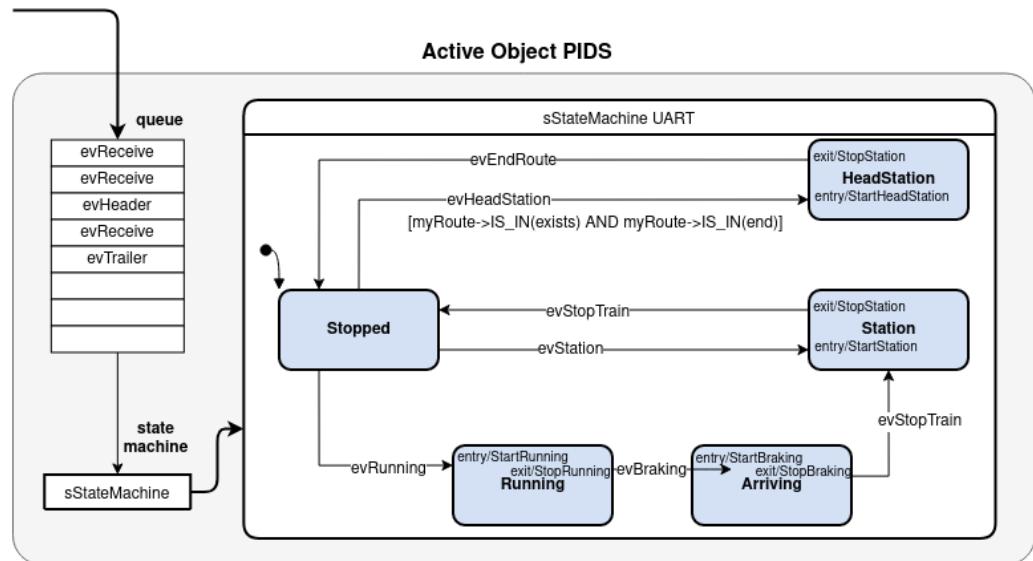


FIGURA 3.8

3.5. Firmware

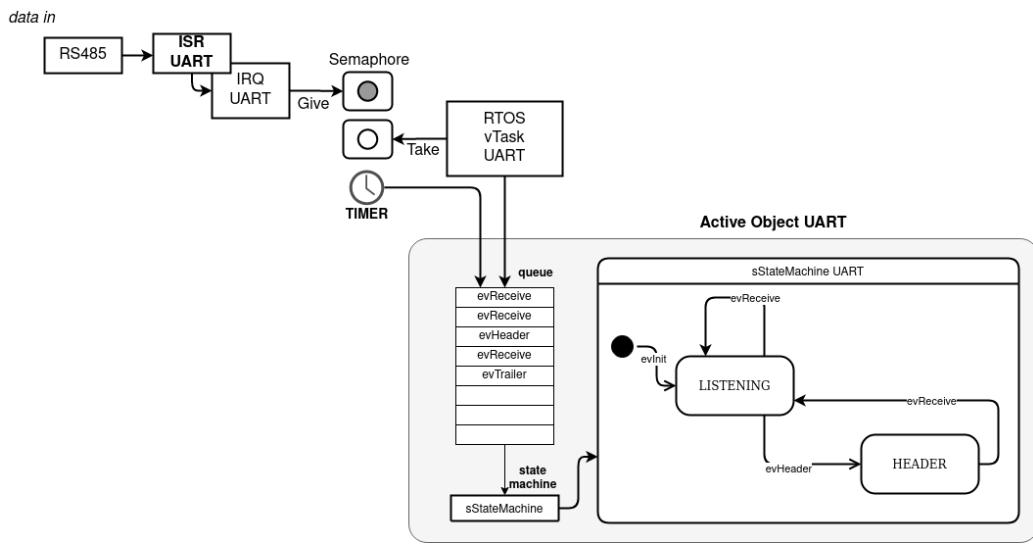


FIGURA 3.9

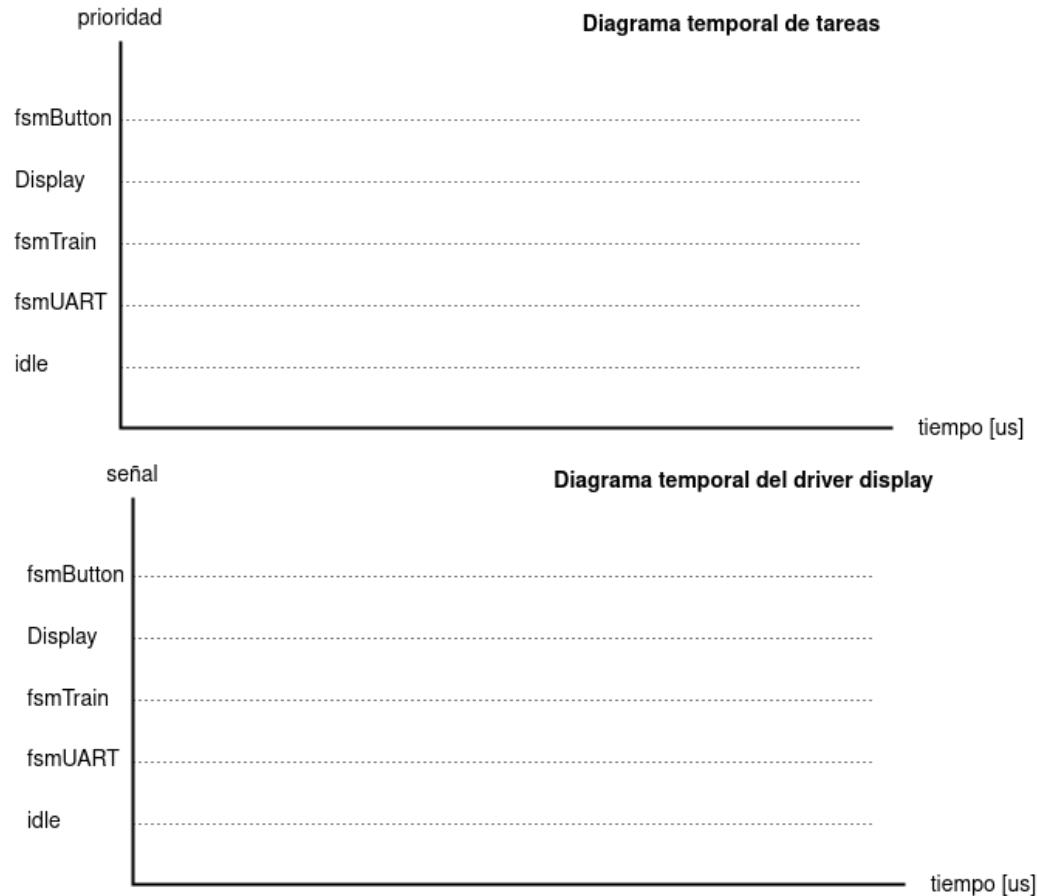


FIGURA 3.10

3.6. Hardware

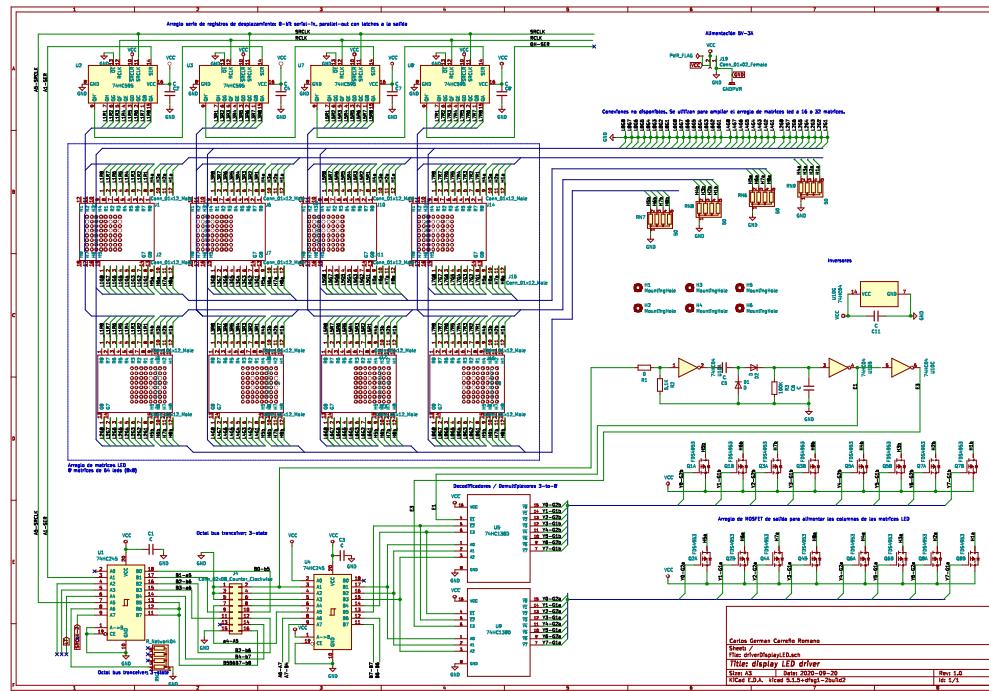
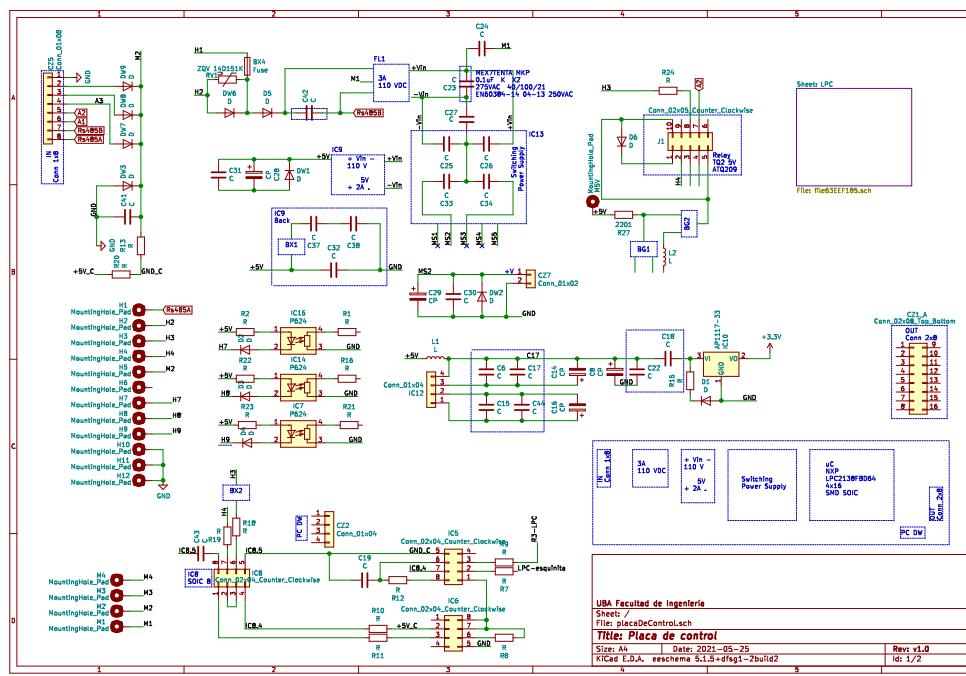


FIGURA 3.11



Capítulo 4

Ensayos y resultados

En este capítulo se detallan los ensayos realizados en las formaciones ferroviarias y en los talleres de Trenes Argentinos. El orden cronológico de los ensayos es distinto al del desarrollo del firmware. En este documento se ha presentado previamente el diseño de la solución para facilitar la comprensión del trabajo realizado. El desarrollo de la solución fue posterior a una serie de mediciones realizadas en los talleres que permitieron identificar parámetros clave del sistema.

En las secciones que siguen se explican las mediciones realizadas en las visitas a los talleres de Victoria y Castelar de Trenes Argentinos Operaciones. Luego se presenta un análisis de datos de las tramas relevadas y también las pruebas de integración propuestas para validar el desarrollo.

4.1. Mediciones

4.2. Análisis de tramas

4.3. Pruebas en maqueta

4.4. Integración con red PIDS

4.5. Pruebas de campo

Capítulo 5

Conclusiones

En este capítulo se exponen los principales resultados obtenidos de este trabajo. Se presenta también su relación con el contexto y se plantea una serie de trabajos futuros.

5.1. Resultados obtenidos

5.2. Prospectivas

5.3. Bibliografía

Bibliografía

- [1] John Doe. «Title». En: *Journal* (2017).
- [2] John Doe. *The Book without Title*. Dummy Publisher, 2100.
- [3] John Doe. «The Book without Title». En: Dummy Publisher, 2100, págs. 100-200.
- [4] Intel. *Example Website*. <http://example.com>. Dic. de 1988. (Visitado 26-11-2012).
- [5] IEC-61375-1.