



## 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 Octubre de 2022.*



## *Resumen*

Las formaciones ferroviarias usan distintos sistemas de control para funcionar que se interconectan por medio de una red de comunicaciones (TCN). 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. Este sistema además incluye mapas con indicadores led, un sistema de audio y un circuito cerrado de cámaras. 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*

Quiero agradecer al personal altamente calificado de la Gerencia de Material Rodante Eléctrico de la compañía Trenes Argentinos Operaciones (SOFSE), el Ing. Sergio Dieleke.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción general . . . . .	2
1.2. Objetivos y alcance . . . . .	3
1.3. Estado del arte . . . . .	4
1.3.1. Descripción general de los sistemas de visualización de in- formación al pasajero . . . . .	4
1.4. Bibliografía . . . . .	5
<b>2. Introducción específica</b>	<b>7</b>
2.1. Trenes: Redes de comunicación TCN . . . . .	8
2.2. PIDS: Sistema de información visual para pasajeros de trenes . . . .	9
2.3. Carteles y controladoras de matrices LED . . . . .	10
<b>3. Diseño e implementación</b>	<b>11</b>
3.1. Requerimientos . . . . .	11
3.2. Casos de Uso . . . . .	12
3.3. Arquitectura . . . . .	13
3.4. Patrones . . . . .	14
3.5. Firmware . . . . .	15
3.6. Hardware . . . . .	16
<b>4. Ensayos y resultados</b>	<b>17</b>
4.1. Mediciones . . . . .	17
4.2. Análisis de tramas . . . . .	18
4.3. Pruebas en maqueta . . . . .	19
4.4. Integración con red PIDS . . . . .	20
4.5. Pruebas de campo . . . . .	21
<b>5. Conclusiones</b>	<b>23</b>
5.1. Resultados obtenidos . . . . .	24
5.2. Prospectivas . . . . .	25
5.3. Bibliografía . . . . .	26





# Índice de figuras

2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	7
---	---



# Índice de tablas



***Dedicado a... [OPCIONAL]***



# Capítulo 1

## Introducción

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**



## **1.2. Objetivos y alcance**

### **1.3. Estado del arte**

#### **1.3.1. Descripción general de los sistemas de visualización de información al pasajero**

## 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.

Las entradas se citan en el documento con el comando:

```
\citep{nombre_de_la_entrada}
```

Y cuando se usan, se muestran así: **[ARTICLE:1]**, **[BOOK:1]**, **[BOOK:2]**, **[WEBSITE:1]**.  
Notar cómo se conforma la sección Bibliografía al final del documento.

## Capítulo 2

# Introducción específica

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.



observarse en la figura 2.1''.



FIGURA 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 \left[ d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2 \right] \right) \quad (2.1)$$

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

```
\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} +
\sigma^2 \left[ d\theta^2 +
\sin^2 \theta d\phi^2 \right] \right)
\end{equation}
```

Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
```

```
\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(\mathbf{r})\Psi =  
-i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}  
\end{equation}
```

## 2.1. Trenes: Redes de comunicación TCN

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

### **2.3. Carteles y controladoras de matrices LED**



## Capítulo 3

# Diseño e implementación

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
12     initGlobalVariables();
13
14     period = 500 ms;
15
16     while(1) {
17
18         ticks = xTaskGetTickCount();
19
20         updateSensors();
21
22         updateAlarms();
23
24         controlActuators();
25
26         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
27     }
28 }

```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

### 3.1. Requerimientos

### **3.2. Casos de Uso**

### **3.3. Arquitectura**

### **3.4. Patrones**

### **3.5. Firmware**

### **3.6. Hardware**

## **Capítulo 4**

# **Ensayos y resultados**

### **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**

## **5.1. Resultados obtenidos**

## **5.2. Prospectivas**

### **5.3. Bibliografía**