



# **Sistema de información visual para pasajeros de Trenes Argentinos**

Autor:

Ing. Carlos German Carreño Romano

Director:

Dr. Ing. Pablo Gomez (FIUBA)

# Índice

<b>Introducción</b>	5
1.1 Introducción específica	5
1.2 Antecedentes	5
<b>Planificación</b>	7
<b>Diseño del sistema</b>	8
3.1 Propósito	8
3.2 Ámbito del sistema	8
3.3 Arquitectura	8
3.4 Componentes	10
3.5 Interfaces	11
3.6 Display LED	12
3.7 Controlador	15
3.8 Firmware	19
3.8.1 Máquinas de estado (fsm)	19
3.8.2 Sistema operativo de tiempo real (RTOS)	21
<b>Fabricación</b>	22
<b>Pruebas de integración</b>	23
5.1 Análisis de los protocolos de comunicación	23
<b>Integración</b>	26

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	30 de Marzo de 2020

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 30 de Marzo de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Carlos German Carreño Romano que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de información visual para pasajeros de Trenes Argentinos”, consistirá esencialmente en el diseño y fabricación de un prototipo para el control de información visual para pasajeros, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y **\$XXX** de materiales, con fecha de inicio 30 de Marzo de 2020 y fecha de presentación pública 12 de Diciembre de 2021.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Trenes Argentinos Operaciones, Operadora Ferroviaria S.E. (SOF)  
Empresa del cliente

Dr. Ing. Pablo Gomez  
Director del Trabajo Final

## Introducción

### 1.1. Introducción específica

El objetivo de este trabajo es desarrollar y fabricar controladores para el sistema de información visual de pasajeros (PIDS) de Trenes Argentinos (SOFSE). Este sistema se presenta al pasajero a través de carteles LED de salón que dan mensajes como la próxima estación, junto con los carteles de frente y contrafrente del tren que indican el ramal destino, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Coche cabecera con la marquesina frontal que indica el destino Tigre.

El potencial de este trabajo es fabricar placas de control que permitan al personal de trenes realizar reparaciones y sustituir importaciones, obteniendo como resultado un mejor servicio de cara al usuario y mayor independencia tecnológica.

El desafío principal del proyecto es la compatibilidad con la red de comunicación del tren (TCN) existente. Las placas de control deben poder generar información en carteles LED y a la vez interconectarse a la red TCN. La posibilidad de fabricar el equipamiento en la industria local es también un desafío central de este proyecto.

### 1.2. Antecedentes

#### Survey of Development and Application of Train Communication Network

El review hace un poco de historia con el origen de la red TCN. TCN fue un tema caliente en los 90's entre Unis y empresas. La norma de la TCN (IEC-61375) salió en el 99. Los major players responsables de parte del estándar fueron: \* Zhuzhou Institute \* Siemens \* Bombardier \* Alstom \* Mitsubishi En el 2008 sale la TCN basada en Real-time Ethernet

TCN define los buses jerárquicos WTB/MVB (IEC61375-2-1, IEC61375-3-1). La especificación en capas (Física, Enlace, Red, Transmisión, Aplicación) incluye: \* process data \* message data \* dynamic coupling \* addressing protocols En los folletos de la UIC (la ITU de los trenes) aparece: \* UIC 557, UIC 647: application data y comportamiento del equipamiento onboard de: \* unidad

de control de tracción \* unidad de control de puertas \* control de frenos \* UIC 556: protocolo de comunicación durante el acoplamiento de los trenes

Hay un diagrama de la TCN con 5 capas que se explica así: -¿Los operadores (conductor, staff del tren, ...) están en la capa superior. Hacen: -¿diagnóstico, tracción del tren, frenan, control de puertas, etc., (según los folletos UIC557, UIC647) -¿luego está la capa de comunicación (folleto UIC556) -¿ésta se comunica a través de process data y message data con el WTB (IEC61375-2-1) -¿y finalmente, debajo del WTB está el MVB (IEC61375-3-1)

Bueno, hay una descripción simple en forma de tabla de WTB/MVB con los detalles de BW, Addressing, medio físico, address space, etc.

La TCN de tiempo real basada en Ethernet sigue el esquema jerárquico y define la ETB y ECN: ETB: Ethernet Train Backbone ECN: Ethernet Consistent Network La idea de esto es armar una red de 100 Mbps para: \* datos multimedia onboard \* cámaras de seguridad (2 Mbps cada una) (IEC62580-2) \* PIS (Passenger Information System) (IEC62580-4) El perfil de comunicación (IEC61375-2-3) especifica los protocolos incluyendo \* TRDP: Train Real-time Data Protocol Las capas física, de enlace, de red, transmisión y aplicación están en \* IEC61375-2-5 (ETB) y IEC61375-3-4 (ECN)

Igual que antes, un diagrama de capas explica el funcionamiento de la ETB/ECN: -¿Los operadores (conductor, staff del tren, ...) están en la capa superior. Hacen: -¿diagnóstico, tracción del tren, frenan, control de puertas, CCTV, PIS, (según los perfiles de aplicación IEC61375-2-4, IEC62580-2...) -¿luego está la capa de comunicación (IEC61375-2-3) -¿ésta se comunica a través de process data y message data con el Train Backbone Network Standard (IEC61375-2-5) -¿y finalmente, debajo está el Train Marshalling network Standard (IEC61375-3-4)

Les dejo las tablas:

— WTB — MVB — Networking mode —  
Auto dynamic — Determined in advance — Physical medium — Shielded par tr.— Shielded par tr. — Comm. Dist. — 860 m — 20 m (ESD), 200 m (EMD) , 2000m (OGF) — Signal — Manchester codes with 16...32 — Manchester codes with — — preamble code — delimiters — Bandwidth — 1 Mbps — 1.5 Mbps — Address space — 8 bit address — 12 bit addr.— Length of frame — range:4-132 byte— 2, 4, 8, 16, 32 bytes — Addressing mode — Dynamic — Static addressing — Typical cycle — 25 ms — 16 ms — Redundancy mode — A/B line — A/B line — Media access — Master and slave— Master and slave — Real-time prot. — TCN real-time protocol — - —

— ETB — ECN — Networking mode — Auto dynam— Determined in adv.— Physical medium — Cat5e par — Cat5e par — Commu. distance — 100 m — 100 m — Bandwidth — 100 Mbps — 100 Mbps — Packet length — 1500 Bytes — 1500 Bytes — Addressing mode — Dynamic — Static — Typical cycle — 10 ms — 10 ms — Minimum cycle — 4 ms — 1 ms — Redundancy mode — Link aggr.n — Ring — Media access — CSMA/CD — CSMA/CD — Network layer — IPV4 — IPV4 — Transm. layer — UDP multicast/unicast, TCP — UDP multicast/unicast, TCP — Real-time prot. — TRDP — — App layer serv — DHCP, DNS, SNTP, SNMP — DHCP, DNS, SNTP, SNMP

## Planificación

## Diseño del sistema

La primera sección del diseño es introductoria. Luego se describen los patrones de arquitectura elegidos para el diseño de alto nivel del software, los diagramas de arquitectura, los componentes del software y sus interfaces.

### 3.1. Propósito

El objetivo principal de este trabajo es diseñar e implementar un sistema de información visual para pasajeros a bordo del tren. Está dirigido a:

- Todos los miembros del grupo de trabajo GICSAFE y SOFSE que participan de proyectos orientados a cubrir necesidades tecnológicas del sistema ferroviario argentino.
- Alumnos y personal académico con intenciones de participar en proyectos de desarrollo aplicados a la industria.
- Desarrolladores de software y equipamiento para trenes.

El sistema tiene impacto directo en las formaciones ferroviarias existentes que brindan servicio al pasajero todos los días.

### 3.2. Ámbito del sistema

El sistema debe leer datos de información al pasajero de la red interna de los trenes y presentarlos en un display LED. El sistema no se encargará de presentar los mensajes en formato de audio.

Este sistema permitirá implementar las funciones de visualización del sistema de información al pasajero existente. El sistema comercial existente es un equipamiento propietario que integra otras funciones como el sistema de audio, un CCTV usando cámaras de seguridad, entre otras.

El sistema que se especifica en este documento busca desacoplar funciones del equipamiento comercial para permitir reponer carteles que en la actualidad quedan fuera de servicio por fallas o pérdida del material original y que no pueden ser reparados.

### 3.3. Arquitectura

En la figura 2 se presenta un diagrama de alto nivel de la arquitectura del software. Se pueden ver los componentes y las relaciones entre los mismos. Este diagrama responde al patrón observar y reaccionar.

El flujo de datos de las variables de proceso que provienen del PIDS sigue una segmentación de procesos. Este flujo procesa los datos recibidos en formato de tramas y obtiene a la salida los valores de las variables que serán entregadas al proceso de análisis. El proceso de análisis se detalla en la figura 3.

El proceso observador monitorea las variables de accionamiento manual y variables de proceso (velocidad y control de puertas). Como las variables de proceso se reciben como tramas

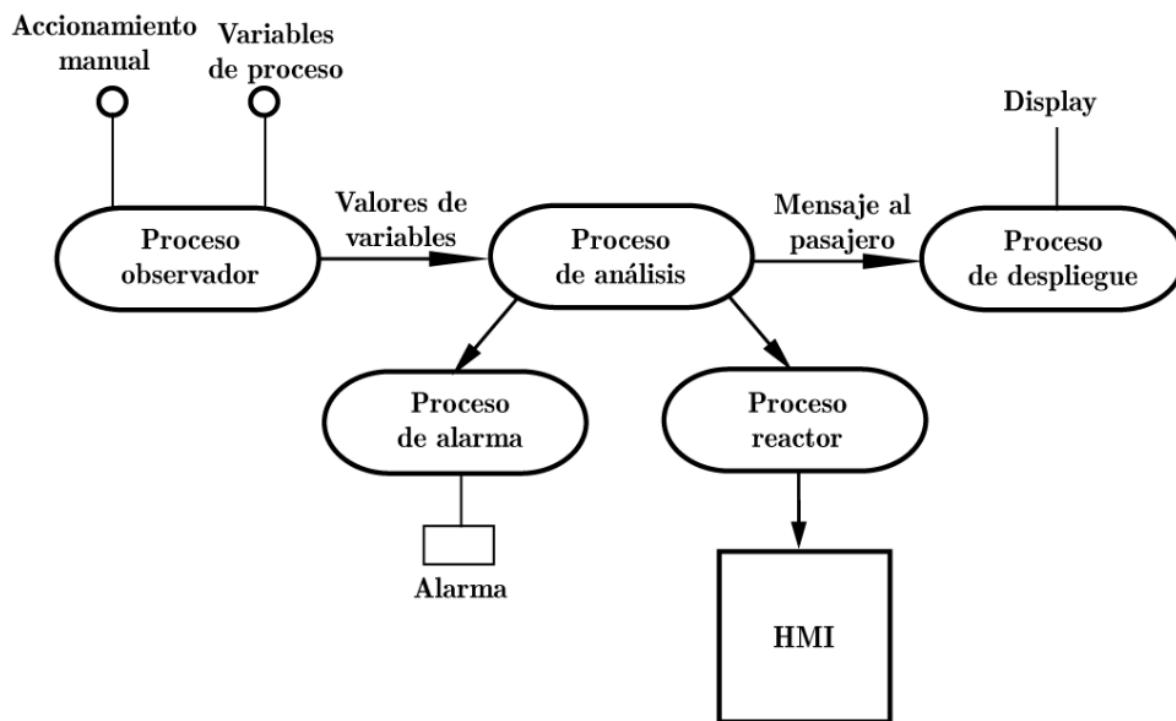


Figura 2. Diagrama de bloques del software.

#### Pipeline del Proceso observador

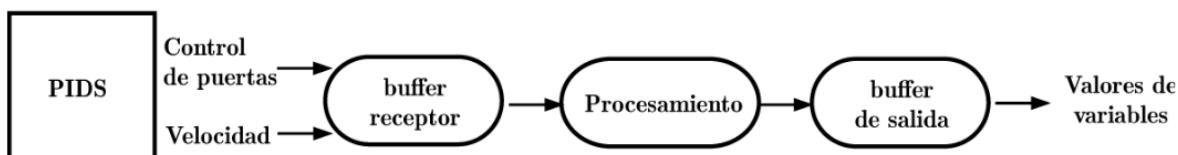


Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de análisis.

provenientes del subsistema externo PIDS, el proceso observador es distinto respecto del accionamiento manual y se detalla en la figura 2. El proceso de análisis está compuesto por un grupo de componentes que se detallan en la figura 3. El proceso de despliegue es el encargado de generar los mensajes al pasajero y enviarlos al display. El proceso de alarma indica si hay algún error en el sistema. El proceso reactor finalmente envía datos al subsistema externo HMI.

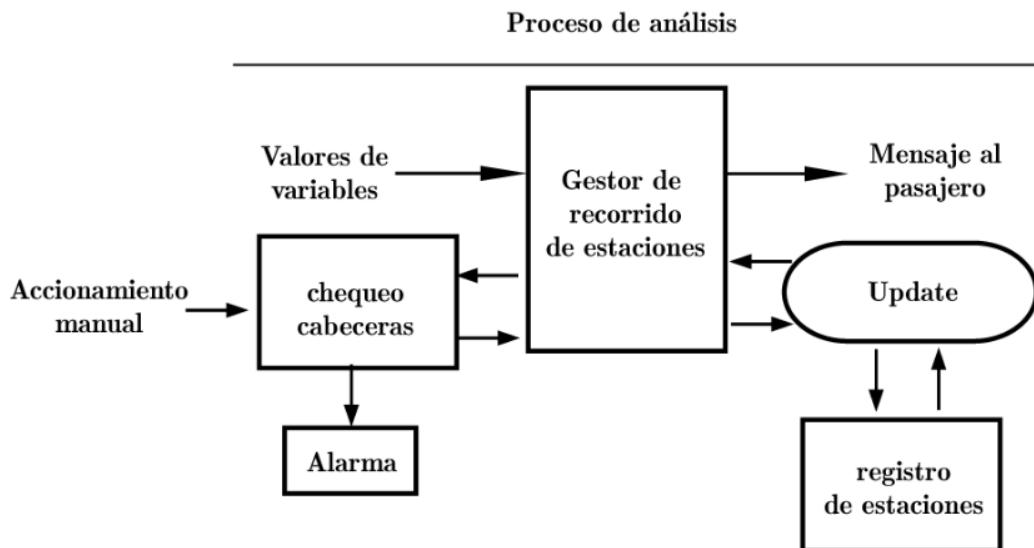


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de análisis.

### 3.4. Componentes

- PIDS: sistema externo
- HMI: sistema externo
- Buffer Receptor: componente que recibe tramas provenientes del PIDS con información de las variables velocidad y control de puertas. Almacena las tramas recibidas y las envía al componente de Procesamiento.
- Procesamiento: intérprete que procesa las tramas recibidas desde el PIDS. Extrae la información de las variables y las envía a un Buffer de salida.
- Buffer de salida: almacena temporalmente los valores de las variables de proceso y las envía al proceso de Análisis.
- Proceso de análisis: se encarga de generar la orden de actualizar el sistema (cambiar de estación, enviar un anuncio al pasajero, definir las cabeceras).
- Gestor de recorrido de estaciones: es el encargado de asignar cambios en el sistema. Chequea la estación actual y asigna una nueva estación si resuelve un cambio.
- Registro de estaciones: almacenamiento estático de los recorridos con los nombres de las estaciones. Comparte información con el gestor de recorrido.
- Update: es el encargado de enviar la información de estaciones al gestor de recorridos. Recibe del gestor consultas y órdenes de actualización. Es el responsable de dar la información de la estación actual.

- Proceso observador: componente encargado de gestionar las acciones manuales del usuario para configurar las estaciones cabecera.
- Chequeo cabeceras: encargado de chequear que la estación actual sea una cabecera. Envía consultas al gestor y si recibe una estación que no es cabecera genera una alarma.
- Proceso reactor: es el encargado de generar los mensajes para el subsistema externo HMI.
- Proceso de despliegue: genera los mensajes a visualizar y los presenta en un display.

### 3.5. Interfaces

#### Interfaces externas

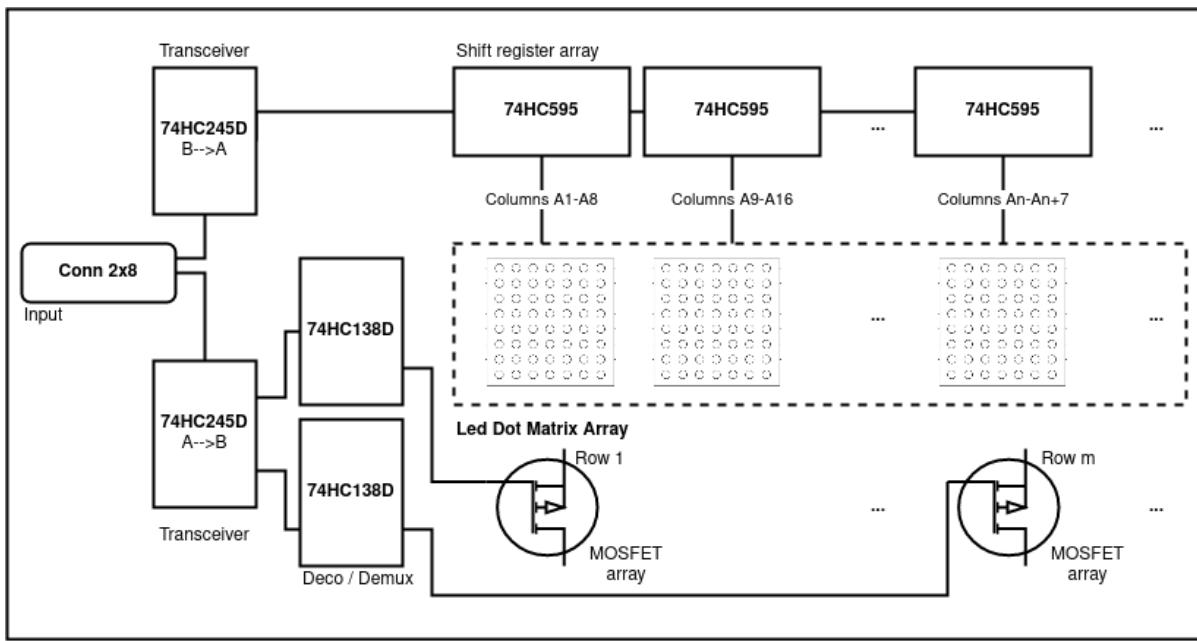
1. Interruptores: interfaz manual para que el usuario realice cambios de recorridos.
2. PIDS: subsistema de la red TCN que se encarga de la información dinámica proporcionada al pasajero, incluyendo mensajes a visualizar, mensajes en forma de audio, y monitoreo por CCTV. Entrega al software las tramas con información de variables de proceso del tren.
3. HMI: subsistema de la red TCN donde se entregan mensajes para ser visualizados por los pasajeros.

#### Interfaces internas

1. Registro de estaciones: los nombres de estaciones estarán almacenados en memoria.
2. Valores de variables: los valores de las variables de proceso del tren se obtienen del procesamiento de tramas y se entregan al gestor de recorrido. Son valores numéricos.
3. Mensaje al pasajero: los mensajes al pasajero son datos ASCII que tienen un encabezado a definir.
4. Alarmas: las alarmas se generan cuando se acciona manualmente el cambio de cabeceras durante el recorrido del tren.

### 3.6. Display LED

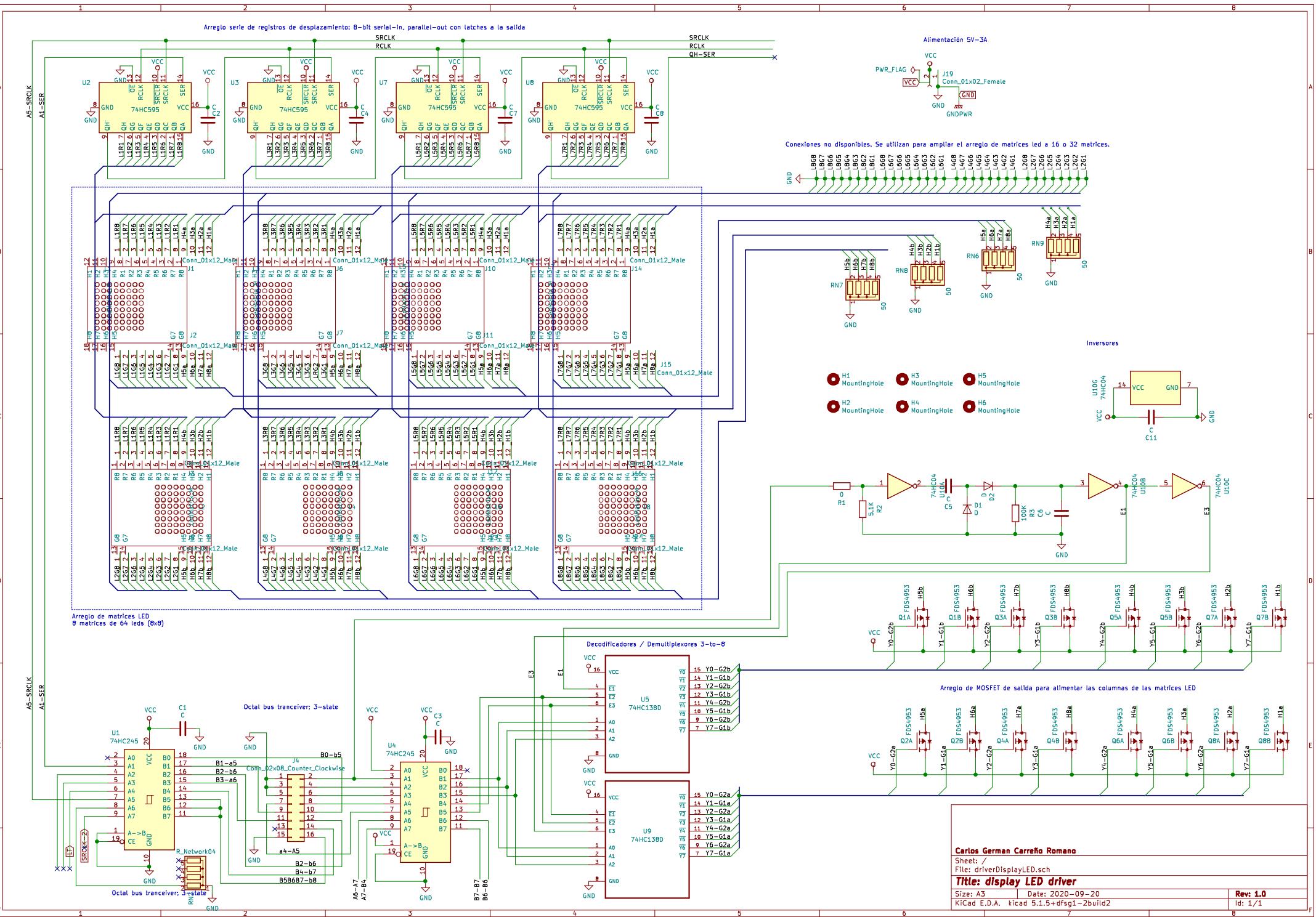
La placa de control del display LED matricial se representa con el diagrama de bloques de la figura 5. La entrada es un conector de dieciséis pines (2x8) que entrega señal de datos a dos transceivers 74HC245D. El circuito de los transceivers s



LED Dot Matrix Display controller

Figura 5. Diagrama de bloques del controlador del display LED.

texto  
texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto  
texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto  
texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto  
texto texto texto



texto  
texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto  
texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto texto  
texto texto texto

### 3.7. Controlador



Figura 6



Figura 7

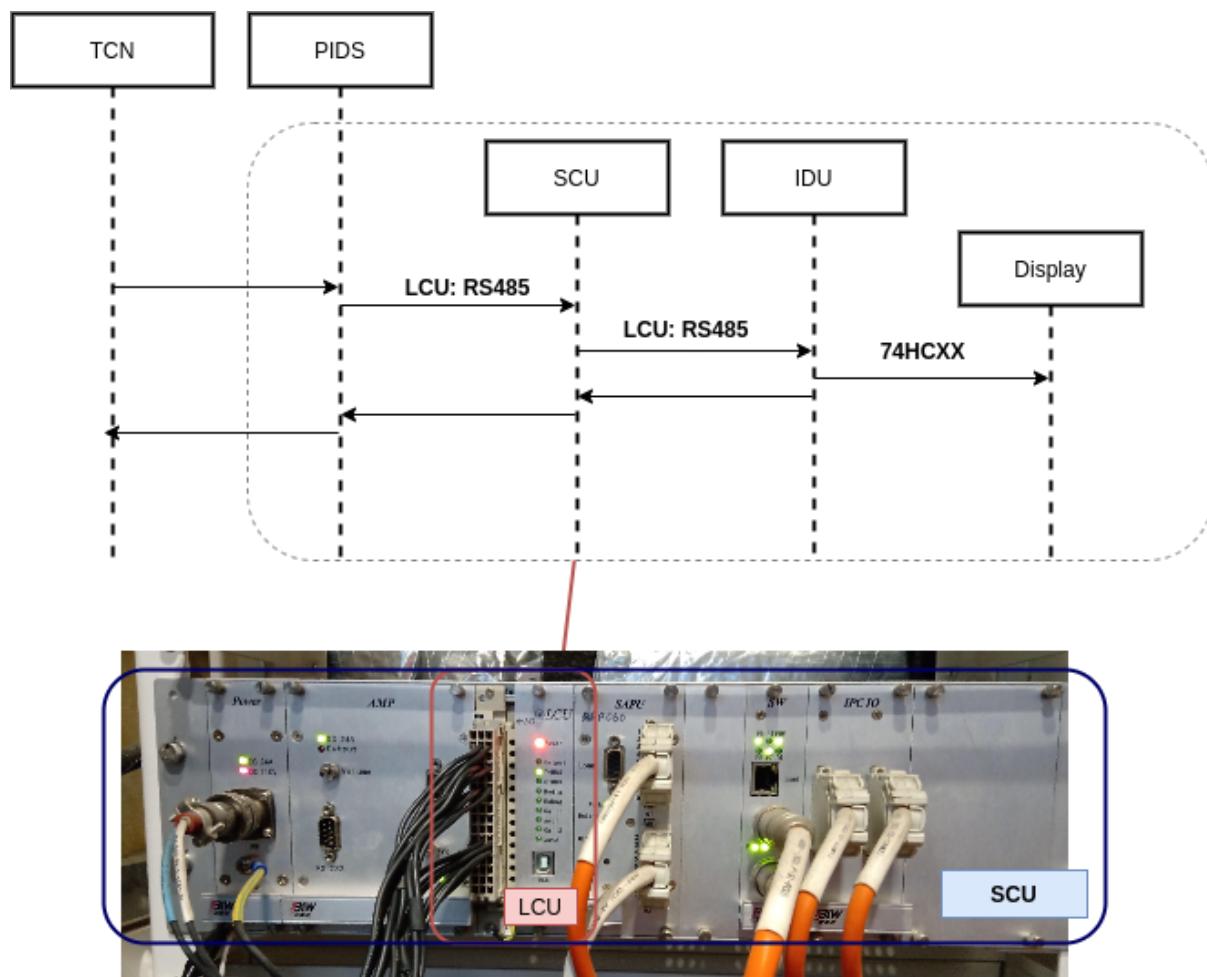
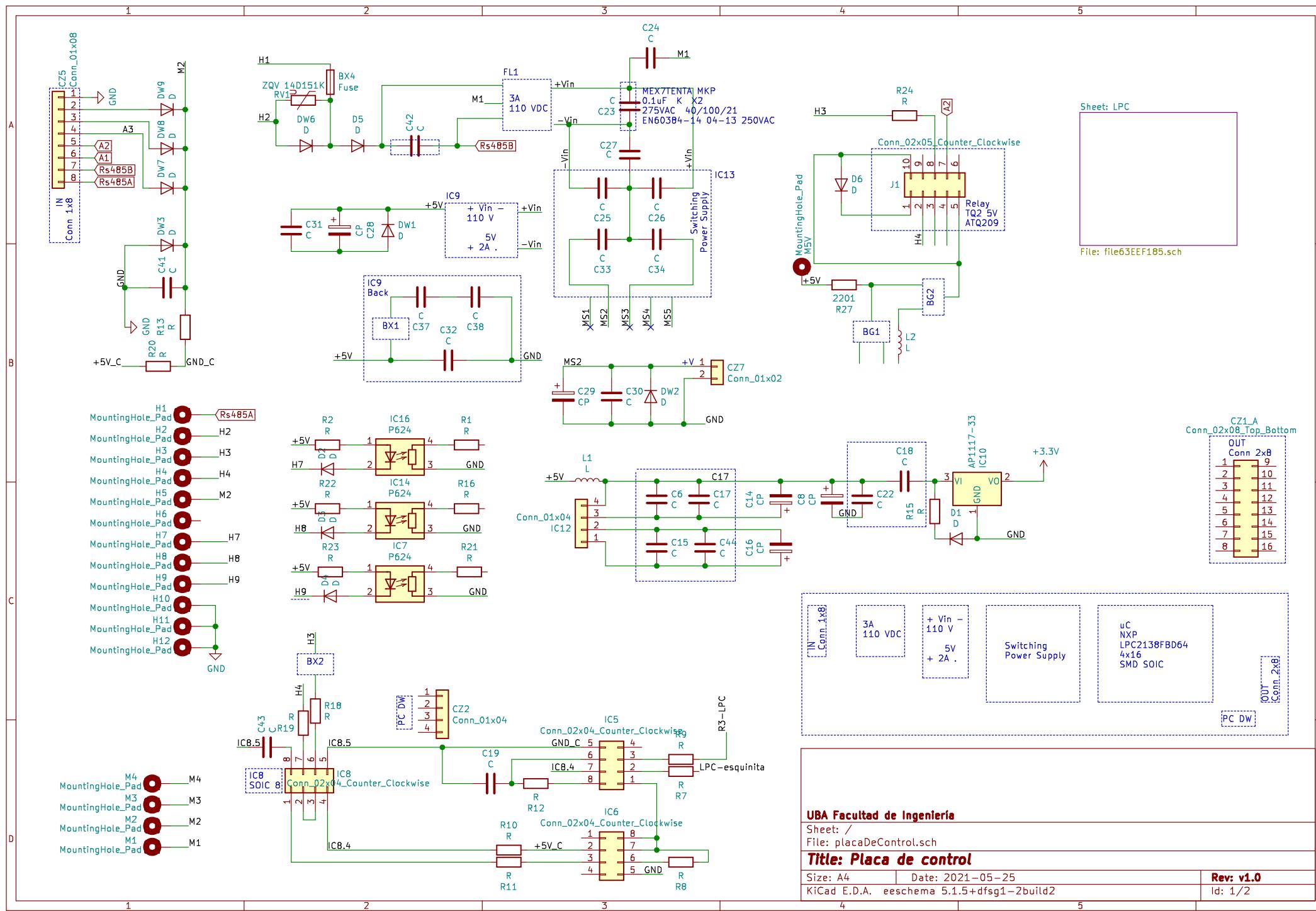


Figura 8



### 3.8. Firmware

#### 3.8.1. Máquinas de estado (fsm)

El sistema de visualización de mensajes será el encargado de recibir información por parte de un sistema mayor (red TCN) y de presentar información al pasajero a través de carteles LED. Dado que el sistema completo es un Tren y su función es transportar pasajeros a lo largo de un recorrido o ruta de estaciones, se ha modelado la visualización de mensajes del sistema utilizando el patrón de máquinas de estado. El diseño de pruebas entonces aprovecha este patrón con las técnicas de STT (State Transition Testing). A continuación se detalla paso a paso el diseño de las pruebas de sistema y de aceptación.

En la figura 9 se describe la máquina de estados del subsistema Parte B. Los estados posibles del sistema son:

- **Detenido:** el tren está detenido en las cabeceras o en algún punto de su ruta.
- **Cabecera:** el tren se encuentra en una estación cabecera de su ruta.
- **Circulando:** el tren está viajando a velocidad constante a lo largo de su ruta.
- **Arribando:** el tren está viajando con velocidad decreciente (frenando) a lo largo de su ruta.
- **Estación:** el tren se encuentra en una de las estaciones de su ruta

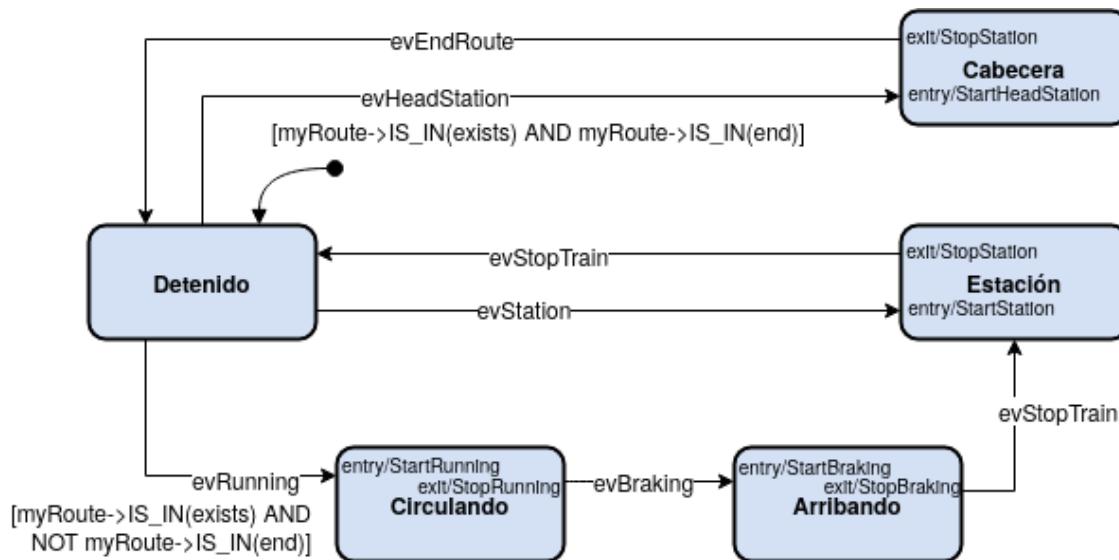


Figura 9. Máquina de Estados del sistema.

Los eventos de transición entre cada estado se presentan en la figura 11 y se detallan a continuación:

- **evStopTrain:** señal de tren detenido. No presenta mensajes al pasajero.
- **evStation:** el tren se encuentra en una estación. Se presenta al pasajero el nombre de la estación y la información relevante a la misma.

- **evRunning:** señal de circulación, el tren comienza a acelerar hasta alcanzar una velocidad constante. No presenta mensajes al pasajero.
- **evBraking:** señal de frenado, el tren comienza a frenar para detenerse en una estación. Se presenta al pasajero la información de la próxima estación.
- **evEndRoute:** señal de final de recorrido. Se presenta el mensaje de que el tren ha llegado a la estación cabecera.
- **evHeadStation:** señal de cabecera. Se presenta la información relativa a la estación cabecera y a la próxima ruta.

En la tabla se detallan las transiciones entre estados posibles. Los números referencian las pruebas a realizar.

Evento \ Estado	Stopped	Running	Arriving	Station	HeadStation
evEndRoute	*	*	*	*	7-Stopped
evHeadStation	1-Head	*	*	*	*
evStopTrain	*	*	5-Stopped	6-Stopped	*
evStation	2-Station	*	*	*	*
evRunning	3-Running	*	*	*	*
evBraking	*	4-Arriving	*	*	*

\* combinaciones ilegales

Figura 10. Tabla de transiciones de estados.

El estado inicial del tren es Detenido, y corresponde a la raíz del árbol de la figura 11:

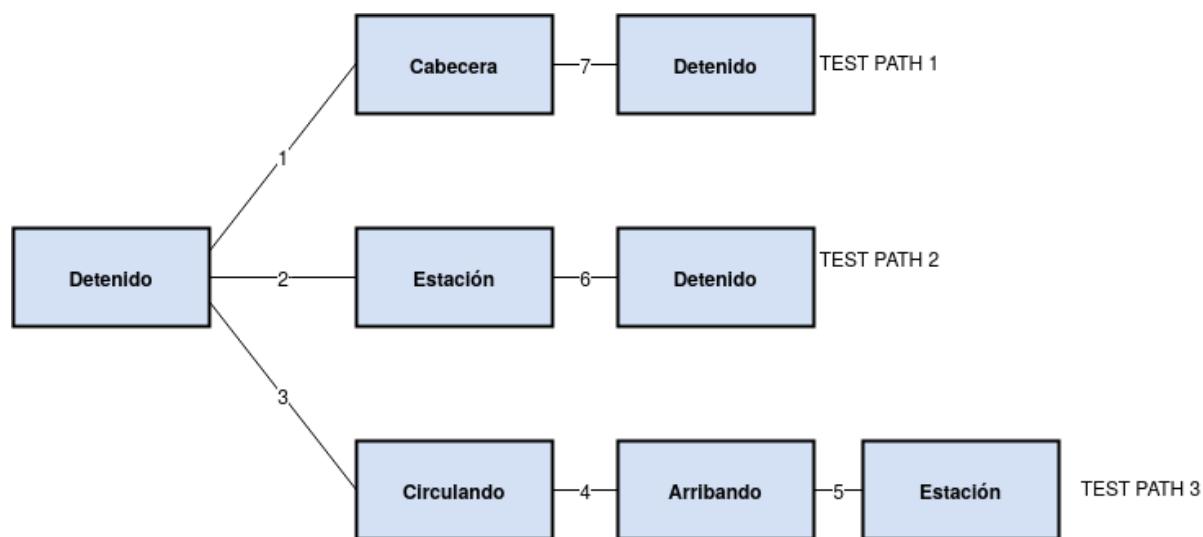


Figura 11. Árbol de transiciones de estados.

Los casos de prueba legales, es decir aquellos que corresponden a transiciones entre estados posibles en el sistema se detallan en la sección de Pruebas e integración.

### 3.8.2. Sistema operativo de tiempo real (RTOS)

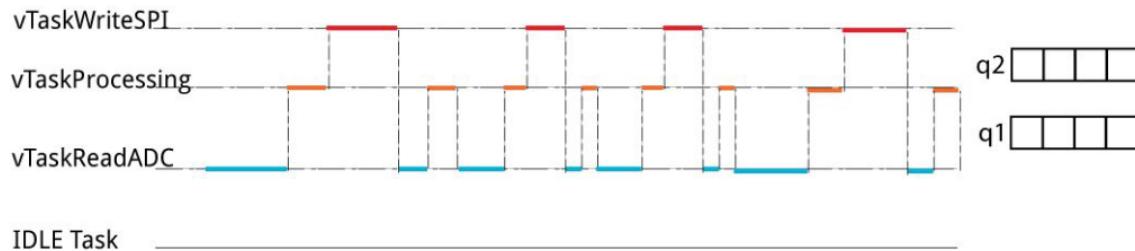


Figura 12. Tareas implementadas en el sistema operativo de tiempo real.

## Fabricación

## Pruebas de integración

### 5.1. Análisis de los protocolos de comunicación

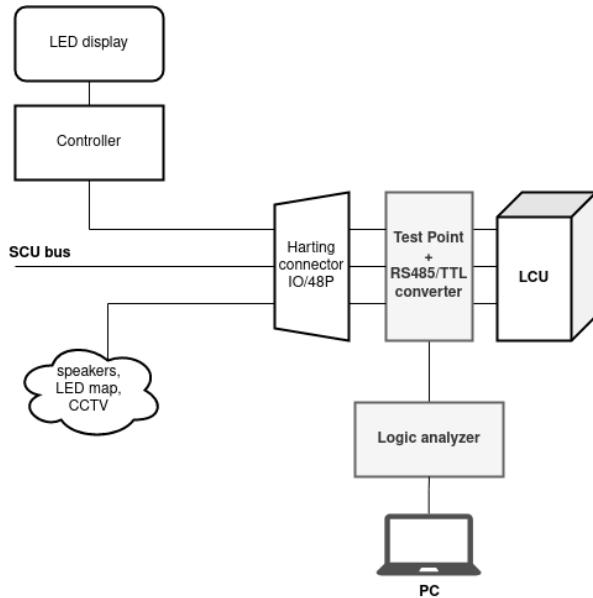


Figura 13. Diagrama de bloques del ensayo para el análisis de protocolos de comunicación.

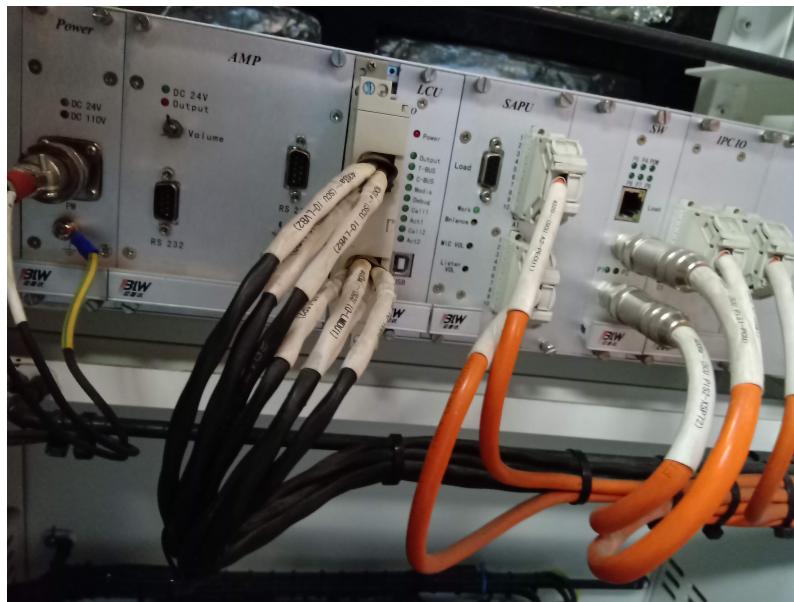


Figura 14. Fotografía del punto de medición a intervenir para realizar capturas.

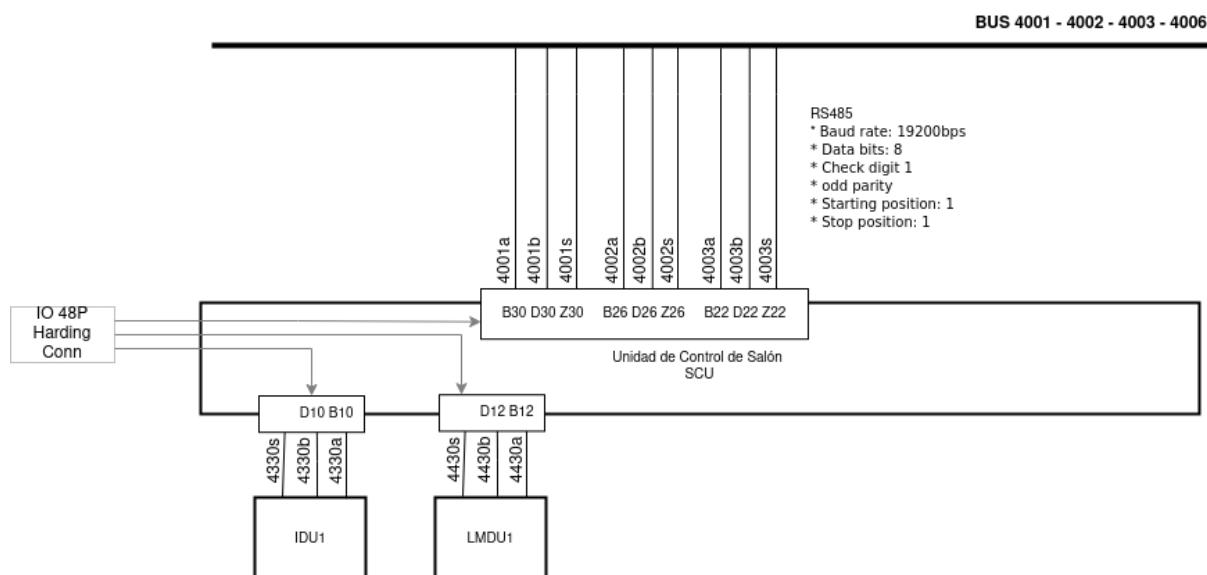


Figura 15. Diagrama del plano esquemático del punto de medición.



Figura 16. Fotografía del ensayo de análisis de protocolos de comunicación en una formación.

## Integración