

TABLA DE CONTENIDO

2.2.12.1 NORMATIVIDAD APLICABLE	2
2.2.12.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	4
2.2.12.3 ASPECTOS RELVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ	7
2.2.12.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	7
2.2.12.4.1 Arquitectura básica del sistema CBTC y su evolución	7
2.2.12.4.1.1 Arquitectura 1: Convencional con detección secundaria	8
2.2.12.4.2 Arquitectura 2: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC con detección secundaria:	9
2.2.12.4.3 Arquitectura 3: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC sin detección secundaria:	10
2.2.12.4.4 Arquitectura 4: CBTC centrada en el tren (Urbalis Fluence):	11
2.2.12.4.5 Recomendación	11
2.2.12.4.6 Tecnología LTE para la red DCS	12
2.2.12.5 CONCLUSIONES	14

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001_VF

2.2.12 ET12 - SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES

Disciplina:	Sistema de señalización y Control de trenes
Entregable de referencia:	Entregable 14 / ET12-Señalización, control de trenes

2.2.12.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

Las principales normas aplicables están listadas en las siguientes tablas. La lista completa será desarrollada durante la fase 3 de la asesoría especializada.

N°	Ref. ID numero	Descripción
1	IEEE 1474.1	Norma para Control de Tren basado en Comunicaciones (CBTC) rendimientos y requisitos funcionales
2	IEEE 1474.2	Norma para los requisitos de interfaces para usuarios en sistemas con Control de Tren basado en Comunicaciones
3	IEEE-1474-3	IEEE práctica recomendada para Control de Tren Basado en Comunicaciones (CBTC) Diseño de sistema y asignaciones funcionales

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001_VF

4	IEEE-1474-4	IEEE práctica recomendada para pruebas funcionales de un Sistema de Control de Tren basado en Comunicaciones (CBTC)
5	CEI 62290-1	Aplicaciones Ferroviarias – Gestión del transporte guiado urbano y sistemas de control/orden – Parte 1: Principios del sistema y conceptos fundamentales
6	CEI 62290-2	Aplicaciones Ferroviarias – Gestión del transporte guiado urbano y sistemas de control/orden – Parte 2: Especificación de requisitos funcionales

N°	Ref. ID numero	Descripción
1	EN 50129	Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización
2	EN 50126	Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS)
3	EN 62267	Aplicaciones ferroviarias. Transporte urbano guiado automáticamente (AUGT). Requisitos de seguridad
4	EN 61508	Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relacionados con la seguridad

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001_VF

5	EN 45545	Aplicaciones ferroviarias. Protección contra el fuego de vehículos ferroviarios
---	----------	---

2.2.12.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

Entregable de referencia:	Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias / Informe de Sistemas y Operación	
Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:	<p>El sistema de señalización y control de trenes estará basado en tecnología CBTC con un grado de automatización GOA4. El sistema CBTC debe integrar un sistema de señalización secundaria independiente de la detección primaria que permite realizar el seguimiento y proteger los movimientos de trenes o vehículos no equipados y la falla de alguno no deberá afectar el funcionamiento del otro.</p> <p>Se requiere una interoperabilidad ligera (mismo gálibo, misma trocha, captura tercer riel) entre PLMB y L2B para permitir la circulación y el seguimiento de trenes de PLMB sobre L2MB y viceversa. La circulación de los trenes sobre estas dos líneas se hará solo en modo de conducción manual y bajo la señalización secundaria. (lo anterior deberá ser estudiado por el consultor para determinar la factibilidad de esta interoperabilidad).</p> <p>El sistema de señalización y control de trenes deberá usar una red de comunicación propia, independiente de la red multiservicio</p> <p>El sistema de señalización y control de trenes tendrá interfaces según lo indicado en la matriz de gestión de interfaces.</p>	
Conclusiones del estudio de prefactibilidad:	El estudio de prefactibilidad describe los requisitos funcionales fundamentales del sistema de señalización y control de trenes propio correspondiente a una descripción nivel prefactibilidad sin embargo faltan algunos requisitos de desempeño tal como el intervalo mínimo de diseño y precisión de parada. No hubo tampoco desarrollo de los requisitos en término de interfaces con los otros sistemas. La gestión de interfaz se reduce a la exhibición de solo la matriz de interfaces.	
Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
Requerimientos operacionales	Falta el desarrollo de los requerimientos operacionales que especifican las funcionalidades de alto nivel requeridas al nivel del centro operacional. Estos requerimientos se declinan luego en	En el inicio de la fase 3 o durante la fase 2, se debe desarrollar un documento que abarca los requerimientos operacionales que especifican las funcionalidades de alto nivel requeridas al nivel del sistema de señalización y control de trenes.

	requisitos funcionales y técnicos en las especificaciones de cada sistema.	
Requerimientos de mantenimiento	Falta el desarrollo de los requerimientos de mantenimiento de alto nivel que se declinan en requisitos técnicos y de desempeño al nivel del diseño de cada sistema.	Al inicio de la fase 3 o durante la fase 2, se debe desarrollar un documento que abarca los requerimientos de mantenimiento de nivel requeridos para el mantenimiento del sistema de señalización y control de trenes.
Ergonomía de la IHM	falta requisitos relacionados con la Carta Gráfica y Ergonómica de las IHM	Al inicio de la fase 3 o durante la fase 2, se debe desarrollar un documento que abarca los requerimientos relacionados con el desarrollo de las IHM requeridas para la operación y mantenimiento de la línea.
Organización de las salas de operación y mantenimiento	Faltan requisitos relacionados con la ergonomía de los puestos de trabajo y organización de las salas de control y de capacitación	Al inicio de la fase 3 o durante la fase 2, se debe desarrollar un documento que abarca los requerimientos relacionados con la organización y la ergonomía de los puestos de todas las salas que sean salas de operación, de mantenimiento o de capacitación.
Locales técnicos centrales	Faltan requisitos relacionados con las salas técnicas centrales tipos Data Center	Al inicio de la fase 3 o durante la fase 2, se debe desarrollar un documento que abarca los requerimientos asociados a la organización de las salas centrales de servidores (Data Center) en término de reglas de disposición de los armarios, las canalizaciones, aire acondicionado, entre otros
Ciberseguridad	Faltan requerimientos de alto nivel relacionados con la Ciberseguridad	Al inicio de la fase 3 o durante la fase 2, se debe desarrollar un documento que abarca los requisitos relacionados con la ciberseguridad.
Conducción remota desde el CCO	No se recomienda solicitar una conducción remota de los trenes que podrá ser compleja y costosa para implementar.	Estudiar otras soluciones como la solución de conducción de respaldo en modo UTO degradado siempre y cuando el tren esté comunicando, que permite mover el tren hasta la última LMA conocida bajo control ATP suelo.

Distancia de deslizamiento	En la figura 1.1 esquema cola de maniobra, la distancia entre el fin del andén y el aparato de vía es de 20 metros, una distancia de deslizamiento insuficiente para garantizar un intervalo de diseño reducido.	Se propondrá aumentar esta distancia. La distancia requerida debe ser de 40 metros.
Zona de retorno y estacionamiento	La zona de retorno tiene una longitud igual al tren y no considera los criterios de implantación de los contadores de eje y las señales	Se debe estudiar la configuración del terminal considerando una longitud mínima de 145m+10m
Configuración estación terminal	En Figura 9.9 Plano de vías de la línea 2 de metro, la configuración de la estación Calle 72 no parece correcta y inconsistente con la configuración presentada en la figura 9.12	Se recomienda la configuración presentada en la figura 9.12
Detección de riel Roto	Definirla como una funcionalidad del sistema CBTC no es la mejor opción. Podrá ser una funcionalidad del tren para una mejor integración (ver factibilidad a velocidad máxima) o una funcionalidad de un vehículo específico de mantenimiento.	Durante la fase 2, Definir con el cliente la mejor opción para la detección del riel roto
Vehículos auxiliares de mantenimiento	Equipar vehículos auxiliares de mantenimiento con sistema CBTC de tipo GOA1 es una sobre especificación, cuando existe una detección y señalización secundaria.	Se propone eliminar esta funcionalidad para los vehículos de mantenimiento.
Respaldo Eléctrico (UPS)	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo eléctricamente el movimiento de todas las agujas y además considerar simultaneidad de movimiento de agujas sin restricción durante 180 min es una solución costosa. • Respaldo con UPS redundante durante 180 min las salidas críticas del CBTC embarcado podrá necesitar mayor espacio en el tren y ser costosa. 	Durante la fase 2, definir con el cliente la mejor estrategia de respaldo eléctrico.
Modos de conducción	Multiplicar los modos de conducción (4) podrá complicar la implementación. Tampoco se ve necesaria en líneas UTO. El	Se propone, definir 2 modos de conducción tal como especificado para PLMB

	modo degradado de conducción a la falla del modo UTO, podrá ser el modo velocidad limitada ATP que podrá ser una funcionalidad del tren.	
Aspectos críticos por atender:	A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):	A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):
	<ul style="list-style-type: none"> - Analizar el diseño L1 - Tener un retorno de experiencia L1 	<ul style="list-style-type: none"> - Definir los requerimientos operacionales - Definir los requerimientos de mantenimiento - Definir los requerimientos relacionados con la ergonomía de las salas de control y de capacitación y organización de los equipos de - Definir los requerimientos con los locales técnicos centrales (tipo Data Centre) - Definir los requerimientos relacionados con la ergonomía y carta gráfica de las IHM - Desarrollar las matrices de interfaces entre sistemas y entre sistemas y obras Civiles - Desarrollar matriz de trazabilidad de los requerimientos de operación y de mantenimiento de alto nivel.
Interfaces:	El nivel de desarrollo de las interfaces en el estudio prefactibilidad es muy bajo. Habrá que desarrollar las matrices de interfaces que identifica todas las interfaces y definir una arquitectura conceptual con diagramas mostrando el conexionado lógico y físico entre los diferente sistemas	

CAPEX y OPEX	El costo estimado del sistema de señalización y control de trenes durante el estudio de prefactibilidad parece coherente con los costos practicados últimamente en proyectos similares. Esto será consolidado durante esta asesoría especializada.
Otros aspectos relevantes:	Al inicio de la fase 3 o durante la fase 2 de la asesoría especializada, se debe definir la estrategia de licitación de los sistemas. Esto tendrá un impacto en el desarrollo de las especificaciones funcionales y técnicas de los sistemas y de sus interfaces.

2.2.12.3 ASPECTOS RELVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ

El sistema de señalización y control de trenes debe considerar la circulación en modo de conducción manual de los trenes de la PLMB, por lo tanto, el sistema debe permitir la protección de la circulación y el seguimiento de los trenes de la PLMB.

Por otra parte, en el CCO de la L2MB se debe disponer de una pantalla permitiendo la visualización de la circulación de trenes de la línea PLMB. Por lo tanto, habrá que definir en qué puesto se requiere esta Pantalla y consultar al cliente si no sería necesario tener una pantalla de supervisión de tráfico de L2MB en el CCO de PLMB.

2.2.12.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

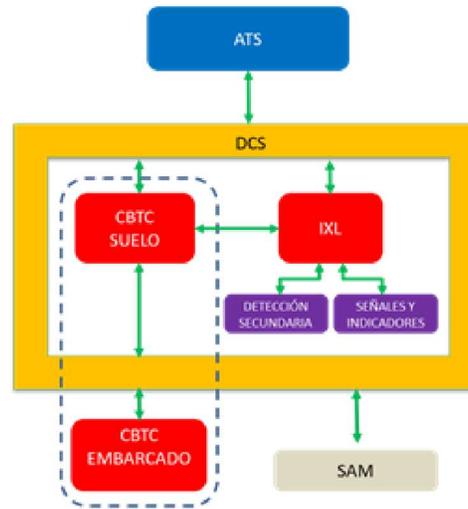
2.2.12.4.1 Arquitectura básica del sistema CBTC y su evolución

Al inicio, el sistema CBTC abarcaba sólo las funciones de control automático (ATC) y venía sobrepuesto 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.

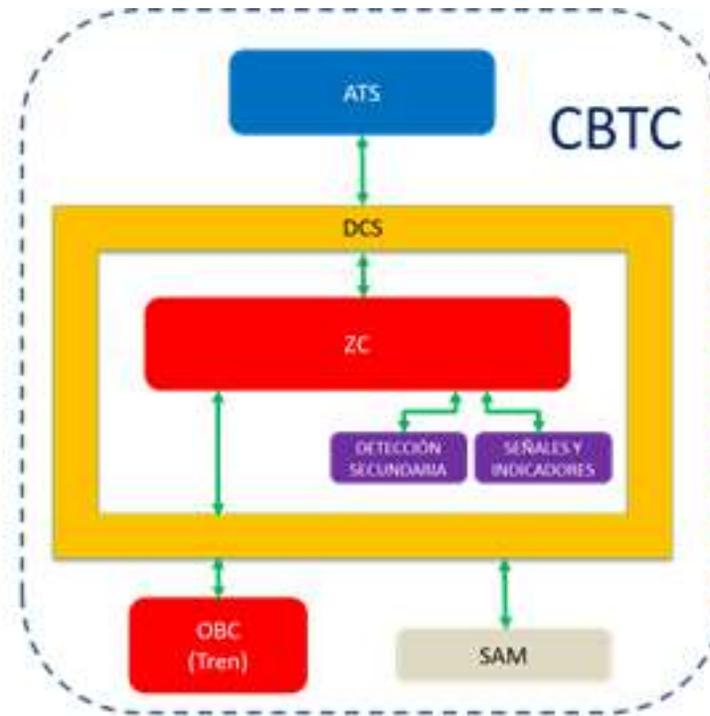
En el mercado actual, se puede distinguir las siguientes arquitecturas del sistema CBTC como parte de las soluciones propuesta por los principales proveedores:

2.2.12.4.1.1 Arquitectura 1: Convencional con detección secundaria



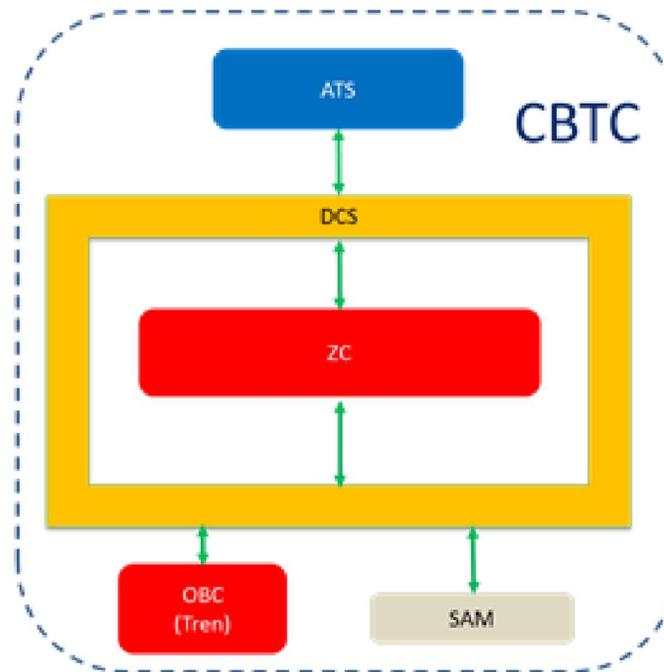
Arquitectura Típica de las Soluciones de los proveedores (ALSTOM, SIEMENS y EX ANSALDO). Esta arquitectura corresponde a la arquitectura convencional que se puede adaptar a la señalización existente de una línea. Adecuada para proyectos de re-señalización (Brownfield) que requieren mantener la señalización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

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



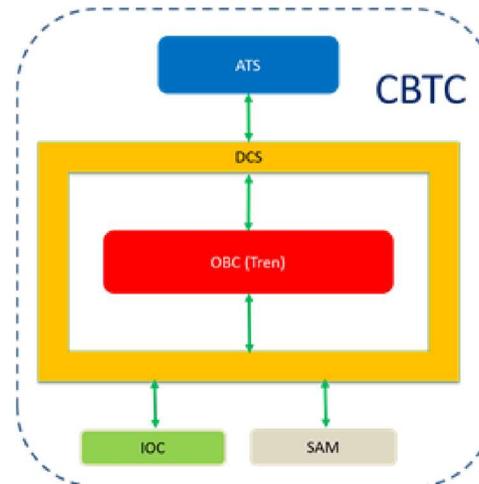
Arquitectura típica de la solución Seltrac 40 de Thales implementada en el proyecto de Santiago L3/6 y también a la arquitectura del producto Cityflo 650 de Bombardier. Las funciones ATP y IXL están implementadas en el controlador de Zona. El controlador embarcado (OBC) comunica la posición del tren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

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



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 como 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).

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



Última Arquitectura CBTC simplificada, desarrollada por Alstom para el proyecto VAL de Lille Línea 1 el cual está todavía en curso de realización desde 2013 y se espera su puesta en servicio para 2023. 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 objetos ubicados en cada estación. El espaciamiento entre trenes está basado en la comunicación directa entre los trenes lo que puede reducir aún más los intervalos entre trenes.

2.2.12.4.5 Recomendación

La arquitectura 4 presentada anteriormente parece innovadora y simplificada y podrá ser el futuro de las soluciones CBTC, sin embargo, 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.

2.2.12.4.6 Tecnología LTE para la red DCS

Las soluciones de redes DCS más comunes en las líneas CBTC para las comunicaciones Tren-Tierra se basan en la tecnología WIFI con conmutador industrial usando frecuencias públicas que pueden ser vulnerables a interferencias externas. El uso de WIFI para redes CBTC puede implicar una limitación de la cobertura de la red, multiplicando así el número de dispositivos a desplegar.

La integración de la tecnología LTE en las soluciones CBTC parece presentar una serie de ventajas sobre la tecnología WIFI en términos de banda ancha, seguridad y garantía de servicios. La tecnología LTE utiliza bandas de frecuencia dedicadas que brindan excelentes características anti-interferencias y garantizan la seguridad y confiabilidad de los servicios CBTC. La tecnología LTE admite transferencias rápidas y masivas de datos, sin interrupciones y sin perturbaciones. La tecnología requiere menos estaciones base LTE entre cada estación debido a un alcance efectivo de hasta 1.2 km. La combinación de una red aplanada y un número cada vez menor de bases radio BTS en los túneles, reduce los costes relacionados con las operaciones y el mantenimiento. El uso de la tecnología LTE como solución de red de comunicación DCS para el sistema CBTC fue desarrollado en las redes de Metro en China. Está. podrá ser estudiada, en el marco de la asesoría especializada, para su desarrollo en la futura línea L2MB.

2.2.12.5 CONCLUSIONES

El estudio de prefactibilidad, para el sistema de señalización y control de trenes, entrega los requisitos fundamentales y según las reglas del arte para iniciar el estudio en el marco de la asesoría. Sin embargo, habrá que tomar definiciones en la fase 2, en cuanto a algunos requerimientos que, según nuestra experiencia, deben ser ajustados para evitar incumplimientos o sobre costos al proyecto. En las fases posteriores corresponderá primero complementar este estudio con la definición de los requerimientos de alto nivel para la operación y el mantenimiento para luego continuar con los requerimientos funcionales específicos, como también definir una arquitectura conceptual de interconexión entre sistemas para el desarrollo de la matriz de interfaces y posteriormente la definición de los requerimientos asociados a la organización de los puestos en las salas de control y capacitación, y asociados a la ergonomía de las IHM. Por último, no se hace mención a la tecnología LTE la cual cuenta al día de hoy con antecedentes significativos y podría proveer mayores niveles de seguridad y capacidad por lo que sí será abordado en las siguientes fases del estudio de factibilidad.

NB: no se presenta en el documento correspondiente un análisis detallado de los documentos técnicos elaborados para contratar la concesión de la PLMB (apéndices técnicos, preguntas y respuestas) pero se afirma que se tomarán en cuenta estos documentos para la definición y redacción de las especificaciones técnicas relacionadas con la ET correspondiente