



Universidad Nacional  
de San Martín

# SIMULADOR DE SEÑALAMIENTO FERROVIARIO

SISTEMA DE SEÑALAMIENTO COMPLETO: ENCLAVAMIENTO,  
INTERFAZ DE COMANDO Y SIMULADOR DE VÍA PARA  
DIFUSIÓN Y CAPACITACIÓN SOBRE SUS NORMAS Y TECNOLOGÍA

ANDRES BERRUEZO RUCH  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

UNSAM – APDFA – CIFYT

Tutor: Ing. Javier Sartori – Gerente de Ingeniería de Señalamiento – ADIF S.E.

# CONTENIDO

Contenido .....	2
Tablas.....	4
Figuras .....	5
1.    Introducción.....	1
2.    Requerimientos .....	2
3.    Alcances y objetivos .....	4
4.    Presentación del sistema de señalamiento.....	4
4.1.    Enclavamiento existente.....	5
4.2.    Mesa de mando original .....	6
4.3.    Equipos ferroviarios a controlar.....	7
4.3.1.    Circuitos de vía .....	7
4.3.2.    Señales principales.....	8
4.3.3.    Señales de maniobra .....	12
4.3.4.    Indicadores de ruta.....	15
4.3.5.    Sistema ATS.....	16
4.3.6.    Máquinas de cambio .....	18
4.4.    Esquema de señalamiento .....	19
4.4.1.    Elementos de la estación Longchamps.....	20
4.4.2.    Rutas principales .....	21
4.4.3.    Rutas de maniobra.....	21
5.    Sistema de control ferroviario electrónico.....	22
5.1.    Hardware de enclavamiento .....	22
5.1.1.    Placa votadora .....	25
5.2.    Software de enclavamiento.....	27
5.2.1.    Análisis de comandos recibidos desde la PC .....	29
5.2.2.    Inicialización de variables y periféricos .....	32
5.2.3.    Lectura de entradas de campo.....	33
5.2.4.    Limpieza de diferímetros .....	33

5.2.5. Desbloqueo de cambios por ruta .....	33
5.2.6. Definición de aspecto de semáforos de maniobra.....	34
5.2.7. Definición de aspecto de señales principales.....	34
5.2.8. Comunicación de estado de elementos a la IHM .....	37
5.2.9. Asignación de pines .....	38
5.3. Software de interfaz humano máquina .....	46
5.3.1. Entorno gráfico .....	46
5.3.2. Funciones de la interfaz gráfica .....	52
5.4. Simulador de campo ferroviario.....	60
5.4.1. Materiales de indicación requeridos.....	61
6. Resultados .....	61
7. Conclusiones .....	65
8. Glosario .....	67
9. Bibliografía.....	71

## TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1	Asignación de pines para semáforo principal de 2 aspectos.	10
2	Asignación de pines para semáforo principal de 3 aspectos.	10
3	Asignación de pines para semáforo principal de 4 aspectos.	10
4	Salidas válidas para semáforo principal semicomandado de 2 aspectos.	11
5	Salidas válidas para semáforo principal semicomandado de 3 aspectos.	11
6	Salidas válidas para semáforo principal semicomandado de 4 aspectos.	11
7	Entradas válidas para semáforo principal semicomandado.	11
8	Asignación de pines para semáforo automático de 4 aspectos.	12
9	Entradas válidas para semáforo principal automático de 4 aspectos.	12
10	Asignación de pines para semáforo de uso compartido.	14
11	Salidas válidas para semáforo de uso compartido.	14
12	Asignación de pines para indicadores de ruta.	15
13	Salidas válidas para semáforo de uso compartido.	16
14	Aspectos de ATS según aspecto de señal asignada.	17
15	Asignación de pines para control de ATS en vía.	18
16	Salidas válidas para control de ATS en vía.	18
17	Asignación de pines para comando y control de máquinas de cambio.	19
18	Estados válidos para el comando de salidas de máquina de cambio.	19
19	Estados válidos para las entradas de máquina de cambio.	19
20	Lógica de control de votación.	26
21	Lógica de definición de aspectos del semáforo de uso compartido de maniobra.	34
22	Lógica de definición de aspectos del semáforo principal de cuatro aspectos.	35
23	Lógica de definición de aspectos del semáforo principal de tres aspectos.	36
24	Lógica de definición de aspectos del semáforo principal de desvío de dos aspectos.	36
25	Asignación de pines para las entradas de la placa central.	40
26	Asignación de pines de la placa expansora 0.	42
27	Asignación de pines de la placa expansora 1.	42
28	Asignación de pines de la placa expansora 2.	43
29	Asignación de pines de la placa expansora 3.	43
30	Asignación de pines de la placa expansora 4.	44
31	Asignación de pines de la placa expansora 5.	44
32	Asignación de pines de la placa expansora 6.	45
33	Asignación de pines de la placa expansora 7.	45
34	Representación gráfica de circuitos de vías.	49
35	Representación gráfica de cambios.	50



36	Representación gráfica de semáforos principales y automáticos.	51
37	Representación gráfica de semáforos de uso compartido de maniobra.	51
38	Representación gráfica de pulsadores y testigos adicionales.	52
39	Listado de elementos instalados en el simulador.	61

## FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1	Relés de enclavamiento ferroviario (Plaza Constitución, 2018).	5
2	Relés relevadores de equipos de campo (Plaza Constitución, 2018).	6
3	Mesa de mando electromecánica original (Longchamps, 2018).	7
4	Diagrama explicativo de funcionamiento de circuitos de vías.	8
5	Señales principales	9
6	Aspectos de señales principales del proyecto.	9
7	Composición física del semáforo de uso compartido.	13
8	Aspectos de semáforos de uso compartido.	14
9	Aspectos de indicadores de ruta según señal vinculada a ellos	15
10	Detalle constructivo de bobina ATS en vía con su caja de control.	17
11	Diagrama de equipamiento del Simulador de Señalamiento Ferroviario.	22
12	Diseño en bloques de la placa central.	23
13	Diagrama en bloques de las placas expansoras I2C.	24
14	Circuito esquemático del módulo votador de salidas.	25
15	Diseño PCB del módulo votador.	27
16	Diagrama de flujo del programa de enclavamiento.	28
17	Distribución física de conectores en placa central.	39
18	Distribución física de conectores de las placas expansoras.	41
19	Diagrama de conexiones entre placa central y placas expansoras en gabinete.	41
20	Captura de pantalla de la ventana principal de la IHM.	47
21	Menú contextual desplegable para cambios.	48
22	Menú contextual desplegable para señales principales.	48
23	Menú contextual desplegable para señales de maniobra.	48
24	Menú contextual desplegable para destinos de maniobras.	48
25	Cuadro de registro de eventos simplificado.	53
26	Cuadro de registro de alarmas simplificado.	53
27	Cuadro central de comandos de la interfaz.	54
28	Ventana de inicio de sesión.	55
29	Sistema de ayuda al mantenimiento para máquinas de cambio.	56

30	Sistema de ayuda al mantenimiento para señales principales.	57
31	Sistema de ayuda al mantenimiento para señales de maniobra.	58
32	Sistema registrador de eventos.	59
33	Sistema de administración de usuarios.	60
34	Diseño de simulador de elementos de campo para mecanizado.	61
35	Programa de interfaz visual en funcionamiento.	62
36	Sistema de enclavamiento, entradas y salidas en funcionamiento vista exterior.	62
37	Sistema de enclavamiento, entradas y salidas en funcionamiento vista interior.	63
38	Vista superior de placa central.	63
39	Vista inferior de placa central.	64

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se encuadra en el Proyecto Final Integrador de la carrera de Ingeniería Electrónica y consiste en el desarrollo de un sistema de control para señalamiento ferroviario a través de la implementación de electrónica de control basada en placas de desarrollo de tipo Commercial Off-The-Shelf (COTS), comandadas a través de una interfaz gráfica Humano-Máquina (IHM o HMI, por sus siglas en inglés) en computadora (PC). En su primera etapa, contará también con una interfaz de simulación de entradas y verificación de salidas por medio de llaves y diodos emisores de luz (LEDs) indicadores.

El objetivo del proyecto es doble. En esta etapa, se busca poder brindar el servicio de capacitación inicial a operadores de señalamiento ferroviario por medio de un equipo de bajo costo que permita optimizar costos y reducir riesgos operativos durante el mismo. Por otro lado, se diseñarán también dispositivos de entradas y salidas seguras para la futura implementación de este sistema de señalamiento ferroviario en playas de carga y maniobras sin pasajeros.

La interfaz de usuario para PC está desarrollada íntegramente en entorno Microsoft, utilizando Visual Studio para su programación y SQL Server para su base de datos. Si bien se ha desarrollado la solución de hardware para un Cortex M3, la electrónica de control fue desarrollada como *shield* de formato Arduino para las conexiones, lo que permite, a posteriori, hacer pruebas con otros microcontroladores para casos más complejos y su adaptación a microcontroladores aptos para aplicaciones de seguridad.

La información respecto al señalamiento utilizada para la elaboración del presente proyecto surge de los reglamentos operativos aplicables a la Línea General Roca, información técnica de los elementos de campo allí presentes, diagramas circuitales de enclavamientos de la Línea, definiciones de señalamiento de Trenes Argentinos Infraestructura (ADIF S.E., encargada de la administración de la infraestructura ferroviaria nacional), Línea General Roca y experiencia laboral directa.

## 2. REQUERIMIENTOS

El proyecto debe contemplar los siguientes requerimientos:

- La estación a modelar será Longchamps, de la Línea General Roca.
- Se deben controlar los siguientes tipos de sistemas:
  - Circuitos de vía, "CdV", encargados de la detección de presencia de trenes
  - Señales principales semicomandadas, que rigen la circulación en la estación, hacia adentro y hacia afuera de la misma.
  - Señales automáticas, que rigen la circulación entre estaciones-
  - Equipos de imposición de frenado automático a trenes (ATS) en vía, que comunican eléctricamente la información de la señal al tren, haciendo que un transceptor en cabina fuerce el frenado, si así correspondiera.
  - Semáforos de uso compartido, que rigen la circulación de maniobra a baja velocidad dentro de la estación.
  - Máquinas de cambio, "MdC", que establecen y aseguran la posición de cambios y desvíos, requieren comando e indicación.
- La solución se basará en la lógica de enclavamiento original de la estación, previendo modificaciones para mejorar el funcionamiento del mismo, a saber:
  - Incorporar detección de trenes en sectores hoy no detectados.
  - Reemplazar los indicadores de maniobra por semáforos de uso compartido con esquema de funcionamiento idéntico a la estación actual más moderna de la Línea, Alejandro Korn.
- Se debe implementar una representación física que permita observar las señales emitidas a campo por el señalamiento y enviarle las señales de entrada correspondientes al equipo.
- Se implementará para este proyecto una interfaz visual propia en plataforma Microsoft Windows, que debe presentar las siguientes funciones:
  - Comando sencillo de rutas basado en el click izquierdo en señal de partida y segundo click sobre la señal o pulsador de destino.

- Comando individual de máquinas de cambio, no requiriendo el armado de ruta a tal fin.
- Servicio de usuarios individualizados, con permisos acordes al cargo que ocupan en la empresa, a saber:
  - Operador de señalamiento.
  - Mantenedor de señalamiento.
  - Supervisor de señalamiento.
  - Administrador de sistema.
- Función de ayuda al mantenimiento de máquinas de cambio, señales principales y de maniobra, con estadística de movimientos, fallas y registro de intervenciones de mantenimiento.
- Registro detallado de eventos, cuyo listado mínimo consta de:
  - Inicio/cierre de sesión de usuarios.
  - Cierre de aplicativo.
  - Solicitud de conformación de ruta al enclavamiento.
  - Confirmación de conformación de ruta por enclavamiento
  - Rechazo de conformación de ruta por enclavamiento.
  - Solicitud de movimiento de máquina de cambio.
  - Accionamiento de máquina de cambio.
  - Fallas (filamento quemado en señales principales, accionamiento de cambio cancelado por tiempo excesivo, comunicaciones, etc.).
- Se generarán los diseños de módulos adaptadores de tensión de salida y triple redundancia modular requeridos como condición mínima para la implementación en sectores ferroviarios. No se deberán fabricar en el marco del proyecto. Su diseño deberá permitir la instalación en gabinetes de racks de 19" y brindar una salida testigo optoacoplada para ser observada por otro controlador.

### 3. ALCANCES Y OBJETIVOS

El alcance del presente proyecto es la fabricación de un enclavamiento electrónico basado en la estación Longchamps de la Línea General Roca, con una mesa de simulación de elementos de campo de señalamiento ferroviario y el desarrollo de una IHM que operará por medio de una aplicación en el sistema operativo Microsoft Windows con determinados requisitos de funcionalidad.

También contempla el diseño de módulos de entradas optoacopladas a 24 V adaptadas para su uso con microcontroladores de 3,3 V y módulos de salidas implementando redundancia triple modular basado en las salidas de tres módulos microcontroladores de 3,3 V, obteniendo una salida a 24 V para los elementos de campo ferroviarios y una salida de control a 3,3 V para supervisión del sistema.

El objetivo es brindar un conjunto de señalamiento compuesto por software de comando, sistema embebido de enclavamiento y simulación de campo que permita la capacitación inicial de señaleros y difusión de la técnica de señalamiento.

La gestión y administración del proyecto se trata en el anexo correspondiente "Administración de Proyecto".

### 4. PRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE SEÑALAMIENTO

El sistema de señalamiento de la estación Longchamps fue instalado y puesto en servicio en conjunto con la electrificación de la Línea General Roca en sus ramales Plaza Constitución – Temperley, Temperley – Ezeiza y Temperley – Glew en la década de 1980. Es de origen japonés y se basa en tecnología de enclavamiento electromecánico, tipo "todo a relé".

## 4.1. ENCLAVAMIENTO EXISTENTE

El enclavamiento tiene la función de garantizar la seguridad de operación ferroviaria, permitiendo la circulación de formaciones a demanda del señalero si, y solo si, se verifican las condiciones de seguridad por este impuesto, de acuerdo a la información que recibe de los elementos de campo. Su diseño está regido por la filosofía “fail-safe” de falla a seguridad, por la cual se asegura que una falla, tanto del enclavamiento como de los elementos de campo, no podrá jamás generar un estado inseguro en el señalamiento ferroviario.

Los enclavamientos funcionan mediante una comunicación a campo por medio de valores lógicos, activado o desactivado, para comandar los elementos de señalamiento en la vía y recibir información de los mismos. Las comunicaciones a campo no cuentan con protocolo alguno y sólo consisten en valores lógicos binarios.

Las figuras 1 y 2 exponen los elementos constituyentes de este tipo de enclavamientos electromecánicos, siendo los primeros los utilizados para que las señales muestren un color distinto del rojo y los segundos para recibir información respecto a la posición de los trenes.



**Figura 1.** Relés de enclavamiento ferroviario (Plaza Constitución, 2018).





**Figura 2.** Relés relevadores de equipos de campo (Plaza Constitución, 2018).

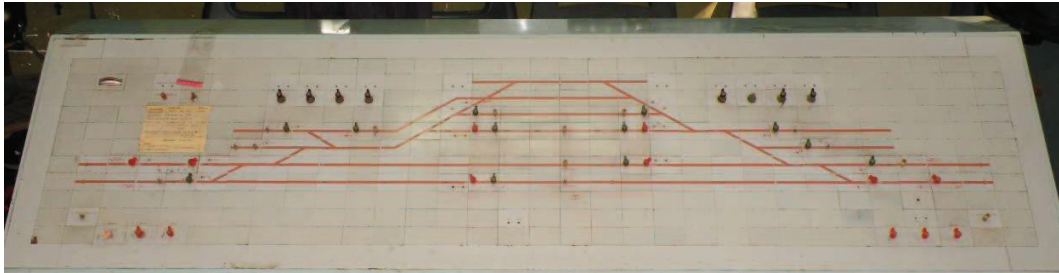
En la estación Longchamps, el señalamiento permite los movimientos de formaciones mediante el armado de rutas principales y/o de maniobra. A su vez, permite accionar máquinas de cambio individualmente, si las condiciones de seguridad lo permiten. Esto puede observarse en el cuadro de enclavamiento de la estación, incluido en el anexo “Señalamiento de estación Longchamps” del presente documento.

## 4.2. MESA DE MANDO ORIGINAL

El señalamiento original de la estación se comanda desde la cabina de señales por medio de una mesa de mando electromecánica. Esta consta de llaves y pulsadores que permiten realizar rutas principales y de maniobra, así como también comandos individuales para las máquinas de cambio.

Estos últimos constan de una llave de tres posiciones: “N”, “C” y “R”, siendo N el comando a posición Normal, R el comando a posición Reverso y C el comando Central que permite al enclavamiento moverla libremente de acuerdo a las rutas solicitadas. La figura 3 exhibe la mesa de mando actual, que, en el sistema objeto del presente proyecto será reemplazada por una computadora comunicada mediante UART con el enclavamiento electrónico.





**Figura 3.** Mesa de mando electromecánica original (Longchamps, 2018).

### 4.3. EQUIPOS FERROVIARIOS A CONTROLAR

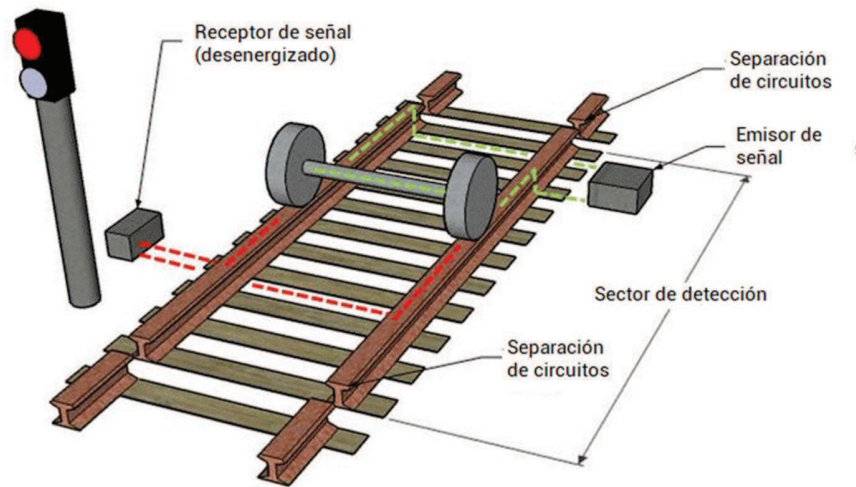
A continuación, se detallan los elementos a controlar por el enclavamiento.

#### 4.3.1. CIRCUITOS DE VÍA

Los circuitos de vía consignan la parte fundamental de la seguridad ferroviaria. Estos equipos se utilizan para la **detección de trenes** en un sector de vía determinado.

Los mismos operan inyectando una señal a través de los rieles y monitoreando su recepción en el extremo opuesto. Por su diseño fail-safe, el equipo solo dictaminará que el sector de vías se encuentra libre si, y solo si, el receptor recibe la señal a través de los rieles.

En el caso de la estación Longchamps, los circuitos de vía son del tipo “cerrado”, de frecuencia mitad a la comercial (25 Hz) con atención a su sistema de tracción eléctrica por catenaria de 25 kV 50 Hz de corriente alterna (Ferrocarriles Argentinos, 1986). Por estas características, el circuito de vía aparecerá ocupado ante la presencia de un tren que cortocircuite los rieles, como se exhibe en la figura 4, y ante el evento de rotura del riel, ya que, en ambos casos, la señal no podrá llegar del emisor al receptor, brindando una doble ventaja (H. Faggiani, s/f). Los circuitos de vías reportan su estado al enclavamiento por medio de una única entrada que estará en valor alto, si indicara que el sector está libre, y en valor bajo, en caso contrario.



**Figura 4.** Diagrama explicativo de funcionamiento de circuitos de vías.

#### 4.3.2. SEÑALES PRINCIPALES

Las rutas principales están regidas por señales principales, con un cabezal por destino de ruta, permitiendo agrupar varios destinos desviados en un cabezal, mediante la incorporación de indicadores de ruta. Estas señales pueden ser de entrada, salida o bloqueo, siendo sólo las primeras dos comandadas en esta estación. Todo grupo de cabezales de señales principales montados en un mismo mástil cuenta con una bobina del sistema de frenado automático ATS, controlada por el enclavamiento de acuerdo al aspecto (término específico del señalamiento ferroviario, definido en el glosario) más permisivo exhibido por el grupo.

Estas rutas principales permiten una velocidad de circulación de formaciones de hasta 120 km/h en la trocha ancha de Línea General Roca (R.I.T.O<sup>1</sup>, s/f), variando por aspecto exhibido por la señal (Anexo L.G.R.<sup>2</sup>, s/f).

Estas pueden ser semicomandadas o automáticas. Las semicomandadas pertenecen a un cuadro de estación, estarán normalmente con aspecto de "señal a peligro" y permitirán la circulación de formaciones si su ruta fue solicitada por el señalero y se cumplen las condiciones de seguridad para habilitar dicha circulación. Las automáticas

corresponden al sector entre estaciones y estarán normalmente a “vía libre”, ajustando su aspecto automáticamente según las condiciones de circulación (Anexo L.G.R.<sup>3</sup>, s/f).

Estas señales rigen la circulación de formaciones hacia dentro y fuera del cuadro de la estación (R.I.T.O.<sup>4</sup>, s/f) y pueden ser de dos, tres o cuatro aspectos, cuyas estructuras físicas se exhibe en la figura 5 y sus aspectos posibles en la figura 6.

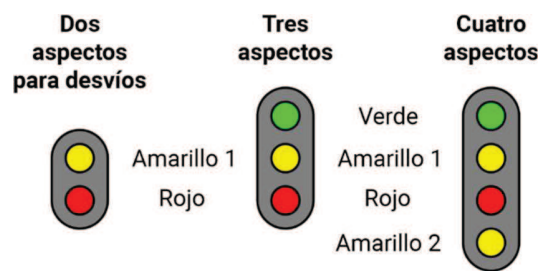


Figura 5. Señales principales.

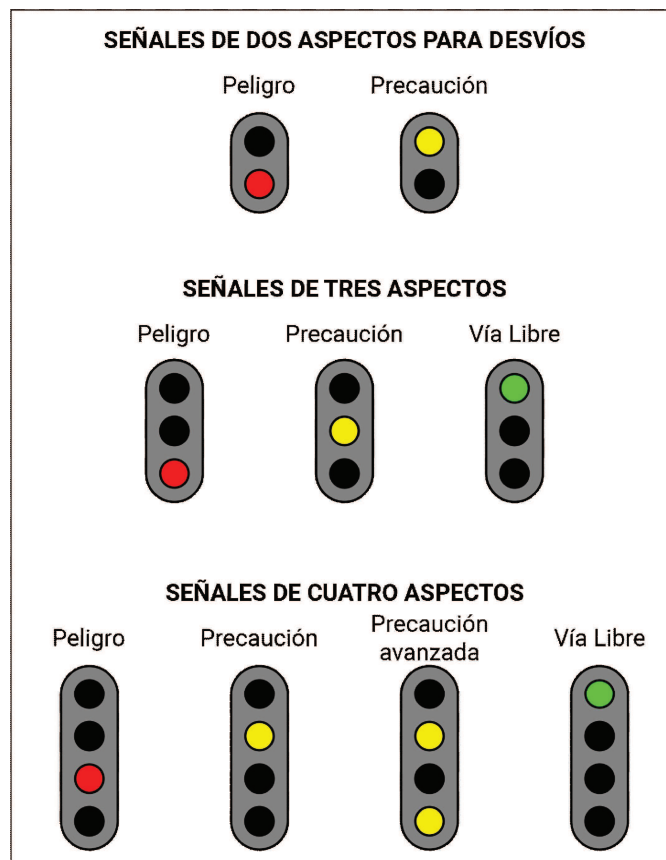


Figura 6. Aspectos de señales principales del proyecto.

Además de las salidas requeridas de acuerdo al tipo de semáforo para representar los aspectos correspondientes, cada cabezal tiene un sistema de detección de luz quemada. Esto permite la función de “degradación de aspecto”, que genera que, si el semáforo es comandado para exhibir un aspecto, y este no pudiera mostrarse por estar su lámpara quemada, el semáforo exhibirá el aspecto inmediatamente menos permisivo disponible (Comunicación ADIF S.E., 2021).

Cada tipo de señal y las líneas de comunicación a generar para cada una se detallan en el apartado siguiente.

#### 4.3.2.1. ENTRADAS Y SALIDAS PARA SEÑALES PRINCIPALES SEMICOMANDADAS

La tabla de entradas y salidas para vincular al enclavamiento un semáforo de dos, tres y cuatro aspectos se exhiben en las tablas 1 a 3.

Elemento	Pin	Tipo
Luz amarilla	1	Salida digital
Luz roja	2	Salida digital
Filamento Quemado	3	Entrada digital

**Tabla 1.** Asignación de pines para semáforo principal de 2 aspectos.

Elemento	Pin	Tipo
Luz verde	1	Salida digital
Luz amarilla	2	Salida digital
Luz roja	3	Salida digital
Filamento Quemado	4	Entrada digital

**Tabla 2.** Asignación de pines para semáforo principal de 3 aspectos.

Elemento	Pin	Tipo
Luz verde	1	Salida digital
Luz amarilla 1	2	Salida digital
Luz roja	3	Salida digital
Luz amarilla 2	4	Salida digital
Filamento Quemado	5	Entrada digital

**Tabla 3.** Asignación de pines para semáforo principal de 4 aspectos.

Los estados válidos para las salidas del enclavamiento a las señales principales son los exhibidos en las tablas 4 a 6, de acuerdo a lo mostrado en la figura X, incorporando una alternativa extra para el aspecto de precaución del semáforo de 4 aspectos:

Aspecto	Pin 1	Pin 2
<b>Peligro</b>	0	1
<b>Precaución</b>	1	0

**Tabla 4.** Salidas válidas para semáforo principal semicomandado de 2 aspectos.

Aspecto	Pin 1	Pin 2	Pin 3
<b>Peligro</b>	0	0	1
<b>Precaución</b>	0	1	0
<b>Vía Libre</b>	1	0	0

**Tabla 5.** Salidas válidas para semáforo principal semicomandado de 3 aspectos.

Aspecto	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
<b>Peligro</b>	0	0	1	0
<b>Precaución 1</b>	0	1	0	0
<b>Precaución 2</b>	0	0	0	1
<b>Precaución Avanzada</b>	0	1	0	1
<b>Vía Libre</b>	1	0	0	0

**Tabla 6.** Salidas válidas para semáforo principal semicomandado de 4 aspectos.

El aspecto “Precaución 2” de la tabla 7 corresponde exclusivamente al semáforo de cuatro aspectos y será utilizado por el enclavamiento en caso que, al exhibir el aspecto “Precaución 1”, que es la representación por defecto del aspecto “precaución”, detecte filamento quemado (Comunicación ADIF S.E., 2021).

Estado	Entrada de señal principal
<b>Filamento OK</b>	1
<b>Filamento Quemado</b>	0

**Tabla 7.** Entradas válidas para semáforo principal semicomandado.

---

#### 4.3.2.2. ENTRADAS PARA REPORTE AL ENCLAVAMIENTO DE SEÑALES PRINCIPALES AUTOMÁTICAS

El listado de asignación de pines para señales principales automáticas se presenta la tabla 8. En caso de recibir información de un aspecto no válido o todo en cero, el enclavamiento la considerará en aspecto “señal a peligro”. Las señales automáticas del sector son exclusivamente de cuatro aspectos y no son comandadas por el enclavamiento de estación. Solo son supervisadas por el mismo para definir el aspecto de las señales semicomandadas de la estación. En la tabla 9 se detallan las entradas válidas para cada estado de la señal automática posible.

Elemento	Pin	Tipo
Luz verde	1	Entrada digital
Luz amarilla 1	2	Entrada digital
Luz amarilla 2	3	Entrada digital

**Tabla 8.** Asignación de pines para semáforo automático de 4 aspectos.

Aspecto	Pin 1	Pin 2	Pin 3
Vía Libre	1	0	0
Precaución avanzada	0	1	1
Precaución	0	1	0
	0	0	1
Peligro	0	0	0
	1	0	1
	1	1	0
	1	1	1

**Tabla 9.** Entradas válidas para semáforo principal automático de 4 aspectos.

---

#### 4.3.3. SEÑALES DE MANIOBRA

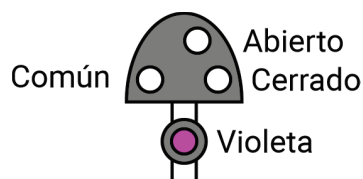
En el caso de la estación Longchamps, las rutas de maniobra están regidas originalmente por indicadores de maniobra. En el marco del presente proyecto se los cambiará por semáforos de uso compartido, que permiten mayor versatilidad en la operación del ferrocarril. Las rutas de maniobra no podrán ser indicadas con varios

cabezales en un mismo punto y deberán, indefectiblemente, contar con indicadores de ruta, si desde éste se puede acceder a varios destinos.

Los semáforos de uso compartido se componen por dos tipos de semáforos: señales e indicadores:

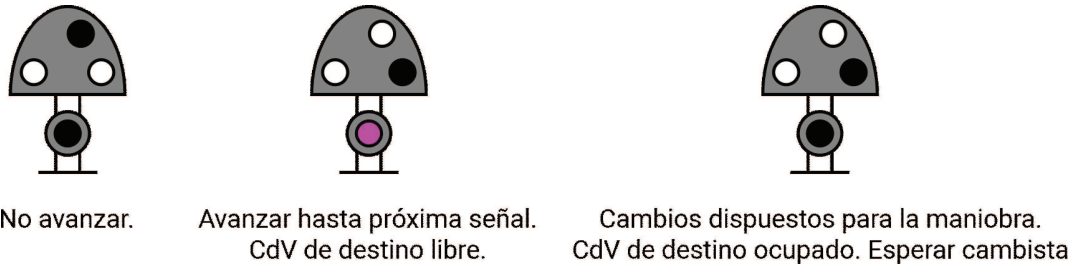
- La **señal** indica mediante forma y/o color las condiciones de circulación, autorizando o prohibiendo la misma dentro de un tramo determinado a trenes o maniobras que se efectúen con semáforos (Anexo L.G.R.<sup>5</sup>, s/f). En el semáforo de uso compartido, esto es llevado a cabo por la luz violeta inferior, cuyo comportamiento se define más adelante.
- En **indicador** informa, mediante forma, color o leyenda, condiciones, dirección o posición, entre otros, de los objetos o equipos relacionados con las operaciones de los trenes o maniobras (Anexo L.G.R.<sup>6</sup>, s/f). En el caso del semáforo de uso compartido se utiliza un cabezal de tres luces blancas que indica que la ruta de cambios está dispuesta, aunque no autoriza por sí mismo al movimiento de la formación sin personal en vía.

En conjunto, la señal de color violeta y el indicador de tres luces blancas componen el semáforo de uso compartido o semáforo de maniobra, con la disposición física que se exhibe en la figura 7.



**Figura 7.** Composición física del semáforo de uso compartido.

El semáforo estará normalmente con la luz violeta apagada y el indicador en posición cerrado. Ahora bien, en caso de disponer la ruta de maniobra y encontrar, el indicador se posicionará en abierto y la luz violeta responderá al estado del circuito de vía de fin de la maniobra, apagándose si se encuentra ocupado, como se exhibe en la figura 8.



**Figura 8.** Aspectos de semáforos de uso compartido.

El aspecto “cambios dispuestos para la maniobra”, exhibido en figura 8, autoriza a comenzar a maniobrar si, y solo si, los trenes son acompañados por personal de apoyo en vía para el movimiento de trenes, (Anexo L.G.R. <sup>7</sup>, s/f). Los aspectos y su representación visual obedecen el Anexo al Reglamento Interno Técnico y Operativo (R.I.T.O.) de la Línea General Roca con las modificaciones al esquema de funcionamiento impuestas por el señalamiento más moderno de la Línea, Alejandro Korn (Invensys Rail<sup>8</sup>, 2011).

#### 4.3.3.1. SALIDAS PARA SEMÁFOROS DE USO COMPARTIDO

La tabla 10 presenta las entradas, salidas y estados válidos de salidas para comandar un semáforo de uso compartido.

Elemento	Pin	Tipo
Común	1	Salida digital
Cerrado	2	Salida digital
Abierto	3	Salida digital
Violeta	4	Salida digital

**Tabla 10.** Asignación de pines para semáforo de uso compartido.

La tabla 11 presenta los estados válidos para las salidas del enclavamiento a los semáforos de uso compartido, según lo exhibido en la figura 7:

Aspecto	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
No avanzar	1	1	0	0
Avanzar hasta próxima señal	1	0	1	1
Cambios dispuestos para la maniobra	1	0	1	0

**Tabla 11.** Salidas válidas para semáforo de uso compartido.



#### 4.3.4. INDICADORES DE RUTA

A todo cabezal de semáforo de maniobra desde el cual se pueda dar inicio a más de una ruta deberá incorporarse un indicador de ruta que requerirá tantas salidas a luces como rutas permita, en el caso de semáforos de uso compartido con hasta 3 rutas posibles. La figura 9 exhibe la representación visual de acuerdo a la ruta dispuesta (Anexo L.G.R.<sup>9</sup>, s/f):

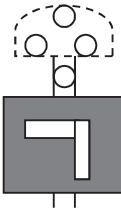
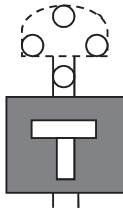
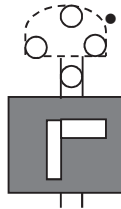



Aspectos	Cuando la ruta va hacia la izquierda	Cuando la ruta va por el centro	Cuando la ruta va hacia la derecha
Avanzar hasta próxima señal			
Cambios dispuestos para la maniobra			

Figura 9. Aspectos de indicadores de ruta según señal vinculada a ellos.

En el caso de estación Longchamps, 4 semáforos de uso compartido contarán con indicadores de 2 y de 3 rutas. Estos estarán apagados ante el aspecto “No avance” de los mismos e indicando la dirección de la ruta comandada en los otros aspectos (Anexo L.G.R.<sup>10</sup>, s/f).

##### 4.3.4.1. SALIDAS PARA INDICADORES DE RUTA

En la tabla 17 se presenta el listado de entradas y salidas para comandar un indicador de 2 o 3 rutas. En caso de contar con 2 rutas, deberá desestimarse la dirección que no corresponda.

Elemento	Pin	Tipo
Dirección Izquierda	1	Salida digital
Dirección Central	2	Salida digital
Dirección Derecha	3	Salida digital

Tabla 12. Asignación de pines para indicadores de ruta.

Los estados válidos para las salidas del enclavamiento a los semáforos de uso compartido son los que se exhiben en la tabla 13.

Aspecto	Dirección	Pin 1	Pin 2	Pin 3
<b>No avanzar</b>	Izquierda	0	0	0
	Central	0	0	0
	Derecha	0	0	0
<b>Avanzar hasta próxima señal Cambios dispuestos para la maniobra</b>	Izquierda	1	0	0
	Central	0	1	0
	Derecha	0	0	1

**Tabla 13.** Salidas válidas para semáforo de uso compartido.

---

#### 4.3.5. SISTEMA ATS

El sistema de frenado automático de trenes (ATS, por sus siglas en inglés “Automatic Train Stop”), instalado en vía, consiste en un tanque LC con una bobina en vía y un arreglo de capacitores en paralelo, cuyo esquema eléctrico se exhibe en la figura X. Según la frecuencia de resonancia del tanque vinculado a cada señal principal, el tren interpretará la velocidad máxima permitida del sector y actuará correspondientemente cortando fuerza de tracción, aplicando freno de servicio o freno de emergencia, en caso de violaciones de velocidad y según la gravedad de la misma.

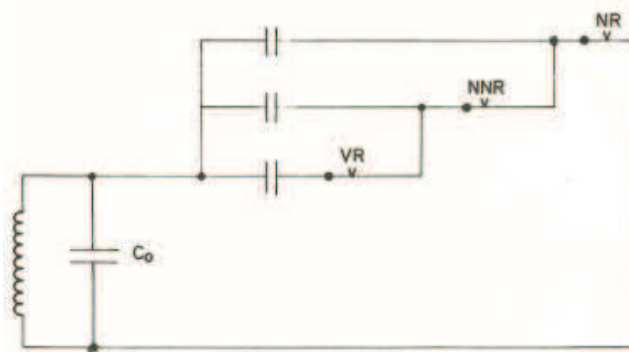
El tren cuenta con un equipo que emite un rango de frecuencias y recibe la resonancia de la bobina al pasar sobre ella. La energía para generar la resonancia es aportada por el tren al circular sobre la misma, siendo, así, un componente pasivo del sistema de señalamiento (H. Faggiani, s/f). Está asignado exclusivamente a señales principales, tanto automáticas como semicomandadas.

El mismo está dividido en las frecuencias y conmutaciones para las señales de entrada y salida, objeto del presente proyecto, detalladas en la tabla 14.

Aspecto de la señal	Frecuencias resonantes	Nombre de relé asignado	Relación entre la velocidad del tren y el frenado
<b>Rojo</b>	130 kHz	No tiene	Acciona el freno de emergencia
<b>Amarillo</b>	114 kHz	NR	Acciona el freno de servicio a una velocidad de más de 45 km/h
<b>Doble Amarillo</b>	106 kHz	NNR	Acciona el freno de servicio a una velocidad de más de 80 km/h
<b>Verde</b>	98 kHz	VR	No acciona el freno. Verifica cumplimiento de velocidad máxima de 120 km/h

**Tabla 14.** Aspectos de ATS según aspecto de señal asignada.

La variación de la frecuencia de resonancia del tanque LC vinculado a cada mástil de señal principal se da por medio de relés que conectan capacitores en paralelo. Por su filosofía de falla a seguridad, se requiere que cada aspecto menos restrictivo requiera más capacitores, por lo que, por ejemplo, se deberán acoplar todos en paralelo para el aspecto verde, como se puede observar en la figura 10.



**Figura 10.** Detalle constructivo de bobina ATS en vía con su caja de control<sup>11</sup>.

Se observa la filosofía fail-safe del diseño, que en caso que un relé fallara, sea cual fuere, el ATS quedará con el aspecto inmediatamente más restrictivo al que falló.

#### 4.3.5.1. SALIDAS PARA CONTROL DE BOBINA ATS DE VÍA

En la tabla 15 se presenta el listado de salidas para comandar una caja de control ATS de semáforo de cuatro aspectos. En el caso de los semáforos de menos aspectos, puede simplificarse la cantidad de salida agrupando relés (en caso de no tener “doble amarillo”) o removiendo el comando (en caso de no tener “doble amarillo” ni “verde”).

<b>Elemento</b>	<b>Pin</b>	<b>Tipo</b>
<b>NR</b>	1	Salida digital
<b>NNR</b>	2	Salida digital
<b>VR</b>	3	Salida digital

**Tabla 15.** Asignación de pines para control de ATS en vía.

La tabla 16 expone los estados válidos para las salidas del enclavamiento a las cajas de control de ATS en vía:

<b>Aspecto</b>	<b>Pin 1</b>	<b>Pin 2</b>	<b>Pin 3</b>
<b>Peligro</b>	0	0	0
<b>Precaución</b>	1	0	0
<b>Precaución Adelantada</b>	1	1	0
<b>Vía Libre</b>	1	1	1

**Tabla 16.** Salidas válidas para control de ATS en vía.

---

#### 4.3.6. MÁQUINAS DE CAMBIO

Las máquinas de cambio disponen la posición de los aparatos de vía de la estación para establecer las circulaciones de acuerdo a las rutas comandadas. Las posiciones posibles para las mismas son "Normal" (dirección de circulación por vía directa) y "Reverso" (dirección de circulación por vía desviada). Estas cuentan con dos líneas de comando y dos líneas de comprobación. Las primeras se utilizan para comandar el motor de la máquina hacia la posición deseada. La comprobación se realiza a través de los detectores de fin de carrera de la máquina.

Se establece un tiempo estándar de transición entre posiciones de una máquina de cambio de 6 segundos, de acuerdo a lo requerido en los pliegos licitatorios de ADIF S.E. Se denomina "correspondencia" de la máquina a la coincidencia entre el último estado comandado a la misma por el enclavamiento y la comprobación reportada por la máquina.

#### 4.3.6.1. ENTRADAS Y SALIDAS PARA COMANDO Y CONTROL DE MÁQUINAS DE CAMBIO

Las tablas 17 a 19 presentan la numeración y los estados válidos de entradas y salidas para el comando y control de una máquina de cambios.

Elemento	Pin	Tipo
<b>Comando a Normal</b>	1	Salida digital
<b>Comando a Reverso</b>	2	Salida digital
<b>Comprobación Normal</b>	3	Entrada digital
<b>Comprobación Reverso</b>	4	Entrada digital

**Tabla 17.** Asignación de pines para comando y control de máquinas de cambio.

Estado	Pin 1	Pin 2
<b>Comandada a Normal</b>	1	0
<b>Comandada a Reverso</b>	0	1
<b>Motor no energizado</b>	0	0

**Tabla 18.** Estados válidos para el comando de salidas de máquina de cambio.

Estado	Pin 3	Pin 4
<b>Comprobando a Normal</b>	1	0
<b>Comprobando a Reverso</b>	0	1
<b>No comprobación</b>	0	0
	1	1

**Tabla 19.** Estados válidos para las entradas de máquina de cambio.

El estado de cambios representado en la interfaz del señalero surge de la correspondencia entre el último comando enviado a la máquina de cambio y el reporte obtenido por las entradas. El estado Normal significará que tanto el último comando como la comprobación de campo se corresponden la posición normal, actuando homológamente para la posición reversa. En caso que no se den estas correspondencias, la máquina pasará al estado "No Correspondencia".

#### 4.4. ESQUEMA DE SEÑALAMIENTO

La estación Longchamps ha sufrido diversas modificaciones a su esquema desde la implantación original de su sistema de señalamiento, en la década del 80. En este

momento, cuenta con dos vías principales de sentido único y una vía tercera de doble sentido con dos desvíos a paragolpes por lado, desde la cual se puede maniobrar o partir hacia las estaciones adyacentes por medio de sus señales principales.

En el anexo “Señalamiento de estación Longchamps” se encuentra el detalle pormenorizado de los elementos de la estación, sus nombres y características, el plano unifilar de vías y señales con las modificaciones definitivas, exhibiendo así la disposición actual de la estación. También incluye el cuadro de enclavamiento de la estación donde figuran sus rutas y condiciones de control.

---

#### 4.4.1. ELEMENTOS DE LA ESTACIÓN LONGCHAMPS

En los apartados siguientes, se brinda una descripción del sistema de control ferroviario de la estación Longchamps. En el anexo “Señalamiento de estación Longchamps” se encuentra el detalle pormenorizado de elementos de la estación, sus nombres y características.

---

##### 4.4.1.1. CIRCUITOS DE VÍA

La estación Longchamps cuenta con un total de 26 circuitos de vía, incluyendo aquellos requeridos para implantar semáforos de uso compartido en lugar de indicadores de maniobra.

---

##### 4.4.1.2. SEÑALES PRINCIPALES SEMICOMANDADAS

La estación cuenta con un total de 10 señales principales semicomandadas, de las cuales 6 son de 4 aspectos, 2 son de 3 aspectos y 2 son de 2 aspectos.

---

##### 4.4.1.3. SEÑALES PRINCIPALES AUTOMÁTICAS

La estación cuenta con un total de 2 señales principales automáticas, que ofician de frontera con el bloqueo automático entre estaciones, siendo comandadas por este bloqueo de forma externa al enclavamiento objeto del presente proyecto.

---

#### 4.4.1.4. SEMÁFOROS DE USO COMPARTIDO (MANIOBRAS)

La estación cuenta con un total de 10 semáforos de uso compartido, de los cuales 4 contarán con un indicador de ruta anexo.

---

#### 4.4.1.5. BOBINAS ATS

La estación cuenta con un total de 8 bobinas ATS, una por cada mástil de señal principal. En el caso de la estación Longchamps, existen 2 mástiles que cuentan con 2 señales principales, por lo que la cantidad de bobinas ATS es menor a la de señales principales semicomandadas.

---

#### 4.4.1.6. MÁQUINAS DE CAMBIO

La estación cuenta con un total de 10 máquinas de cambio.

---

### 4.4.2. RUTAS PRINCIPALES

La estación Longchamps cuenta con un total de 10 rutas principales con inicio y fin en señales principales. En el anexo “Señalamiento de estación Longchamps” se encuentra el cuadro de enclavamiento completo y detallado.

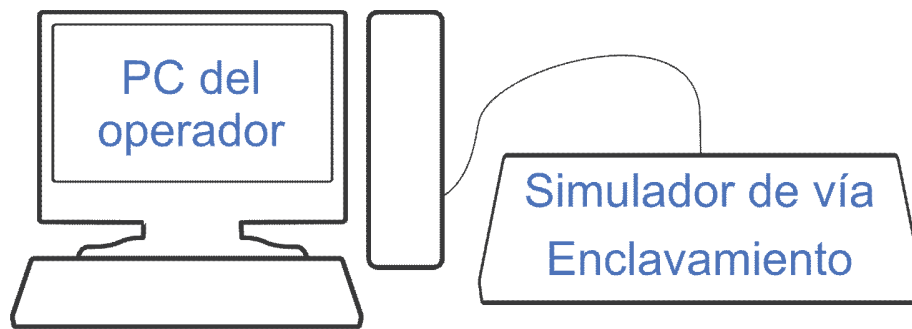
---

### 4.4.3. RUTAS DE MANIOBRA

La estación Longchamps cuenta con un total de 16 rutas de maniobra, con inicio en señales de maniobra y fin en este mismo tipo de señales, puntos de destino o señales automáticas. Es importante destacar que las rutas de maniobra con destino a las señales automáticas no permiten la salida del tren hacia las estaciones adyacentes.

## 5. SISTEMA DE CONTROL FERROVIARIO ELECTRÓNICO

En base a los requisitos del cliente de obtener un conjunto que actúe como un señalamiento electrónico con simulación de entradas de campo, basado en la estación Longchamps, se propone una solución mediante sistemas embebidos con vistas a la prueba y mejora continua del primer prototipo. El primer dispositivo está basado en Cortex M3, conectado mediante USB UART a 19200 baudios con una PC con sistema operativo Microsoft Windows 10 que oficiará de IHM y registrador de eventos. La figura 11 exhibe el diseño básico realizado.



**Figura 11.** Diagrama de equipamiento del Simulador de Señalamiento Ferroviario.

Con el fin de realizar las conexiones necesarias para el desarrollo del equipo, se requiere fabricar una placa *shield* para Arduino DUE. El proyecto requiere un total de 62 entradas y 126 salidas. Dado que el formato estándar adoptado permite un máximo de 66 entradas/salidas, sin contar los puertos de comunicaciones, es necesario implementar una solución para aumentarlas.

### 5.1. HARDWARE DE ENCLAVAMIENTO

La placa de desarrollo elegida para el primer desarrollo y prueba de tecnología es una Arduino DUE con microcontrolador Cortex M3 Atmel AT91SAM3X8E, operando a una tensión de 3,3 V. Este cuenta con un reloj a 84 MHz, 512 kB de memoria flash y 96 kB de RAM estática<sup>12</sup>. Dado que la disposición de pines del Arduino DUE es compatible con 2



puertos I2C, la placa central cuenta con 16 conexiones MÓlex de 4 pines, 8 por puerto. En este sentido, la placa central se constituye como un *shield* de Arduino DUE.

Todo puerto de entrada/salida cuenta con una resistencia de 10 kΩ en serie con la línea de 0V para función de *pull-down*, que garantice que una desconexión en una entrada no pueda generar un estado desconocido. Esta resistencia de *pull-down* se vincula al puerto por medio de un jumper, debiendo removerse este, si se desea usar el puerto como entrada, para evitar pérdidas innecesarias de corriente. La figura 12 exhibe el diseño en bloques de la placa central.

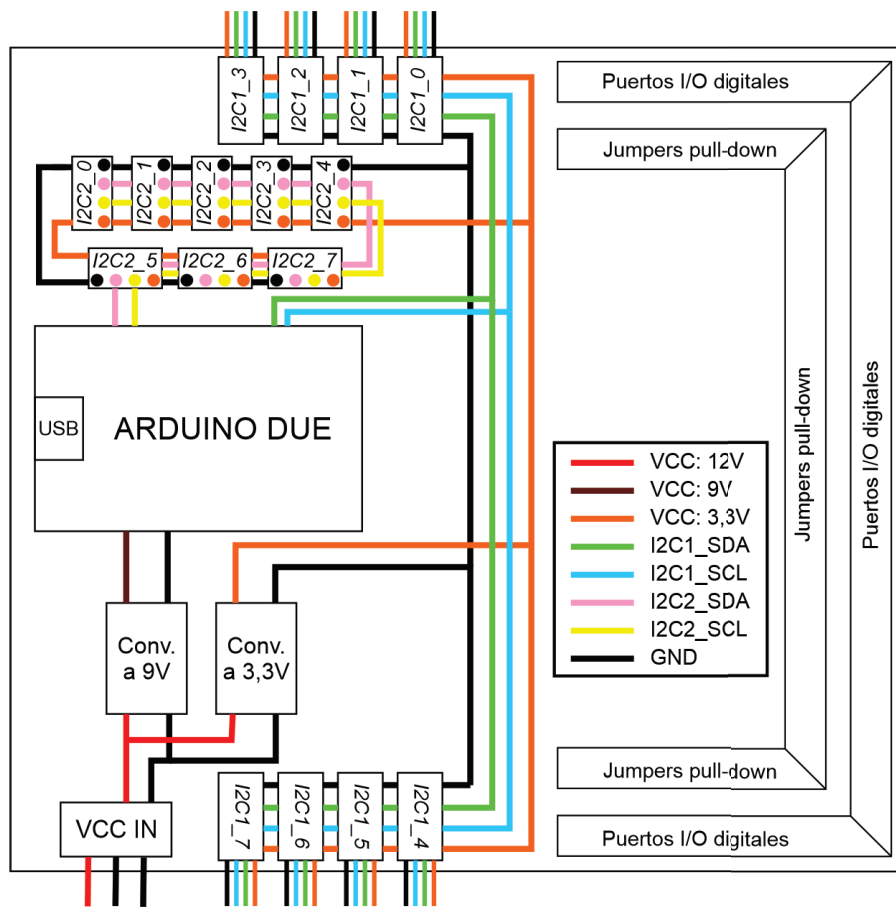


Figura 12. Diseño en bloques de la placa central.

La placa central puede alimentarse indistintamente por 12 V o 24 V de corriente continua ajustándose a las tensiones disponibles en los sistemas de señalamiento.

Cuenta con un conversor *step-down* a 9 VCC para alimentar la placa Arduino DUE y otro a 3,3 VCC para alimentar los puertos I2C de forma independiente.

La solución para aumentar la cantidad de puertos de entrada y salida se implementó mediante la fabricación de placas expansoras de entradas/salidas con circuitos integrados Microchip MCP23017. Estas contienen 16 puertos de entradas/salidas programables, se conectan a la placa central por medio del protocolo I2C, y puede tener hasta 8 direcciones I2C<sup>13</sup> configurables, por lo que cada puerto I2C puede ofrecer un total de 128 pines de entrada/salida por puerto I2C del microcontrolador, suficientes para los requerimientos del proyecto. Toda placa expansora cuenta con vinculación directa a la placa central mediante un conector de cuatro conductores para alimentación y comunicación. La figura 13 exhibe el diagrama en bloques de las placas expansoras

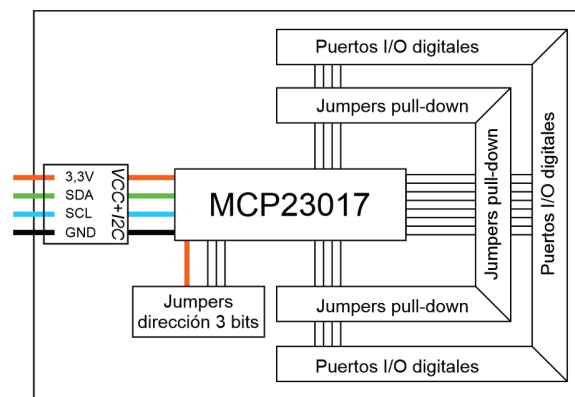


Figura 13. Diagrama en bloques de las placas expansoras I2C.

Estas también cuentan con resistencias de *pull-down* externas conectables vía colocación de un jumper y LED de indicación de encendido de la placa. Tanto la placa central como las expansoras fueron diseñadas para comandar y detectar tensiones de entrada/salida de 3,3 V.

### 5.1.1. PLACA VOTADORA

La placa votadora no se fabricará en el marco del presente proyecto. Este diseño responde al requerimiento de factibilidad de adaptación para futura aplicación en sistemas de señalamiento reales

Su diseño responde a las necesidades tanto de mitigar el riesgo de que un error de procesamiento implique una salida insegura como, también, de generar salidas de 24 VCC para los componentes del señalamiento ferroviario de estación Longchamps. La figura 14 exhibe el circuito esquemático de la placa votadora.

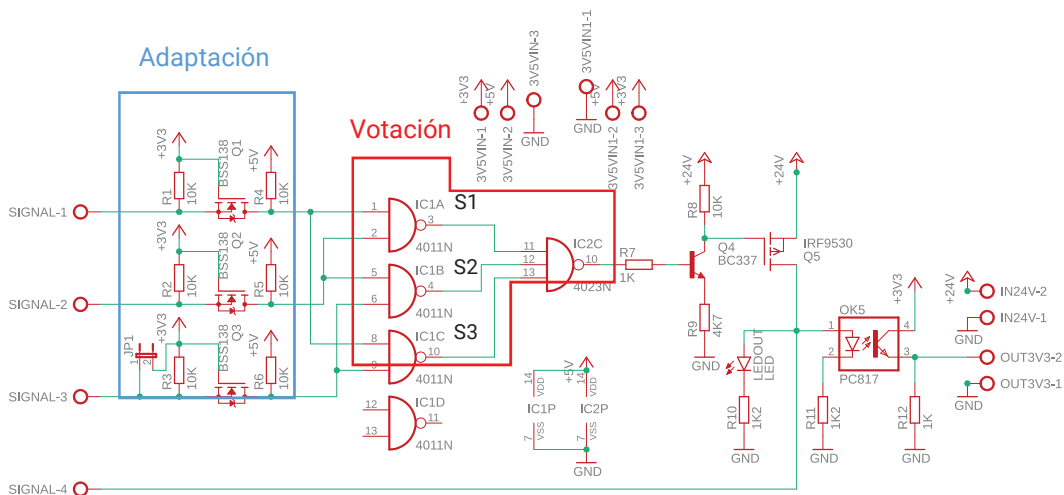


Figura 14. Circuito esquemático del módulo votador de salidas.

Con este fin, la placa cuenta con 3 entradas digitales a 3,3 V y una lógica discreta de redundancia triple modular basada en compuertas NAND que garantiza que la salida final sólo tendrá un valor de uno lógico si, como mínimo, dos de estas tres entradas presentan un uno lógico. Se desarrolló esta redundancia triple modular o 2oo3 para los módulos de salidas, ya que es estándar en la industria debido a la simplicidad de implementación y la disponibilidad que brinda el tener un controlador extra a los requeridos para obtener un uno lógico en la salida. Para estos casos, el estado del arte del señalamiento ferroviario exige que los tres controladores tengan códigos fuente desarrollados por equipos de programadores diferentes y los mismos objetivos, propiciando que las

diferencias en el abordaje del diseño del software mitiguen el riesgo de obtener una salida final incorrecta.

La placa modular recibe 3 tensiones de alimentación para su funcionamiento. Estas son 5VCC para la lógica de votación, la tensión de salida al señalamiento, en este caso 24VCC, y la tensión de referencia del microcontrolador, en este caso 3,3V, pero diseñado de esta manera para poder reutilizar este diseño con otros controladores a futuro. Para esto, se implementa la etapa inicial de adaptación, exhibida en el recuadro celeste de la figura 14, realizada con el MOSFET de canal N BSS138.

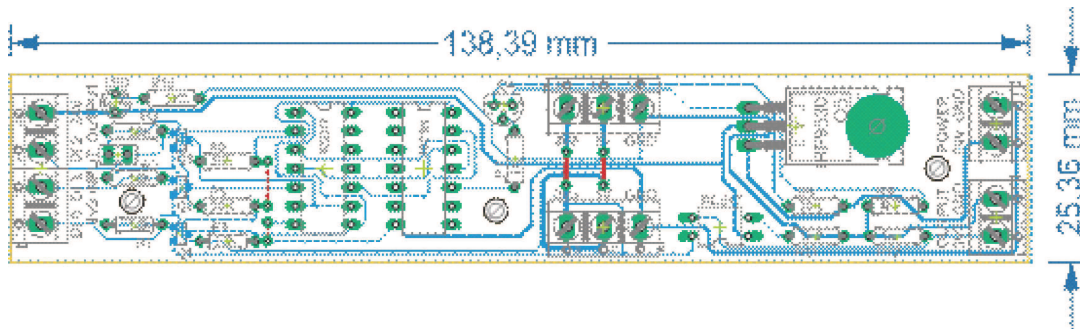
La etapa de votación exhibida en el recuadro rojo de la figura 14 está compuesta por compuertas CMOS NAND 4011B y 4023B. Su lógica responde a la información recibida de los microcontroladores por medio de las 3 entradas de la placa, de acuerdo a lo demostrado en la tabla 20.

Entradas			Salida intermedia			Salida
SIGNAL-1	SIGNAL-2	SIGNAL-3	S1	S2	S3	
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	0
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
1	0	0	1	1	1	0
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>

**Tabla 20.** Lógica de control de votación.

La salida de etapa de votación excita el transistor Q4 BC337, que comandará mediante corte y saturación la compuerta (*Gate*) del MOSFET Q5 tipo P IRF9530. Este último conmutará la salida de 24 V a los equipos de señalamiento y, con una capacidad de corriente de *Drain* continua mayor a los 8,2 A<sup>14</sup>, resulta más que suficiente para los 750mA máximos y generalmente menor a 120 mA promedio que deberá comandar<sup>15</sup>, maximizando la durabilidad del controlador de salida.

A la salida de 24 V se le adhieren, en paralelo, un LED testigo y una salida de 3,3 V optoacoplada para verificar el estado de la salida final por medio de un microcontrolador. En la figura 15 observa el diseño de la placa votadora. Este responde a la necesidad de incorporar los mismos en racks de 19", permitiendo montar hasta 18 de estos módulos en un módulo de 1 unidad rackeable de altura.



**Figura 15.** Diseño PCB del módulo votador.

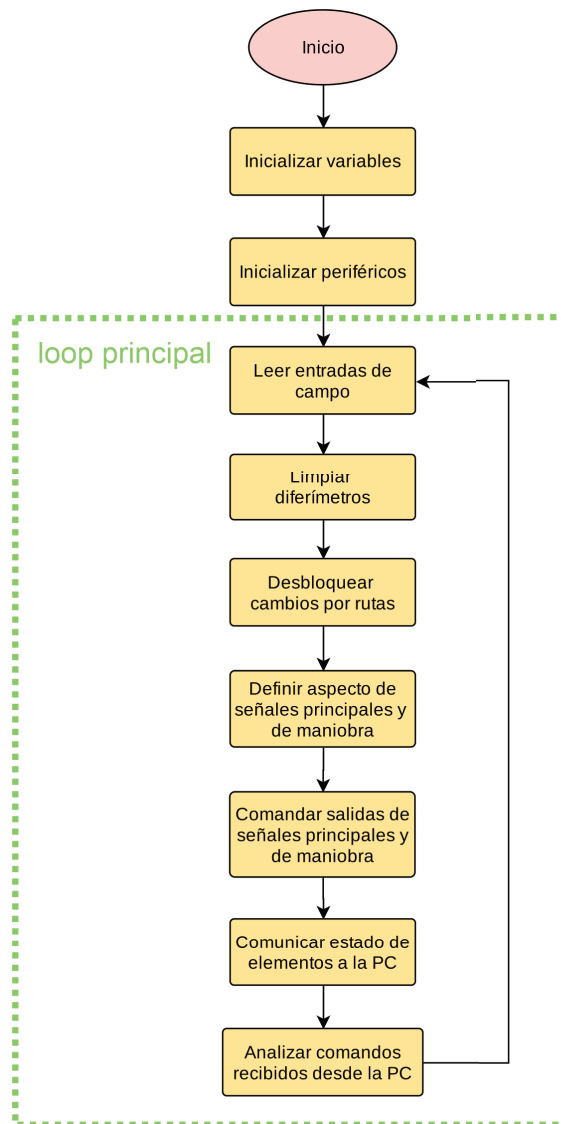
La etapa de adaptación cuenta también con la posibilidad de forzar una de las 3 entradas lógicas a 1 por medio de un jumper, con el fin de anular el sistema de votación y utilizar la placa como acondicionadora de señal y monitoreo de salidas optoacopladas, exclusivamente. El objetivo de esto es poder utilizar el enclavamiento electrónico para controlar los equipos de señalamiento sin requerir otros enclavamientos operando en simultáneo, tanto para la etapa de pruebas como para una posible operación degradada.

## 5.2. SOFTWARE DE ENCLAVAMIENTO

El software de enclavamiento es ejecutado en el Cortex M3 de la placa Arduino DUE. El mismo tiene el objetivo de actuar de igual forma que el enclavamiento de la estación Longchamps, incorporando, a su vez, maniobras sin personal de soporte en vía y funciones avanzadas de enclavamiento electrónico. La totalidad del software de enclavamiento fue desarrollado en C++, separado en tres archivos principales: el programa y su lógica, el código controlador de entradas y salidas, y el archivo de definiciones. Esta separación tiene como objeto tanto facilitar una futura migración, sólo reescribiendo el código de control de entrada y salida en cualquier entorno de desarrollo que compile código C++, como, a su vez, permitir una modificación rápida de parámetros

de funcionamiento, como tiempos de espera, simplemente ajustando los valores del archivo de definiciones.

La estructura de ejecución del software de enclavamiento se divide en dos etapas: una cíclica, que corre constantemente e incluye todas las operaciones de seguridad operativa del señalamiento, y otra, que se ejecuta a demanda de acuerdo a los comandos del operador de la computadora. El programa principal del enclavamiento obedece al diagrama de flujo descrito en la figura 16, donde la función de análisis de comandos recibidos desde la PC dispara la ejecución de las funciones a demanda:



**Figura 16.** Diagrama de flujo del programa de enclavamiento.

La totalidad del código desarrollado para el enclavamiento tiene una longitud total de 6.048 líneas, repartidas 4.375 en el programa, 1.587 en el controlador de entradas/salidas y 122 en el archivo de definiciones. El tiempo de ejecución del *loop* principal descrito en la figura 16 sin recibir comandos desde la computadora es menor a 750ms. A continuación, se presenta un análisis pormenorizado de las funciones involucradas en el ciclo de programa principal.

---

### 5.2.1. ANÁLISIS DE COMANDOS RECIBIDOS DESDE LA PC

Desde la computadora y a través de la interfaz hombre-máquina objeto del presente proyecto, el usuario podrá comandar el señalamiento mediante la conexión UART entre estos. Esto se realizará mediante órdenes generadas automáticamente por la interfaz gráfica y permitirá dirigir distintas funciones de señalamiento, las cuales se detallan a continuación:

- Comando de ruta principal.
- Anulación de ruta principal.
- Comando de ruta de maniobra.
- Anulación de ruta de maniobra.
- Comando de cambios individuales.
- Reinicio de alertas de filamento quemado.

---

#### 5.2.1.1. COMANDO DE RUTA PRINCIPAL

La función de comando de ruta principal tiene como objetivo encerrojar una ruta para permitir que una formación circule desde un origen hasta un destino. La función de encerrojamiento de ruta puede tener dos resultados: ruta encerrojada o comando rechazado, de acuerdo a las condiciones del señalamiento en el momento de comandar. Ante el encerrojamiento de una ruta, toda máquina de cambio involucrada en la misma quedará bloqueada, incorporando la información de qué ruta la bloqueó. En la tabla de enclavamiento del anexo “Señalamiento de estación Longchamps” puede observarse los cambios involucrados en cada ruta principal y de maniobra. Es importante destacar que las rutas principales no bloquean únicamente los cambios del sector que habilitan, sino

también aquellos que el tren pisaría si se excediera de la señal de destino, aplicándosele el freno automático al trasponerla. Esto se denomina “protección por solape” (H. Faggiani. s/f).

El algoritmo de funcionamiento es el siguiente, rechazando el comando al final de cada instancia, si no consigue respuesta satisfactoria:

1. Consulta si los circuitos de vía correspondientes a la ruta se encuentran libres.
2. Se consulta si los cambios involucrados están en la posición requerida o, caso contrario, si se encuentran liberados para disponerlos como se necesita.
3. Consulta si las rutas antagónicas que pueden realizarse con las posiciones de cambio solicitadas se encuentran libres, caso contrario, rechaza el comando.
4. Comanda el movimiento y posterior bloqueo de las máquinas de cambio requeridas por la ruta, verificando que vayan quedando en la posición y aseguradas.
5. Una vez comandadas todas las máquinas de cambio, revisa que estén en la posición correcta y bloqueadas, así como el estado libre de los circuitos de vía de la ruta. En caso de verificarse correctamente todos los parámetros, encerroja la ruta.

En el anexo “Protocolo de Comunicaciones”, puede observarse la estructura y cantidad de mensajes posibles para este comando de PC a enclavamiento.

---

#### 5.2.1.2. ANULACIÓN DE RUTA PRINCIPAL

La función de anulación de ruta principal tiene como objetivo liberar una ruta que fuese previamente encerrojada. Esta puede tener dos resultados: “Ruta libre” o “Diferímetro activo”, en el caso que el circuito de aproximación a la ruta esté ocupado. El diferímetro es un temporizador que bloquea la ruta principal, no permitiendo que ninguna otra con la que tuviera interrelación pueda encerrojarse. Una vez pasados 90 segundos para las rutas principales y 30 segundos para las rutas de maniobra, el diferímetro se desactiva y la ruta en cuestión pasa al estado “Ruta Libre”. En la tabla de enclavamiento del anexo



“Señalamiento de estación Longchamps” se observa el/los circuitos de vía que disparan la activación del diferímetro para cada ruta, ya sea principal o de maniobra.

La función ferroviaria del diferímetro es lograr que la ruta quede artificialmente encerrojada temporalmente, pese a que la señal de partida se pase inmediatamente a peligro. Esto se debe a la posibilidad que una formación esté avanzando en velocidad máxima a la señal y esta le cambié inmediatamente antes de haberla traspuesto. El tiempo de diferímetro garantiza la detención de la formación o la liberación del sector.

A su vez, en el anexo “protocolo de comunicaciones”, puede observarse la estructura y cantidad de mensajes posibles para este comando de PC a enclavamiento.

Una vez que la ruta pase al estado “Ruta libre”, los cambios involucrados en la misma quedarán libres para que sean comandados a otra posición, con excepción de los cambios en el sector de solape, pertenecientes a tramo de ruta posterior, que quedarán bloqueados por 10 segundos más, para proteger potenciales accidentes por trasposición de la señal<sup>16</sup>.

---

#### 5.2.1.3. COMANDO DE RUTA DE MANIOBRA

La función de comando de rutas de maniobra es equivalente a la de rutas principales, con la particularidad que el mismo sólo involucra los cambios que la formación pisará, ya que es un modo de circulación de baja velocidad, con máxima estipulada en 25km/h.

En el anexo “Protocolo de Comunicaciones”, puede observarse la estructura y cantidad de mensajes posibles para este comando de PC a enclavamiento.

---

#### 5.2.1.4. ANULACIÓN DE RUTA DE MANIOBRA

La función de anulación de rutas de maniobra es, a su vez, equivalente a la anulación de rutas principales, con la diferencia que, en este caso, el diferímetro será de 30 segundos, por la reducción de velocidad.

En el anexo “Protocolo de Comunicaciones”, puede observarse la estructura y cantidad de mensajes posibles para este comando de PC a enclavamiento.

---

#### 5.2.1.5. COMANDO INDIVIDUAL DE CAMBIOS

La función de comando individual de cambios permite generar el movimiento de un cambio o enlace sin depender de comandar una ruta. Este comando admite tres posiciones: N, en la que el cambio se desplazará a la posición Normal y quedará bloqueado la misma, R, en la que el cambio se desplazará a la posición Reverso y quedará bloqueado en la misma y C, en la que el cambio no se desplazará y eliminará cualquier bloqueo manual que haya tenido. La posición C permite que el comando de rutas mueva los cambios de acuerdo a lo que se requiera.

El sistema rechazará todo comando de desplazamiento al cambio si se encuentra bloqueado en posición opuesta por el armado de una ruta encima de él. A su vez, también rechazará el movimiento si algún circuito de vía vinculado se encuentra ocupado. En la tabla de enclavamiento del anexo “Señalamiento de estación Longchamps” puede observarse que circuitos se encuentran vinculados a cada cambio o enlace.

A su vez, en el anexo “Protocolo de Comunicaciones”, puede observarse la estructura y cantidad de mensajes posibles para este comando de PC a enclavamiento.

---

#### 5.2.2. INICIALIZACIÓN DE VARIABLES Y PERIFÉRICOS

En esta etapa se genera la inicialización de las variables internas del programa y los periféricos de entrada y salida, así como los módulos de comunicación UART, I2C y las expansoras I/O conectados por I2C.

Todas las variables internas son iniciadas con el concepto de falla a seguridad, es decir, los cambios fuera de correspondencia, los circuitos de vía ocupados y las rutas principales en estado “Diferímetro activo”, que asegura que ninguna ruta, ya sea principal o de maniobra, podrá ser comandada hasta que transcurran 90 segundos desde la inicialización.

---

### 5.2.3. LECTURA DE ENTRADAS DE CAMPO

En la función de lectura de entradas de campo el programa adquiere los valores de sus entradas y las guarda en memoria asignando valores a las variables, según lo descrito en las tablas 5 (para circuitos de vías, página 15), 10 (para filamentos de señales principales semicomandadas, página 19), 12, (para reporte de señales principales automáticas, página 19) y 22 (para máquinas de cambio, página 27).

---

### 5.2.4. LIMPIEZA DE DIFERÍMETROS

La función de limpieza de diferímetros opera tanto sobre las rutas principales y de maniobra, calculando el tiempo transcurrido para toda ruta en estado “Diferímetro activo” desde que pasó a este estado. Pasados 30 segundos para las rutas de maniobra o 90 segundos para las rutas principales, la función de limpieza de diferímetros pasará la ruta al estado “Ruta libre”. También efectiviza la protección por solape, desbloqueando los cambios comprendidos en el sector de solape 10 segundos después que la ruta pase al estado “Ruta libre”.

---

### 5.2.5. DESBLOQUEO DE CAMBIOS POR RUTA

Cada ruta que se encerroje, ya sea principal o de maniobra, que requiera el bloqueo de cambios en una posición determinada identificará unívocamente este bloqueo, con el fin que otra ruta o comando individual no sea capaz de desplazarlo, generando así una condición insegura.

En este sentido, la función de desbloqueo de cambios por ruta monitorea dicho bloqueo, liberando cada cambio cuando toda ruta que lo haya requerido haya sido anulada. En el caso que las rutas requerentes se encuentren estado “Diferímetro activo”, los cambios involucrados en la misma quedarán bloqueados hasta que se cumpla el tiempo y pasen a estado “ruta libre”.

---

## 5.2.6. DEFINICIÓN DE ASPECTO DE SEMÁFOROS DE MANIOBRA

La función definición de aspecto de semáforos de maniobra tiene como objetivo determinar el aspecto que deberá exhibir cada semáforo de maniobra de acuerdo a las condiciones de rutas y entorno. La misma observa el estado de los cambios que la formación pisará en la ruta y la ocupación de los circuitos del sector comprendido entre este semáforo y el siguiente que, en la jerga ferroviaria, denominamos “cantón”.

En el caso de que un semáforo de maniobra cuente con un indicador de ruta, éste permanecerá apagado cuando el semáforo exhiba aspecto “No Avanzar”. Por el contrario, se encenderá ante los aspectos “Cambios dispuestos para la maniobra” y “Avanzar”, indicando el sentido de la ruta que se ha encerrojado.

El aspecto de cada semáforo de maniobra responderá al estado de los Circuitos de Vía de su cantón, según lo descrito en la tabla 21. Es importante destacar que la “X” en dicha tabla representa que el estado de dicho elemento es irrelevante para la definición del aspecto a exhibir.

<b>Aspecto</b>	<b>Ruta encerrojada</b>	<b>CdV de su cantón</b>	<b>Cambios bloqueados</b>
<b>Avanzar</b>	Sí	Destino libre	En posición
<b>Cambios dispuestos</b>	Sí	Destino ocupado	En posición
<b>No avanzar</b>	Sí	X	Fuera de correspondencia
	Sí	Algún CdV excepto destino ocupado	X
	No	X	X

**Tabla 21.** Lógica de definición de aspectos del semáforo de uso compartido de maniobra.

---

## 5.2.7. DEFINICIÓN DE ASPECTO DE SEÑALES PRINCIPALES

La función de definición de aspecto de señales principales cuenta con dos secciones claramente diferenciadas. La primera define el aspecto que debería exhibir la señal basado en las condiciones de rutas y entornos. La segunda monitorea activamente el

estado de los focos de la señal obteniendo alertas en caso que alguno de los que se requiera para exhibir un aspecto se encuentre quemado.

Esta última es la mencionada “degradación de aspecto” que tiene como fin evitar que una señal quede apagada por filamento quemado, ya que esto implicaría que la formación deba detenerse al pie y esperar confirmación por radio para trasponerla.

#### 5.2.7.1. DEFINICIÓN DE ASPECTO A EXHIBIR

Esta sección tiene como objetivo determinar el aspecto que deberá exhibir cada señal principal de acuerdo a las condiciones de rutas y entorno. La misma observa el estado de los circuitos de vía de su cantón y el cantón inmediatamente posterior (para cumplir el doble recubrimiento), el estado de la señal inmediatamente posterior y el de los cambios que la formación pisará en la ruta y aquellos que pisaría en caso de trasponer la señal de destino y aplicar freno inmediatamente. Esto último se denomina protección de cambios por solape.

El aspecto de cada señal principal responderá a las condiciones enumeradas en las tablas 22 a 24, según su cantidad de aspectos. Es importante destacar que la “X” en las tablas mencionada representa que el estado de dicho elemento es irrelevante para la definición del aspecto a exhibir.

<b>Aspecto</b>	<b>Ruta encerrojada</b>	<b>CdV de su cantón</b>	<b>CdV del cantón siguiente</b>	<b>Cambios bloqueados</b>	<b>Aspecto señal posterior</b>
<b>Verde</b>	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Verde
	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Doble Amarillo
<b>Doble Amarillo</b>	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Amarillo
<b>Amarillo</b>	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Rojo
<b>Rojo</b>	Sí	X	X	Fuera de correspondencia	X
	Sí	X	Al menos uno ocupado	X	X
	Sí	Al menos uno ocupado	X	X	X
	No	X	X	X	X

**Tabla 22.** Lógica de definición de aspectos del semáforo principal de cuatro aspectos.

Aspecto	Ruta encerrojada	CdV de su cantón	CdV del cantón siguiente	Cambios bloqueados	Aspecto señal posterior
<b>Verde</b>	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Verde
	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Doble Amarillo
	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Amarillo
<b>Amarillo</b>	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	Rojo
<b>Rojo</b>	Sí	X	X	Fuera de correspondencia	X
	Sí	X	Al menos uno ocupado	X	X
	Sí	Al menos uno ocupado	X	X	X
	No	X	X	X	X

**Tabla 23.** Lógica de definición de aspectos del semáforo principal de tres aspectos.

Aspecto	Ruta encerrojada	CdV de su cantón	CdV del cantón siguiente	Cambios bloqueados	Aspecto señal posterior
<b>Amarillo</b>	Sí	Todos libres	Todos libres	En posición	X
<b>Rojo</b>	Sí	X	X	Fuera de correspondencia	X
	Sí	X	Al menos uno ocupado	X	X
	Sí	Al menos uno ocupado	X	X	X
	No	X	X	X	X

**Tabla 24.** Lógica de definición de aspectos del semáforo principal de desvío de dos aspectos.

### 5.2.7.2. DEGRADACIÓN DE ASPECTO

La función de degradación de aspecto se aplica exclusivamente a los semáforos principales de 3 y 4 aspectos. Esto se debe a que, ante una señal principal apagada, un tren deberá detener su marcha al pie de la misma y aguardar un tiempo prudencial o solicitar permiso de trasposición, según el caso (R.I.T.O.<sup>17</sup>, s/f).

Con esto en vista, la degradación de aspecto genera que, ante la incapacidad de exhibir un aspecto por tener su lámpara quemada, el semáforo principal exhiba el aspecto inmediatamente más restrictivo, con el fin de evitar que el semáforo quede apagado. Si

bien el aspecto más restrictivo genera un percance en la velocidad máxima de circulación permitida, es una penalidad menor que la detención total de la formación que provocaría el encontrarse una señal apagada.

Para el semáforo de tres aspectos, la degradación se limita al verde, exhibiendo el aspecto amarillo si el verde estuviera quemado. En caso que el amarillo esté quemado no ejecuta la degradación, ya que exhibir aspecto rojo tiene el mismo efecto que la señal apagada en términos operativos y obligaría al ATS a estar innecesariamente a peligro.

Para el semáforo de cuatro aspectos contamos con más variedad de representaciones posibles y la degradación deberá afectar al verde, al doble amarillo y al amarillo. En el caso que el foco amarillo 1 esté quemado y no se pueda exhibir dicho aspecto, la señal encenderá el foco amarillo 2 en su reemplazo, manteniendo el estado de precaución, pero mostrándolo de distinta forma (ver cuadro 3). De manera análoga con el semáforo de tres aspectos, si ambos amarillos estuvieran quemados, la señal quedará apagada para evitar penalizaciones mayores al servicio, con respecto al sistema ATS (Comunicación ADIF S.E., 2021).

En todos los casos, este proyecto incorpora la mejora de aguardar 5 segundos desde el cambio de aspecto exhibido por una señal hasta analizar la entrada de filamento quemado que disparará la degradación de aspecto. Esto es para ofrecer compatibilidad con una gran variedad de elementos luminosos, evitando que se generen falsas detecciones de filamento quemado.

---

#### 5.2.8. COMUNICACIÓN DE ESTADO DE ELEMENTOS A LA IHM

La función de comunicación de estado de elementos a la IHM se encarga de enviar por UART la siguiente información respecto a los elementos constitutivos del señalamiento:

- Aspecto de semáforos principales.
- Alertas de filamento quemado en semáforos principales semicomandados.

- Aspecto de semáforos de uso compartido de maniobra.
- Estado de rutas principales.
- Estado de rutas de maniobra.
- Estado de circuitos de vías.
- Estado de cambios.

En el anexo “Protocolo de Comunicaciones”, puede observarse la estructura y cantidad de mensajes posibles la comunicación entre el señalamiento y la PC.

---

### 5.2.9. ASIGNACIÓN DE PINES

Para monitorear y comandar la totalidad de elementos, el programa requirió la asignación de 62 entradas y 126 salidas. Las entradas fueron conectadas en su totalidad a la placa central, con excepción de las indicaciones “Verde” y “Amarillo 2” de la señal automática 91, que fueron asignadas a la placa expansora 7.

Los acrónimos utilizados en las tablas XX a XX siguientes son:

- **Ind:** indicación.
- **MdC:** máquina de cambio.
- **Sñ:** señal
- **Aut:** automático/a.
- **Mov:** movimiento.

---

#### 5.2.9.1. PLACA CENTRAL

La placa central tiene asignada exclusivamente entradas en sus pines. La figura 17 exhibe la distribución física de los conectores I2C y los pines de entrada digital, mientras que la tabla 25 detalla la función asignada por el software a cada uno.



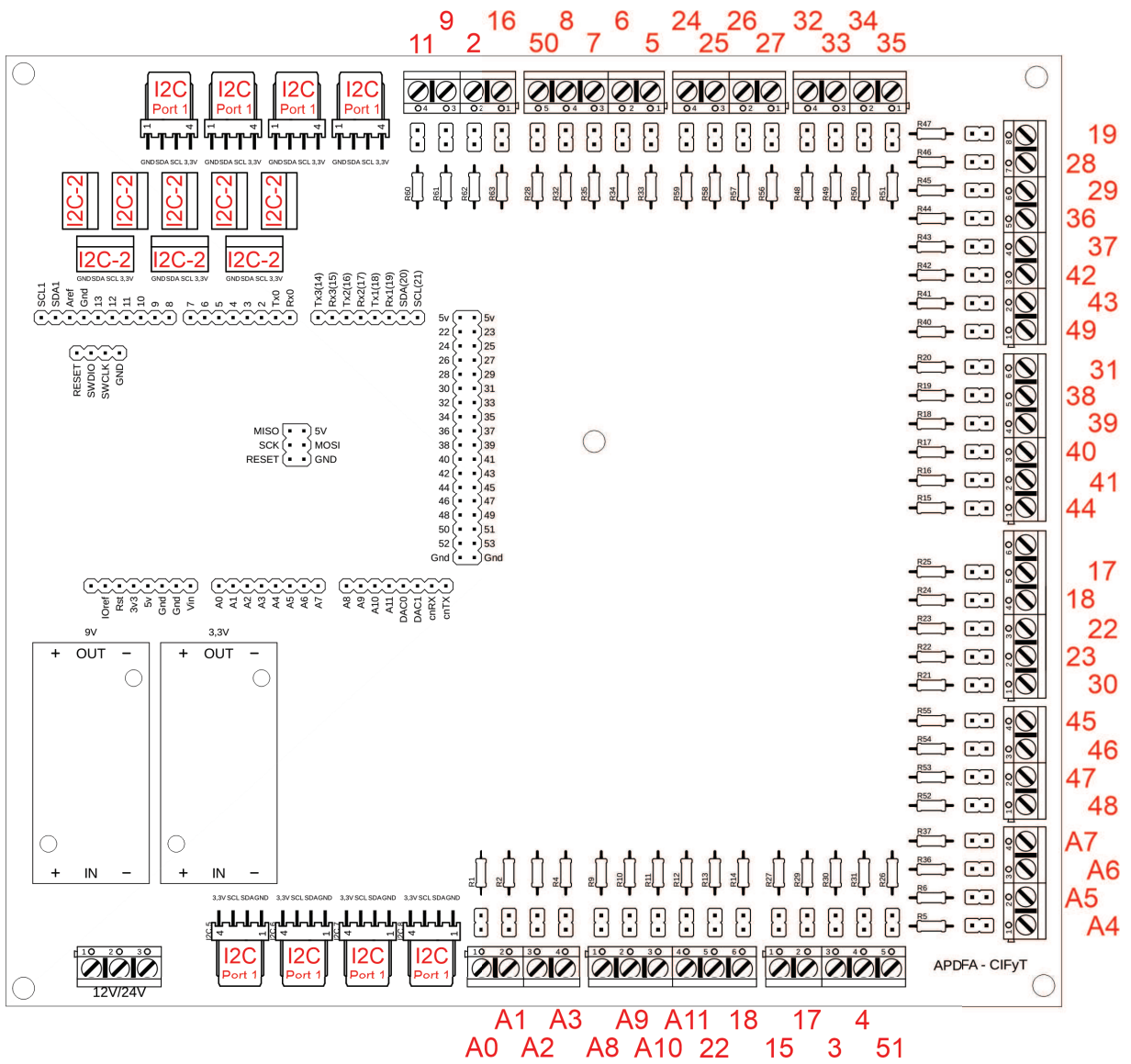


Figura 17. Distribución física de conectores en placa central.

Elemento	Id	Nro de Pin	Elemento	Id	Nro de Pin
Circuito de vía	1AT	34	Filamento quemado	4A	24
Circuito de vía	2ABT	8	Filamento quemado	5D	50
Circuito de vía	31T	41	Filamento quemado	6D	9
Circuito de vía	32AT	45	Filamento quemado	7DC	53
Circuito de vía	32T	23	Filamento quemado	7DE	23
Circuito de vía	33T	16	Filamento quemado	8D	A11
Circuito de vía	35T	51	Ind. Normal MdC	31A	31
Circuito de vía	36T	A5	Ind. Reverso MdC	31A	40
Circuito de vía	37AT	47	Ind. Normal MdC	31B	44
Circuito de vía	37T	26	Ind. Reverso MdC	31B	49
Circuito de vía	38T	32	Ind. Normal MdC	32A	17
Circuito de vía	3AT	A2	Ind. Reverso MdC	32A	18
Circuito de vía	5DT	10	Ind. Reverso MdC	32B	30
Circuito de vía	71T	36	Ind. Reverso MdC	32B	46
Circuito de vía	7DCT	7	Ind. Normal MdC	33	2
Circuito de vía	7DET	27	Ind. Reverso MdC	33	11
Circuito de vía	81T	37	Ind. Normal MdC	35A	A1
Circuito de vía	82T	28	Ind. Reverso MdC	35A	A0
Circuito de vía	8DT	A10	Ind. Normal MdC	35B	14
Circuito de vía	8DT – GW	A4	Ind. Reverso MdC	35B	15
Circuito de vía	91T	A8	Ind. Normal MdC	36A	A7
Circuito de vía	92T	A9	Ind. Reverso MdC	36A	A6
Circuito de vía	MT	43	Ind. Normal MdC	36B	25
Circuito de vía	NT	42	Ind. Reverso MdC	36B	4
Circuito de vía	VT	48	Ind. Normal MdC	37	5
Circuito de vía	WT	3	Ind. Reverso MdC	37	6
Filamento quemado	1A	35	Amarillo 1 – Sñ Aut	82	29
Filamento quemado	2AB	39	Amarillo 2 – Sñ Aut	82	33
Filamento quemado	2AE	38	Verde – Sñ. Aut	82	19
Filamento quemado	3A	22	Amarillo 1 – Sñ Aut	91	A3

Tabla 25. Asignación de pines para las entradas de la placa central.

### 5.2.9.2. PLACAS EXPANSORAS

Las ocho placas expansoras están enumeradas del 0 al 7, se conectan con la Placa Central por medio del Puerto 1 de I2C, cuentan con la distribución de pines de



## PLACA EXPANSORA 0

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal principal	Luz roja	1A	Salida	A0
Señal principal	Luz amarilla 1	1A	Salida	A1
Señal principal	Luz verde	1A	Salida	A2
Señal principal	Luz amarilla 2	1A	Salida	A3
ATS	Comando N	1A	Salida	A4
ATS	Comando NN	1A	Salida	A5
ATS	Comando V	1A	Salida	A6
Señal principal	Luz roja	2A	Salida	A7
Señal principal	Luz amarilla 1	2A	Salida	B0
Señal principal	Luz verde	2A	Salida	B1
Señal principal	Luz amarilla 2	2A	Salida	B2
Señal principal	Luz roja	2A	Salida	B3
Señal principal	Luz amarilla	2A	Salida	B4
ATS	Comando N	2A	Salida	B5
ATS	Comando NN	2A	Salida	B6
ATS	Comando V	2A	Salida	B7

Tabla 26. Asignación de pines de la placa expansora 0.

## PLACA EXPANSORA 1

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal de maniobra	Luz común	13A	Salida	A0
Señal de maniobra	Luz cerrada	13A	Salida	A1
Señal de maniobra	Luz abierta	13A	Salida	A2
Señal de maniobra	Luz violeta	13A	Salida	A3
Indicador de ruta	Luz izquierda	13AC	Salida	A4
Indicador de ruta	Luz derecha	13AE	Salida	A5
Energía MdC	Mov. a Normal	31A	Salida	A6
Energía MdC	Mov. a Reverso	31A	Salida	A7
Energía MdC	Mov. a Normal	31B	Salida	B0
Energía MdC	Mov. a Reverso	31B	Salida	B1
Energía MdC	Mov. a Normal	32A	Salida	B2
Energía MdC	Mov. a Reverso	32A	Salida	B3
Energía MdC	Mov. a Normal	32B	Salida	B4
Energía MdC	Mov. a Reverso	32B	Salida	B5
Señal de maniobra	Luz común	12A	Salida	B6
Señal de maniobra	Luz cerrada	12A	Salida	B7

Tabla 27. Asignación de pines de la placa expansora 1.

## PLACA EXPANSORA 2

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal de maniobra	Luz abierta	12A	Salida	A0
Señal de maniobra	Luz violeta	12A	Salida	A1
Señal de maniobra	Luz común	11A	Salida	A2
Señal de maniobra	Luz cerrada	11A	Salida	A3
Señal de maniobra	Luz abierta	11A	Salida	A4
Señal de maniobra	Luz violeta	11A	Salida	A5
Energía MdC	Mov. a Normal	33	Salida	A6
Energía MdC	Mov. a Reverso	33	Salida	A7
Señal principal	Luz roja	5D	Salida	B0
Señal principal	Luz amarilla 1	5D	Salida	B1
Señal principal	Luz verde	5D	Salida	B2
Señal principal	Luz amarilla 2	5D	Salida	B3
ATS	Comando N	5D	Salida	B4
ATS	Comando NN	5D	Salida	B5
ATS	Comando V	5D	Salida	B6
Señal de maniobra	Luz común	19D	Salida	B7

Tabla 28. Asignación de pines de la placa expansora 2.

## PLACA EXPANSORA 3

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal de maniobra	Luz abierta	19D	Salida	A0
Señal de maniobra	Luz cerrada	19D	Salida	A1
Señal de maniobra	Luz abierta	19D	Salida	A2
Señal principal	Luz roja	6D	Salida	A3
Señal principal	Luz amarilla	6D	Salida	A4
Señal principal	Luz verde	6D	Salida	A5
ATS	Comando N	6D	Salida	A6
ATS	Comando NN y V	6D	Salida	A7
Señal de maniobra	Luz común	18D	Salida	B0
Señal de maniobra	Luz cerrada	18D	Salida	B1
Señal de maniobra	Luz abierta	18D	Salida	B2
Señal de maniobra	Luz violeta	18D	Salida	B3
Indicador de ruta	Luz izquierda	18DN	Salida	B4
Indicador de ruta	Luz central	18DM	Salida	B5
Indicador de ruta	Luz derecha	18DF	Salida	B6
Señal de maniobra	Luz común	14A	Salida	B7

Tabla 29. Asignación de pines de la placa expansora 3.

## PLACA EXPANSORA 4

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal de maniobra	Luz cerrada	14A	Salida	A0
Señal de maniobra	Luz abierta	14A	Salida	A1
Señal de maniobra	Luz violeta	14A	Salida	A2
Señal principal	Luz roja	3A	Salida	A3
Señal principal	Luz amarilla 1	3A	Salida	A4
Señal principal	Luz verde	3A	Salida	A5
Señal principal	Luz amarilla 2	3A	Salida	A6
ATS	Comando N	3A	Salida	A7
ATS	Comando NN	3A	Salida	B0
ATS	Comando V	3A	Salida	B1
Señal de maniobra	Luz común	15A	Salida	B2
Señal de maniobra	Luz cerrada	15A	Salida	B3
Señal de maniobra	Luz abierta	15A	Salida	B4
Señal de maniobra	Luz violeta	15A	Salida	B5
Indicador de ruta	Luz izquierda	15AS	Salida	B6
Indicador de ruta	Luz central	15AV	Salida	B7

Tabla 30. Asignación de pines de la placa expansora 4.

## PLACA EXPANSORA 5

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Indicador de ruta	Luz derecha	15AW	Salida	A0
Señal principal	Luz roja	4A	Salida	A1
Señal principal	Luz amarilla	4A	Salida	A2
Señal principal	Luz verde	4A	Salida	A3
ATS	Comando N	4A	Salida	A4
ATS	Comando NN y V	4A	Salida	A5
Energía MdC	Mov. a Normal	37	Salida	A6
Energía MdC	Mov. a Reverso	37	Salida	A7
Energía MdC	Mov. a Normal	36B	Salida	B0
Energía MdC	Mov. a Reverso	36B	Salida	B1
Energía MdC	Mov. a Normal	36A	Salida	B2
Energía MdC	Mov. a Reverso	36A	Salida	B3
Señal de maniobra	Luz común	21D	Salida	B4
Señal de maniobra	Luz cerrada	21D	Salida	B5
Señal de maniobra	Luz abierta	21D	Salida	B6
Señal de maniobra	Luz violeta	21D	Salida	B7

Tabla 31. Asignación de pines de la placa expansora 5.

## PLACA EXPANSORA 6

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal de maniobra	Luz común	22D	Salida	A0
Señal de maniobra	Luz cerrada	22D	Salida	A1
Señal de maniobra	Luz abierta	22D	Salida	A2
Señal de maniobra	Luz violeta	22D	Salida	A3
Energía MdC	Mov. a Normal	35B	Salida	A4
Energía MdC	Mov. a Reverso	35B	Salida	A5
Energía MdC	Mov. a Normal	35A	Salida	A6
Energía MdC	Mov. a Reverso	35A	Salida	A7
Señal de maniobra	Luz común	20D	Salida	B0
Señal de maniobra	Luz cerrada	20D	Salida	B1
Señal de maniobra	Luz abierta	20D	Salida	B2
Señal de maniobra	Luz violeta	20D	Salida	B3
Indicador de ruta	Luz izquierda	20DC	Salida	B4
Indicador de ruta	Luz derecha	20DB	Salida	B5
Señal principal	Luz roja	7DC	Salida	B6
Señal principal	Luz amarilla 1	7DC	Salida	B7

Tabla 32. Asignación de pines de la placa expansora 6.

## PLACA EXPANSORA 7

Elemento	Detalle	Id	Tipo de pin	Nro de Pin
Señal principal	Luz verde	7DC	Salida	A0
Señal principal	Luz amarilla 2	7DC	Salida	A1
Señal principal	Luz roja	7DE	Salida	A2
Señal principal	Luz amarilla	7DE	Salida	A3
ATS	Comando N	7D	Salida	A4
ATS	Comando NN	7D	Salida	A5
ATS	Comando V	7D	Salida	A6
Señal principal	Luz roja	8D	Salida	A7
Señal principal	Luz amarilla 1	8D	Salida	B0
Señal principal	Luz verde	8D	Salida	B1
Señal principal	Luz amarilla 2	8D	Salida	B2
ATS	Comando N	8D	Salida	B3
ATS	Comando NN	8D	Salida	B4
ATS	Comando V	8D	Salida	B5
Señal automática	Luz verde	91	Entrada	B6
Señal automática	Luz amarilla 1	91	Entrada	B7

Tabla 33. Asignación de pines de la placa expansora 7.

### 5.3. SOFTWARE DE INTERFAZ HUMANO MÁQUINA

El software de interfaz hombre máquina es el encargado de ofrecer el comando y control del señalamiento desde un entorno gráfico que permita operar el mismo fácilmente.

El mismo puede dividirse en dos secciones claramente diferenciadas respecto a su modo de operación: una vinculada al señalamiento y cuya operación atañe al envío y recepción de solicitudes al hardware de señalamiento, y otra cuya operación es intrínsecamente local y no requiere comunicación externa. El refresco de información presentada gráficamente se realiza con un período de 1 segundo entre ellos.

La totalidad del sistema se realizó mediante Microsoft Visual Studio, estableciendo una comunicación directa con el puerto serie a través del sistema operativo Microsoft Windows 10 y utilizando SQL Server para el almacenamiento de información como gestor de bases de datos. Toda la aplicación se ha desarrollado sobre la plataforma Winforms, en lenguaje C#, la simbología fue realizada integralmente en el marco de este proyecto como vectores y exportados a formato PNG para su uso en la plataforma. El diseño gráfico está basado en los estándares ferroviarios nacionales actuales. La interfaz requirió el uso de 6 ventanas, conllevando un total de 11.378 líneas de código C#, distribuidos 9.546 en la ventana principal, 911 en la ventana del Sistema de Ayuda al Mantenimiento, 385 en el Registrador de Eventos, 218 en la Administración de Usuarios, 235 en la ventana de Inicio de Sesión y 83 en la ventana de selección de puerto UART.

Siendo un entorno gráfico, se presenta a continuación la norma videográfica definida para el mismo, en base a experiencias y modelos utilizados en la actualidad.

---

#### 5.3.1. ENTORNO GRÁFICO

El entorno gráfico de la aplicación de PC está diseñado para monitores de resolución 1920x1080 píxeles. Cuenta con un listado de eventos y un listado de alarmas, así como, también, botones pulsadores que permiten aceptar alertas y acceder a funciones



avanzadas. La figura 20 expone la captura de pantalla de la ventana principal de la aplicación de Interfaz Humano-Máquina, con el señalamiento activo, ninguna ruta encerrada, todos los circuitos de vía libres y las máquinas de cambio con correspondencia a Normal.

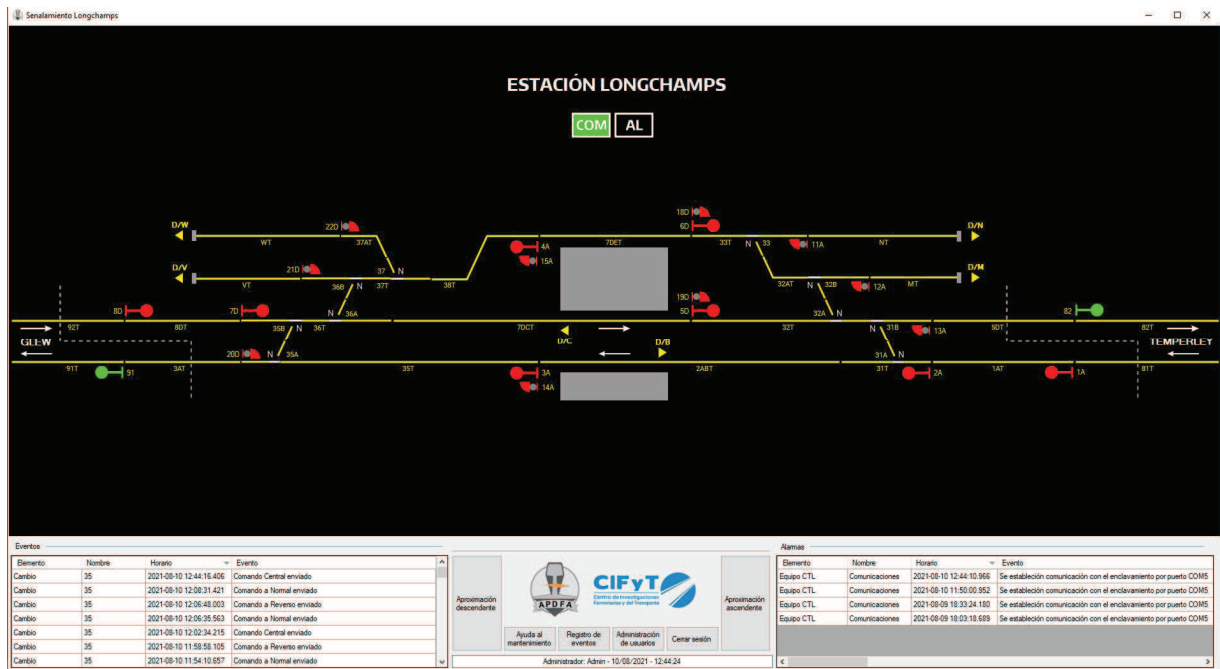
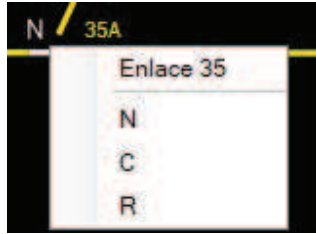


Figura 20. Captura de pantalla de la ventana principal de la IHM.

### 5.3.1.1. OPERACIÓN Y ENVÍO DE MANDOS

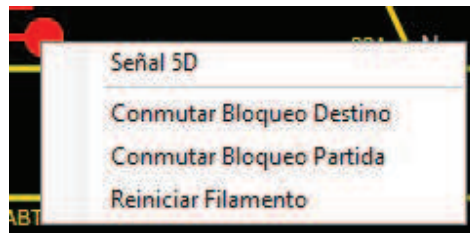
La interfaz fue concebida como de uso exclusivo por medio del mouse de la PC. Con este podremos enviar distintos mandos o llamar a menús especiales. El *click* izquierdo tomará la acción predeterminada para cada elemento que tenga esta acción definida. El *click* derecho desplegará el menú de funciones disponible para cada elemento, con excepción de la acción predeterminada.

La figura 21 exhibe el menú contextual para los cambios, que permite seleccionar el envío de comandos N, C o R a demanda del operador, sin restricción de uso.

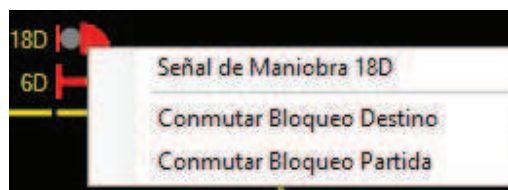


**Figura 21.** Menú contextual desplegable para cambios.

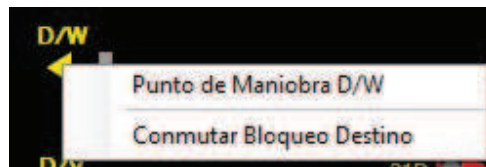
La figura 22 exhibe el menú contextual para las señales principales, que permite conmutar el bloqueo de origen o destino, que se explica posteriormente en el documento, y reiniciar la alerta de filamento quemado. Aquellas señales que no puedan operar como destinos o como partidas no contarán con la posibilidad de conmutar dicho bloqueo. Lo mismo aplica para las señales de maniobra, cuyo menú contextual se exhibe en la figura 23, y, además, no cuentan con detección de filamento quemado. En el caso de los destinos de maniobras, sólo podrán conmutarse su bloqueo como destinos, con el menú contextual que se exhibe en la figura 24.



**Figura 22.** Menú contextual desplegable para señales principales.






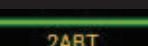
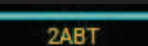
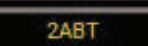
**Figura 23.** Menú contextual desplegable para señales de maniobra.



**Figura 24.** Menú contextual desplegable para destinos de maniobras.

### 5.3.1.2. VÍAS Y DETECCIÓN DE TRENES







Los tramos de vías del cuadro se representan esquemáticamente mediante líneas de distinto color. Se representan como segmentos de vías, los cuales comprenden el sector de detección de un circuito de vía, cuyo nombre se grafica en el centro del segmento. Su representación gráfica se detalla en la tabla 34.

	Circuito de vía libre, sin ruta.
	Circuito de vía ocupado.
	Circuito de vía ocupado con alerta de "ocupación intempestiva".
	Circuito de vía libre, con ruta principal encerrada. Parpadeará entre esta representación y la de "sin ruta" si tuviera una ruta principal con diferímetro activo.
	Circuito de vía libre, con ruta de maniobra encerrada. Parpadeará entre esta representación y la de "sin ruta" si tuviera una ruta de maniobra con diferímetro activo.
	Circuito de vías sin información (conexión perdida con el hardware de enclavamiento).

**Tabla 34.** Representación gráfica de circuitos de vías.

### 5.3.1.3. CAMBIOS DE VÍA

En la Tabla 35, se indica la representación gráfica correspondiente a los cambios de vía, consistentes, exclusivamente, en máquinas de cambio para el cuadro de Longchamps, porque la estación no cuenta con accionamientos manuales de cambio. Esta tabla se presenta con el circuito de vía asociado al sector del cambio en estado "libre sin ruta" para referencia. El color de estos circuitos variará de acuerdo al estado de ocupación, datos o rutas del mismo, según la tabla 34.

	Cambio dispuesto en posición Normal, libre para ser comandado.
	Cambio dispuesto en posición Normal, bloqueado por comando o ruta. En el segundo caso, el circuito de vía amarillo aparecerá celeste o verde una vez que la ruta quede encerrojada.
	Cambio dispuesto en posición Reverso, libre para ser comandado.
	Cambio dispuesto en posición Reverso, bloqueado por comando o ruta. En el segundo caso, el circuito de vía amarillo aparecerá celeste o verde una vez que la ruta quede encerrojada.
	Cambio fuera de correspondencia o sin información por pérdida de comunicación el hardware. En el segundo caso, su circuito de vía vinculado estará representado en color gris.
	Parpadea entre la primera y la segunda representación para llamar la atención del operador.

**Tabla 35.** Representación gráfica de cambios.

#### 5.3.1.4. SEMÁFOROS PRINCIPALES

En la tabla 36 se exhibe la representación gráfica de los semáforos principales. Es importante destacar el caso de los mástiles que tengan dos señales montadas en el mismo. Estos casos se representan en forma unificada como una sola señal, ya que son el mismo punto de origen y el mismo punto de destino.

	Señal principal semicomandada o automática a "peligro".
	Señal principal bloqueada como destino (a "peligro").
	Señal principal bloqueada como partida u origen (a "peligro").
	Señal principal semicomandada o automática bloqueada como partida o destino con sólo un tipo de bloqueo disponible (a "peligro").
	Señal principal semicomandada con al menos un filamento quemado (a "peligro").
	Señal principal semicomandada o automática a "precaución".
	Señal principal semicomandada o automática a "precaución avanzada".
	Señal principal semicomandada o automática a "vía libre".
	Señal principal semicomandada o automática sin datos (conexión perdida con el hardware de enclavamiento).

Tabla 36. Representación gráfica de semáforos principales y automáticos.

### 5.3.1.5. SEMÁFOROS DE MANIOBRA










En la tabla 37 se exhibe la representación gráfica de los semáforos de maniobra. En el mnemónico no se exhibirán los estados de los indicadores de ruta de cada señal.

	Semáforo de maniobra con aspecto "no avanzar".
	Semáforo de maniobra bloqueado como destino ("no avanzar").
	Semáforo de maniobra bloqueado como partida u origen ("no avanzar").
	Semáforo de maniobra bloqueado como partida o destino con sólo un tipo de bloqueo disponible ("no avanzar").
	Semáforo de maniobra con aspecto "cambios dispuestos para la maniobra".
	Semáforo de maniobra con aspecto "avanzar".
	Semáforo de maniobra sin datos (conexión perdida con el enclavamiento).

Tabla 37. Representación gráfica de semáforos de uso compartido de maniobra.

### 5.3.1.6. PULSADORES Y TESTIGOS ADICIONALES

La interfaz hombre-máquina cuenta, además, con los pulsadores y testigos adicionales exhibidos en la tabla 38, tanto para el establecimiento de rutas de maniobra como para reportar estados o configurar el sistema.

	Destino de maniobra. Es posible formar una ruta de maniobra desde una señal de maniobra hasta este destino.
	Destino de maniobra bloqueado como destino.
	Testigo de aproximación de formaciones. Advierte la ocupación del circuito anterior al primer circuito de vía de la estación.
	Testigo de alarmas del señalamiento sin alarmas pendientes de reconocimiento.
	Testigo de alarmas del señalamiento con alarmas pendientes de reconocimiento. Parpadea entre este y el anterior.
	Testigo de comunicación con hardware de señalamiento correcta.
	Testigo de falla en comunicación con hardware de señalamiento.
	Testigo de al menos una ruta de maniobra en estado "diferímetro activo".
	Testigo de al menos una ruta principal en estado "diferímetro activo".

**Tabla 38.** Representación gráfica de pulsadores y testigos adicionales.

### 5.3.2. FUNCIONES DE LA INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica permite el uso de diversas funciones avanzadas de señalamiento, múltiples reportes y análisis automático de eventos.

En la pantalla principal del sistema se cuenta, además de la representación de la disposición ferroviaria, con testigo de alarmas, conexiones, pulsadores de acceso a funciones, listados de eventos y alarmas.

En la parte inferior pueden observarse los cuadros de eventos simplificado y de alarmas, que permite al Usuario observar los eventos destacados y alarmas del día en curso y el día anterior. Todo registro de eventos se realiza con precisión de milisegundos. En el sector izquierdo se exhibe el cuadro de registro de eventos simplificado ilustrado por la figura 25.

Elemento	Nombre	Horario	Evento
Destino de Maniobra	D/W	2021-08-10 14:50:51.902	Bloqueado como destino
Aproximación	Descendente	2021-08-10 14:33:18.315	Alerta aceptada por el Usuario
Ruta Principal	8D	2021-08-10 14:33:14.944	Ruta encorajada
Ruta Principal	8D	2021-08-10 14:33:14.939	Mando recibido
Ruta Principal	8D	2021-08-10 14:33:13.973	Solicitud enviada al enclavamiento
Ruta Principal	5DF	2021-08-10 14:33:10.847	Ruta encorajada
Ruta Principal	5DF	2021-08-10 14:33:10.835	Mando recibido

**Figura 25.** Cuadro de registro de eventos simplificado.

A su vez, en la parte inferior derecha de la pantalla principal puede observarse el registro de alarmas, detallado en la figura 26. Este permitirá al usuario identificar rápidamente el significado de cada alarma. Las alarmas de tipo críticas como la ocupación intempestiva de un circuito de vía o la pérdida de comunicación con el enclavamiento encenderán, también, el testigo de alarma.

Elemento	Nombre	Horario	Evento
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-10 18:57:45.603	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-10 18:42:12.798	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-10 14:29:04.244	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-10 13:37:24.595	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-10 12:44:10.966	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-10 11:50:00.952	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-08-09 18:33:24.180	Se estableción comunicación con el enclavamiento por puerto ...

**Figura 26.** Cuadro de registro de alarmas simplificado.

En la parte central se ubican los pulsadores de comando y testigo de usuario conectado, según se expone en la figura 27. Éste último indicará el nivel del usuario conectado y su nombre, la fecha y la hora actual del sistema. Desde el cuadro central de comando, el usuario podrá aceptar los avisos de aproximación de formaciones en ambos sentidos ascendente y descendente. También podrá invocar la ventana de “ayuda al mantenimiento”, registro de eventos, administración de usuarios y aplicar un cierre de sesión, invocando la ventana de inicio de sesión, con la cual el programa comienza su ejecución.





**Figura 27.** Cuadro central de comandos de la interfaz.

Toda ventana abierta por sobre la principal, exhibida en la figura 20, bloqueará la operación de ésta última, cuya ejecución proseguirá normalmente, pero sin tomar en cuenta ningún mando del operador hasta que la ventana superpuesta sea cerrada. Los usuarios de nivel operador no podrán acceder a estas ventanas avanzadas, teniendo así habilitados, solamente, los pulsadores de aproximaciones y el cierre de sesión.

#### 5.3.2.1. INICIO DE SESIÓN

Al iniciar el programa y ante el evento de cierre de sesión, se presenta la ventana de inicio de sesión, exhibida en la figura 28, donde los usuarios registrados ingresaran con su nombre asignado y su contraseña. En caso que se haya solicitado un reinicio de contraseña, se accederá automáticamente a la función de “cambio de contraseña” para que el usuario podrá escribir su contraseña sin restricciones de ningún tipo. Las contraseñas se comparan cifradas contra la base de datos de usuarios.

Una vez iniciada la sesión correctamente, la ventana se cerrará automáticamente, permitiendo la operación completa del sistema, de acuerdo con los permisos asignados a su nivel de usuario.





**Figura 28.** Ventana de inicio de sesión.



El sistema de administración de usuarios se detalla en el punto 7.3.2.4. Por defecto, el sistema cuenta con un único usuario con nivel “Administrador” a la espera de un cambio de contraseña. La totalidad de los usuarios son almacenados en una tabla de la base de datos incrustada en la aplicación, siendo cada uno unívocamente identificado por nombre e indicando su rango, su contraseña y si esta contraseña requiere reconfigurarse. La contraseña no se almacena en texto plano, sino encriptada mediante AES 256 y su comparación para el inicio de sesión también se realiza encriptado, con el fin de evitar que alguien con acceso a esta tabla pueda iniciar sesión en el sistema, ya que no podría generar la misma contraseña.

---

### 5.3.2.2. AYUDA AL MANTENIMIENTO

El sistema de ayuda al mantenimiento cumple con dos funciones principales. La primera es la generación automática de reportes para máquinas de cambio y señales principales, mientras que la segunda es la de permitir que el encargado de mantenimiento reporte revisiones y reemplazos realizados sobre máquinas de cambio, señales principales y de maniobra. Sólo los usuarios de nivel Mantenedor y Administrador podrán acceder a esta ventana. En la figura 29 puede observarse el sistema de ayuda al mantenimiento para las máquinas de cambio. El tipo de elemento a ver puede elegirse por medio de la lista desplegable en la parte superior central de la ventana.

Ayuda al mantenimiento


 Elemento:  


Máquina de cambio	Cantidad parcial de movimientos correctos	Cantidad parcial de movimientos fallidos	Tiempo promedio parcial de movimiento (ms)	Cantidad histórica de movimientos	Tiempo promedio histórico de movimiento (ms)	Cantidad de movimientos histórico última revisión	Fecha última revisión
31A	5	1	21004	5	21004	0	N/D
31B	5	1	1232	5	1232	0	N/D
32A	17	12	797	17	797	0	N/D
32B	18	11	56943	18	56943	0	N/D
33	7	0	586	7	586	0	N/D
35A	2	0	4619	2	4619	0	N/D
35B	2	0	4619	2	4619	0	N/D
36A	10	2	367	10	367	0	N/D
36B	10	2	260	10	260	0	N/D
37	3	0	1282	3	1282	0	N/D



Máquina de cambio:

**Figura 29.** Sistema de ayuda al mantenimiento para máquinas de cambio.

La información exhibida para máquinas de cambio incluye cantidad de movimientos totales y parciales de cada una y el tiempo promedio de cada movimiento. Las dos últimas columnas permiten al mantenedor registrar la fecha en la que revisó la máquina de cambios y cuántos movimientos tenía en ese momento.

La figura 30 exhibe el Sistema de Ayuda al Mantenimiento para las señales principales, en el cual el sistema almacena automáticamente el último reporte de filamento quemado para cada aspecto. A su vez, el mantenedor puede reportar el cambio de una lámpara por fecha en la que lo reporta.

Ayuda al mantenimiento


 Elemento:  


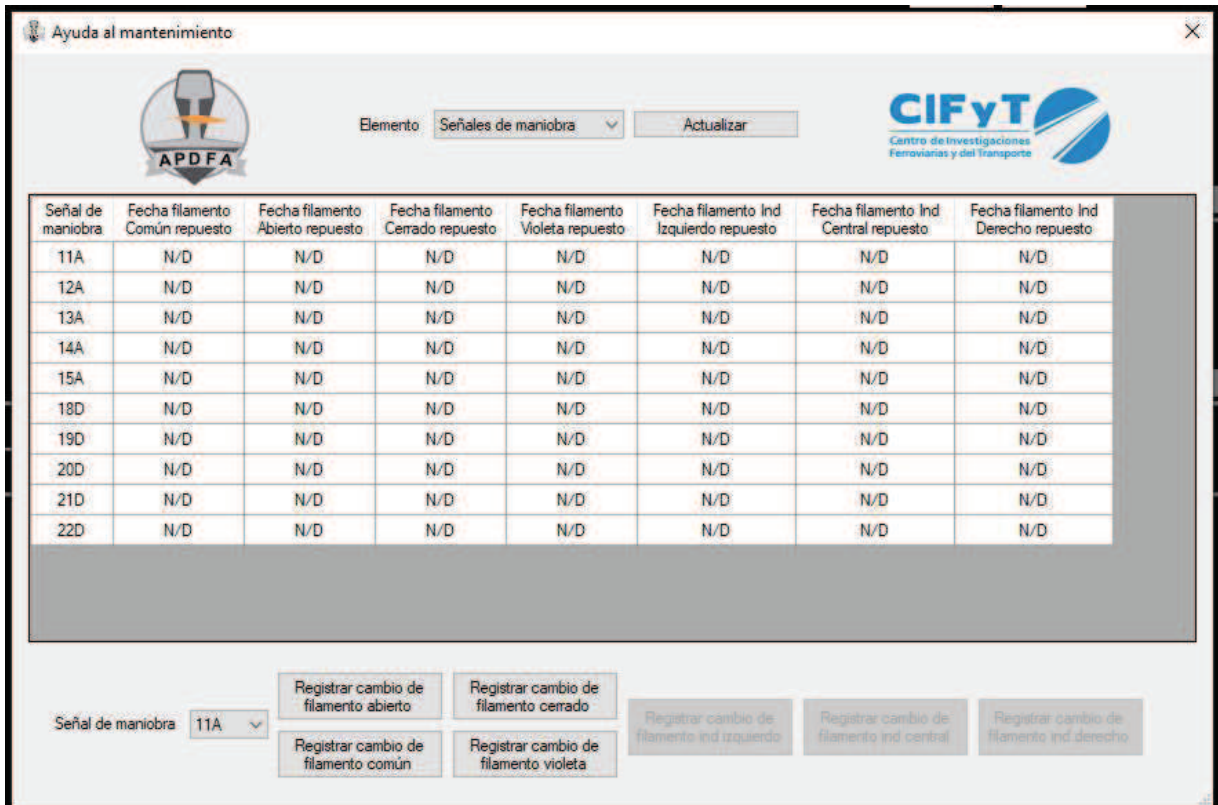
Señal principal	Fecha filamento Verde quemado	Fecha filamento Verde repuesto	Fecha filamento Amarillo 1 quemado	Fecha filamento Amarillo 1 repuesto	Fecha filamento Amarillo 2 quemado	Fecha filamento Amarillo 2 repuesto	Fecha filamento Rojo quemado	Fecha filamento Rojo repuesto
1A	N/D	N/D	2021-11-11	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
2AB	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
2AE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/D	N/D	N/D	N/D
3A	2021-11-11	N/D	2021-11-11	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
4A	N/D	N/D	N/A	N/A	N/D	N/D	N/D	N/D
5D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
6D	N/D	N/D	N/A	N/A	N/D	N/D	2021-11-08	N/D
7DC	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
7DE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/D	N/D	N/D	N/D
8D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

Señal principal:

**Figura 30.** Sistema de ayuda al mantenimiento para señales principales.

El alerta de filamento quemado es un parámetro operativo del señalamiento y puede ser reiniciado por operadores de todos los niveles. El Sistema De Ayuda Al Mantenimiento mantendrá el último reporte, por lo que, si se efectuara un reinicio para probar la veracidad del alerta, el Sistema de Ayuda al Mantenimiento exhibirá la fecha y hora de la último alerta, sin importar si se ha efectuado un cambio de lámpara o no.

El Sistema de Ayuda al Mantenimiento para señales de maniobra, expuesto en la figura 31, sólo permitirá que el usuario Mantenedor reporte fecha de instalación o reposición de cada lámpara asociada a esa señal, incluyendo las de su indicador de ruta, si correspondiera.



**Figura 31.** Sistema de ayuda al mantenimiento para señales de maniobra.

### 5.3.2.3. REGISTRO DE EVENTOS

La ventana de registro de eventos, expuesta en la figura 32, presenta un detalle pormenorizado de todos los eventos de señalamiento ocurridos en campo y todos los comandos enviados por el operador. Exhibe la totalidad de eventos diarios y permite seleccionar el día que se visualiza, el tipo de elemento que generó el evento y si dicho evento implica una alarma o no.

Todo elemento de esta tabla incluye fecha y hora con precisión de milisegundos, detalle del evento y qué usuario estaba conectado al momento de ocurrir. Los usuarios de nivel mantenedor, supervisor y administrador tendrán acceso a esta ventana. Incluye funciones de exportación a archivos Microsoft Excel (con extensión “.xls”) o PDF.

Registro de Eventos

Filtrado

Fecha: Thursday, 11 Noveml

Elemento: Todos

Ver:  Eventos  Alamas

Aplicar Filtro

Elemento	Nombre	Horario	Usuario	Evento
Equipo CTL	Programa	2021-11-11 20:36:45.524	Admin	Cierre de programa
Circuito de via	7DET	2021-11-11 20:35:51.855	Admin	Ocupacion intespestiva
Circuito de via	MT	2021-11-11 20:31:52.242	Admin	Alama de ocupación intespestiva aceptada
Circuito de via	MT	2021-11-11 20:31:48.902	Admin	Ocupacion intespestiva
Circuito de via	MT	2021-11-11 20:31:47.350	Admin	Ocupacion intespestiva
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:16.548	Admin	Ruta encerrojada TP
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:16.544	Admin	Mando recibido
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:16.303	Admin	Solicitud TP enviada al enclavamiento
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:13.268	Admin	Ruta cancelada
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:12.751	Admin	Mando recibido
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:12.400	Admin	Anulación enviada al enclavamiento
Ruta de Maniobra	12AE	2021-11-11 20:30:07.953	Admin	Ruta encerrojada
Ruta Principal	8D	2021-11-11 20:30:07.945	Admin	Ruta encerrojada TP
Ruta Principal	7DC	2021-11-11 20:30:07.939	Admin	Ruta encerrojada
Ruta Principal	5DF	2021-11-11 20:30:07.928	Admin	Ruta encerrojada TP
Ruta Principal	3AS	2021-11-11 20:30:07.920	Admin	Ruta encerrojada
Ruta Principal	2AB	2021-11-11 20:30:07.914	Admin	Ruta encerrojada
Ruta Principal	1A	2021-11-11 20:30:07.905	Admin	Ruta encerrojada
Ruta de Maniobra	15AW	2021-11-11 20:30:07.372	Admin	Ruta encerrojada
Equipo CTL	Comunicaciones	2021-11-11 20:30:07.364	Admin	Se estableció comunicación con el enclavamiento por puerto COM5

Exportar a Microsoft Excel

Exportar a PDF

APDFA

CIFyT  
Centro de Investigaciones  
Ferrovias y del Transporte

Figura 32. Sistema registrador de eventos.

#### 5.3.2.4. ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS

El sistema de administración de usuarios, cuya ventana se exhibe en la figura 33, permitirá modificar nombre o nivel de usuarios, forzar la renovación de contraseñas, crear y eliminar usuarios. Solo un usuario con nivel Administrador puede acceder a esta ventana. Desde la misma no se podrá visualizar la contraseña de cada usuario, que, por seguridad, se guarda encriptada y se compara en el mismo estado. La única intervención que se puede realizar sobre las contraseñas es forzar su reinicio.



**Figura 33.** Sistema de administración de usuarios.

#### 5.4. SIMULADOR DE CAMPO FERROVIARIO

El simulador de campo ferroviario consiste en una maqueta esquemática que exhibe el trazado de vías, la disposición de cambios, circuitos de vía y señales. Se mandó a fabricar un gabinete de fibropanel de densidad media (MDF) de madera de 84 cm x 30 cm x 10 cm. Tiene una tapa sobre la cual se ha grabado el esquema completo de la estación, que se exhibe en la figura 34, y permite el acceso a los dispositivos electrónicos. Sobre esta se montan los LEDs alimentados por las salidas del hardware y llaves para alimentar las entradas.

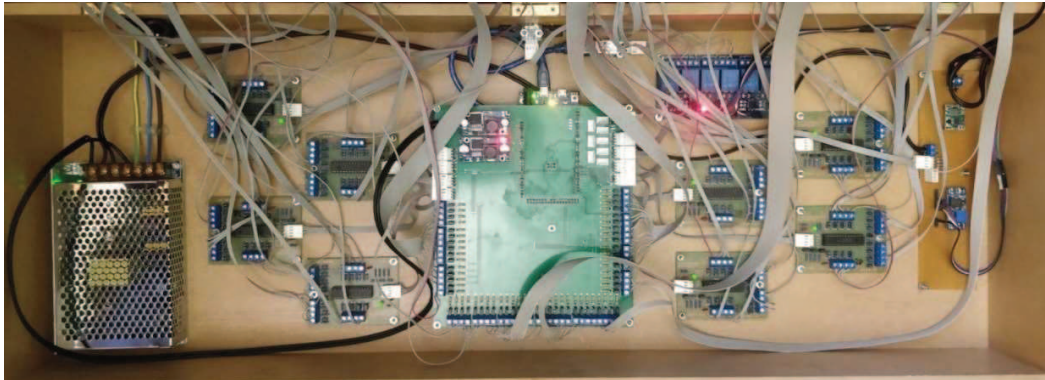
La totalidad de elementos se conecta a una fuente de 12 V con corriente máxima de 10 A, montada dentro del gabinete. La conexión del simulador es directa a 220 V, cuenta con una llave de encendido, fusible y conector USB montado en chasis. Debido a que el diseño de la placa Arduino DUE seleccionada para el proyecto permite al equipo alimentarse por USB, pero la corriente que este puerto puede brindar es considerablemente menor a la requerida, se incorpora un módulo de relés que desconecta el USB del microcontrolador del puerto de entrada del gabinete si la fuente de 12VCC no está encendida y alimentando el sistema.





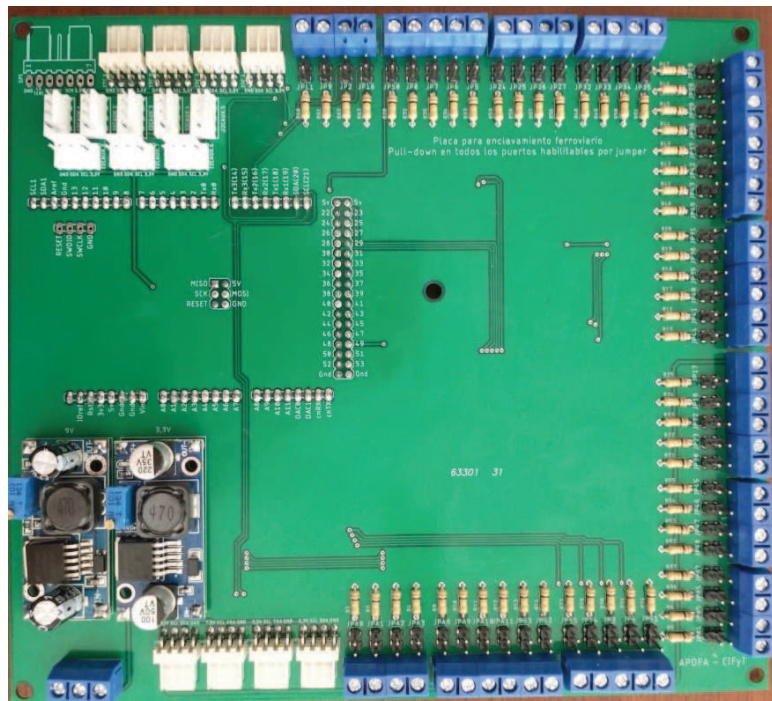




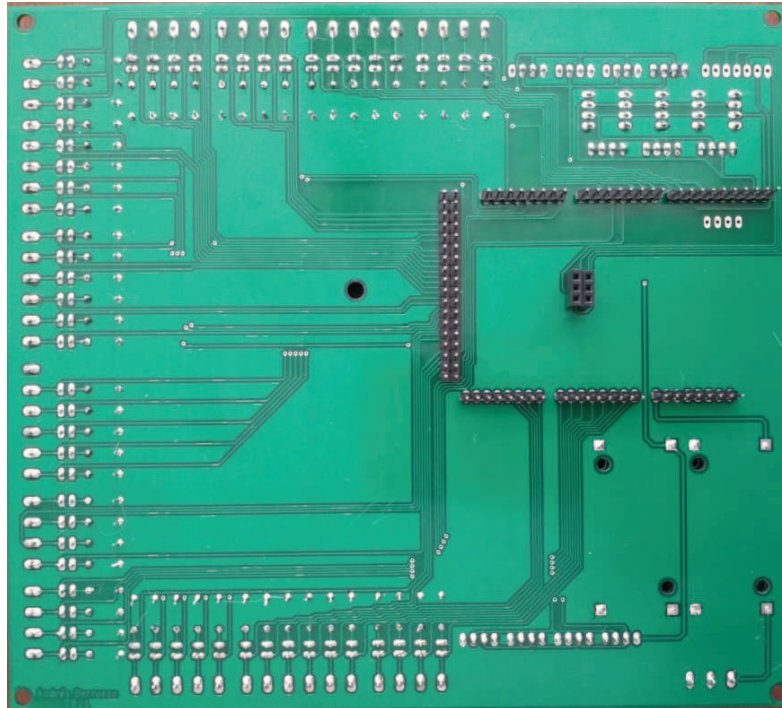


**Figura 37.** Sistema de enclavamiento, entradas y salidas en funcionamiento vista interior.

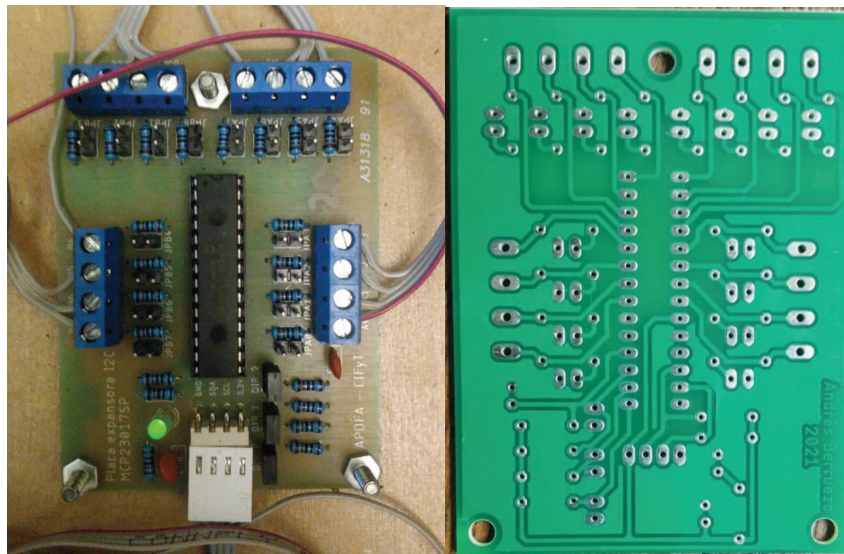
Las figuras 37 a 41 muestran el resultado final de la fabricación de las placas diseñadas, siendo las primeras dos correspondientes a la placa central y las últimas dos a las expansoras. La fabricación del PCB fue realizada por Ernesto Mayer S.A., sito en Florida Oeste, Provincia de Buenos Aires, en base a los diseños facilitados. Se destaca el desarrollo de la placa central como *shield* de Arduino DUE con conexión para todos sus pines, lo que permite la reimplementación del sistema con otros microcontroladores que cuenten con una placa de desarrollo con este formato de conexiones.



**Figura 38.** Vista superior de placa central.



**Figura 39.** Vista inferior de placa central.



**Figuras 40 y 41.** Placa de expansores MCP23017.

Se incorpora un módulo de 6 relés con comando optoacoplado, exhibido en la figura 42, encargado de administrar la conexión y desconexión del puerto USB ante la ausencia de alimentación desde la fuente principal, previendo el posible uso de dos conexiones más, a futuro.

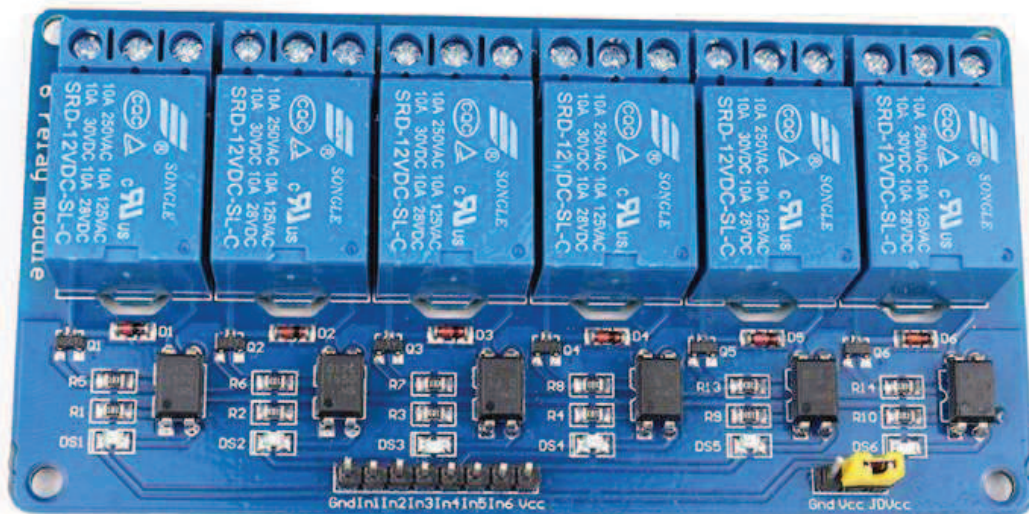


Figura 42. Módulo de relés con comando optoacoplado.

## 7. CONCLUSIONES

El señalamiento es la única garantía de una operación ferroviaria comercial segura. Es en este sentido que este proyecto obtiene particular relevancia, ya que sus objetivos son la capacitación de personal a especializar y la difusión de la técnica a interesados y personal jerárquico, tanto de las empresas ferroviarias como de aquellas que explotan servicios ferroviarios como playas de carga o transporte multimodal.

El presente proyecto tuvo como resultado la obtención de un sistema simulador de señalamiento completo, incluyendo su mesa de mando basada en PC, su sistema de enclavamiento y su control de salidas. El microcontrolador de enclavamiento fue programado en C++, mientras que la etapa de PC fue desarrollada en C# con base de datos SQL embebida para el registro de eventos, alarmas y sistemas de ayuda al mantenimiento.

El diseño de la placa votadora permite considerar su uso futuro para controlar playas ferroviarias, montado en racks, con redundancia 2 de 3 y control de tensiones compatibles con el comando de los elementos ferroviarios típicos. Esta implementación tendría carácter experimental y no sería apta para su uso con pasajeros, pero permitiría



el efectivo uso de un sistema de control de bajo costo para playas de carga y comenzar con ciclos de pruebas de uso continuo.

Si bien los tiempos previstos originalmente debieron ajustarse a lo largo del proyecto, con atención a la complejidad en la lógica de control y representación, dada la cantidad de variables a controlar y comandar, el mismo fue finalizado a conformidad del Cliente.

---

<sup>1</sup> Art. 245: "Velocidades Máximas de los trenes".

<sup>2</sup> Art. 11: "Velocidad de conducción según los aspectos de los semáforos".

<sup>3</sup> Art. 44.a: "Aspecto normal de los semáforos principales".

<sup>4</sup> Arts. 110, 112 y 113: "Señales absolutas", Señal de entrada", "Señal de salida".

<sup>5</sup> Art. 23: "Clases de señales ferroviarias".

<sup>6</sup> Art. 23: "Clases de señales ferroviarias".

<sup>7</sup> Art. 90: "Indicador del semáforo de maniobra y sistema de indicación".

<sup>8</sup> Documentación conforme a obra. Consta de los detalles constructivos del señalamiento electromecánico de estación Alejandro Korn, puesto en servicio en 2011 y siendo así, el más integralmente moderno de la Línea.

<sup>9</sup> Art. 42 "Indicaciones de los indicadores de ruta".

<sup>10</sup> Art. 46 "Indicación normal de los indicadores de ruta".

<sup>11</sup> Extraído de Ferrocarriles Argentinos, "Manual de Equipos Individuales (Tomo 1)" (1986),

<sup>12</sup> Extraído de documentación técnica Arduino Due R3.

<sup>13</sup> Extraído de documentación técnica Microchip MCP23017 / MCP23S17.

<sup>14</sup> Extraído de documentación técnica Vishay Siliconix IRF9530.

<sup>15</sup> Valor estimado del consumo de bobina de comando de relés ferroviarios según el catálogo de la marca Nippon Signal, una de las principales proveedoras de equipos del señalamiento de la década del 80 en la Línea General Roca y disposiciones del enclavamiento electromecánico.

<sup>16</sup> Modificación al enclavamiento típico de los ramales Constitución – Temperley, Temperley – Ezeiza y Temperley – Glew, impuesta por el señalamiento de estación Alejandro Korn.

<sup>17</sup> Art. 143 a: "Proceder del conductor en caso de señales descompuestas".

## 8. GLOSARIO

**Aspecto:** color o disposición que presenta una señal que transmite a un vehículo ferroviario una información relacionada con una autorización de movimiento.

**Avería** (o falla o fallo): pérdida de un elemento de su capacidad de desempeñar una función requerida.

**Anexo LGR:** anexo al Reglamento Interno Técnico Operativo para la Línea General Roca. s/f. (Argentina).

**Causa de fallo:** las circunstancias que, durante el diseño, la fabricación o la utilización han llevado a un fallo.

**CdV:** circuito de vía.

**COTS** (Commercial off-the-shelf equipment): define un elemento no-desarrollativo (NDI) de suministro, que es a la vez comercial y se vende en grandes cantidades en el mercado comercial, y que puede ser adquirido o utilizado bajo contrato corporativo o gubernamental de la misma forma exacta a como está disponible al público en general.

**Cronograma de ejecución** (o plan de trabajos): documento que especifica en tiempo y forma las tareas a realizar con motivo de la obra aprobado por el Comitente, que indica la secuencia y ritmo de ejecución de la obra.

**Degradación:** pérdida parcial de un elemento o sistema, de su capacidad de desempeñar la función requerida.

**Disponibilidad:** probabilidad de un sistema de estar en condiciones de funcionamiento en un momento dado o durante un intervalo de tiempo especificado y en condiciones establecidas, suponiendo que se faciliten los recursos externos requeridos.

**Enclavamiento:** relación de dependencia entre la posición de los dispositivos de accionamiento de aparatos de vía, barreras, señales, etc., que deben ser accionados en

un determinado orden con el objeto de garantizar la seguridad de la circulación mediante la posición adecuada de todos los aparatos de vía y de las señales de una estación o puesto, impidiendo movimientos peligrosos para el recorrido de una circulación autorizada.

**Enclavar:** supeditar el movimiento de un aparato, aguja, señal, etc. a otro por medio de un sistema de enclavamiento.

**Fail-safe:** característica de un sistema, subsistema o circuito que asegura que, en caso de falla del equipamiento, falla humana o influencia externa, éste pase a su condición más restrictiva.

**IHM / HMI:** Interfaz Hombre – Máquina.

**Layout:** disposición de equipamientos en un determinado emplazamiento.

**L.G.R.:** Línea General Roca

**Mantenibilidad:** probabilidad de que una acción dada de mantenimiento activo, correspondiente a un elemento en unas condiciones de utilización dadas, pueda ser llevada a cabo en un intervalo establecido de tiempo cuando el mantenimiento se realiza en condiciones establecidas y se utilizan procedimientos y recursos establecidos.

**Mantenimiento:** combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluidas las acciones de supervisión, destinadas a mantener un producto en un estado en el que pueda realizar una función requerida, o a devolverlo a dicho estado.

**Mantenimiento correctivo:** mantenimiento realizado después de la identificación de un defecto y destinado a poner un producto en una condición en la que pueda realizar una función requerida.

**Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento que permite detectar desvíos en el desempeño normal de funcionamiento de las instalaciones y equipamientos del sistema,

comparando a través de su monitoreo en tiempo real, los principales parámetros de funcionamiento con los especificados.

**Mantenimiento preventivo:** El mantenimiento llevado a cabo a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescriptos y destinados a reducir la probabilidad de fallos o la degradación del funcionamiento de un elemento.

**MdC:** Máquina de cambio.

**Ocupación intempestiva:** la ocupación de un circuito de vía que no respete la secuencia natural de circulación de un tren. Es decir, la ocupación de un circuito de vía sin que estuviera ocupado ninguno de sus adyacentes previamente, con excepción de los circuitos de entrada al cuadro de señalamiento.

**Peligro:** situación física que encierra posibilidades de que se produzcan lesiones humanas.

**Plan de trabajos:** Ver “cronograma de ejecución”.

**Redundancia:** adición de información, recursos de hardware, de software o de tiempo, para satisfacer requisitos de confiabilidad o disponibilidad del sistema.

**Riesgo:** tasa probable de ocurrencia de un peligro que ocasione daño, y el grado de severidad de dicho daño.

**Riesgo tolerable:** máximo nivel de riesgo de un producto que resulta aceptable para la Autoridad Ferroviaria.

**R.I.T.O.:** Reglamento Interno Técnico Operativo.

**Seguridad:** ausencia de riesgo inaceptable de daño.

**Señalero:** empleado ferroviario a cargo de una cabina de señalamiento. En la normativa se refiere a quien está a cargo del pedido y concesión de vía-libres, sea este el jefe, auxiliar, ayudante de estación o señalero.

**Sistema ATS** (Automatic Train Stop, Detención Automática del Tren): sistema de comunicación directa tierra-tren que indica al tren que atraviesa una señal la velocidad máxima de circulación que su aspecto le brinda. Si estuviese circulando a una velocidad mayor, la formación ferroviaria se detendrá automáticamente.

**S/f:** sin fecha.

**Vía ascendente:** en vía doble o múltiple, es aquella por la que los trenes siguen la dirección del kilometraje de menor a mayor.

**Vía descendente:** en vía doble o múltiple, es aquella por la que los trenes siguen la dirección del kilometraje de mayor a menor.

**Vía libre:** autorización o permiso que se otorga entre estaciones de bloqueo para ocupar la sección con un tren. Aplica también a la indicación de las señales fijas señalando que el tramo de vía que gobiernan está libre.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- ADIF S.E. Comunicación técnica respecto a obra de señalamiento en Línea General Roca, tramo Avellaneda – La Plata. 04/03/2021. (Argentina).
- Anexo al Reglamento Interno Técnico Operativo para Línea General Roca. s/f. (Argentina).
- Arduino, “Due | Arduino Documentation”. [Online]. Disponible: <https://docs.arduino.cc/hardware/duel>
- Ferrocarriles Argentinos (1986). “Servicios suburbanos electrificados Línea Roca (etapa 1) – Manual de los equipos individuales”. (Argentina).
- Ing. Horacio Faggiani. Clases teóricas de la asignatura “Señalamiento y Telecomunicaciones”. (Argentina).
- Invensys Rail (2011). “A. Korn Interlocking – As built. (Argentina)
- Microchip Technology Inc. “MCP23017/MCP23S17 Data Sheet”. [Online]. Disponible: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20001952c.pdf>
- Project Management Institute (2017). “A guide to the Project Management Body of Knowledge”. (6<sup>th</sup> edition).
- Reglamento Interno Técnico Operativo [R.I.T.O.]. [Online]. Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/rito.pdf>
- Vishay Siliconix. “IRF9530 Power MOSFET Datasheet”. [Online]. Disponible: <https://www.vishay.com/docs/91076/91076.pdf>