



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Integración general de modificaciones solicitadas	Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. Se asigna el capítulo al Apéndice 5 del Anexo H
C	05-05-2022	-	Observaciones del Ministerio de Transporte. Se reasigna el capítulo a la Sección 10 del Anexo A

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Gerente de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó: O. Véliz 05-05-2022	Revisó: F. Faria 05-05-2022	Revisó: C.L. Umaña 05-05-2022	Aprobó: J.M. Martínez 05-05-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO	<u>44</u>
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN	<u>44</u>
10.9 SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES	<u>44</u>
10.9.1. Introducción	4
10.9.2. Arquitectura del sistema CBTC y su evolución	5
10.9.2.1. Arquitectura 1: Típica con detección secundaria	6
10.9.2.2. Arquitectura 2: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC con detección secundaria:	6
10.9.2.3. Arquitectura 3: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC sin detección secundaria:	7
10.9.2.4. Arquitectura 4: CBTC centrada en el tren (Urbalis Fluence):	<u>78</u>
10.9.2.4. Recomendaciones para L2MB	8
10.9.3. Principios generales	8
10.9.3.1. Intervalo de diseño mínimo	9
10.9.3.1. Operación inatendida	<u>1040</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. - Soluciones de señalización CBTC vs no CBTC para metros totalmente automatizados, medido km equipado y % de km inaugurado en la última década (fuente: Statistic Brief, UITP)

Figura 2. Arquitectura 1

Figura 3. Arquitectura 2

Figura 4. Arquitectura 3

Figura 5. Arquitectura 4

Figura 6. - Diagrama simple del CBTC (fuente: Siemens)

Figura 7. - Niveles de automatización

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.9 SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES

10.9.1. Introducción

El sistema de señalización elegido para la línea 2 del Metro de Bogotá es similar al sistema de señalización de primera línea de Bogotá, y será basado sobre la tecnología CBTC.

El sistema CBTC (Communication Based Train Control), traducido: Sistema de Control de Trenes Basado en Comunicaciones, es un sistema de control y de señalización ferroviaria que hace uso de comunicaciones radioeléctricas bidireccionales entre los equipos a bordo del tren y los equipos en suelo para gestionar el tráfico ferroviario.

El control de trenes basado en comunicaciones (CBTC) es la solución de señalización dominante para las líneas de metro totalmente automatizadas: 72% de los km del mundo de metros automatizados son operados bajo sistemas CBTC. 87% de la infraestructura de metro totalmente automatizada inaugurada en la última década está equipada con el sistema CBTC (Fuente: Statistic Brief, UITP, 2018).

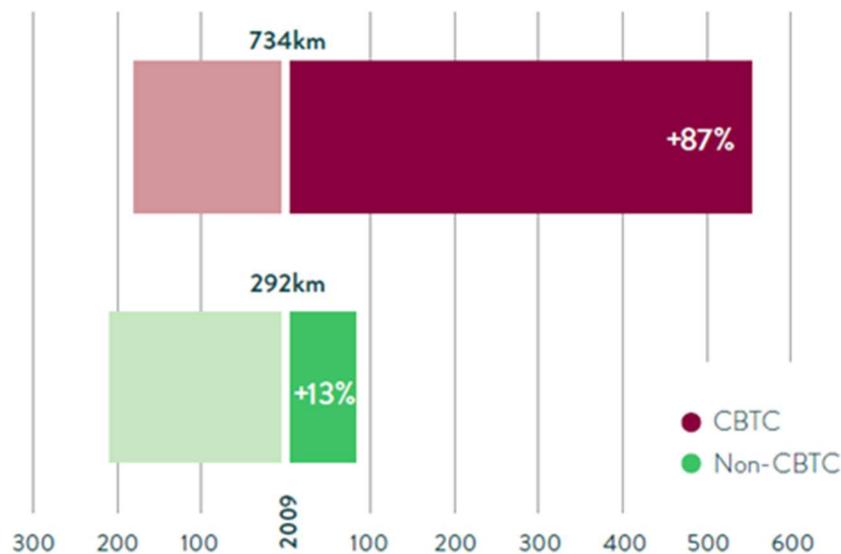


Figura 1. - Soluciones de señalización CBTC vs no CBTC para metros totalmente automatizados, medido km equipado y % de km inaugurado en la última década (fuente: Statistic Brief, UITP)

Formalmente, se puede definir un sistema CBTC como un sistema de control automático y continuo del tren, que utiliza una localización principal precisa de los trenes, independiente de circuitos de vía.

La localización de cada material equipado determinada de forma autónoma es transmitida por cada tren hacia los equipamientos fijos que gestionan la autorización de las circulaciones,

La precisión de la localización embarcada se expresa en una doble vertiente:

- Por un lado, el grado de aproximación de la zona considerada ocupada por el tren se acerca a la longitud real del tren.
- Por otro lado, la ocupación física va siguiendo el avance del tren, sin necesidad de ceñirse a zonas de detección fijas.

De esa forma, la posición de los trenes en la línea es conocida con mayor precisión que en los sistemas de control tradicionales (que utilizan circuitos de vía o contadores de ejes). Así, la gestión del tráfico se lleva a cabo de una forma más eficiente y segura.

Los sistemas CBTC están basados en el intercambio continuo y de alta capacidad de datos entre el tren y la vía. Se utilizan procesadores integrados tanto en el tren como en la vía, capaces de implementar funcionalidades de seguridad para la protección de la marcha de los trenes entre ellos (control de velocidad y control del punto de parada seguro del tren - ATP), y opcionalmente funcionalidades de conducción automática: aceleración / frenado (ATO) y de supervisión (ATS).

Los estudios y la experiencia en operación han mostrado que el CBTC, cuando se compara con sistemas de señalización tradicionales, ofrece las ventajas siguientes:

- Costos de inversión y de operación más bajos,
- Capacidades más altas e intervalos más cortos en línea sin sacrificar la velocidad de operación comercial,
- Confiabilidad más alta,
- Una mejor supervisión y un mejor control de las operaciones de los trenes.
- Una mejor flexibilidad del programa de explotación
- Una reducción de los incidentes debidos a los pasajeros debido a la conjunción con las puertas de andén
- Una reducción del consumo energético debida a la sincronización de las fases de aceleración y frenado de los trenes
- Una mejor regularidad del intervalo

10.9.2. Arquitectura del sistema CBTC y su evolución

Al inicio, el sistema CBTC abarcaba sólo las funciones de control automático (ATC) y venía sobrepuesta al sistema de señalización clásico. Una interfaz fue definida para permitir hacer funcionar ambos sistemas de manera eficiente y segura durante la operación nominal. En este caso, debido a la falla del sistema CBTC, el sistema de señalización podrá seguir funcionando para asegurar el modo degradado en conducción manual. Con la evolución de las tecnologías informáticas y de redes, los fabricantes han empezado a entregar el Enclavamiento (IXL) y el sistema de supervisión ATS.

Como la diversidad de proyectos y las soluciones del fabricante sugieren un sistema CBTC definido por el estándar IEEE 1474.1, éste puede tener diferentes arquitecturas.

En el mercado actual, se puede distinguir las siguientes arquitecturas del sistema CBTC como parte de las soluciones propuesta por los principales proveedores:

10.9.2.1. Arquitectura 1: Típica con detección secundaria

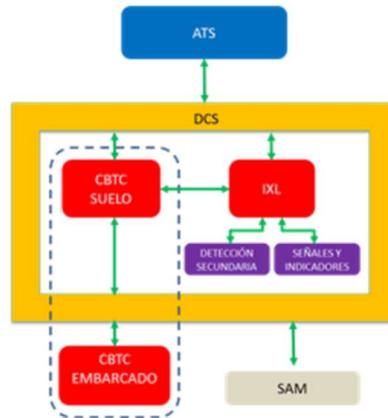


Figura 2. Arquitectura 1

Arquitectura Típica de las Soluciones de los proveedores (ALSTOM, SIEMENS y Ex ANSALDO). Esta arquitectura corresponde a la arquitectura convencional que se puede adaptar a la señalización existente de una línea. Adecuada para proyectos de re-señalización (Brownfield) que requieren mantener la señalización secundaria para mantener la operación mixta.

10.9.2.2. Arquitectura 2: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC con detección secundaria:

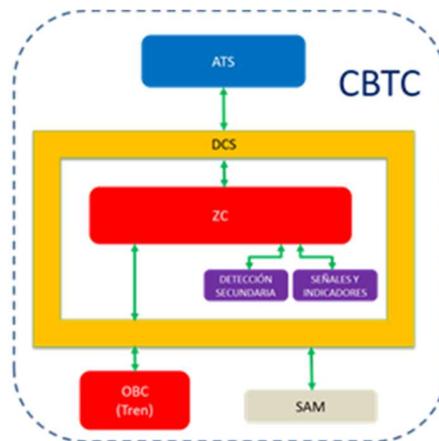


Figura 3. Arquitectura 2

Arquitectura típica de la solución Seltrac 40 de Thales implementada en el proyecto de Santiago L3/6 y también a la arquitectura del producto Cityflo 650 de EX Bombardier. Las funciones ATP y IXL están implementadas en el controlador de Zona. El controlador embarcado (OBC) comunica la posición del tren y su estado al ZC y al ATS a través del backbone Radio

10.9.2.3. Arquitectura 3: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC sin detección secundaria:

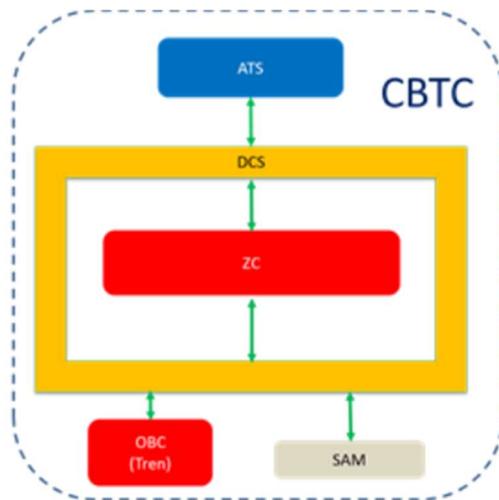


Figura 4. Arquitectura 3

Arquitectura Típica de la solución Seltrac 40 de Thales y CITYFLO 650 de Ex Bombardier. Las funciones ATP y IXL están implementadas en el controlador de Zona. El controlador embarcado (OBC) comunica la posición del tren y su estado al ZC y al ATS. La solución no necesita detección secundaria, los trenes y vehículos no comunicantes realizan los movimientos bajo procedimientos operacionales estrictos con uso de funcionalidades de protección parte de la solución. A pesar de estas funcionalidades, la operación segura, en este caso, queda bajo la responsabilidad del operador. En la mayoría de las líneas que funcionan bajo esta arquitectura han elegido equipar los vehículos de mantenimiento con un CBTC embarcado con solo ATP o simplificado (solo envió de la posición al ZC).

10.9.2.4. Arquitectura 4: CBTC centrada en el tren (Urbalis Fluence):

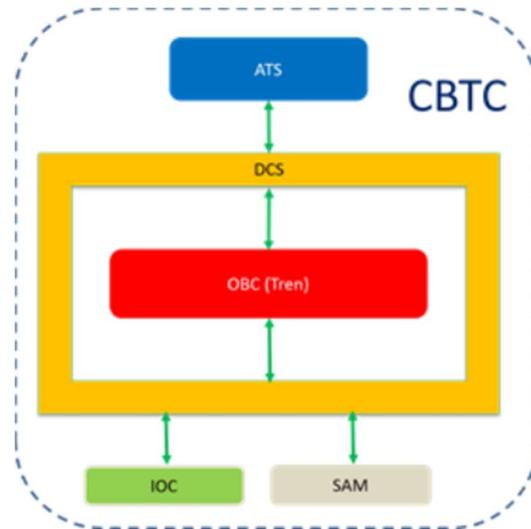


Figura 5. Arquitectura 4

Última Arquitectura CBTC simplificada, desarrollada por Alstom para el proyecto VAL de Lille Línea 1 el cual está en curso de realización. Esta arquitectura corresponde a la nueva generación del CBTC llamada CBTC 2.0 donde las funcionalidades del controlador de zona (ZC) son transferidas principalmente al controlador a bordo del tren (OBC) con una parte de control/comando de las agujas y Puertas de Andén por ejemplo a los controladores de Entradas/Salidas ubicados en cada estación. El espaciamiento entre trenes está basado en la comunicación directa entre los trenes.

10.9.2.4. Recomendaciones para L2MB

Bien que la arquitectura 4 presentada anteriormente parece innovadora y simplificada y podrá ser el futuro de las soluciones CBTC, su viabilidad, rendimiento y seguridad quedan por demostrar. Para el proyecto L2MB se recomienda implementar soluciones en base de arquitecturas tipo 1 o 2 más desarrolladas en las redes de metro y probadas.

10.9.3. Principios generales

El estándar IEEE 1474 define “Communications-Based Train Control” como sistema de control automático de tren cuya inteligencia va mucho más allá del manejo de un tren básico.

El CBTC se basa sobre principios específicos:

- La determinación de la posición de tren de alta resolución, independiente del circuito de la vía;
- Una comunicación de datos continua, bidireccional y de alta capacidad (por radio, cable radiante o por circuitos inductivos).
- Un sistema ATC que garantiza el control automático de la circulación de trenes en seguridad y la gestión de la circulación de trenes.
- Una protección de Tren Automática (ATP), subsistema del ATC que asegura una protección segura de los movimientos de trenes y de su velocidad.

- Un ATO subsistema del ATC que asegura las funciones de movimiento de circulación y de los trenes tomando en cuenta las órdenes de regulación (esta función no es de seguridad).
- Un sistema ATS que provea supervisión de todos los subsistemas, regulación de los trenes y mando de los itinerarios.

En la mayoría de casos, el sistema a bordo calcula en tiempo real las distancias de frenado (cada tren organiza su seguridad). En cualquier momento la Inteligencia Central puede tomar la mano de la flota entera al CBTC a nivel de (velocidad, gama, ahorro de energía, otros). Eso permite un diálogo continuo entre el tren equipado y el controlador de la zona ubicado fuera del tren que maneja el tráfico y proporciona una autorización de movimiento a los trenes localizados en su área.

Es este intercambio continuo de información entre el equipo suelo y el tren que hace que el sistema de bloque móvil sea posible.

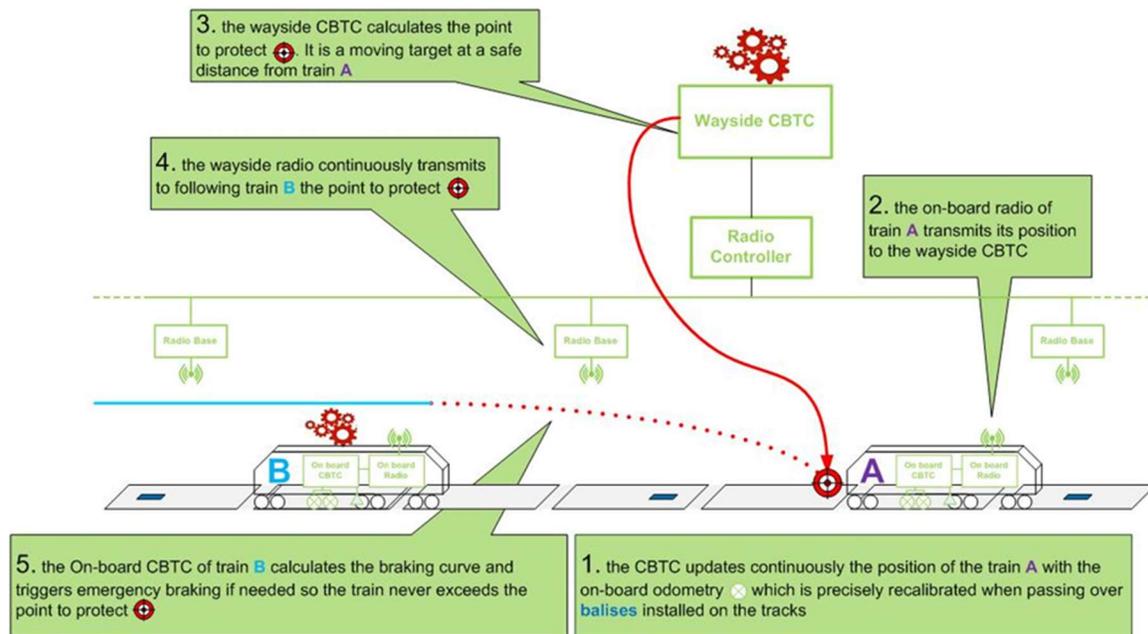


Figura 6. - Diagrama simple del CBTC (fuente: Siemens)

10.9.3.1. Intervalo de diseño mínimo

El rendimiento global de una línea UTO en términos de operación es un compromiso entre el intervalo mínimo, la velocidad promedio y el consumo de energía.

Intervalo mínimo: el intervalo teórico mínimo es por lo general 75s. En realidad, el intervalo práctico mínimo es 90s en el mejor de los casos. El intervalo mínimo depende de muchos factores, como la longitud del tren, la ubicación de la zona de retorno, el tiempo de detención en estación, la estrategia de retorno de los trenes, las características de aceleración y freno del material rodante, la velocidad promedio, consumo de energía, entre otros.

Una tarea importante para el proveedor de un sistema UTO es determinar el desempeño de su sistema en la línea, realizando simulaciones de desempeño globales de la línea, integrando todos estos parámetros.

10.9.3.1. Operación inatendida

El Grado de Automatización (GoA) de una línea está definido en la norma IEC 62290-1. Está organizado en cinco niveles de automatización. GoA 0 corresponde a la conducción manual y GoA 4 es la operación de los trenes totalmente automática sin personal a bordo (UTO).

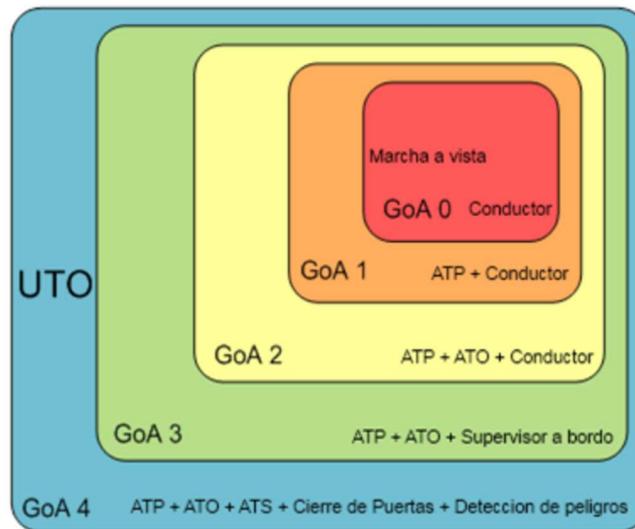


Figura 7. - Niveles de automatización

Este esquema muestra que cada nivel de automatización agrega nuevas funciones automáticas al nivel anterior. El cuadro rojo muestra las funciones básicas que corresponden a la conducción manual a la vista y el cuadro azul muestra el nivel más alto de GoA que es el modo de conducción UTO.

Las principales funciones que forman parte del UTO son las siguientes:

- ATP: (Automatic Train Protection) función de seguridad, de protección contra el exceso de velocidad, colisión, franqueamiento de señal al rojo y otros
- ATO: (Automatic Train Operation) función para poner en marcha o parar el tren. Esta función realiza todas las operaciones incluso el cierre de las puertas y el arranque del tren.
- ATS: (Automatic Train Supervision) función para el establecimiento de los itinerarios y la regulación del tráfico incluyendo el ahorro de energía.
- Control/mando de las puertas del tren y las puertas del andén durante la subida y bajada de los pasajeros
- Y además:
- Prevenir los daños en caso de intrusión entre el tren y el andén a través del sistema de detección.
- Garantizar la seguridad para establecer la marcha de los trenes.
- Garantizar la seguridad en caso de operación degradada y ayudar a la recuperación del servicio.
- Garantizar la detección y manejo de situaciones críticas (detección de humo, descarrilamiento, pérdida de la integridad del tren, manejo de evacuación).

- Garantizar la información a los pasajeros (a bordo del tren y en la estación).

La automatización del UTO, hace que se ejecuten todas las órdenes desde el centro de operación. Gracias a la tabla de horarios programada por el operador, los trenes ubicados en las cocheras, “duerman” y “se despiertan” solos, y se inyectan y retiran de la línea según los requerimientos del servicio.

Cuando el servicio está terminado, los trenes van directamente a las cocheras pasando por la máquina de lavado si está programado. Cuando un tren despierta, pruebas dinámicas y estáticas son realizadas automáticamente antes de poner en operación un tren UTO (por ejemplo, prueba de freno de emergencia (estático), puertas, auto test de cada subsistema del tren y del ATC).