

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Carrera de Maestría en Sistemas Embebidos



Memoria del Trabajo Final

**Visualizador del estado del sistema  
de señalamiento ferroviario**

**Autor:**  
**Esp. Ing. Lucas Dórdolo**

Director:  
Dr. Ing. Ariel Lutenberg (CONICET, FIUBA)

Jurados:  
Dr. Ing. Emanuel Irrazabal (UNNE, FIUBA)  
Mg. Ing. Diego Javier Brengi (INTI, UNLaM, FIUBA)  
Dr. Ing. Pablo Martín Gomez (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
entre marzo de 2019 y diciembre de 2019.*



## *Resumen*

La presente memoria describe el desarrollo del hardware, firmware y software de un sistema que permite visualizar en tiempo real el estado de la red de señalamiento ferroviario. Este trabajo fue solicitado por Trenes Argentinos Operaciones (SOFSE), principal operadora de trenes de pasajeros del país, para facilitar el mantenimiento y conocer la posición de las formaciones.

Para la elaboración de este trabajo fue fundamental contar con los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la maestría sobre gestión de proyectos, diseño de circuitos impresos, programación de microcontroladores, protocolos de comunicación, sincronización de sistemas embebidos distribuidos y sistemas ferroviarios.



## *Agradecimientos*

Agradezco al personal de señalamiento de Trenes Argentinos, base Olivos, por su buena predisposición y colaboración, al grupo de investigación GICSAFe por ayudarme a que este trabajo sea posible y a mi director, Ariel Lutenberg, por motivarme y orientarme en todo momento.

Agradezco por sobre todo a mis padres, Adriana y Carlos, y a mis abuelos, Zulema y Oscar, por brindarme su apoyo y contención, ser mis guías y ejemplos a lo largo de toda mi carrera y mi vida.



# Índice general

|   |            |
|---|------------|
| <b>Resumen</b>  | <b>III</b> |
| <b>1. Introducción general</b>  | <b>1</b>   |
| 1.1. Sistema de señalamiento . . . . .                                  | 1          |
| 1.2. Visualizador del estado del sistema de señalamiento . . . . .      | 4          |
| 1.3. Propósito y alcance . . . . .                                      | 4          |
| 1.3.1. Propósito del trabajo . . . . .                                  | 5          |
| 1.3.2. Alcance del trabajo . . . . .                                    | 5          |
| 1.4. Requerimientos . . . . .   | 5          |
| 1.5. Antecedentes en sistemas de monitoreo ferroviario . . . . .        | 7          |
| <b>2. Introducción Específica</b>                                       | <b>9</b>   |
| 2.1. Descripción del contexto . . . . .                                 | 9          |
| 2.2. Descripción técnica-conceptual del proyecto . . . . .              | 9          |
| 2.2.1. Adquisición de señales y transmisión de la información . . . . . | 9          |
| 2.2.2. Recepción y visualización de la información . . . . .            | 10         |
| <b>3. Diseño e Implementación</b>                                       | <b>13</b>  |
| 3.1. Desarrollo de hardware . . . . .                                   | 13         |
| 3.1.1. Módulo de procesamiento . . . . .                                | 14         |
| 3.1.2. Módulo de entradas digitales . . . . .                           | 15         |
| 3.1.3. Módulo de salidas . . . . .                                      | 16         |
| 3.1.4. Módulo Ethernet . . . . .  | 17         |
| 3.2. Desarrollo de firmware . . . . .                                   | 17         |
| 3.2.1. Capa de aplicación . . . . .                                     | 19         |
| 3.2.2. Lectura de entradas . . . . .                                    | 22         |
| 3.3. Desarrollo de software . . . . .                                   | 22         |
| 3.3.1. Servicio sobre el servidor . . . . .                             | 23         |
| 3.3.2. Interfaz gráfica . . . . .                                       | 24         |
| <b>4. Ensayos y Resultados</b>  | <b>27</b>  |
| 4.1. Pruebas sobre entradas digitales . . . . .                         | 27         |
| 4.2. Pruebas sobre entradas analógicas . . . . .                        | 28         |
| 4.3. Aplicación como adquisidor de datos . . . . .                      | 28         |
| 4.4. Aplicación como monitor de barrera . . . . .                       | 30         |
| 4.5. Pruebas de integración . . . . .                                   | 31         |
| 4.6. Contribución al estado del arte . . . . .                          | 34         |
| <b>5. Conclusiones</b>  | <b>35</b>  |
| 5.1. Conclusiones generales . . . . .                                   | 35         |
| 5.2. Próximos pasos . . . . .   | 35         |



# Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Funcionamiento de un circuito de vía de corriente continua sin ocupación. . . . .  | 2  |
| 1.2. Funcionamiento de un circuito de vía de corriente continua ocupado. . . . .  | 2  |
| 1.3. Señal mecánica de brazo. . . . .   | 3  |
| 1.4. Señal luminosa de tres aspectos. . . . .   | 3  |
| 1.5. Paso a nivel vehicular protegido por barreras automáticas. . . . .   | 3  |
| 1.6. Visualizador de villa Ballester, Buenos Aires, Argentina. . . . .  | 4  |
| 1.7. Visualizador electrónico de la red de metro de Kochi, India. . . . .   | 5  |
| <br>2.1. Distribución de las cabinas de señalamiento a lo largo del trazado del ramal Tigre. . . . .                                      | 10 |
| 2.2. Fotografía de la cabina de señalamiento de Belgrano. . . . .   | 10 |
| 2.3. Fotografía de la cabina de señalamiento de Belgrano. . . . .   | 11 |
| 2.4. Diagrama en bloques que detalla el funcionamiento del equipo de adquisición de datos. . . . .  | 12 |
| 2.5. Diagrama en bloques de la visualización. . . . .   | 12 |
| <br>3.1. Diagrama de la arquitectura modular del hardware. Se incluyen en forma ilustrativa todos los módulos de la arquitectura. . . . . | 13 |
| 3.2. Render de la placa de procesamiento. . . . .   | 15 |
| 3.3. Fotografía de la placa de procesamiento con todos los módulos de comunicación. . . . .   | 16 |
| 3.4. Circuito implementado para cada una de las ocho entradas digitales del módulo. . . . .   | 17 |
| 3.5. Render del módulo de entradas digitales. . . . .   | 17 |
| 3.6. Catorce módulos de entradas digitales conectados en cascada. . .   | 18 |
| 3.7. Módulo de salidas con cuatro relés. . . . .  | 18 |
| 3.8. Módulo Ethernet basado en Wiznet W5100. . . . .  | 18 |
| 3.9. Diagrama en capas del firmware. . . . .  | 19 |
| 3.10. Diagrama de flujo de la capa de aplicación. . . . .   | 19 |
| 3.11. Diagrama de flujo de la publicación periódica de mensajes MQTT. .   | 20 |
| 3.12. Carga paralela de todas las entradas en forma simultánea. . . . .   | 22 |
| 3.13. Lectura serial de los valores en los registros. . . . .   | 22 |
| 3.14. Lectura, desplazamiento, comparación y carga de los valores de una entrada digital. . . . .   | 23 |
| 3.15. Lectura, desplazamiento, filtrado y carga de los valores de una entrada analógica. . . . .  | 23 |
| 3.16. <i>Home page</i> de la página web corriendo actualmente sobre el servidor de SOFSE. . . . .   | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 3.17 Interfaz gráfica con los elementos de señalamiento que son monitoreados desde la cabina Belgrano, ciudad autónoma de Buenos Aires. . . . .    | 25 |
| 3.18 Mesa de mando de la estación Belgrano C, ciudad autónoma de Buenos Aires. . . . .   | 25 |
| 4.1. Señal de <i>clock</i> para desplazamiento y lectura del registro de un módulo de entradas. . . . .  | 28 |
| 4.2. Mensajes capturados a través del puerto serie del equipo adquisidor de datos. . . . .   | 29 |
| 4.3. Datos obtenidos con el software MQTT.fx al suscribirse al servidor de SOFSE. . . . .  | 30 |
| 4.4. Módulo de procesamiento instalado en el paso a nivel Corrientes, ciudad de Olivos, Buenos Aires. . . . .                                      | 31 |
| 4.5. Tabla de la página web mostrando estado de ocupación de circuito de vía y barrera. . . . .  | 31 |
| 4.6. Gráficos históricos con información proporcionada por las entradas analógicas. . . . .  | 32 |
| 4.7. Adquisidor montado dentro de un gabinete compatible con el rack del enclavamiento. . . . .  | 32 |
| 4.8. Racks del enclavamiento dentro de la cabina Belgrano, Ciudad autónoma de Buenos Aires. . . . .  | 33 |
| 4.9. Interfaz gráfica con los elementos de señalamiento que son monitoreados desde la cabina de Belgrano, Ciudad autónoma de Buenos Aires. . . . . | 33 |

# Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Comparación entre los distintos sistemas de monitoreo mencionados. . . . . | 34 |
|---|----|



***Dedicado a mi novia, Yesi, quien me sostiene y  
acompaña en los vaivenes del mundo.***



# Capítulo 1

## Introducción general

En el presente capítulo se hace una breve introducción a conceptos básicos del señalamiento ferroviario que permiten entender los temas tratados esta memoria.

### 1.1. Sistema de señalamiento

Los trenes se mueven sobre vías que los mantienen en trayectorias fijas y poseen una enorme masa, lo que dificulta su frenado. Esto los hace especialmente susceptibles a sufrir colisiones. Por lo tanto, para mantener una distancia prudente entre los trenes en todo momento y controlar el tráfico ferroviario se utiliza el sistema de señalamiento. El sistema de señalamiento se compone principalmente de los siguientes elementos:

- Circuito de vía: el circuito de vía es el método más utilizado para la detección de la presencia de formaciones ferroviarias en una determinada sección de vía. El principio de funcionamiento consiste en inyectar una señal eléctrica en un extremo de la sección y detectarla en el extremo opuesto, como se ve en la figura 1.1. Como referencia, una sección de vía puede tener entre 50 y 2.000 metros, según si se trata de una zona de maniobras o una zona de campo abierto. De esta forma cuando un tren ocupa esa sección, cortocircuita ambos rieles con sus ruedas e impide que la señal pueda ser detectada (figura 1.2).
- Señales: las señales son elementos que se colocan a un lado de la vía para darle indicaciones al conductor sobre el estado de ocupación de los circuitos de vía que tiene por delante de modo tal que pueda asegurarse la existencia de espacio suficiente para el frenado de haber otro tren en su camino. Las señales pueden ser de distinto tipo:
  - Señales mecánicas: son la forma más antigua de señalización y la información que brindan esta dada según su posición física. El tipo más común de señal mecánica es un brazo que pivotea en uno de sus extremos y la indicación la da según el ángulo en que se encuentra, siendo la posición horizontal la más restrictiva (figura 1.3). Para que los trenes puedan circular durante la noche, es usual que estas señales posean un juego de lentes de colores solidarias al brazo y una lámpara fija. De esta forma, al moverse el brazo se ilumina una u otra lente.

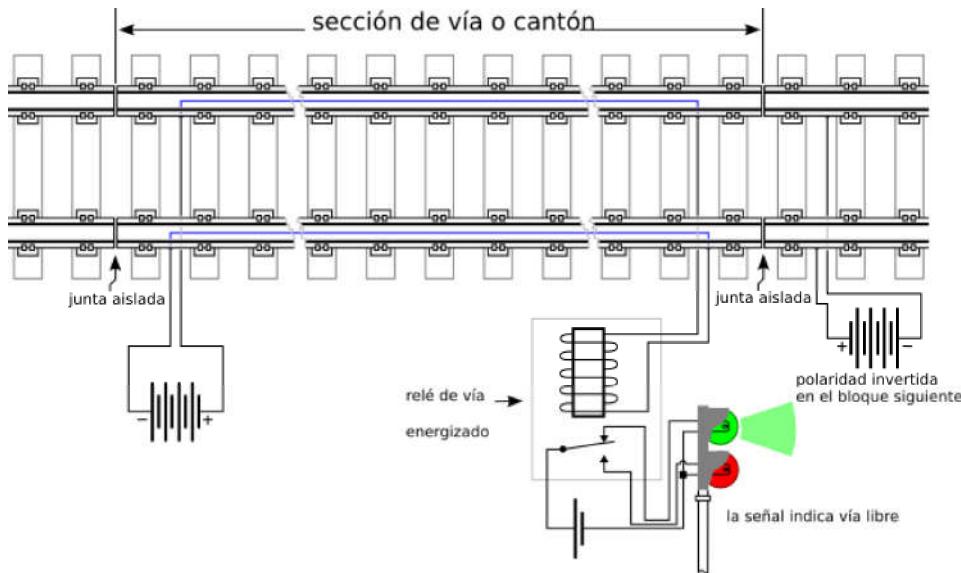


Figura 1.1: Funcionamiento de un circuito de vía de corriente continua sin ocupación.

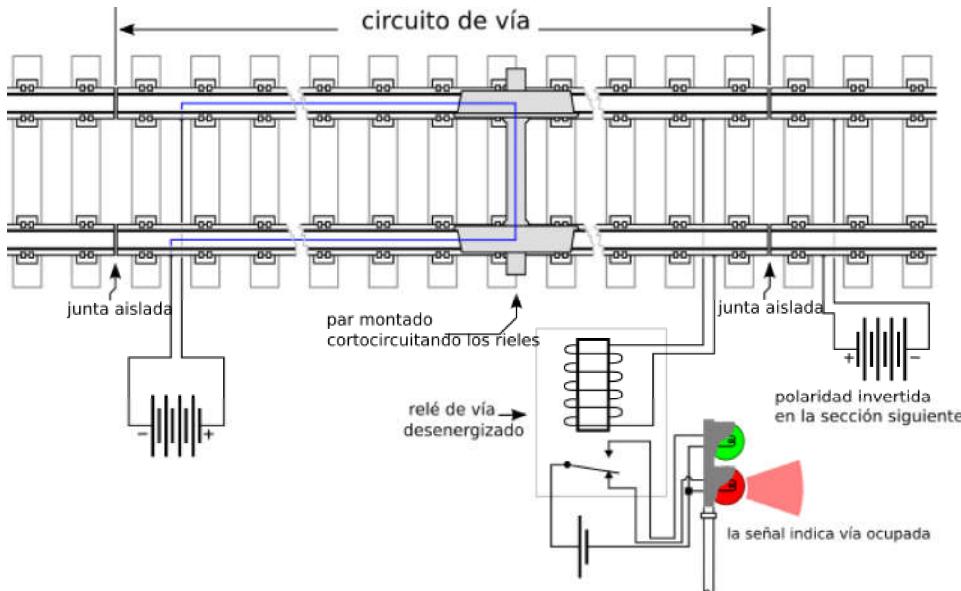


Figura 1.2: Funcionamiento de un circuito de vía de corriente continua ocupado.

- Señales luminosas: las señales luminosas son dispositivos similares a los semáforos viales que mediante indicadores luminosos de colores verde, amarillo y rojo le advierten al conductor del tren si debe continuar la marcha, reducir la velocidad o detenerse, respectivamente (figura 1.4). Actualmente estas señales están reemplazando casi en su totalidad a las mecánicas por requerir menos mantenimiento y conservar la misma convención tanto para el día como para la noche.

- Paso a nivel: un paso a nivel es un tramo de vía que es atravesado transversalmente por vehículos o peatones. Usualmente, los pasos a nivel se



Figura 1.3: Señal mecánica de brazo.



Figura 1.4: Señal luminosa de tres aspectos.

encuentran protegidos por barreras tal como se ve en la figura 1.5.

- Barrera: se llama barrera a un elemento que se interpone en un paso a nivel con el fin de evitar la circulación de vehículos en el momento que se aproxima una formación ferroviaria.



Figura 1.5: Paso a nivel vehicular protegido por barreras automáticas.

- Cambio de vía: un cambio de vía es un aparato utilizado para hacer que un tren que circula por una determinada vía pueda desviarse a una vía alternativa. Los cambios de vía pueden ser de accionamiento manual, eléctrico o neumático [1].
- Enclavamiento: si un sistema de señalamiento es manipulado por un operario, éste podría cometer un error en la secuencia de accionamiento de los elementos y colocar una señal a verde antes de que el cambio llegue a su posición. También podría accidentalmente dar la orden de continuar

su marcha a dos trenes que circulan en sentido opuesto sobre una misma vía. Para evitar estas situaciones potencialmente peligrosas, se utilizan enclavamientos. Los sistemas de enclavamiento están encargados de asegurar que no pueda realizarse una acción sobre el señalamiento sin que estén dadas las condiciones previas que garanticen la seguridad. Los primeros sistemas de enclavamiento eran puramente mecánicos y estaban compuestos por barras de acero que se bloqueaban unas a otras. De esta forma se evitaba que el señalero accione las palancas en una secuencia incorrecta. En la década de 1930 se introdujeron sistemas electromecánicos en que el enclavamiento se realizaba por lógica de relés. Actualmente, las líneas férreas más modernas utilizan enclavamientos electrónicos basados en microprocesadores o circuitos de lógica programable [2].

- Cabina: la cabina es un edificio que resguarda en su interior al sistema de enclavamiento de una determinada zona.

## 1.2. Visualizador del estado del sistema de señalamiento

Un visualizador del estado del sistema de señalamiento, tal como lo indica su nombre, es un sistema que muestra mediante una interfaz gráfica y de forma centralizada el estado de un determinado conjunto de elementos del señalamiento. El visualizador muestra si los circuitos de vía se encuentran ocupados o desocupados, o las barreras poseen su brazo en estado alto o bajo. Con el paso del tiempo los sistemas de visualización han ido mutando y pasaron de ser puramente electromecánicos (figura 1.6) a ser electrónicos (figura 1.7). Es usual que sean los fabricantes del sistema de enclavamiento quienes provean la interfaz de visualización y que a través de esta interfaz un usuario calificado pueda controlar los itinerarios [2].



Figura 1.6: Visualizador de villa Ballester, Buenos Aires, Argentina.

## 1.3. Propósito y alcance

En la presente sección se describe el propósito por el cuál fue realizado el trabajo y el alcance que tuvo el mismo.



Figura 1.7: Visualizador electrónico de la red de metro de Kochi, India.

### 1.3.1. Propósito del trabajo

El propósito de este trabajo fue el desarrollo de una plataforma de hardware, su firmware y el software asociado para la implementación de un sistema de visualización, que permita, en tiempo real, observar el estado del sistema de señalamiento ferroviario independientemente de si se trata de instalaciones nuevas o antiguas. Esto brinda flexibilidad suficiente como para ser instalado en cualquiera de los ramales del país e incluso del exterior.

### 1.3.2. Alcance del trabajo

El trabajo incluyó:

- Diseño e implementación de un módulo adquisidor de datos.
- Programación del firmware para el módulo adquisidor.
- Programación del software que permite la recepción y visualización de los datos.
- Pruebas de funcionamiento.
- Documentación del trabajo.

El presente trabajo no incluyó:

- La instalación y puesta en marcha del sistema completo en todo el trazado ferroviario.

## 1.4. Requerimientos

Los requerimientos fueron obtenidos a partir de reuniones con especialistas y encargados del mantenimiento del señalamiento, y son los siguientes:

## 1. Adquisidor de señales

### a) Hardware

- 1) La lectura de las señales digitales no debe provocar alteraciones del funcionamiento al circuito al que se conecten.
- 2) Las entradas digitales deben tolerar tensiones de al menos 36 V.
- 3) Debe poder medir al menos cuatro señales analógicas.
- 4) El circuito adquisidor debe estar aislado galvánicamente respecto a la alimentación y entradas.
- 5) Debe poseer conexión Ethernet.
- 6) Debe tener enlaces de comunicación redundantes ( Por ejemplo: Ethernet + GPRS o Wi-Fi + GPRS).

### b) Firmware

- 1) Debe poder procesar y descartar adecuadamente el ruido eléctrico.
- 2) Debe transmitir al servidor el resultado obtenido de la lectura de las señales digitales..
- 3) Debe responder a consultas del servidor en tiempo menor a un segundo.
- 4) Debe activar un medio de comunicación alternativo en caso de que el principal falle.
- 5) Debe encriptar la comunicación mediante TLS (Añadido posteriormente a la planificación original).

## 2. Software

### a) Interfaz gráfica

- 1) Debe respetar la convención elegida por el cliente.
- 2) Debe ser intuitiva y fácil de entender.
- 3) Debe mostrar el estado de las señales.
- 4) Debe mostrar el estado de los cambios de vía.
- 5) Debe mostrar el estado de las barreras.
- 6) Debe mostrar si la alimentación es tomada de la red externa o ferroviaria.
- 7) Debe mostrar si se interrumpe la comunicación con algún adquisidor.
- 8) Debe ser fácilmente actualizada ante cambios en el señalamiento de la línea.

### b) Funcionalidad

- 1) Debe tener una tasa de actualización menor a dos segundos
- 2) Debe poder consultar el estado de los adquisidores
- 3) Debe poder distinguir entre respuestas actuales o vencidas.
- 4) (Opcional) Debe guardar registros históricos.

## **1.5. Antecedentes en sistemas de monitoreo ferroviario**

En los sistemas ferroviarios modernos el control de las barreras, las máquinas de cambio de vía y las señales se realizan en forma electrónica [2]. En esos casos son los propios sistemas de control los que reportan la información sobre su estado a una central de monitoreo. Para los sistemas ferroviarios electromecánicos, distintas empresas ofrecen soluciones para el monitoreo a distancia que a continuación se presentan.

La empresa española ENA Tecnología ofrece un sistema denominado CRYSS-MA, que consiste en módulos adquisidores instalados en cada paso a nivel. Estos módulos capturan la información relevante y la transmiten por GPRS a un servidor central. El servidor almacena y analiza los datos a fin de detectar inconvenientes en las instalaciones [3].

La empresa austriaca Voestalpine ofrece un monitor de pasos a nivel basado en la adquisición de señales en el lugar y su transmisión por redes de datos cableadas o inalámbricas hacia un servidor central, en donde se almacenan y analizan para conocer el estado de la infraestructura y optimizar su mantenimiento [4].

A su vez, la empresa argentina Arwave [5] desarrolló en 2005 un sistema de monitoreo [6] pero el mismo no llegó al mercado. Asimismo la empresa argentina CAPE [7] desarrolló una solución de monitoreo remoto que fue instalada en la Línea Roca, en sus modelos KP-AL959 [8] y KP-AL911 [9].

Otro antecedente relevante es el desarrollo realizado en la ciudad de Bahía Blanca por un miembro del grupo de investigación CONICET-GICSAFe [10], junto a otros colegas, en el año 2009 para la empresa FerroExpreso Pampeano. El sistema monitorea la posición de la barrera (abierta o cerrada), la rotura del brazo, la ocupación del circuito de vía, la tensión de batería y la activación del semáforo del paso a nivel. La comunicación entre cada dispositivo de adquisición de datos -uno por cada paso a nivel- y la consola central de comando se realiza mediante un enlace de radio punto a punto.



## Capítulo 2

# Introducción Específica

El presente capítulo describe el contexto en que fue concebido el trabajo y brinda un análisis conceptual de la solución implementada junto con su planificación.

### 2.1. Descripción del contexto

El proyecto fue realizado para Trenes Argentinos Operaciones (SOFSE), empresa que se encarga de la operación y mantenimiento de los trenes e infraestructura ferroviaria de la mayor parte de los ramales de transporte de pasajeros del país [11]. Dentro de esta infraestructura forman parte sistemas con distintas tecnologías, algunas con más de un siglo de antigüedad.

En este contexto, se propuso hacer sobre toda la extensión del ramal Tigre de la línea Mitre un sistema cuya función sea adquirir información sobre estado de circuitos de vía, señales, máquinas de cambio de vía y barreras y transmitirla hacia un servidor, para así poder visualizarla de forma centralizada. Esto trae como ventaja la detección temprana de fallas en el sistema de señalamiento. Además brinda datos estadísticos que permiten hacer un mantenimiento preventivo y ver en tiempo real la posición de las formaciones para mejorar la diagramación y el control de un servicio que transporta anualmente a más de 30 millones de pasajeros [12].

### 2.2. Descripción técnica-conceptual del proyecto

El trabajo realizado se encuentra dividido en dos grandes partes. La primera de adquisición de señales y transmisión de la información, y la segunda de recepción y visualización.

#### 2.2.1. Adquisición de señales y transmisión de la información

El sistema de enclavamiento del ramal Tigre se encuentra distribuido en siete cabinas a lo largo de su trazado (figura 2.1). Estas cabinas son edificaciones (figura 2.2) que en su interior contienen racks con cientos de relés (figura 2.3) que se encargan del control de una determinada sección del señalamiento. Por lo tanto, de estas cabinas se puede extraer toda la información necesaria para determinar el estado del señalamiento.

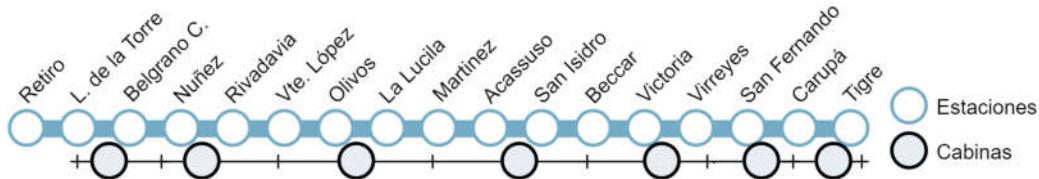


Figura 2.1: Distribucion de las cabinas de señalamiento a lo largo del trazado del ramal Tigre.



Figura 2.2: Fotografía de la cabina de señalamiento de Belgrano.

Se desarrolló el hardware y firmware para una serie de equipos adquisidores a ser colocados en cada una de las cabinas de señales, como se muestra en la figura 2.4. Estos equipos adquisidores poseen módulos con múltiples entradas digitales optoacopladas que pueden conectarse en cascada para ampliar su capacidad y enlaces de comunicación Ethernet, Wi-Fi y/o GPRS que les permiten transmitir en tiempo real mediante mensajes MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) sobre TCP el estado de sus entradas al servidor de la empresa.

### 2.2.2. Recepción y visualización de la información

El trabajo contempló la utilización de un software que permite recibir la información enviada por los adquisidores y ser visualizada en una interfaz gráfica tal como muestra la figura 2.5. Esto posibilita que pueda ser accedida de forma remota por cualquier usuario habilitado.



Figura 2.3: Fotografía de la cabina de señalamiento de Belgrano.

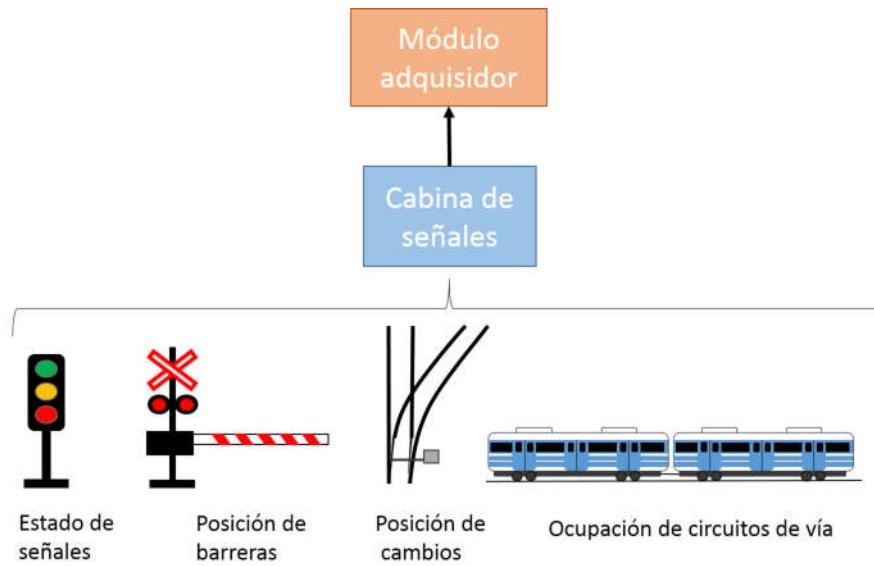


Figura 2.4: Diagrama en bloques que detalla el funcionamiento del equipo de adquisición de datos.

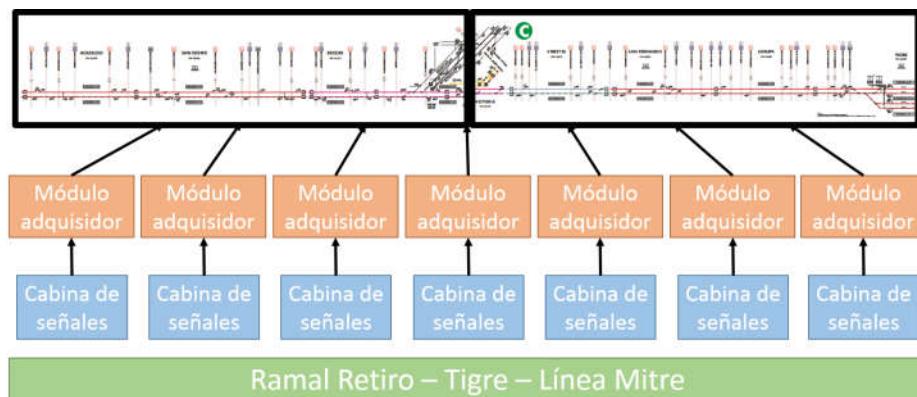


Figura 2.5: Diagrama en bloques de la visualización.

## Capítulo 3

# Diseño e Implementación

El presente capítulo describe el diseño y la implementación del hardware, firmware y software que fue requerido para la realización del trabajo.

### 3.1. Desarrollo de hardware

Para el desarrollo del hardware se realizó un diseño con arquitectura modular de modo que pueda adaptarse a distintas aplicaciones. De esta forma se espera que el sistema no quede limitado a ser utilizado únicamente como adquisidor dentro de las cabinas de señales. Esta arquitectura modular se muestra en la figura 3.1.

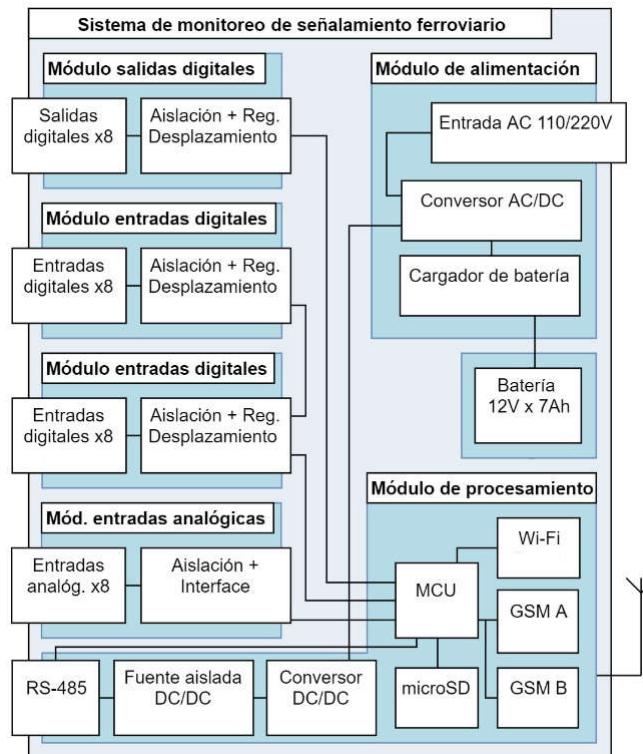


Figura 3.1: Diagrama de la arquitectura modular del hardware. Se incluyen en forma ilustrativa todos los módulos de la arquitectura.

### 3.1.1. Módulo de procesamiento

El módulo de procesamiento dispone del microcontrolador STM32F407VG de STMicroelectronics [13] basado en un núcleo ARM Cortex-M4F [14]. Esta arquitectura brinda una respuesta determinista a eventos, la posibilidad de correr un RTOS, instrucciones DSP, SIMD y cuenta con unidad de punto flotante. Además, el módulo de procesamiento posee múltiples etapas que le permiten adaptarse a la utilidad en la que sea requerido. Estas etapas son:

- Fuente de alimentación: la placa puede alimentarse con tensiones de corriente continua ubicadas entre 5 y 40 V ya que posee un convertidor del tipo *buck* basado en el circuito integrado LM2596 [15]. Además incluye reguladores independientes de 3,3 V y capacidad de 800 mA para los circuitos analógicos y digitales. Este último regulador suministra también con los conectores de expansión. Finalmente cuenta con una fuente aislada de 5 V a 5 V destinada a la comunicación RS-485.
- Entradas analógicas: el circuito dispone de cuatro entradas analógicas. Dos de estas entradas permiten medir, colocando los jumpers donde indica la tabla 3.1, tensiones entre 0 y 10 V o corrientes entre 0 y 20 mA. Otra entrada analógica posee un circuito rectificador y filtro que posibilita la medición de pico de una señal alterna y la entrada restante adquiere el valor de tensión de alimentación del módulo de procesamiento.

Tabla 3.1: Ubicación de jumpers para selección de rangos en entradas analógicas

| Rango     | Posición JP5/7 | Posición JP6/8 |
|-----------|----------------|----------------|
| 0 a 20 mA | 1-2            | colocado       |
| 0 a 10 V  | 2-3            | sin colocar    |

- Módulos GPRS: el sistema consta además de dos módulos GPRS, uno basado en el módulo SIM800 de SIMCom [16] y el otro en un módulo A6 de Ai-Thinker Technology [17]. De esta forma se posibilita la comunicación simultánea dos redes de telefonía distintas, lo que aumenta la disponibilidad frente a la falla de una de ellas.
- RTC (*Real Time Clock*): se incluyeron en el módulo todos los componentes necesarios para el funcionamiento del periférico RTC. El RTC o reloj en tiempo real resulta indispensable cuando la aplicación requiere la sincronización de múltiples dispositivos. Puede conectarse una batería para retener la hora en caso de que el equipo esté expuesto a cortes prolongados de energía.
- Módulo Wi-Fi: el diseño permite la conexión tanto del módulo wemos d1-mini basado en el ESP8266 de Espressif Systems [18] como el wemos d1-mini32 basado en el ESP32 de la misma empresa. Ambos brindan una forma simple de disponer de conexión Wi-Fi y posibilitan que el microcontrolador principal pueda ser programado *over the air*, es decir, sin cables. El módulo basado en el ESP32 además incluye *Bluetooth* y un microcontrolador más potente pero a un costo superior.

- Micro-SD: la placa posee un socket micro-SD por si se requiere almacenar gran cantidad de datos.
- Pulsadores: se dispone de dos pulsadores que pueden resultar necesarios para realizar configuraciones en campo.
- RS-485 Full-Duplex: el diseño contiene comunicación RS-485 Full-duplex aislada galvánicamente que posibilita la comunicación cableada con otro módulo de procesamiento, módulos de expansión, PLC o cualquier dispositivo industrial compatible.
- Conectores de expansión: se dejaron disponibles en caso de ser requeridos un conjunto de conectores que posibilitan acceder a comunicación SPI, CAN, I2C, USART y/o entradas-salidas de propósito general del microcontrolador.
- Conector J9 y J10: el conector J9 sirve para conectar los módulos de entradas digitales que también fueron construidos para este proyecto mientras que el conector J10 si bien fue pensado para controlar módulos de salidas a relé, también permite disponer de salidas adaptadas a 5 V.
- SWD: el conector SWD es un puerto de programación y debug del microcontrolador.

El diseño renderizado puede verse en la figura 3.2 mientras que la foto real del módulo se muestra en la figura 3.3.

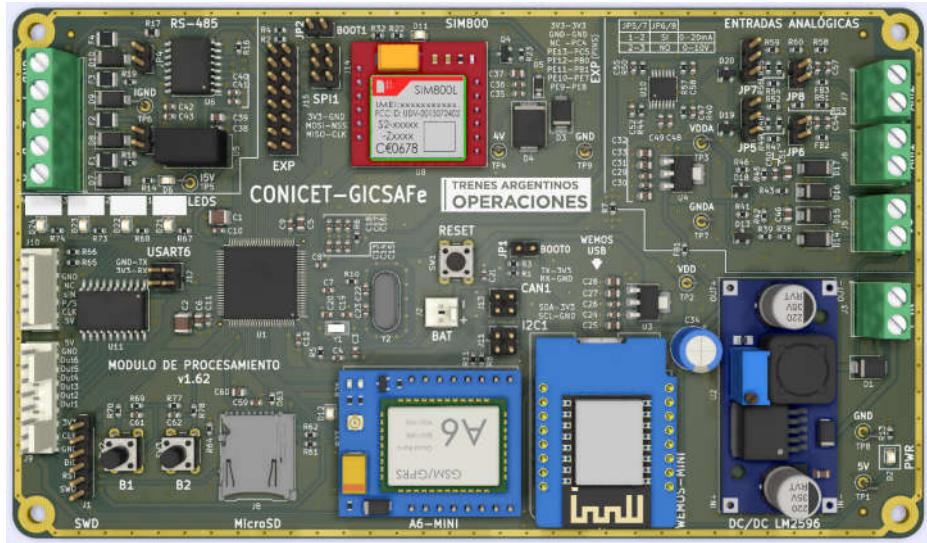


Figura 3.2: Render de la placa de procesamiento.

### 3.1.2. Módulo de entradas digitales

Para proveer al módulo de procesamiento la capacidad de leer el estado de entradas digitales, fueron construidos módulos de entradas digitales.

Para cumplir con los requerimientos propuestos, estos módulos debían representar una carga insignificante para los circuitos a los cuales se conectaban,

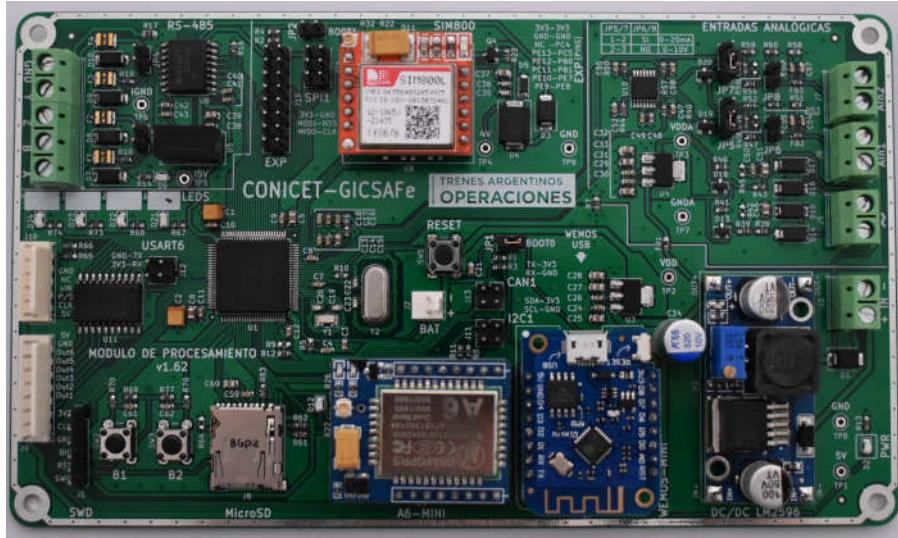


Figura 3.3: Fotografía de la placa de procesamiento con todos los módulos de comunicación.

debían soportar al menos 36V de corriente continua y estar aislados galvánicamente. Por lo tanto se llevó a cabo el diseño que se presenta en la figura 3.4 para cada una de las entradas digitales. Las características de este circuito son:

- Soporta tensiones de corriente continua de hasta 60 V.
- Provee aislación galvánica superior a los 1000 V.
- El diodo zener en la entrada hace que se requiera una tensión umbral para activar el optoacoplador, con lo que se filtra gran parte del ruido que pueda estar presente en el punto de medición.
- Al utilizarse un optoacoplador con salida Darlington, una corriente de apenas 1 mA en la entrada ya es suficiente para que el transistor sature.
- Dispone de indicaciones luminosas tanto a la entrada como a la salida para ayudar a encontrar cualquier falla.

Cada módulo dispone de ocho entradas digitales, las cuales se conectan a un registro de desplazamiento con entrada paralela y salida serie CD4021. Esta configuración permite que se conecten en cascada tantos módulos como sea requerido por la aplicación y así ampliar la capacidad. El número máximo de entradas digitales se encuentra limitado únicamente por la calidad eléctrica de las conexiones y a fines prácticos se limitará a 512, lo que equivale a 64 módulos de entradas. En la figura 3.5 puede verse un render de este módulo y en la figura 3.6 la conexión de catorce de ellos en cascada con el objetivo de poder leer hasta 112 entradas digitales.

### 3.1.3. Módulo de salidas

Para dar la opción al módulo de procesamiento de incluir salidas a relé, se utilizó un módulo disponible comercialmente [19] que cuenta con cuatro relés que aseguran un número mínimo de conmutaciones mecánicas de 10 millones

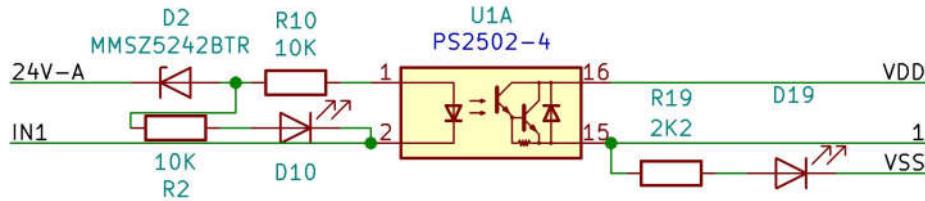


Figura 3.4: Circuito implementado para cada una de las ocho entradas digitales del módulo.



Figura 3.5: Render del módulo de entradas digitales.

[20], son comandados mediante un optoacoplador, posee LEDs indicadores para cada canal y borneras independientes para cada salida. La elección fue dada por el bajo costo y que hasta la fecha no surgieron proyectos que requieran más de las salidas que dispone este módulo. Puede verse en la figura 3.7.

### 3.1.4. Módulo Ethernet

Si bien el módulo de procesamiento no cuenta con Ethernet nativo, para la realización del trabajo se utilizó un módulo Ethernet (figura 3.8) basado en el chip W5100 de la empresa Wiznet [21]. Este chip implementa por hardware un stack TCP/IP, MAC Ethernet 10/100 y la capa física de Ethernet. De esta forma, le otorga al módulo de procesamiento la capacidad de ejecutar múltiples protocolos de internet, requiriendo únicamente de una interfaz SPI (*Serial Peripheral Interface*).

## 3.2. Desarrollo de firmware

El firmware implementado se describe mediante un diagrama en capas en la figura 3.9. Las dos capas inferiores, hardware y stack TCP/IP, se encuentran resueltas por el módulo Ethernet basado en el chip W5100 marca Wiznet [21] y la comunicación con el mismo se realiza por medio de un puerto SPI utilizando una API (*Application Programming Interface*) tipo *socket* provista por el fabricante.

La capa de encriptación TLS fue realizada mediante la biblioteca mbed-TLS [22], a la que se le agregó un archivo de configuración y una serie de funciones para escritura y lectura de datos en el *socket*. De esta forma la encriptación resulta “transparente” para las capas superiores.

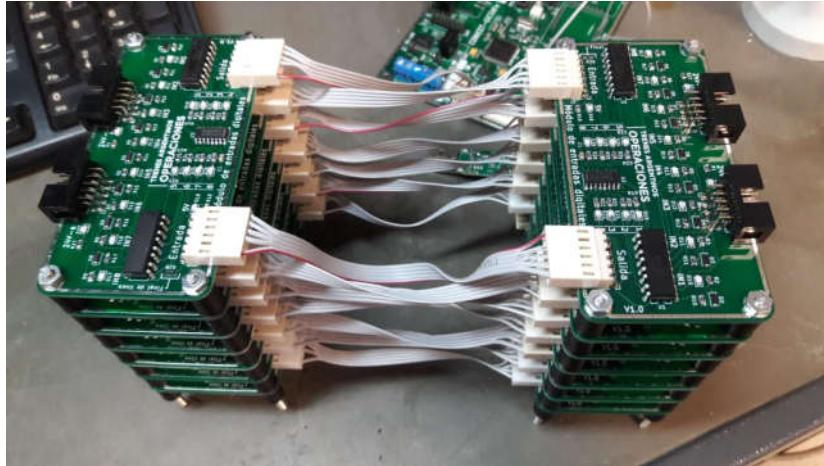


Figura 3.6: Catorce módulos de entradas digitales conectados en cascada.

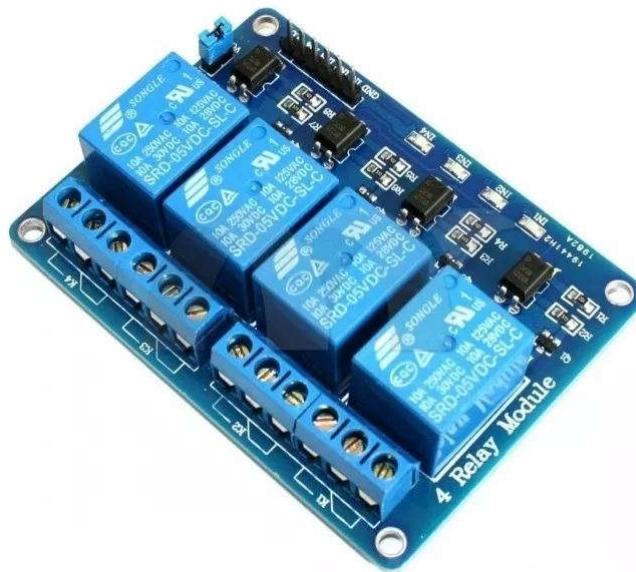


Figura 3.7: Módulo de salidas con cuatro relés.



Figura 3.8: Módulo Ethernet basado en Wiznet W5100.

La capa MQTT fue implementada con la biblioteca paho-mqtt para lenguaje C que permite de una forma muy simple conectarse a un broker MQTT y publicar mensajes. Por último, la capa de aplicación es la encargada de gestionar la temporización, conexión al servidor, lectura de entradas y envío de mensajes.

Esto se describe en la siguiente subsección.

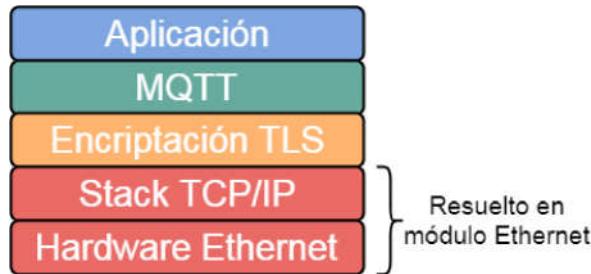


Figura 3.9: Diagrama en capas del firmware.

### 3.2.1. Capa de aplicación

La tarea de la capa de aplicación es indicada en el diagrama de flujo de la figura 3.10. Comienza por la inicialización de los periféricos propios del microcontrolador, seguido por la configuración de los registros internos del chip w5100 para la asignación de direcciones MAC e IP, luego se conecta a un servidor SNTP (*Simple Network Time Protocol*) para obtener la hora con la que configura el reloj en tiempo real, posteriormente establece la comunicación encriptada con el servidor de SOFSE realizando el debido intercambio de certificados, y por último se conecta al broker MQTT.

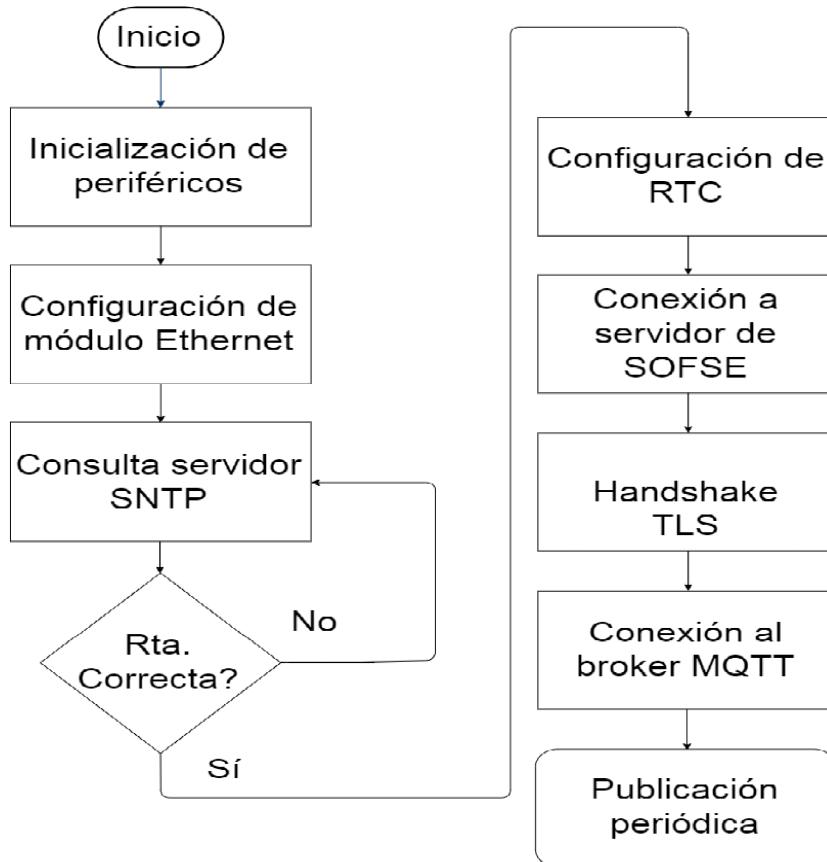


Figura 3.10: Diagrama de flujo de la capa de aplicación.

A partir de ese momento y mientras no sea interrumpida la comunicación, el firmware sigue las tareas que indica la figura 3.11. Realiza una temporización que se corresponde a la máxima frecuencia de publicación y si pasado ese periodo es verificada la fluctuación en el estado de alguna de las entradas digitales o se venció el tiempo para indicar señales de vida, se arma una trama JSON que es enviada al servidor mediante MQTT.

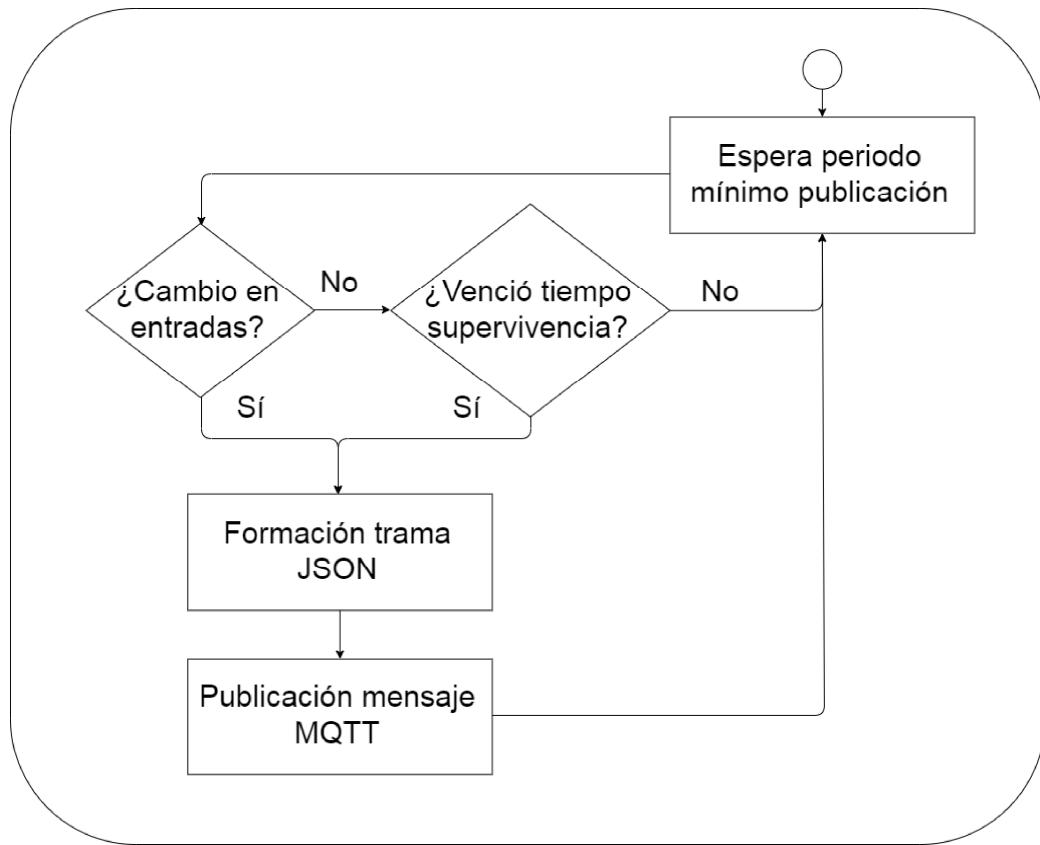


Figura 3.11: Diagrama de flujo de la publicación periódica de mensajes MQTT.

La trama tipo JSON mostrada en el algoritmo 3.1 se compone de seis objetos con sus respectivos valores:

- Identificación: la identificación del equipo se utiliza para poder reconocer el origen de los datos y determinar la correspondencia con las señales medidas en campo.
- *Timestamp*: el *timestamp*, también llamado hora UNIX o POSIX [23] es un número que indica la cantidad de segundos transcurridos desde las 0 horas del 1 de enero de 1970. Sirve también para identificar los paquetes entre sí.
- Número de entradas analógicas: bajo la etiqueta NanIn se indica la cantidad de entradas analógicas que serán transmitidas.
- Valores analógicos: se envía un vector donde cada elemento corresponde al valor de una entrada analógica. Estos valores están comprendidos entre 0 y 4096, y es responsabilidad del software realizar el escalado que

se deba.

- Número de módulos de entradas digitales: con la etiqueta NdIn se indica el número de módulos de entradas digitales que se enviarán a continuación.
- Valores digitales: vector en que cada componente brinda información obtenida de la lectura de un módulo de entradas digitales en particular. El valor de estos componentes se encuentra entre 0 y 256 (8 bits), donde cada bit representa una entrada digital, correspondiéndose la entrada 8 con el bit más significativo y la 1 con el menos significativo.

```
1 {
2   "id": "Modulo_Olivos",    //Identificador del adquisidor
3   "ts": 1569928074,       //Timestamp del paquete
4
5   "NanIn": 4,             //Numero de entradas analogicas
6   "anIn": [               //Vector con lectura de entradas analogicas
7     3,                   // Lectura anIn0
8     1525,                // Lectura anIn1
9     2013,                // Lectura anIn2
10    2020                 // Lectura anIn3
11  ],
12  "NdIn": 16,             //Numero de modulos de entradas digitales
13  "dIn": [               //Vector con lectura de entradas digitales
14    0,                   // Lectura modulo 0
15    0,                   // Lectura modulo 1
16    0,                   // Lectura modulo 2
17    0,                   // Lectura modulo 3
18    0,                   // Lectura modulo 4
19    0,                   // Lectura modulo 5
20    0,                   // Lectura modulo 6
21    0,                   // Lectura modulo 7
22    0,                   // Lectura modulo 8
23    0,                   // Lectura modulo 9
24    0,                   // Lectura modulo 10
25    0,                   // Lectura modulo 11
26    0,                   // Lectura modulo 12
27    0,                   // Lectura modulo 13
28    0,                   // Lectura modulo 14
29    0                   // Lectura modulo 15
30  ]
31 }
```

Algoritmo 3.1: Trama JSON de los mensajes MQTT.

### 3.2.2. Lectura de entradas

Para publicar los valores tanto de las entradas analógicas como de las digitales debe hacerse un procesamiento que busque descartar mediciones espúrias causadas por ruido eléctrico o transitorios de las comutaciones de los relés.

En el caso de las entradas digitales se realiza una carga de todos los valores en forma paralela y simultánea como indica la figura 3.12. Esto evita posibles errores en la visualización que serían causados si la lectura de las entradas se hiciera de forma diferida. Luego, los valores son desplazados para ser leídos de forma serial por el módulo de procesamiento (ver figura 3.13) y por último, el valor de cada entrada es almacenado en un vector independiente que contiene los estados previos de esa misma entrada, se realiza una comparación para determinar si el valor se mantuvo en el tiempo y recién en ese momento es cargado en el vector a publicar. Este último procedimiento se ilustra en la figura 3.14.

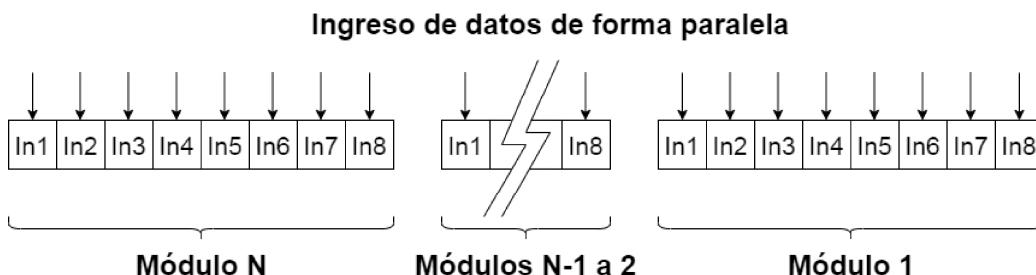


Figura 3.12: Carga paralela de todas las entradas en forma simultánea.

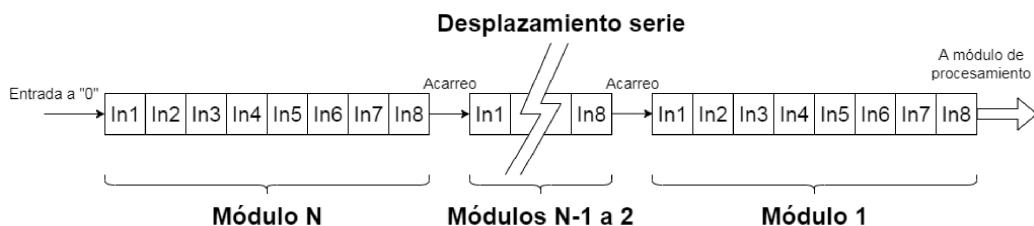


Figura 3.13: Lectura serial de los valores en los registros.

Las entradas analógicas son, en cambio, leídas de manera secuencial, almacenadas en un vector que contiene sus valores previos y luego filtradas para finalmente ser publicadas. Esta secuencia se ilustra en la figura 3.15.

## 3.3. Desarrollo de software

El desarrollo del software se dividió en dos partes bien definidas, el servicio sobre el servidor y la interfaz gráfica. Debe destacarse que ambas partes fueron desarrolladas junto con el grupo GICSAFe (Grupo de Investigación en Calidad y Seguridad de las Aplicaciones Ferroviarias).

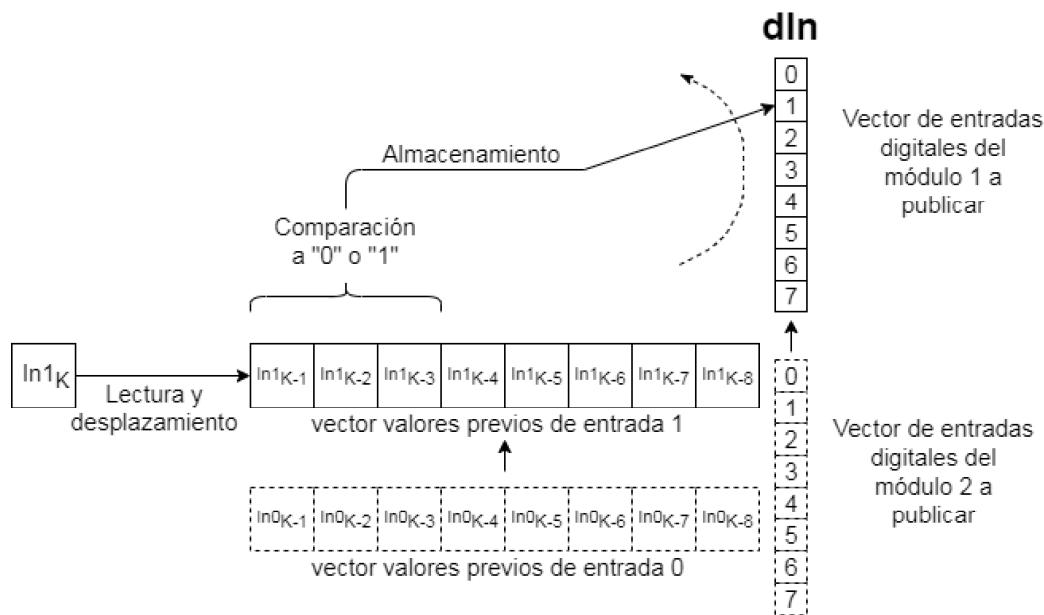


Figura 3.14: Lectura, desplazamiento, comparación y carga de los valores de una entrada digital.

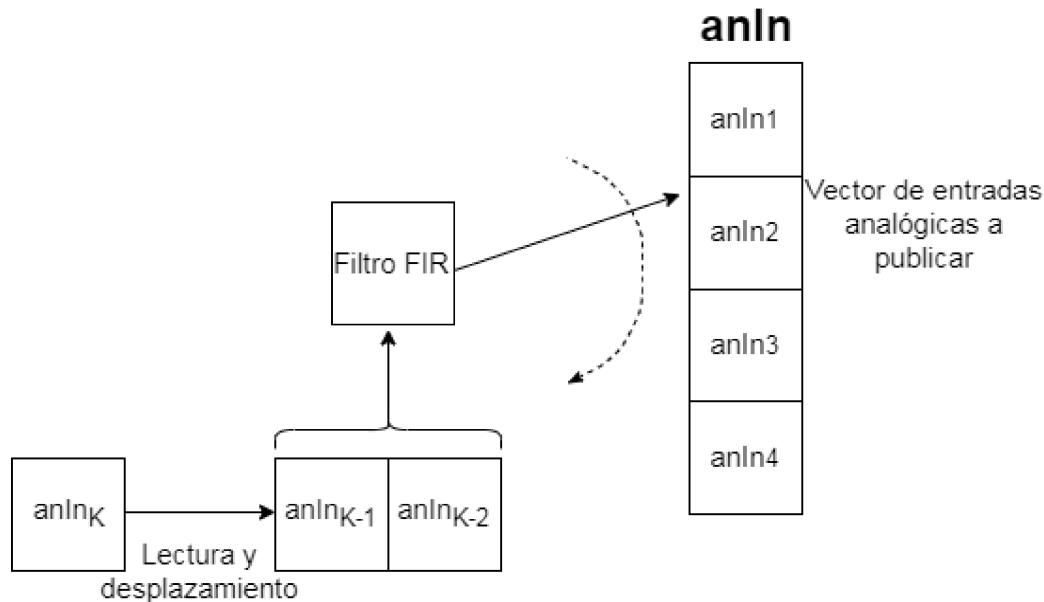


Figura 3.15: Lectura, desplazamiento, filtrado y carga de los valores de una entrada analógica.

### 3.3.1. Servicio sobre el servidor

Para el funcionamiento visualizador se encuentra corriendo sobre el servidor de SOFSE un servicio que posee:

- Broker Mosquitto [24] para la gestión de comunicación y clientes MQTT [25].
- Página web con autenticación por niveles de privilegio e interfaz para configuración e inclusión o revocación de equipos (figura 3.16).

- Generación dinámica de bases de datos y configuración de alertas mediante Node Red [26].

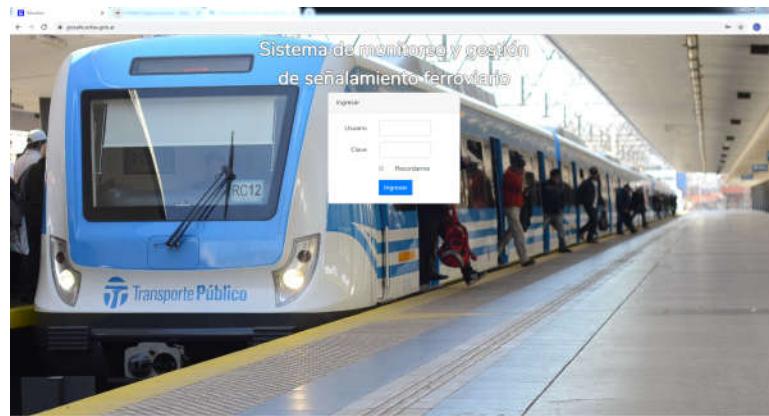


Figura 3.16: *Home page* de la página web corriendo actualmente sobre el servidor de SOFSE.

### 3.3.2. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica fue diseñada utilizando el software RAILIB [27]. Este software desarrollado en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Haedo permite entre otras cosas:

- Conectarse como cliente a un broker MQTT.
- Suscribirse a un *topic*.
- Recibir los mensajes que publica el adquisidor.
- Separar los campos del mensaje.
- Realizar una equivalencia entre cada bit y su significado físico mediante un archivo de configuración.
- Colocar visualmente cada uno de los símbolos que representan los elementos del señalamiento hasta formar el diagrama pretendido (figura 4.9).

De esta forma con cada mensaje recibido se logra mostrar en tiempo real el estado del sistema de señalamiento tal como lo haría una mesa de mando (figura 3.18).

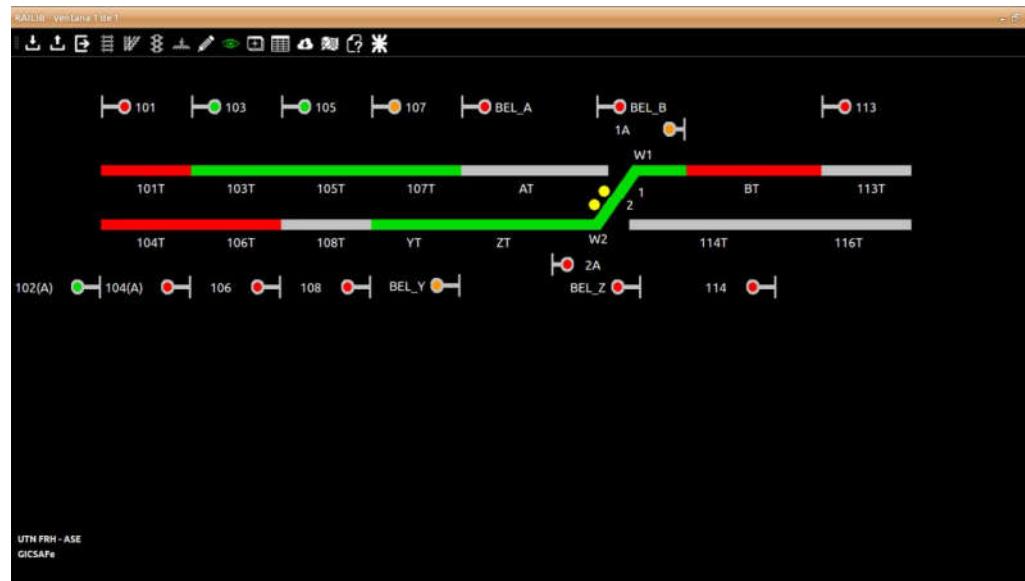


Figura 3.17: Interfaz gráfica con los elementos de señalamiento que son monitoreados desde la cabina Belgrano, ciudad autónoma de Buenos Aires.

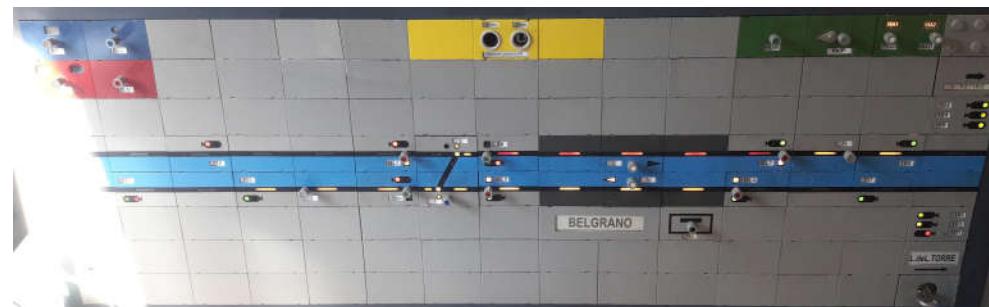


Figura 3.18: Mesa de mando de la estación Belgrano C, ciudad autónoma de Buenos Aires.



## Capítulo 4

# Ensayos y Resultados

En este capítulo se muestran los ensayos que fueron realizados sobre el sistema para verificar el cumplimiento de los requerimientos planteados en la sección 1.4 y los resultados obtenidos. Además se expone la contribución del trabajo al estado del arte.

### 4.1. Pruebas sobre entradas digitales

Se conectaron las entradas digitales a una fuente de alimentación de tensión variable con el fin de determinar el rango de operación. De este ensayo se desprende que:

- Trabajando en 24 V, tensión de operación nominal para la cual fueron calculadas las entradas, la corriente que circula es menor a 1 mA. Esto representa menos del 1 % de la corriente consumida por la bobina de un relé.
- Desde 0 V hasta 14 V es considerado como un “0” lógico y que por encima de 14 V es detectado como un “1”.
- Las entradas soportan 60 V sin ser destruidas por una excesiva disipación de potencia.
- La resistencia entre las cuatro entradas superiores de cada módulo y las cuatro inferiores como así también la resistencia entre cualquiera de ellas y la etapa de control supera el rango de medición del instrumento utilizado (multímetro Fluke 179 [28]).

Otra restricción impuesta por los requerimientos es del tipo temporal. El sistema debe reportar el estado de las entradas al servidor en un tiempo no superior a un segundo. Esto requiere que el número máximo de entradas digitales propuesto (512 equivalente a 64 módulos) puedan ser leídas al menos tres veces en ese periodo de tiempo para poder hacer un correcto algoritmo “antirrebote” [29].

Por lo tanto se realizó la medición del tiempo necesario para la lectura de las ocho entradas de un módulo completo y así poder extrapolar los resultados.

La lectura de las ocho entradas insume un tiempo de 13 us. Por lo tanto se concluye que utilizando un sistema operativo en tiempo real con una temporización de 1 ms, se requieren únicamente 192 ms para realizar por triplicado

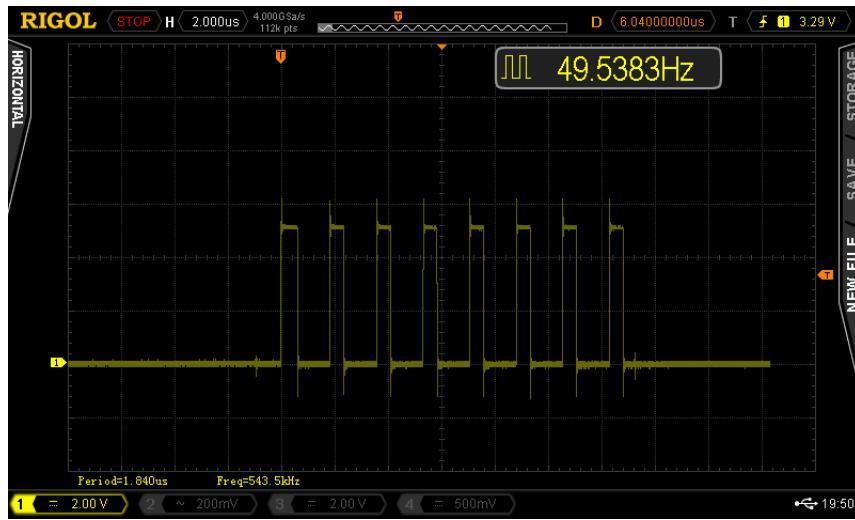


Figura 4.1: Señal de *clock* para desplazamiento y lectura del registro de un módulo de entradas.

la lectura del numero máximo de modulos de entradas, dejando tiempo más que suficiente para la ejecución de otras tareas.

## 4.2. Pruebas sobre entradas analógicas

El diseño integró las cuatro entradas analógicas requeridas. Dos de ellas, anIn3 y 4, quedan vacantes y dan la opción de medir entre 0 y 10 V o entre 0 y 20 mA. Tal como se explicó en la sección 3.1.1, de las dos entradas restantes, una se diseñó para medir la tensión de alimentación del circuito proveniente de una batería (anIn2) y la otra para medir una tensión alterna monofásica a través de un transformador de 220 V a 6 V (anIn1).

El ensayo realizado consistió en conectar una fuente de alimentación regulable en cada una de las entradas y verificar que el rango de medición sin alcanzar el fondo de la escala del ADC (*Analog to Digital Converter*) sea suficiente para la aplicación solicitada. Los resultados obtenidos fueron:

- anIn1: se obtuvo el valor 4095 correspondiente al fondo de estala del ADC con resolución de 12bits con una tensión de entrada de 11 V. Esto indica que puede medirse una tensión RMS máxima de 7,78 V o a través del transformador de 285 V.
- anIn2: en este caso el valor máximo fue de 17 V, lo que permite detectar fácilmente una sobrecarga en la batería.
- anIn3 y 4: ambas entradas alcanzan el valor máximo a la tensión de 10 V para la cuál fueron calculadas.

## 4.3. Aplicación como adquisidor de datos

El equipo adquisidor de datos tiene como requerimiento que debe conectarse al servidor de SOFSE utilizando TLS y además, debe reportar el estado de sus

entradas con un periodo de un segundo en caso de haber cambios y menor a veinte segundos de no haberlos para que no sea considerado como desconectado. Para lograr el cumplimiento de estos requerimientos, implícitamente se debe previamente:

- poder leer múltiples módulos de entradas conectados en cascada.
- obtener la medición de entradas analógicas y su filtrado.
- inicializar correctamente el módulo Ethernet.
- conseguir conectarse a un servidor SNTP para disponer de la hora actualizada.
- configurar el periférico RTC.
- transformar el formato de fecha y hora a *timestamp*.
- realizar una conexión encriptada al servidor de SOFSE.
- armar la trama JSON con todos los campos requeridos.
- lograr conectarse como cliente MQTT con la debida autenticación.
- publicar mensajes MQTT.

Desde el lado del adquisidor, al no disponer de HMI, la forma en que se verificó el cumplimiento de todas estas tareas fue conectándose a través de un puerto serie y viendo en una consola los mensajes reportados por el módulo de procesamiento. Estos mensajes se ven en la figura 4.2.

```
sntp to rtc
Certificate:
cert_version : 1
serial number : 32:E6:EF:C7:98:20:61:20:3E:E3:B6:B3:79:38:60:09:15:80:AA:42
issuer name : C=AR, ST=CABA, O=Trenes Argentinos Operaciones, CN=SOFSE
subject name :
Init tls
Handshake done
Connected to Mqtt broker
Successfully published
{"id": "Modulo_Olivos", "ts": 1573563418, "NanIn": 4, "anIn": [4, 1871, 2039, 2045], "NdIn": 14, "dIn": [0, 15, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Successfully published
{"id": "Modulo_Olivos", "ts": 1573563429, "NanIn": 4, "anIn": [3, 1873, 2034, 2042], "NdIn": 14, "dIn": [0, 15, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Successfully published
{"id": "Modulo_Olivos", "ts": 1573563440, "NanIn": 4, "anIn": [5, 1874, 2034, 2047], "NdIn": 14, "dIn": [0, 15, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Successfully published
{"id": "Modulo_Olivos", "ts": 1573563444, "NanIn": 4, "anIn": [5, 1876, 2007, 2005], "NdIn": 14, "dIn": [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Successfully published
{"id": "Modulo_Olivos", "ts": 1573563445, "NanIn": 4, "anIn": [4, 1873, 2014, 2015], "NdIn": 14, "dIn": [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 240]}
Successfully published
```

Figura 4.2: Mensajes capturados a través del puerto serie del equipo adquisidor de datos.

De la figura 4.2 se logra deducir que en el momento en que fue realizado el ensayo se encontraban conectados catorce módulos de entradas digitales con todas sus entradas en "0" salvo el número dos. Éste reportaba el valor 15 que en binario se representa como "0000 1111", lo que indica que sus entradas 1 a 4 tenían presente una tensión mayor a 14V.

Otro dato que se desprende de la figura, observando el valor de *timestamp*, es que el tiempo máximo entre mensajes sin haber variaciones en sus entradas

estaba configurado a once segundos. Este fue el transcurrido entre la publicación del primer y segundo mensaje y entre el segundo y tercero, mientras que entre el cuarto y quinto se ve que por haberse presentado una variación en las entradas el periodo de publicación se redujo a un segundo.

Finalmente, para verificar la correcta recepción desde el servidor, se suscribió al *topic* al que publica el adquisidor desde un software que hace de cliente MQTT, el MQTT.fx [30]. El resultado se muestra en la figura 4.3. Se observa que es satisfactorio.

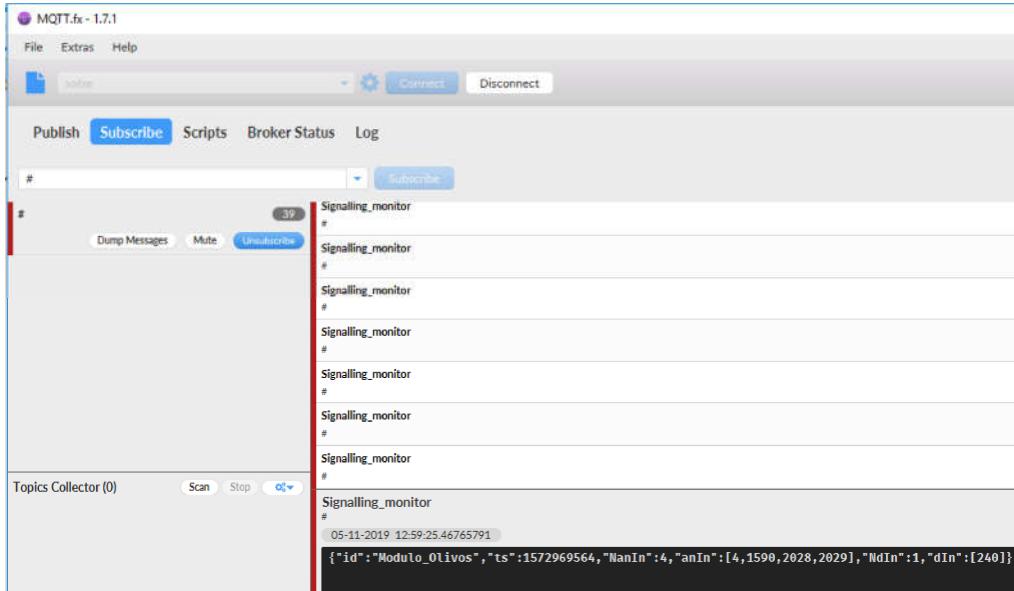


Figura 4.3: Datos obtenidos con el software MQTT.fx al suscribirse al servidor de SOFSE.

#### 4.4. Aplicación como monitor de barrera

Para resaltar la virtud del módulo de procesamiento de adaptarse a más de una aplicación y además para demostrar el correcto funcionamiento de la comunicación GPRS, se portó el firmware del proyecto DIMBA (Diseño e Implementación de un Monitor de Barreras) [31] que antiguamente corría sobre el hardware de la CIAA-NXP [32] al módulo de procesamiento presentado en la sección 3.1.1 y se instaló el sistema en el paso a nivel Corrientes de la localidad de Olivos (ver figura 4.4).

DIMBA fue diseñado para poder detectar la ocupación de los circuitos de vía y la posición de las barreras en los pasos a nivel y transmitirlas al servidor de SOFSE, donde esa información es procesada para generar bases de datos y estadísticas. A partir de esto puede detectarse la falla, rotura u obstrucción de alguna barrera y dar aviso al personal responsable para que la situación sea corregida, reduciendo el tiempo de exposición de los peatones y vehículos a una condición peligrosa .

Al compartir el proyecto DIMBA el mismo servicio sobre el servidor de SOFSE, este ensayo también sirvió para verificar el funcionamiento del *broker* MQTT y la generación y procesamiento de la base de datos. La página web muestra



Figura 4.4: Módulo de procesamiento instalado en el paso a nivel Corrientes, ciudad de Olivos, Buenos Aires.

la información de las entradas digitales a través de una tabla y las digitales en gráficos históricos como puede verse en las figuras 4.5 y 4.6 respectivamente.

| Fecha               | Estado | Etiqueta          | Duración       | Aicional |
|---------------------|--------|-------------------|----------------|----------|
| 13/08/2019 18:51:00 | 0      | Desocupado + Alto | 5 min. 19 seg. |          |
| 13/08/2019 18:50:53 | 5      | Subiendo          | 7 seg.         |          |
| 13/08/2019 18:50:52 | 4      | Desocupado + Bajo | 1 seg.         |          |
| 13/08/2019 18:48:16 | 3      | Ocupado + Bajo    | 2 min. 36 seg. |          |
| 13/08/2019 18:48:06 | 2      | Bajando           | 10 seg.        |          |
| 13/08/2019 18:47:48 | 1      | Ocupado + Alto    | 18 seg.        |          |
| 13/08/2019 18:39:12 | 0      | Desocupado + Alto | 8 min. 36 seg. |          |
| 13/08/2019 18:39:05 | 5      | Subiendo          | 7 seg.         |          |
| 13/08/2019 18:39:04 | 4      | Desocupado + Bajo | 1 seg.         |          |

Figura 4.5: Tabla de la página web mostrando estado de ocupación de circuito de vía y barrera.

## 4.5. Pruebas de integración

Como método de validación del trabajo se realizó una prueba final integrando cada una de las partes constitutivas del mismo.

Para la realización de este ensayo fue necesario el montaje del adquisidor dentro de un gabinete compatible con el rack en que se encuentran instalados el sistema de enclavamiento, dentro de la cabina (ver figura 4.7). En el gabinete se colocó:

- un módulo de procesamiento.



Figura 4.6: Gráficos históricos con información proporcionada por las entradas analógicas.

- un módulo Ethernet.
- dieciséis módulos de entradas.
- una batería de 12V 7ah.
- una fuente conmutada 220V/20V de 2,3A.
- una circuito cargador de batería.

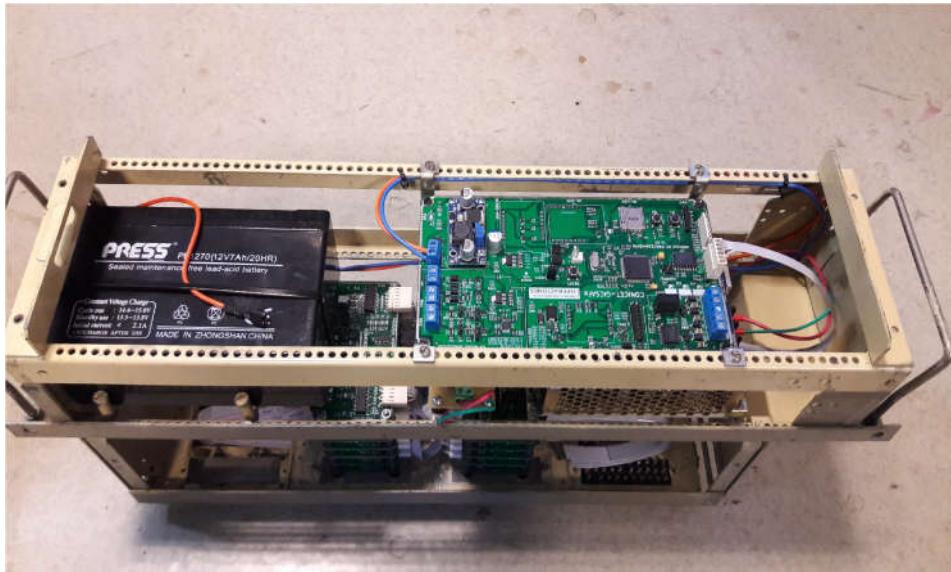


Figura 4.7: Adquisidor montado dentro de un gabinete compatible con el rack del enclavamiento.

Se realizó el debido cableado de cada una de las señales dentro de la cabina a los conectores hembra del rack para lograr que el adquisidor sea *plug & play* (figura 4.8).

También fue necesario inicializar el software RAILIB, cargar el archivo de configuración y suscribirse al broker MQTT. La interfaz gráfica de RAILIB se



Figura 4.8: Racks del enclavamiento dentro de la cabina Belgrano, Ciudad autónoma de Buenos Aires.

muestra en la figura 4.9. En ésta interfaz se observan en color rojo los circuitos de vía ocupados, en color verde los asignados por itinerario y en gris los desocupados. Asimismo se identifica la posición del cambio de vía y el estado de todas las señales.

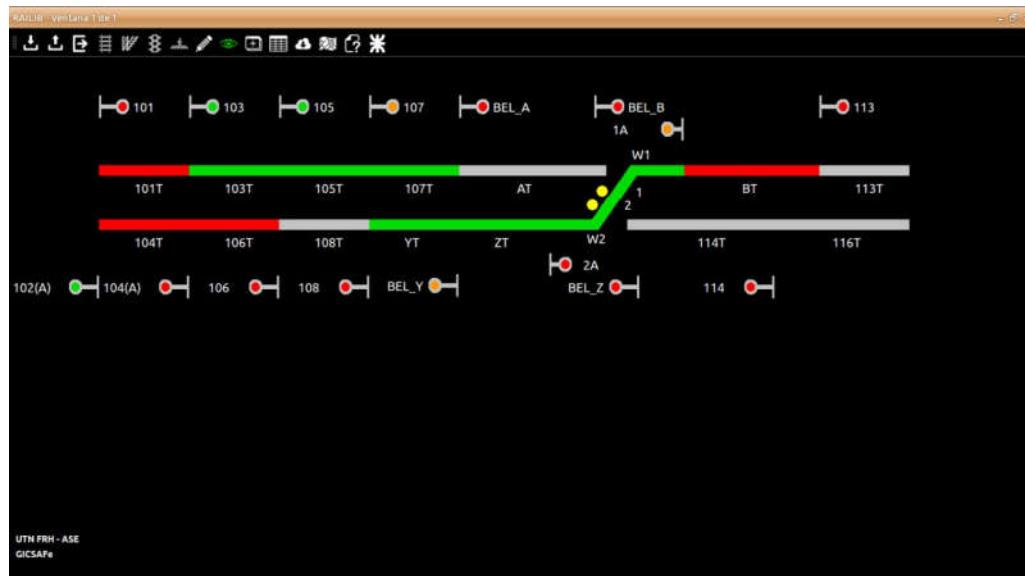


Figura 4.9: Interfaz gráfica con los elementos de señalamiento que son monitoreados desde la cabina de Belgrano, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

## 4.6. Contribución al estado del arte

En la tabla 4.1 se presenta una comparación entre los distintos sistemas mencionados en la sección 1.5. Sólo se incluyen los sistemas realizados en Argentina, por tratarse el presente trabajo de una innovación a nivel regional y no existir otros antecedentes registrados en latinoamérica. Se observa que el sistema presentado en este trabajo es el único que permite adquirir más de 60 señales digitales. De esta forma es el único de los sistemas que permite realizar el monitoreo de todas las señales disponibles en las cabinas. A su vez, es el único de los sistemas que tiene triple redundancia en la conectividad, y es también el único que implementa cifrado en la comunicación de los datos.

Tabla 4.1: Comparación entre los distintos sistemas de monitoreo mencionados.

| Sistema      | Entradas digitales    | Entradas analógicas     | Salidas digitales | Comunicacion                         | Cifrado | Registro histórico            | Detección de fallas           |
|--------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|
| Arwave       | 8                     | No dispone              | 4                 | GSM                                  | Ninguno | En servidor del fabricante    | En servidor del fabricante    |
| KP-AL959     | 6<br>12 a 24 V        | 3<br>0,2 a 50 A         | No dispone        | GSM,<br>Ethernet                     | Ninguno | En servidor del fabricante    | En el equipo en campo         |
| KP-AL911     | 6<br>12 V             | 2<br>0 a 5 V            | 3                 | GSM, RS-485<br>opcional              | Ninguno | En servidor del fabricante    | En el equipo en campo         |
| FerroExpreso | 8<br>24 V             | 4                       | 4                 | RF                                   | Ninguno | Sin registro                  | En equipo receptor            |
| Este trabajo | 8 a 512*<br>14 a 60 V | 0 a 10 V<br>ó 4 a 20 mA | Múltiplos de 8**  | Wi-Fi,<br>GSM-A,<br>GSM-B,<br>RS-485 | TLS     | En el servidor de Trenes Arg. | En el servidor de Trenes Arg. |

\* El número máximo depende de la calidad eléctrica de las conexiones.

\*\* Cantidad limitada por la calidad eléctrica de las conexiones y capacidad de la fuente de alimentación.

# Capítulo 5

## Conclusiones

En el presente capítulo se anuncian las conclusiones a las que se ha llegado y se definen los pasos a seguir.

### 5.1. Conclusiones generales

El trabajo realizado aportó una herramienta fundamental a la empresa Trenes Argentinos Operaciones (SOFSE) para la detección temprana de fallas en el señalamiento. Empleando esta nueva herramienta la empresa está trabajando para minimizar las interrupciones y mejorar el servicio, beneficiando de forma directa a millones de usuarios.

También, el poder detectar en el momento la rotura de una barrera puede salvar vidas al evitar accidentes automovilísticos.

Otra cualidad es que el sistema desarrollado permite conocer la posición de todas las formaciones a través de la ocupación de circuitos de vía y así determinar los tiempos de cada trayecto para luego mejorar la diagramación de los servicios.

La plataforma de hardware desarrollada para este trabajo demostró ser flexible y potente como para adaptarse a diferentes aplicaciones. De esta forma, el tiempo invertido en la confección del diseño es fácilmente amortizable en futuros proyectos.

### 5.2. Próximos pasos

Como primer paso deben ser instalados los adquisidores en las cabinas restantes del ramal Tigre de la línea Mitre para así lograr tener una visión global del sistema de señalamiento y aprovechar todos los beneficios que brinda el sistema.

Otra tarea importante por hacer es analizar los datos que actualmente se guardan en el servidor para lograr:

- tener información estadística de las roturas en el señalamiento que permitan pasar de hacer un mantenimiento puramente correctivo a uno del tipo preventivo.

- realizar la proyección de obras civiles como pasos bajo nivel a partir de la obtención del tiempo que permanecen en bajo las barreras.
- determinar con precisión el tiempo que las formaciones permanecen detenidas en las estaciones y el que ocupan cada sección de vía, para cada franja horaria y así poder optimizar al máximo la diagramación.
- generar un sistema de alertas para informar de los eventos acontecidos a quién deba encargarse en ese momento.

Finalmente, por tratarse de una solución realmente flexible y económica, este sistema de visualización podría instalarse en las restantes líneas férreas del país e incluso de la región.

# Bibliografía

- [1] Institution of Railway Signal Engineers (IRSE). *Study Guide for Module 3 – Signalling Principles*. 2019.
- [2] SIEMENS. *Digital interlockings – the future is already here*.  
<https://new.siemens.com/global/en/products/mobility/rail-solutions/rail-automation/interlocking-systems.html>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [3] ENA Tecnología. *Sistema de Centralización CRYSSMA*.  
<https://www.ena-tecnologia.com/sistema-de-centralizacion-cryssma/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [4] Voestalpine. *RXM - Rail Crossing Monitoring*.  
<https://www.voestalpine.com/signaling/en/products/Rail-Crossing-Monitoring/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [5] Arwave. *Página web de la empresa*. <http://www.arwave.com/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [6] Arwave. *Monitoreo a Distancia de Pasos a Nivel con Barreras Automáticas*. <https://cutt.ly/ARWAVE>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [7] CAPE. *Página web de la empresa*. <http://www.capeing.com.ar/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [8] CAPE. *Equipo de monitoreo remoto, alarma y controlador GSM/SMS/GPRS - Ethernet KP-AL959*. <https://cutt.ly/KP-AL959>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [9] CAPE. *Equipo de monitoreo remoto GSM KP-AL911*.  
<https://cutt.ly/KP-AL911>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [10] CONICET-GICSAFe. *El Grupo de Investigación en Calidad y Seguridad de las Aplicaciones Ferroviaria*.  
<https://sites.google.com/view/conicet-gicsafe/inicio>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [11] SOFSE. *Trenes Argentinos Operaciones*. <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos/institucional>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [12] CNRT. *Informe de pasajeros transportados por ramal*. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/infoest2016\\_ffccamba\\_01-mitre.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/infoest2016_ffccamba_01-mitre.pdf). Dic. de 2016. (Visitado 26-11-2019).
- [13] STMicroelectronics. *STM32F407VG - High-performance foundation line, ARM Cortex-M4 core with DSP and FPU, 1 Mbyte Flash, 168 MHz CPU, ART Accelerator, Ethernet, FSMC*. <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407vg.html>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [14] J.Yiu. *The Definitive Guide to ARM Cortex M3 and Cortex M4 Processors, 3rd Edition*. Newnes, 2014.

- [15] Texas Instruments. *step-down (buck) switching regulator, LM2596.* <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [16] SIMCOM. *GSM-GPRS module - SIM800.* <https://simcom.ee/modules/gsm-gprs/sim800/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [17] AI-THINKER. *A6 - GSM-GPRS module datasheet.* <https://www.makerfabs.com/desfile/files/A6>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [18] WEMOS. *Wemos D1 - Mini Esp8266 based Wi-Fi module.* <https://wiki.wemos.cc/products:d1:d1>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [19] Hand Sontec. *4CH relay module datasheet.* <https://www.handsontec.com/dataspecs/4Ch-relay.pdf>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [20] Hand Sontec. *5VDC Sontec relay datasheet.* <http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet.pdf>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [21] Wiznet. *Wiznet W5100 hardwired TCP/IP, MAC and PHY.* <https://www.wiznet.io/product-item/w5100/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [22] mbed TLS. *mbed TLS (formerly known as PolarSSL).* <https://tls.mbed.org/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [23] Wikipedia. *Unix Time definition.* [https://en.wikipedia.org/wiki/Unix\\_time](https://en.wikipedia.org/wiki/Unix_time). Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [24] Mosquitto. *Eclipse Mosquitto™, An open source MQTT broker.* <https://mosquitto.org/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [25] MQTT. *MQ Telemetry Transport, machine-to-machine (M2M)/Internet of Things connectivity protocol.* <http://mqtt.org>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [26] Node-RED. *Node-RED, Flow-based programming for the Internet of Things.* <https://nodered.org/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [27] H. Mendes Gouveia L. Chang R. Ghignone F. Larosa. «Generacion automática de modelos y código para sistemas electrónicos de enclavamiento ferroviario». En: *Libro de Trabajos del CASE2019* (2019), págs. 17-19.
- [28] Fluke. *Fluke 170 series datasheet.* [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/6011663a-de-17x-ds-w\\_0.pdf?rM6iZUwGFYFY2bxlCN6oQNIVwR2pTvVa](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/6011663a-de-17x-ds-w_0.pdf?rM6iZUwGFYFY2bxlCN6oQNIVwR2pTvVa). Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [29] Arduino. *Debounce tutorial.* <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Debounce>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [30] MQTT.fx. *The JavaFX based MQTT Client.* <https://mqqtfx.jensd.de/>. Dic. de 2019. (Visitado 26-11-2019).
- [31] S.H.Gallina E.Irrazabal I.Sambrana H.Ferrari D.Baliña L.Francucci M.A.Gomez Lopez J.M.Cruz P.Gomez A.Lutenberg A.Laiuppa M.Amado.

- «Sistema de monitoreo remoto de barreras ferroviarias automáticas». En: *Libro de Trabajos del CASE2018* (2018), págs. 102-107.
- [32] Proyecto CIAA. *Computadora Industrial Abierta Argentina*. Visitado el 2016-06-25. 2014. url:  
<http://proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=start>.