

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

10.9.127 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA



Secretaría de
Comunicaciones y
Transportes
Dirección General de Transporte
Ferroviario y Multimodal

ELABORACIÓN DE LOS “ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA, FINANCIERA, LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

NUMERO DE CONTRATO: DGTFM-21-12

NOMBRE DEL CONTRATO: Elaboración de los estudios de pre-inversión, relacionados con el análisis de factibilidad técnica, económica, financiera, legal y ambiental, análisis costo-beneficio, anteproyecto y proyecto ejecutivo para el servicio de transporte masivo de pasajeros en la modalidad de tren ligero entre los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, Jalisco.

TITULO DE DOCUMENTO: ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA.



SENERMEX Ingeniería y Sistemas SA de CV



Consultoría en Tránsito y Transportes SC

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

ENTREGA FINAL PROYECTO EJECUTIVO

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

	Nombre	
Autorizado SCT - DGTFM	Lic. Roberto Chico Perez Director General Adjunto de Regulación Económica	
Revisado SCT - DGTFM	Lic. Cecilia Loaiza Cisneros Jefe del Departamento de Finanzas y Fideicomisos de proyectos Ferroviarios	
Realizado por: SENERMEX Ingeniería y Sistemas S.A. de C.V	Ing. Cesar Quevedo Galvan Director de Proyecto	
Realizado por: TRANSCONSULT Consultoría en Tránsito y Transporte S.C.	Ing. Gregory Narce Gerente de Estudios de Movilidad y Mercado	



SENERMEX Ingeniería y Sistemas SA de CV



Consultoría en Tránsito y Transportes SC

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

6

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

1. **INTRODUCCIÓN**

En el presente documento se presenta los trabajos asociados al Estudio de Cobertura Radioeléctrica del Metro Ligero del Corredor Diagonal de Guadalajara.

Este documento está conformado por los siguientes documentos técnicos:

- DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



SENERMEX Ingeniería y Sistemas SA de CV



Consultoría en Tránsito y Transportes SC

10. PROYECTO EJECUTIVO

10.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100

Estudio de Cobertura Radioeléctrica

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA



Secretaría de
Comunicaciones y
Transportes
Dirección General de Transporte
Ferroviario y Multimodal
14/08/2013

ELABORACIÓN DE LOS "ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA, FINANCIERA, LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO	8
2. ALCANCE DEL ESTUDIO	9
2.1. ANÁLISIS DE LA LÍNEA	9
2.1.1. <i>Análisis del trazado</i>	11
2.1.1.1. <i>Tramo al exterior</i>	14
2.1.1.2. <i>Tramo en túnel</i>	34
2.1.1.3. <i>Zona de transición túnel-viaducto</i>	37
2.1.2. <i>Análisis de emplazamientos</i>	39
2.1.2.1. <i>Estación tipo Elevada o en Viaducto</i>	39
2.1.2.2. <i>Estación tipo Subterránea</i>	47
2.1.2.3. <i>Taller y depósito</i>	54
2.1.2.4. <i>Centro de Control</i>	54
2.1.3. <i>Puntos singulares</i>	54
3. REQUERIMIENTOS DE COBERTURA Y CRITERIOS DE DISEÑO	58
3.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).	58
3.1.1. <i>Estudio de frecuencias disponibles en México</i>	58
3.1.1.1. <i>Bandas frecuenciales disponibles para Servicios de Radiocomunicaciones fijos y móviles de baja capacidad</i>	59
3.1.1.2. <i>Cuadro resumen bandas frecuenciales</i>	66
3.1.1.3. <i>Límites de potencia emitida</i>	69
3.1.1.4. <i>Banda de Frecuencia considerada en el Estudio de Cobertura</i>	70
3.1.2. <i>Requerimientos de Cobertura</i>	71
3.1.3. <i>Requerimientos de Operación</i>	72
3.1.4. <i>Subsistema Radio Considerado</i>	73
3.1.5. <i>Definición del Subsistema Radiante</i>	75
3.1.5.1. <i>Subsistema Radiante en Tramo de Viaducto</i>	75
3.1.5.2. <i>Subsistema Radiante en Tramo de Túnel</i>	77
3.1.5.3. <i>Subsistema Radiante en Zonas de Transición Túnel – Viaducto</i>	78

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

3.1.5.4.	<i>Subsistema Radiante en Talleres y depósitos</i>	79
3.1.5.5.	<i>Subsistema Radiante en Dependencias del Centro de Control</i>	79
3.1.5.6.	<i>Parámetros de los elementos del sistema radiante</i>	79
3.1.5.7.	<i>Elementos Pasivos</i>	85
3.2.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS)	85
3.2.1.	<i>Estudio de frecuencias disponibles en México</i>	85
3.2.1.1.	<i>Bandas de frecuencia disponibles para servicios de radiocomunicaciones de banda ancha</i>	86
3.2.1.2.	<i>Cuadro resumen bandas frecuenciales</i>	88
3.2.1.3.	<i>Límites de potencia emitida</i>	89
3.2.2.	<i>Recomendación utilización de frecuencias</i>	90
3.2.3.	<i>Requerimientos técnicos y funcionalidades de la tecnología a implantar</i>	92
3.2.3.1.	<i>Tipo de solución a implantar</i>	92
3.2.3.2.	<i>Capacidad</i>	93
3.2.3.3.	<i>Movilidad (Handover)</i>	94
3.2.3.4.	<i>QoS</i>	95
3.2.3.5.	<i>Seguridad</i>	96
3.2.4.	<i>Requerimientos de Cobertura</i>	97
3.2.5.	<i>Requerimientos de Operación</i>	98
3.2.5.1.	<i>Tipos de Comunicaciones</i>	99
3.2.5.2.	<i>Usuarios Radio</i>	100
3.2.6.	<i>Subsistema Radio Considerado</i>	100
3.2.7.	<i>Subsistema Radiante considerado</i>	102
3.2.7.1.	<i>Subsistema Radiante en Tramo Viaducto</i>	102
3.2.7.2.	<i>Subsistema Radiante Tramos de Túnel</i>	102
3.2.7.3.	<i>Subsistema Radiante Zonas de Transición Túnel – Viaducto</i>	103
3.2.7.4.	<i>Subsistema Radiante Dependencias de Talleres y Depósitos</i>	104
3.2.7.5.	<i>Subsistema Radiante en los trenes</i>	104
4.	METODOLOGÍA DE CÁLCULO	105
4.1.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA)	105

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

4.1.1.	<i>Metodología de cálculo de cobertura en Exteriores</i>	105
4.1.1.1.	<i>Cobertura mediante antenas</i>	112
4.1.1.2.	<i>Cobertura mediante cable radiante</i>	112
4.1.2.	<i>Metodología de cálculo de cobertura en Túnel</i>	113
4.1.3.	<i>Metodología de cálculo de cobertura en Interiores (Dependencias)</i>	117
4.1.3.1.	<i>Cobertura mediante antenas</i>	121
4.1.3.2.	<i>Cobertura mediante cable radiante</i>	122
4.2.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).	123
4.2.1.	<i>Introducción</i>	123
4.2.2.	<i>Metodología de cálculo de cobertura en Exteriores</i>	124
4.2.3.	<i>Metodología de cálculo de cobertura en Túnel</i>	126
4.2.4.	<i>Metodología de cálculo de cobertura en Interiores (Talleres y Depósitos)</i>	127
5.	POSIBLES ESCENARIOS DE COMUNICACIONES	128
5.1.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).	128
5.1.1.	<i>Comunicación Tren – Tierra</i>	129
5.1.1.1.	<i>Descripción de los cálculos en cada escenario de comunicación tren-tierra</i>	130
5.1.1.2.	<i>Parámetros de cálculo de comunicaciones Tren-Tierra</i>	131
5.1.2.	<i>Comunicación Usuario Embarcado - Tierra</i>	133
5.1.1.	<i>Descripción de los cálculos en cada escenario de comunicación Usuario Embarcado - Tierra</i>	134
5.1.2.	<i>Parámetros de cálculo de una Comunicación Usuario Embarcado - Tierra</i>	135
5.1.3.	<i>Comunicación Usuario - Dependencias</i>	137
5.1.1.	<i>Descripción de los cálculos en cada escenario de Comunicación Usuario - Dependencias</i>	139
5.1.2.	<i>Parámetros de cálculo en una Comunicación Usuario - Dependencias</i>	139
5.2.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS)	141
5.2.1.	<i>Comunicación Tren – Tierra</i>	141
5.2.1.	<i>Parámetros de cálculo en una Comunicación Tren – Tierra</i>	142
5.2.1.	<i>Descripción de los cálculos en cada escenario de una Comunicación Tren – Tierra</i>	143
6.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO RADIOELÉCTRICO	145

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

6.1.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).	145
6.1.1.	<i>Balance de Potencia y Esquema preliminar de distribución de equipamiento para el sistema de radiocomunicaciones TETRA</i>	145
6.2.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).	151
6.2.1.	<i>Balance de potencia en exteriores (viaducto)</i>	151
6.2.2.	<i>Balance de potencia en túnel</i>	152
6.2.3.	<i>Esquema preliminar de distribución longitudinal de equipamiento para el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha.</i>	152
7.	ESTUDIO DE DIMENSIONADO DEL TRÁFICO	154
7.1.	ESTUDIO DE TRÁFICO DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA)	154
7.1.1.	<i>Descripción de los Servicios soportados por el Sistema</i>	154
7.1.1.1.	<i>Usuarios Radio</i>	154
7.1.2.	<i>Metodología de cálculo</i>	155
7.1.2.1.	<i>Parámetros para la caracterización del Tráfico de Voz</i>	158
7.1.2.2.	<i>Parámetros para la caracterización del Tráfico de Datos</i>	158
7.1.3.	<i>Parámetros e Hipótesis de Cálculo consideradas para el Tráfico de Voz</i>	158
7.1.4.	<i>Parámetros e Hipótesis de Cálculo consideradas para el Tráfico de Datos</i>	163
7.1.5.	<i>Conclusiones</i>	163
7.2.	DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE BANDA ANCHA (WIRELESS)	164
7.2.1.	<i>Descripción y dimensionado de los Servicios soportados por el Sistema</i>	164
7.2.1.1.	<i>Servicio de Vídeo Vigilancia embarcada</i>	167
7.2.1.2.	<i>Servicio de Telemando de Tráfico (Material Rodante)</i>	171
7.2.1.3.	<i>Interfonía</i>	177
7.2.1.4.	<i>Megafonía (Voceo) Embarcada</i>	180
7.2.1.5.	<i>Servicio de información al viajero en paneles (SIV-texto)</i>	183
7.2.1.6.	<i>Servicio de Información SIV con contenidos multimedia en el interior de los trenes</i>	185
7.2.1.7.	<i>Servicio de Telefonía y mensajería IP</i>	188
7.2.2.	<i>Cuadro resumen de dimensionado del Sistema</i>	189
8.	PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS	191

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

8.1.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).	191
8.1.1.	<i>Criterios de Diseño</i>	191
8.1.2.	<i>Plan de frecuencias</i>	192
8.2.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).	193
8.2.1.	<i>Criterios de Diseño</i>	193
8.2.2.	<i>Plan de frecuencias</i>	195
9.	ANÁLISIS DE EMISIONES RADIOELÉCTRICAS.	198
10.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS RADIO	199
10.1.	SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).	199
10.1.1.	<i>Descripción de la tecnología</i>	199
10.1.2.	<i>Funcionalidades</i>	200
10.1.3.	<i>Servicios</i>	204
10.1.4.	<i>Funciones de red soportadas por TETRA V+D</i>	206
10.1.4.1.	<i>Establecimiento del servicio</i>	206
10.1.4.2.	<i>Registro en la red</i>	207
10.1.4.3.	<i>Reselección de célula</i>	207
10.1.5.	<i>Características Radioeléctricas de TETRA</i>	208
10.1.5.1.	<i>Frecuencias</i>	208
10.1.5.2.	<i>Características básicas del interfaz radio</i>	209
10.1.5.3.	<i>Potencia de TBS y terminales TETRA</i>	211
10.1.5.4.	<i>Modos de operación (TMO/DMO)</i>	212
10.1.5.5.	<i>Modos de comunicación</i>	215
10.1.5.6.	<i>Modulación y espectro</i>	216
10.1.5.7.	<i>Estructura de la trama</i>	217
10.1.5.8.	<i>Canales TETRA</i>	219
10.1.5.9.	<i>Aspectos radio</i>	219
10.1.6.	<i>Arquitectura tipo del sistema</i>	220
10.1.7.	<i>Principales Subsistemas integrantes</i>	222
10.1.7.1.	<i>Nodo Central de Conmutación en el Centro de Control</i>	223
10.1.7.2.	<i>Servidor Gestión Técnica y Operativa de Red (NMS)</i>	225

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

10.1.7.3. Subsistema de red radio o estaciones Base TETRA	226
10.1.7.4. Subsistema Radiante	227
10.1.7.5. Subsistema de terminales	231
10.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).	232
10.2.1. Introducción	232
10.2.2. Descripción de la tecnología WiFi (802.11)	232
10.2.2.1. Características de las interfaces radio IEEE802.11b/a/g/n	235
10.2.2.2. Resumen comparativo de Tecnologías	238
10.2.2.3. Valoración de los diferentes estándares y tecnologías	243
10.2.3. Arquitectura tipo del sistema	245
10.2.4. Equipamientos principales	246
10.2.4.1. RED y FIS	247
10.2.4.2. Puntos de Acceso Radio (PA)	248
10.2.4.3. Antenas de PA	248
10.2.4.4. Equipos en Centros de Control	249
10.2.4.5. Equipo embarcado en el tren (EET)	250

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente documento tiene como objeto presentar el estudio de cobertura radioeléctrica que se ha realizado para hacer el dimensionado de los sistemas de Radiocomunicaciones de Voz de tipo Trunking digital y de Radiocomunicaciones de Banda Ancha a implantar en el CDG. Ambos sistemas soportarán los servicios de Radiotelefonía y Personal de Explotación, y de Comunicaciones Tren-Tierra de Banda Ancha respectivamente.

Se incluye una primera descripción del alcance del estudio, donde se describe el alcance del proyecto de implantación de los sistemas de Radiocomunicaciones del CDG y se analizan las características de la Línea.

Igualmente, para cada uno de los sistemas de radiocomunicaciones, se hace un resumen de los requerimientos y criterios de diseño que son relevantes de cara a la realización del estudio de cobertura, tales como requerimientos de cobertura, frecuencias de trabajo, prestaciones o limitaciones de las tecnologías aplicadas, etc.

Posteriormente, se describen las metodologías de cálculo que se han aplicado para la realización del estudio de cobertura radioeléctrica en cada uno de los ámbitos en los que se ha de garantizar la cobertura a lo largo del CDG, identificándose los posibles escenarios de comunicación y los cálculos y parámetros aplicables en cada caso. Finalmente, se incluye un apartado para la presentación de resultados, en el que se incluyen planos y esquemáticos en los que se representan los cálculos realizados.

De forma adicional, para cada Sistema, se incluyen el Estudio de Dimensionado del Tráfico y el Plan de Frecuencias que se propone para su operación, en base al dimensionado de la Infraestructura realizado como resultado del Estudio de Cobertura y del Estudio de Tráfico.

Finalmente, se incluye una descripción general de las tecnologías que se han empleado para el diseño de cada uno de los sistemas y de sus principales funcionalidades y características técnicas.

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del estudio de cobertura realizado comprende los sistemas de radiocomunicaciones de voz TETRA y radiocomunicaciones de banda ancha a implantar en el tren ligero CDG que discurrirá entre los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, en el estado de Jalisco.

Para la operación de la Línea, ambos sistemas deberán disponer de cobertura radioeléctrica en la zona de circulación de trenes de la línea:

- Zona de Viaducto, Túnel y Transición Túnel/Viaducto.
- Zona de Talleres y Depósitos

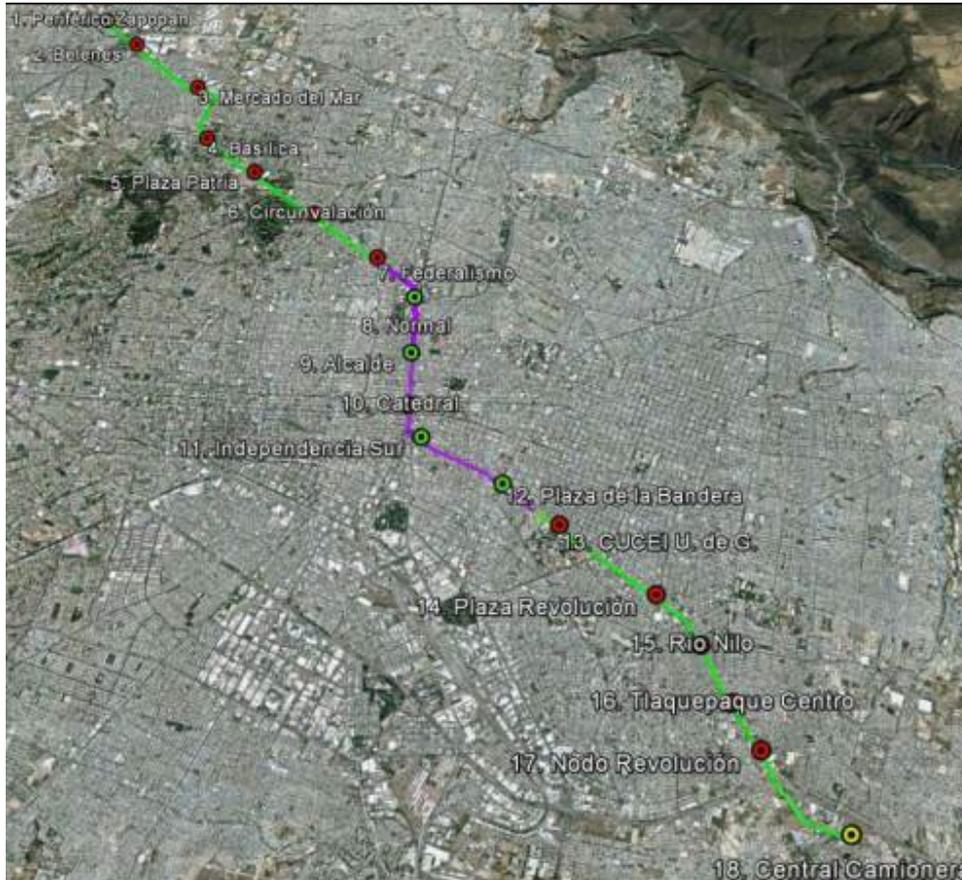
Adicionalmente, en el caso del sistema de radiocomunicaciones de voz, se deberá disponer de cobertura también en dependencias de la Línea:

- Ámbito de estación (vestíbulo, andenes, accesos)
- Locales técnicos
- Zonas de subestación
- Centro de control

2.1. ANÁLISIS DE LA LÍNEA

La línea del CDG tiene como objetivo conectar los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque a través de un sistema de tren ligero con un recorrido aproximado de 21 km y un total de 18 estaciones.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

**Figura 1. Trazado**

El trazado de la línea discurre en su totalidad dentro del entorno urbano de la ciudad de Guadalajara, integrándose dentro de las principales vías de comunicación rodada de la ciudad a través de una infraestructura ferroviaria basada en un sistema de viaducto elevado, en la mayor parte de la línea, y trazado subterráneo en la parte central de la misma.

A continuación se procederá a analizar el trazado (zona interestación o de trayecto), y las estaciones que componen la línea de metro ligero para la ciudad de Guadalajara, con el objetivo de caracterizar las zonas y áreas dentro del alcance de los sistemas de radiocomunicaciones de voz (TETRA) y sistema de radiocomunicaciones de banda ancha, identificando las posibles singularidades de la Línea.

2.1.1. *Análisis del trazado*

El trazado para el nuevo tren ligero de Guadalajara discurre en su totalidad por entorno urbano, en avenidas principales dentro de los municipios de Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque, diferenciándose entre sí según la densidad y tipología de las edificaciones adyacentes al viaducto previsto.

Dentro del municipio de Zapopan el tren inicia el recorrido en la Avenida Guadalajara – Tesistan, a partir de ahí hace un recorrido Sur – Este sobre la avenida los Laureles y Av. Ávila Camacho. El municipio de Zapopan contendrá las siguientes estaciones:

1. Periférico Zapopan
2. Belenes
3. Mercado del Mar
4. Basílica
5. Plaza Patria

Dentro del municipio de Guadalajara el recorrido continúa sobre La Av. Ávila Camacho, hasta la entrada del centro histórico de Guadalajara donde cambia a la Av. Fray Antonio Alcalde en dirección Sur, hasta encontrar la Avenida Revolución en Dirección Este. El municipio de Guadalajara contendrá las siguientes estaciones:

6. Circunvalación
7. Federalismo
8. Normal
9. Alcalde
10. Catedral
11. Independencia Sur

Dentro del Municipio de Tlaquepaque el recorrido continúa sobre la Avenida Revolución en dirección Este, Cambiando a Dirección Sur en la glorieta de la Avenida San Rafael. Continúa esta dirección hasta

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

cambiar de Nombre a Av. Francisco Silva Romero, Finalizando en el cruce con Avenida las Torres, la cual indica el fin del recorrido. El municipio de Tlaquepaque contendrá las siguientes estaciones:

12. Plaza de la Bandera
13. Cupei U. de G.
14. Plaza Revolución
15. Río Nilo
16. Tlaquepaque Centro
17. Nodo Revolución
18. Central Camionera

A grandes rasgos, existen dos variantes en la implementación del trazado: trazado exterior o en viaducto y trazado subterráneo.

Del total de 18 estaciones existentes en la línea, existen un total de 13 estaciones en viaducto o elevadas y 5 estaciones en zona de túnel o subterráneas. Dentro del conjunto de estaciones elevadas, cabe diferenciar dos estaciones denominadas terminales, debido a su disposición en los extremos de la línea. El conjunto de estaciones subterráneas se encuentra en la parte central.

Además del grupo de estaciones, deben sumarse al listado de dependencias los emplazamientos correspondientes al Centro de Control, zona de taller y depósito y salidas de emergencia en túnel. El listado de dependencias del CDG puede apreciarse en la siguiente tabla resumen:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

	Nombre	Tipología	PK inicio	PK fin	Punto medio	Municipio
	Talleres y depósito	Taller y depósito	0+347	0+388	0+367,5	Zapopan
E1	Periférico Zapopan	E.Elevada (Terminal)	0+696	0+771	0+733,5	Zapopan
E2	Belenes	E.Elevada	1+502	1+577	1+539,5	Zapopan
E3	Mercado del Mar	E.Elevada	3+051	3+126	3+088,5	Zapopan
E4	Basilica	E.Elevada	4+450	4+525	4+487,5	Zapopan
E5	Plaza Patria	E.Elevada	5+791	5+866	5+828,5	Zapopan
E6	Circunvalación	E.Elevada	6+939	7+014	6+976,5	Guadalajara
E7	Federalismo	E.Elevada	8+350	8+425	8+387,5	Guadalajara
E8	Normal	E.Subterránea	9+394	9+469	9+431,5	Guadalajara
SE1	Registro Civil	Salida Emergencia	9+668	9+680	9+674	Guadalajara
E9	Alcalde	E.Subterránea	10+363	10+438	10+400,5	Guadalajara
SE2	Jardín de la Reforma	Salida Emergencia	10+851	10+863	10+857	Guadalajara
E10	Catedral	E.Subterránea	11+277	11+352	11+314,5	Guadalajara
E11	Independencia Sur	E.Subterránea	11+929	12+004	11+966,5	Guadalajara
SE3	Revolución Poniente	Salida Emergencia	12+596	12+608	12+602	Guadalajara
E12	Plaza Bandera	E.Subterránea	13+402	13+477	13+439,5	Tlaquepaque
E13	Cucei U. de G.	E.Elevada	14+459	14+534	14+496,5	Tlaquepaque
E14	Plaza Revolución	E.Elevada	16+186	16+261	16+223,5	Tlaquepaque
E15	Río Nilo	E.Elevada	17+156	17+231	17+193,5	Tlaquepaque
E16	Tlaquepaque Centro	E.Elevada	18+060	18+135	18+097,5	Tlaquepaque
E17	Nodo Revolución	E.Elevada	18+773	18+848	18+810,5	Tlaquepaque
E18	Central Camionera	E.Elevada (Terminal)	20+400	20+475	20+437,5	Tlaquepaque
	Centro de Control	PDTE	-	-		-

Tabla 1. Resumen de emplazamientos

En los siguientes apartados se hace un análisis de los diferentes tramos.

2.1.1.1. Tramo al exterior

Los principales factores que permitirán diferenciar un trayecto de otro, basándonos en la afectación que ello suponga para la propagación de la señal, serán:

- Altura de los edificios
- Puntos conflictivos para la línea de vista
- Puntos singulares
- Desnivel

El trayecto en superficial exterior abarca el segmento del trazado que discurre entre los puntos kilométricos PK 0+000 y PK 8+400 por un lado, y entre el PK 14+000 y PK 21+447 por el otro, tal y como se observa en la figura siguiente:

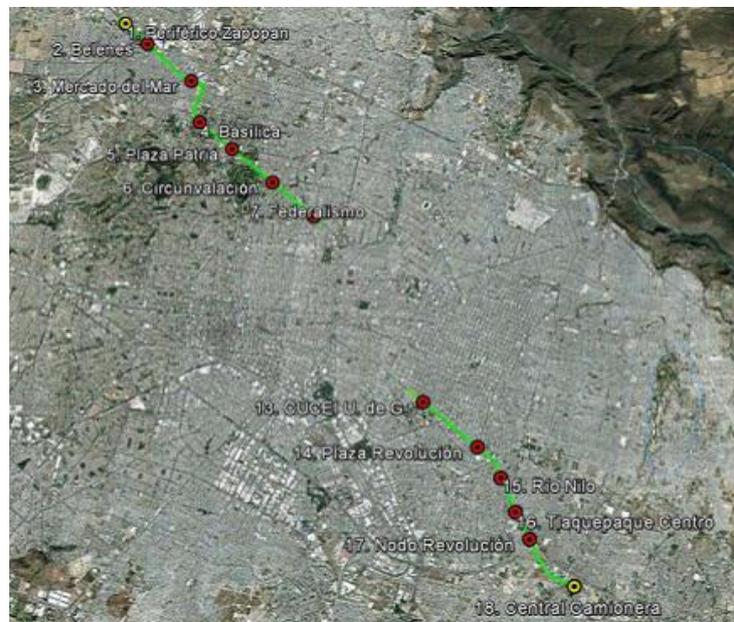


Figura 2. Trazado al exterior

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Este tramo al exterior se desarrolla a través de un viaducto elevado sobre el nivel de calle. La plataforma ferroviaria cuenta con dos sistemas de vía de 1435 mm de ancho, con una separación entre ejes de 6,52 m, una zona de acceso central de 2'5 m de ancho y con una amplitud máxima y mínima en sección de 11,1 m y 10,7 m respectivamente.

En la siguiente figura puede observarse una sección del viaducto en trayecto:

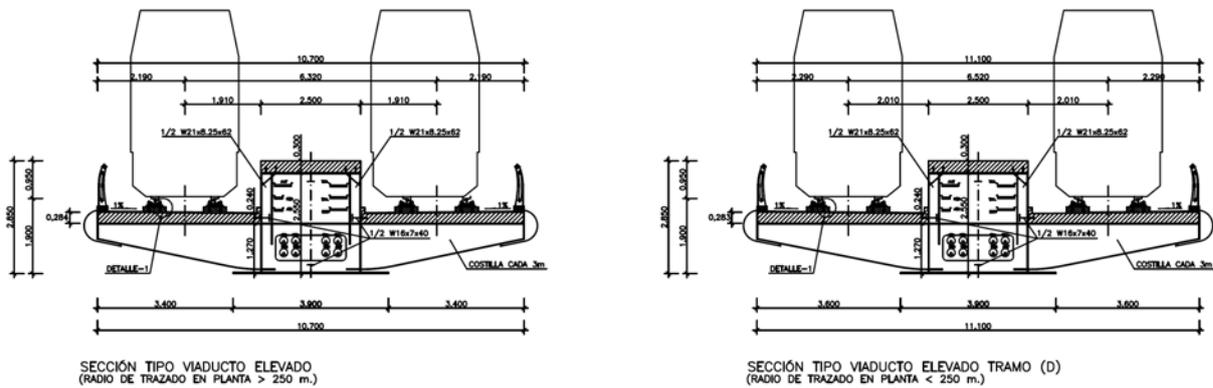


Figura 3. Sección viaducto en trayecto

En su parte más exterior, la estructura se completa con una barandilla de 1,05 m de altura que acompaña a la infraestructura en todo su recorrido. En la siguiente figura se muestra un detalle en sección de la barandilla (vista frontal, lado izquierdo):

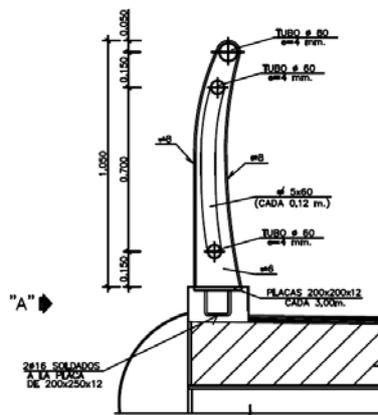


Figura 4. Detalle de barandilla en viaducto

A continuación se procederá a analizar cada uno de los trayectos entre estaciones desde el punto de vista de la propagación y la afectación de ésta.

2.1.1.1.1 Periférico Zapopan – Belenes

El tramo de viaducto comprendido entre la estación tipo terminal de Periférico Zapopan y la estación elevada de Belenes tiene una longitud aproximada de 806 metros (tomando como referencia el punto medio de las estaciones). En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 5. Tramo Periférico Zapopan - Belenes

El tramo Periférico Zapopan – Belenes se caracteriza por una reducida densidad de edificios de planta baja en la mayor parte del recorrido. Por otro lado, presenta ausencia de edificación en determinados puntos del mismo.

El recorrido discurre por una avenida ancha (75 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una fuerte pendiente de entre

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

el 4,8% y el 5,0 % entre los puntos PK 0+920 y PK 1+426 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Dentro del tramo, se observan 3 estructuras elevadas:

- Paso elevado 1 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 0+706 y PK 0+710.
- Puente 1 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 1+201 y PK 1+239.
- Paso elevado 2 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 1+432 y PK 1+436.

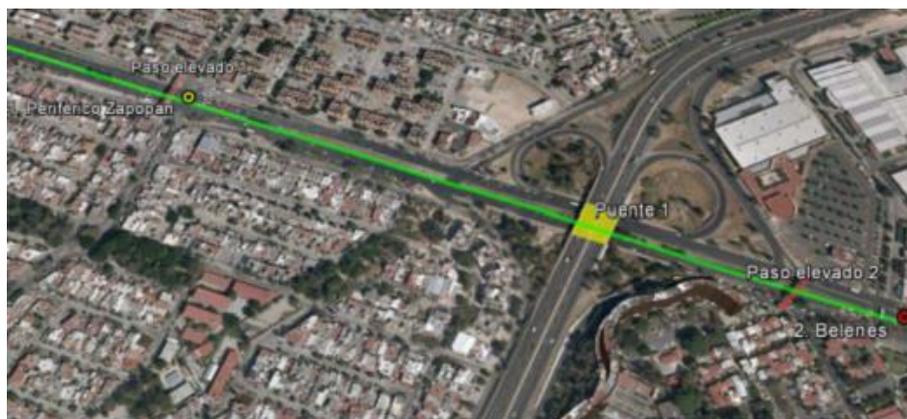


Figura 6. Estructuras elevadas Periférico Zapopan - Belenes

Ambos pasos elevados se encuentran dispuestos dentro de la zona prevista para la construcción de las estaciones de Periférico Zapopan (Paso elevado 1) y Belenes (Paso elevado 2), de modo que no serán considerados puntos singulares que puedan interactuar negativamente con la estructura ferroviaria prevista. En el primer caso, el paso elevado o puente periférico se usará como paso de viaducto elevado.

En el trazado, se encuentra la estructura identificada como Puente 1, correspondiente al cruce en distinto nivel de la A. Periférico Nte. Manuel Gómez Morin con Av Los Laureles. El puente se encuentra situado a 467,5 m de la estación de Periférico Zapopan y a 300,5 m de la estación de Belenes (distancias medidas desde el punto medio de la estación hasta el inicio del punto singular), tiene una amplitud aproximada de

37 metros, un recorrido de aproximadamente 38 m y una altura de 5,5 m (en su parte baja) y de 8,5 m (en su parte más alta).



Figura 7. Puente 1

Este puente, a pesar de su importancia dentro del trazado, no afectará de modo alguno al sistema ferroviario planificado debido a que discurrirá por debajo del nivel de viaducto (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

2.1.1.1.2 Belenes – Mercado del Mar

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Belenes y la estación elevada de Mercado del Mar tiene una longitud (entre centros de estación) de 1549 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.

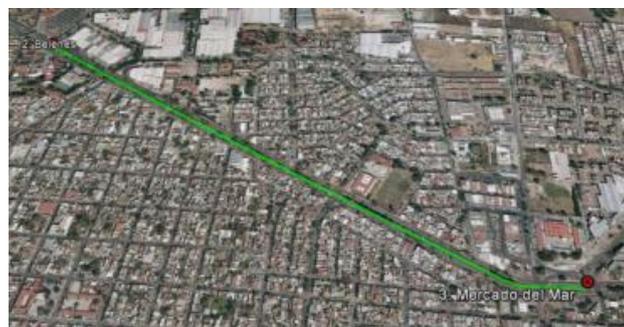


Figura 8. Tramo Belenes - Mercado del Mar

El tramo Belenes – Mercado del Mar se caracteriza por una elevada densidad de edificios de planta baja en todo el recorrido. El recorrido discurre por una avenida ancha (45 metros entre fachadas en el peor caso) y recta prácticamente en la totalidad del tramo, a excepción de una ligera curvatura de $R=180$ m entre los puntos PK 2+916 y PK 3+027. Se aprecia una pendiente de entre el 1,27% y el 1,29 % entre los puntos PK 1+603 y PK 3+036 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

No se ha encontrado dentro del tramo de estudio ninguna estructura o punto singular.

2.1.1.1.3 Mercado del Mar – Basílica

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Mercado del Mar y la estación elevada de Basílica tiene una longitud (entre centros de estación) de 1399 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.

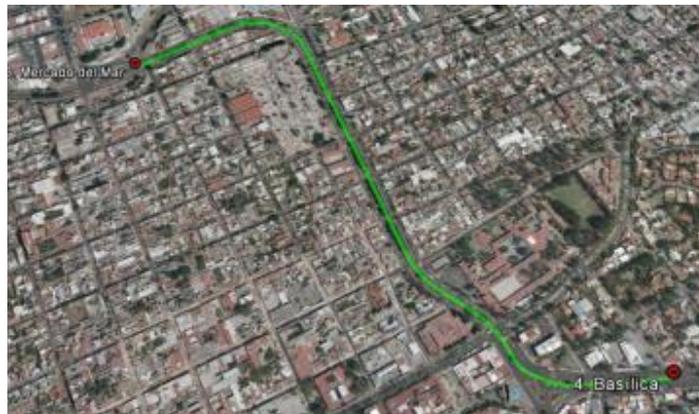


Figura 9. Tramo Mercado del Mar - Basílica

El tramo Mercado del Mar – Basílica se caracteriza por una elevada densidad de edificios de planta baja en todo el recorrido. El recorrido discurre por una avenida ancha (45 metros entre fachadas en el peor

caso), con una importante curvatura del trazado entre los puntos kilométricos PK 3+310 y PK 3+464 con una radio medio aproximado de $R=110$ m.



Figura 10. Curva cerrada en el trazado

La curvatura del trazado en el punto anteriormente comentado será motivo de estudio debido a la fuerte afectación que ésta ejerce sobre la línea de visión entre estaciones del tramo estudiado.

Existe una curvatura suave del trazado entre los puntos PK 4+019 y PK 4+074 ($R=152$ m) y entre el PK 4+302 y PK 4+388 ($R=157$ m) que no se estima llegue a afectar al mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una ligera pendiente del 0,28% entre los puntos PK 3+151 y PK 4+211, agudizándose hasta el 1,82% entre los puntos PK 4+211 y PK 4+434 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

No se ha encontrado dentro del tramo de estudio ninguna estructura o punto singular.

2.1.1.1.4 Basilica – Plaza patria

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Basilica y la estación elevada de Plaza Patria tiene una longitud (entre centros de estación) de 1341 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 11. Tramo Basílica - Plaza Patria

El tramo Basílica – Plaza Patria se caracteriza por una densidad media de edificios de planta baja en la mayor parte del recorrido. Presenta ausencia de edificación en determinados puntos del mismo. El recorrido discurre por una avenida ancha (45 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una fuerte pendiente del 3,46% entre los puntos PK 4+884 y PK 5+471 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Dentro del tramo, se observa 1 punto singular:

- Paso elevado 3 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 5+405 y PK 5+409.



Figura 12. Puntos singulares Basílica - Plaza Patria

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

El paso elevado se encuentra situado a 917,7 m de la estación de Basílica y a 191 m de la estación de Plaza Patria (distancias medidas desde el punto medio de la estación hasta el inicio del punto singular), tiene una amplitud aproximada de 30 metros, un recorrido de 4 m y una altura de 6,5 m (en su parte baja) y de 9 m (en su parte más alta).



Figura 13. Medidas Paso elevado 3

Este paso, a pesar de su importancia dentro del trazado, no afectará de modo alguno al sistema ferroviario planificado debido a que será retirado para la instalación del viaducto (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

2.1.1.1.5 Plaza patria – Circunvalación

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Plaza Patria y la estación elevada de Circunvalación tiene una longitud (entre centros de estación) de 1148 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 14. Tramo Plaza Patria-Circunvalación

El tramo Plaza Patria – Circunvalación se caracteriza por una muy reducida densidad de edificios de planta baja y ausencia de edificación en la mayor parte del recorrido. El recorrido discurre por una avenida ancha (40 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una fuerte rampa del 5% entre los puntos PK 6+604 y PK 6+897 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Dentro del tramo, se observa 1 punto singular:

- Paso elevado 4 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 6+009 y PK 6+017.



Figura 15. Puntos singulares Plaza Patria – Circunvalación

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

El paso elevado se encuentra situado a 1196,5 m de la estación de Plaza Patria y a 162 m de la estación de Circunvalación (distancias medidas desde el punto medio de la estación hasta el inicio del punto singular), tiene una amplitud aproximada de 35 metros, un recorrido de 8 m y una altura de 5 m (en su parte baja) y de 9 m (en su parte más alta).



Figura 16. Medidas Paso elevado 4

Este paso, a pesar de su importancia dentro del trazado, no afectará de modo alguno al sistema ferroviario planificado debido a que será retirado para la instalación del viaducto (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

2.1.1.1.6 Circunvalación - Federalismo

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Circunvalación y la estación elevada de Federalismo tiene una longitud (entre centros de estación) de 1411 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 17. Tramo Circunvalación - Federalismo

El tramo Circunvalación – Federalismo se caracteriza por una alta densidad de edificios de planta baja. El recorrido discurre por una avenida ancha (40 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una ligera pendiente del 0,39% entre los puntos PK 7+170 y PK 8+235 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Se ha identificado como punto singular a destacar la previsión de una correspondencia con Línea 1, mediante paso subterráneo existente en la estación de Federalismo. Este punto singular se tratará a nivel particular para el diseño de los sistemas de radiocomunicaciones.

2.1.1.1.7 Cucei U. de G. – Plaza Revolución

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Cucei U. de G. y la estación elevada de Plaza Revolución tiene una longitud (entre centros de estación) de 1727 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 18. Tramo Cucei U. de G. - Plaza Revolución

El tramo Cucei U.de G. – Plaza Revolución se caracteriza por una alta densidad de edificios de planta baja. El recorrido discurre por una avenida ancha (40 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una rampa del 1,91% entre los puntos PK 14+604 y PK 14+957 que se agudiza hasta el 2,7% entre los puntos PK 14+957 y PK 15+675 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

No se ha encontrado dentro del tramo de estudio ninguna estructura o punto singular.

2.1.1.1.8 Plaza Revolución – Río Nilo

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Plaza Revolución y la estación elevada de Río Nilo tiene una longitud (entre centros de estación) de 970 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 19. Tramo Plaza Revolución - Río Nilo

El tramo Plaza Revolución – Río Nilo se caracteriza por una reducida densidad de edificios de planta baja. El recorrido discurre por una avenida ancha (30 metros entre fachadas en el peor caso) y recta en la mayoría de su trazado. En el punto central del recorrido, aproximadamente entre el PK 16+705 y el PK 17+774 (cruce Av. Revolución – Av. San Rafael), se aprecia una ligera curvatura de radio $R=247$ m que no se estima llegue a afectar al mantenimiento de la línea de visión entre estaciones, con la adecuada orientación de las antenas en el momento de su instalación. Se aprecia una pendiente del 1,1% entre los puntos PK 16+446 y PK 16+798 que pasa a ser una rampa del 0,65% entre los puntos PK 16+798 y PK 17+128 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

No se ha encontrado dentro del tramo de estudio ninguna estructura o punto singular.

2.1.1.1.9 Río Nilo – Tlaquepaque Centro

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Río Nilo y la estación elevada de Tlaquepaque Centro tiene una longitud (entre centros de estación) de 904 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 20. Tramo Río Nilo - Tlaquepaque Centro

El tramo Río Nilo – Plaza Revolución se caracteriza por una densidad media de edificios de planta baja. El recorrido discurre por una avenida ancha (30 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una rampa del 0,9% entre los puntos PK 17+258 y PK 17+635 que se agudiza hasta el 3,94% entre los puntos PK 17+635 y PK 18+028 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Dentro del tramo, se observa 1 punto singular:

- Paso elevado 5 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 17+579 y PK 17+581.



Figura 21. Puntos singulares Río Nilo – Tlaquepaque Centro

El paso elevado se encuentra situado a 386 m de la estación de Río Nilo y a 498 m de la estación de Tlaquepaque Centro (distancias medidas desde el punto medio de la estación hasta el inicio del punto singular), tiene una amplitud aproximada de 28 metros, un recorrido de 2 m y una altura de 5,5 m (en su parte baja) y de 11,5 m (en su parte más alta).



Figura 22. Medidas Paso elevado 5

Este paso elevado no será contemplado como punto singular debido a que está prevista su desinstalación, con lo que no interferirá de modo alguno con el trazado del viaducto.

2.1.1.1.10 Tlaquepaque Centro – Nodo Revolución

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Tlaquepaque Centro y la estación elevada de Nodo Revolución tiene una longitud (entre centros de estación) de 713 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 23. Tramo Tlaquepaque Centro - Nodo Revolución

El tramo Tlaquepaque Centro – Nodo Revolución se caracteriza por una muy reducida densidad de edificios de planta baja. El recorrido discurre por una avenida ancha (30 metros entre fachadas en el peor caso) y recta, hecho que permite el mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una rampa del 2,3% entre los puntos PK 18+153 y PK 18+414 que se suaviza hasta el 1,75% entre los puntos PK 18+414 y PK 18+743 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

No se ha encontrado dentro del tramo de estudio ninguna estructura o punto singular.

2.1.1.1.11 Nodo Revolución – Central Camionera

El tramo de viaducto comprendido entre la estación elevada de Nodo Revolución y la estación terminal de Central Camionera tiene una longitud (entre centros de estación), de 1627 metros. En la siguiente figura puede apreciarse una vista esquemática del entorno analizado para el tramo.



Figura 24. Tramo Nodo Revolución – Central Camionera

El tramo Nodo Revolución – Central Camionera se caracteriza por una casi nula densidad de edificios de planta baja en todo su recorrido.

El recorrido discurre por una avenida muy ancha debido a la ausencia de construcciones, y al hecho de que se trata de un nudo de conexión entre carreteras situado a las afueras de la ciudad. A pesar de la curvatura del trazado entre los puntos PK 19+330 y PK 19+756, ésta es lo suficientemente amplia ($R=447$ m), como para que no afecte al mantenimiento de la línea de visión entre estaciones. Se aprecia una rampa del 5% entre los puntos PK 18+915 y PK 19+092 que pasa a ser una pendiente del 2,4% entre los puntos PK 19+092 y PK 19+485 (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Dentro del tramo, se observan 4 estructuras elevadas:

- Paso elevado 6 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 18+826 y PK 18+829.
- Puente 2 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 19+134 y PK 19+145.
- Puente 3 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 19+172 y PK 19+189.
- Puente 4 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 19+212 y PK 19+240.
- Paso elevado 7 situado, aproximadamente, entre los puntos PK 19+772 y PK 19+776.



Figura 25. Puntos singulares Nodo Revolución – Central Camionera

El paso elevado 6 se encuentra dispuesto dentro de la zona prevista para la construcción de la estación de Nodo Revolución, de modo que no será considerado como un punto singular que pueda interactuar negativamente con la estructura ferroviaria prevista. Las estructuras identificadas como Puente 2, Puente 3 y Puente 4, correspondientes al cruce a distinto nivel de la Av. Francisco Silva Romero con A Los Altos se encuentran situadas, en su conjunto, a 233 m de la estación de Nodo Revolución y a 1054 m de la estación de Central Camionera (distancias medidas desde el punto medio de la estación hasta el inicio del punto singular), tienen un recorrido de 11 m (Puente 2), 17 m (Puente 3) y 28 m (Puente 4), una amplitud de 21 m y una altura de 5 m (en su parte baja) y de 8 m (en su parte más alta).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA



Figura 26. Medidas Puentes 2, 3 y 4

Estos puentes, a pesar de su importancia dentro del trazado, no afectarán de modo alguno al sistema ferroviario planificado debido a que discurrirán por debajo del nivel de viaducto (para más información relativa al perfil longitudinal del tramo, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal).

Las estructura identificada como Paso elevado 7 se encuentra situada a 962 m de la estación de Nodo Revolución y a 662 m de la estación de Central Camionera (distancias medidas desde el punto medio de la estación hasta el inicio del punto singular), tiene un recorrido de 4 m, una amplitud de 41 m y una altura de 6 m (en su parte baja) y de 12 m (en su parte más alta).



Figura 27. Medidas Paso elevado 7

Este paso elevado no será contemplado como punto singular debido a que está prevista su desinstalación, con lo que no interferirá de modo alguno con el trazado del viaducto.

2.1.1.2. Tramo en túnel

El trayecto subterráneo o en túnel abarca el segmento del trazado que discurre entre los puntos kilométricos PK 8+600 y el PK 14+000, situándose en estos puntos la transición túnel-superficie, tal y como se observa en la figura siguiente:

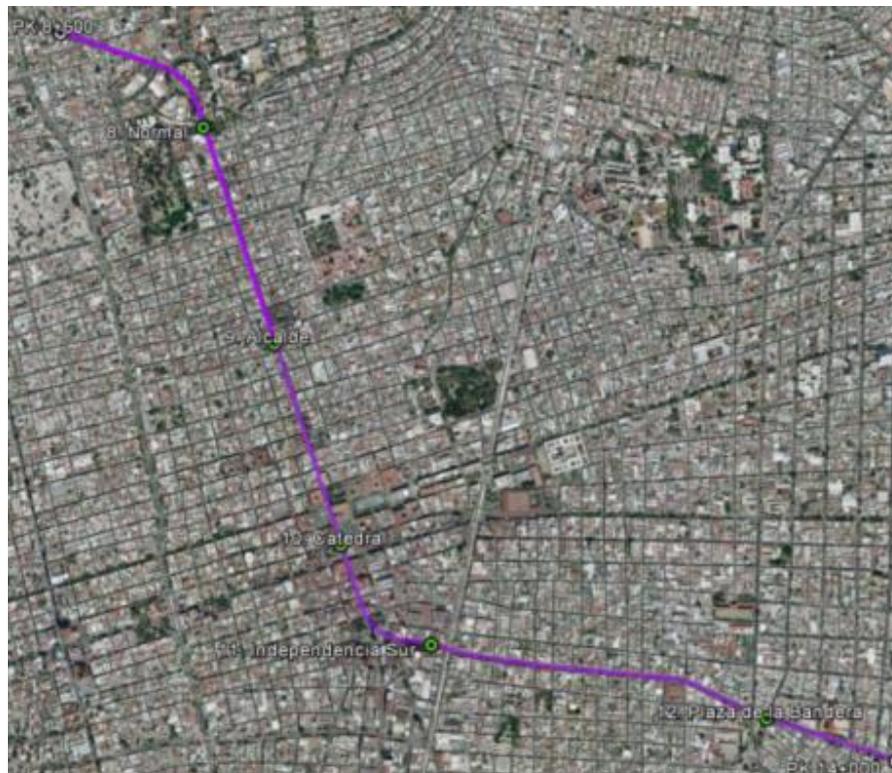


Figura 28. Trazado túnel

El trazado de línea que discurre en túnel cubre el trayecto existente entre las estaciones Normal y Plaza Bandera, de forma total, y los trayectos Federalismo – Normal y Plaza Bandera – Cucei U. de G. de forma parcial.

El trayecto subterráneo se desarrolla a través de un túnel de 9'46 m de diámetro y un ancho de plataforma de 7'244 m de longitud. En la siguiente figura puede apreciarse una sección acotada del tramo de túnel:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

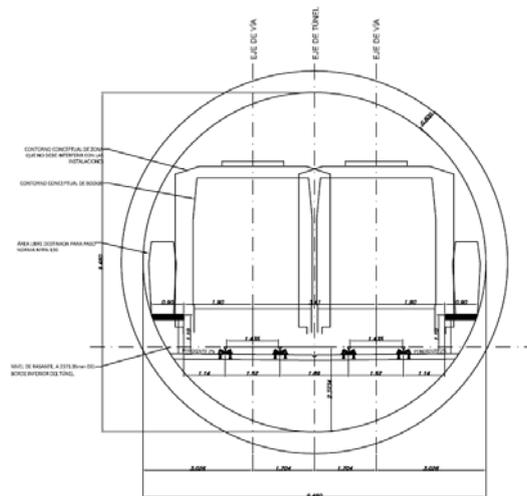


Figura 29. Sección túnel

Los puntos singulares a destacar en los tramos de interestación existentes en trayecto subterráneo consisten en tres salidas de emergencia identificadas como:

- Registro Civil (Tramo Normal – Alcalde, entre PK 9+668 y PK 9+680). La profundidad de esta salida respecto al nivel de calle equivale a 25 metros.
- Jardín de la Reforma (Tramo Alcalde – Catedral, entre PK 10+851 y PK 10+863). La profundidad de esta salida respecto al nivel de calle equivale a 29,6 metros.
- Revolución Poniente (Tramo Independencia Sur – Plaza de la Bandera, entre PK 12+596 y PK 12+608). La profundidad de esta salida respecto al nivel de calle equivale a 33 metros.

La conexión con el pozo de evacuación se realiza mediante un entroncamiento de 5 metros de longitud y 2 metros de ancho, con una altura libre para el paso de personas de 2,50 metros. A continuación se muestran varias secciones arquitectónicas de las salidas de emergencia:

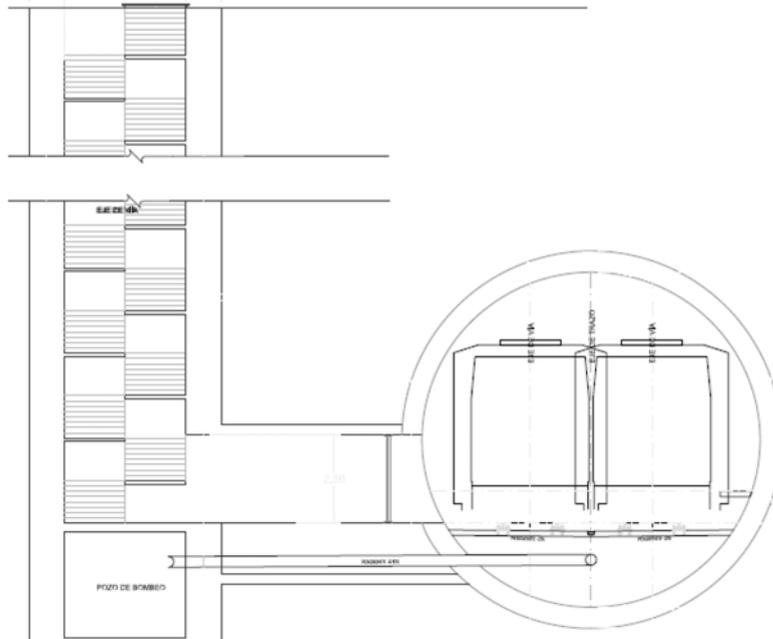


Figura 30. Sección salida de emergencia

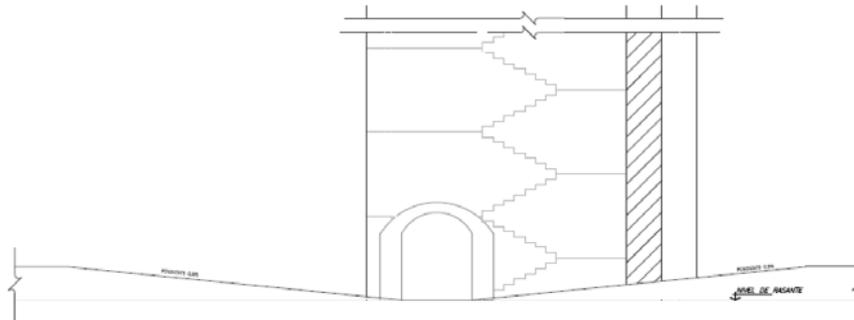


Figura 31. Detalle de puerta de acceso para salida de emergencia

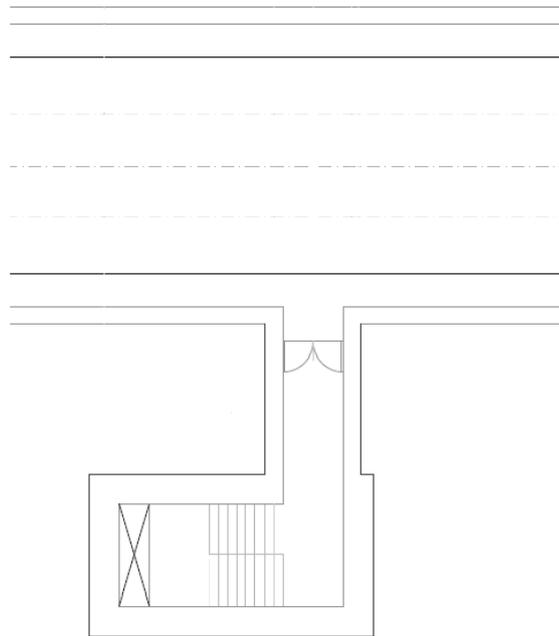


Figura 32. Vista en planta de salida de emergencia

Para información relativa al perfil longitudinal del tramo en túnel, ver Apéndice 1. Perfil longitudinal.

2.1.1.3. Zona de transición túnel-viaducto

Existen dos zonas dentro del trazado de la línea identificadas como zonas de transición entre el tramo en viaducto y el tramo en túnel. El paso de viaducto a túnel se hace efectivo en el PK 8+600, en el tramo interestación correspondiente a Federalismo – Normal, mientras que el caso inverso sucede en el PK 14+000, correspondiente al tramo interestación Plaza de la Bandera – Plaza Revolución.

Durante este proceso, se observa una modificación de la sección del tramo en viaducto, estrechándose hasta una anchura total de entre 8'74 m y 9'26 m según muestra la figura siguiente:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

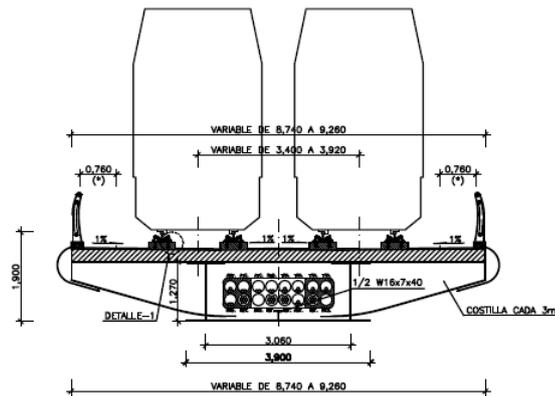


Figura 33. Sección en zona de transición

Durante la transición superficie-túnel y túnel –superficie, se adquieren pendientes o rampas (respectivamente) de hasta el 5%, que serán fuente de estudio y deberán ser tomadas en consideración para garantizar el mantenimiento de la cobertura en los tramos de transición.

En la siguiente figura puede observarse la rampa existente en el tramo Federalismo – Normal:

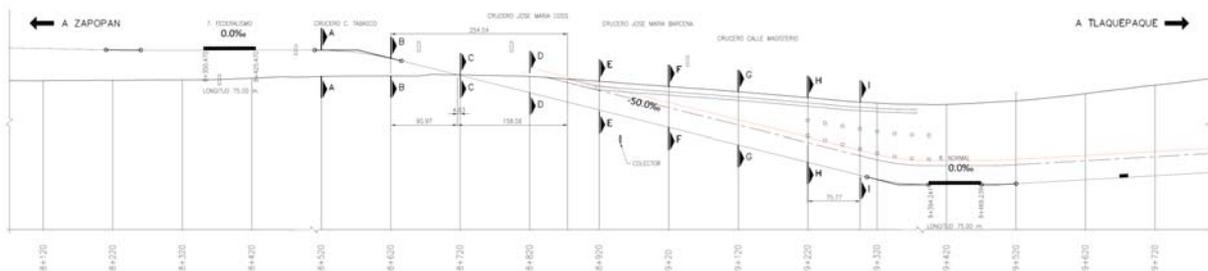


Figura 34. Transición Federalismo - Normal

En la siguiente figura puede observarse la rampa existente en el tramo Plaza de la Bandera – Plaza Revolución:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

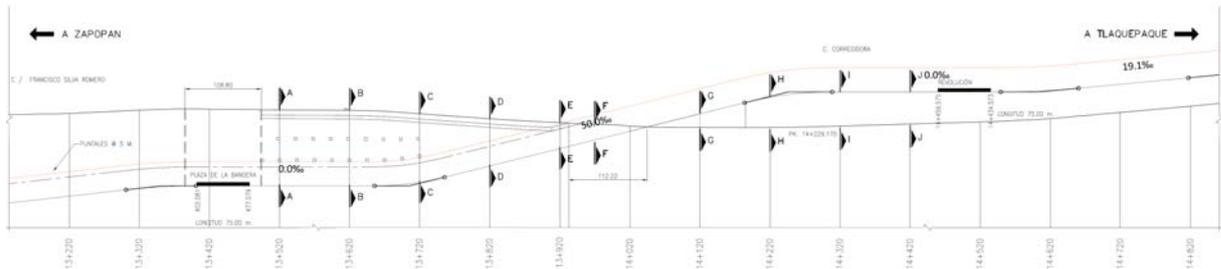


Figura 35. Transición Plaza de la Bandera – Plaza Revolución

2.1.2. Análisis de emplazamientos

El conjunto de emplazamientos del Corredor Diagonal del tren ligero de la ciudad de Guadalajara (CDG), presenta cuatro tipologías diferenciables:

- Estación tipo Elevada o en Viaducto.
- Estación tipo Subterránea.
- Talleres y depósitos.
- Centro de control.

2.1.2.1. Estación tipo Elevada o en Viaducto

Las estaciones elevadas, o de tipo viaducto, cuentan con una serie de dependencias comunes pero que varían levemente su disposición con el objetivo de adaptarse al entorno de cada estación.

2.1.2.1.1 Nivel locales técnicos

Una característica común a todas ellas, es que las áreas técnicas y salas de máquinas más significativas se encuentran enterradas bajo la sombra del viaducto, removiendo así los locales técnicos de cada estación del área visible. El acceso a estas dependencias se realiza a través de calle. La planta típica de este tipo de dependencia, a nivel locales técnicos, sería la siguiente:

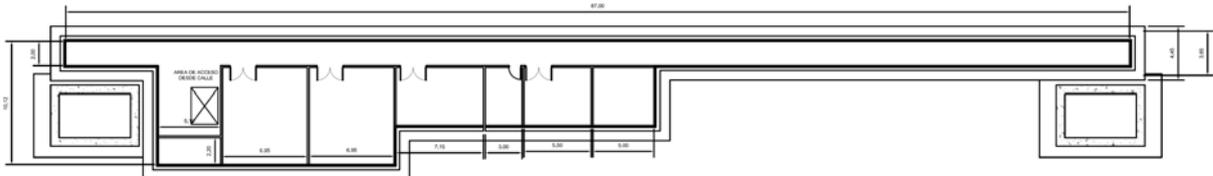


Figura 36. Planta nivel locales técnicos para estación tipo elevada

Cabe destacar que el espacio reservado para las subestaciones de tracción será intermitente debido a que no en todas las estaciones es requerida. El tamaño de las salas reservadas dependerá de cada estación, pero se tomarán como referencia una longitud de 87 m, una altura de 4.65 m y una anchura máxima de 10.12 m.

2.1.2.1.2 Nivel andén

En el nivel de andén se encuentran las pasarelas que a su vez sirven de vestíbulo de estación, albergan la llegada de usuarios desde la calle y filtran la gente que entra y sale de la estación. Contiene las barreras o “torniquetes” de control de pago, las boleterías y el andén que permite abordar el tren. El nivel de andén presenta variaciones en su planta en función de la estación pero mantiene su distancia respecto al nivel de calle en toda la línea.

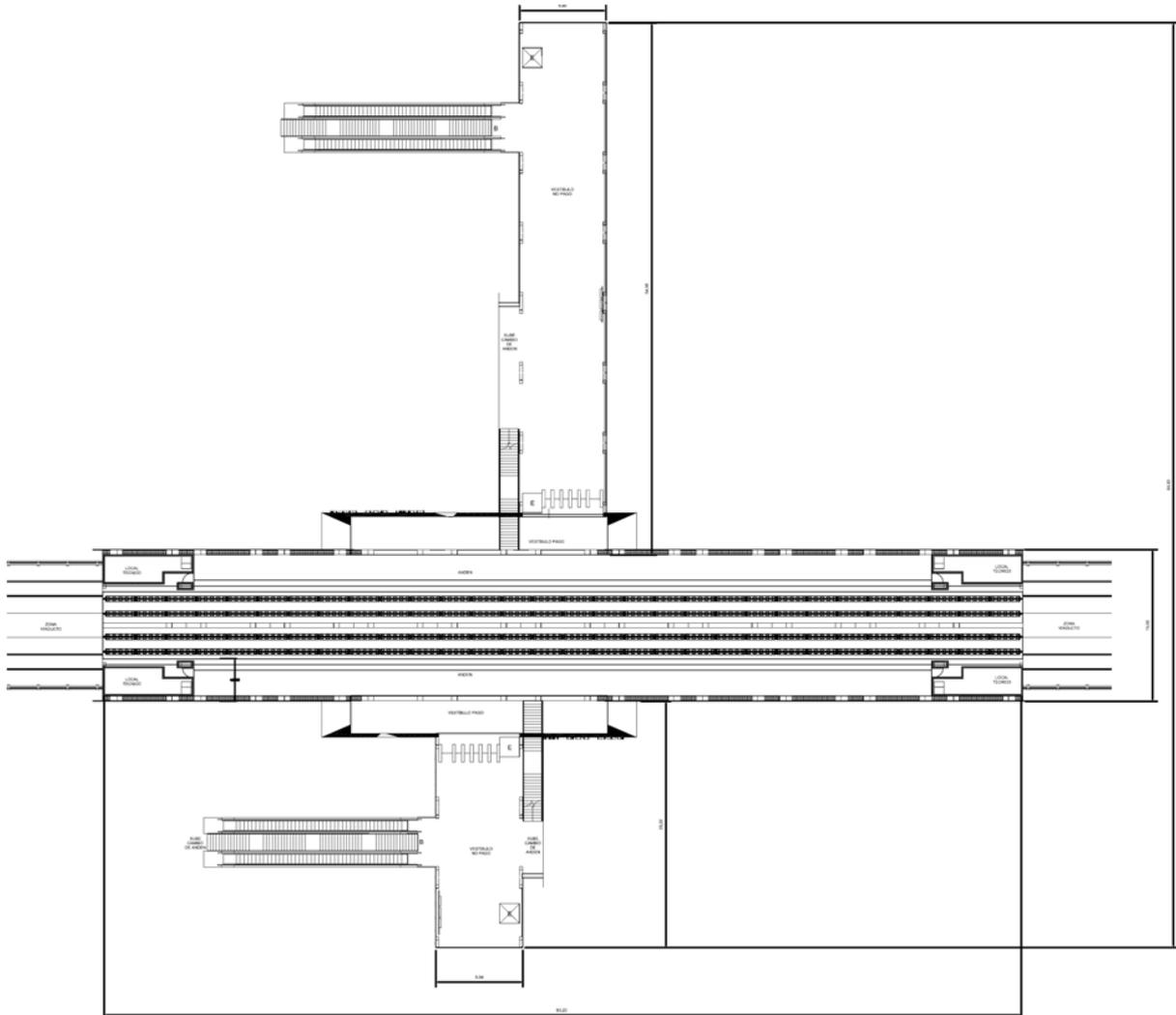


Figura 37. Planta nivel de andén para estación tipo elevada

El tamaño de la zona de andén a cubrir puede aproximarse a 100 m, con una anchura de 4.50 m por andén (distancia hasta la zona de vías) y una altura de 6.03 m. La zona de vestíbulo de paso a nivel de andén abarca una anchura total (contando la zona de vías) de aproximadamente 95 m.

2.1.2.1.3 Nivel vestíbulo

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

El nivel de vestíbulo tiene la función principal de intercambiar el sentido dentro de la estación además de contener la cabina del operador de estación, logrando una visibilidad completa a ambos sentidos del tren.

Se han encontrado tres tipologías para el nivel de vestíbulo:

- Superior: el nivel de vestíbulo se encuentra por encima del nivel de andén.
- Inferior: el nivel de vestíbulo se encuentra por debajo del nivel de andén y por encima del nivel de calle.

El nivel vestíbulo se usa también como paso peatonal permitiendo cruzar el viaducto de forma libre (sin pasar por las zonas de control de pago).

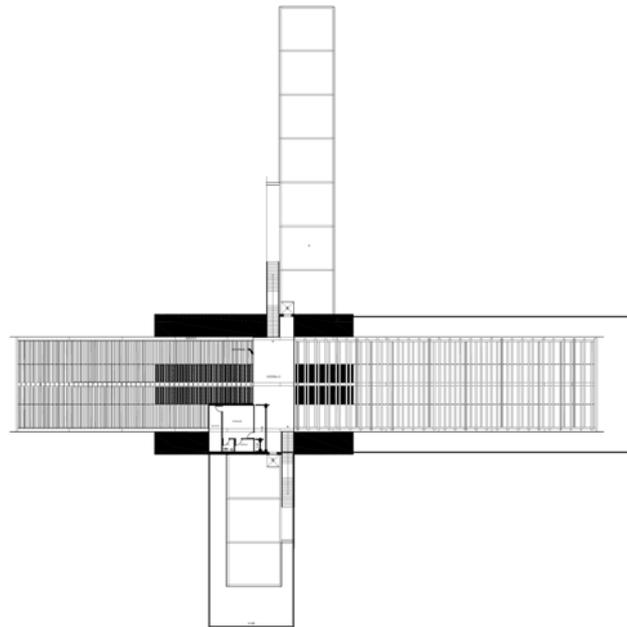


Figura 38. Planta nivel de vestíbulo para estación tipo elevada

Se tomarán como medidas base para modelar un vestíbulo tipo, una longitud de 32 m, una anchura de 23 m y una altura de 4.75 m.

2.1.2.1.4 Nivel calle

En la estación Central Camionera aparece un nuevo nivel, llamado nivel calle ya que la caja de la estación se asienta en este caso sobre la rasante, en vez de quedar flotando como en las demás estaciones. En este nivel también hay alguna dependencia a la que habrá que dar cobertura.

2.1.2.1.5 Accesos

Se ha observado que el número de accesos con que cuentan las estaciones dispuestas a lo largo de la línea varía según si éste es doble o bien único.

2.1.2.1.6 Vista general

En la figura siguiente pueden observarse, de forma acotada, como se distribuyen los distintos niveles que conforman una estación tipo viaducto:

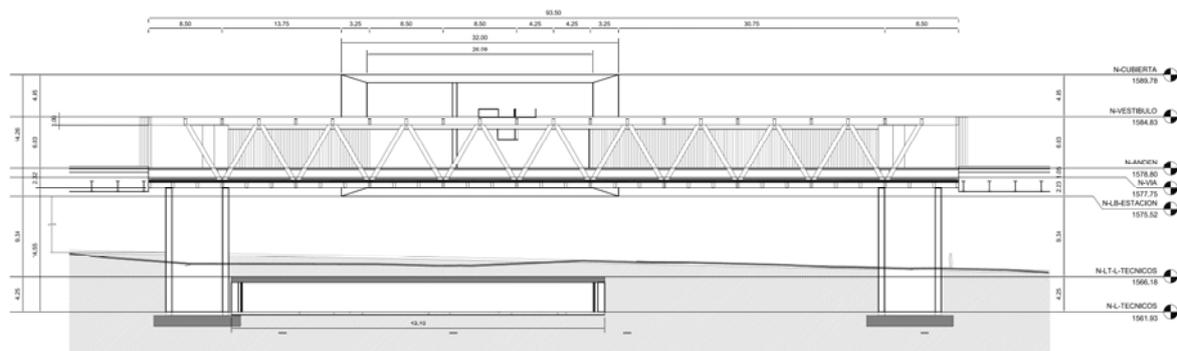


Figura 39. Sección lateral acotada de Estación tipo viaducto

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

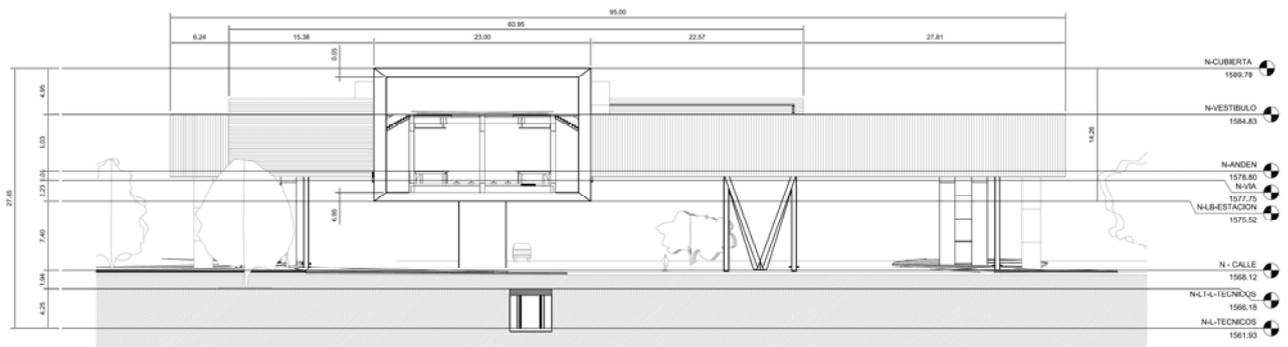


Figura 40. Sección frontal acotada de Estación tipo viaducto

A modo resumen, en la siguiente tabla, podemos encontrar los valores recogidos para cada uno de los niveles de estación tipo viaducto:

Nivel	Altura (m)	Longitud (m)	Anchura (m)
Vestíbulo	23	32	4,75
Andén	6,03	100	95
Locales Técnicos	4,65	87	10,12

Tabla 2. Resumen dimensiones en estaciones elevadas

Se establece, como valor general, que la zona correspondiente a la cubierta de las estaciones tipo viaducto se encuentra a una altura respecto al nivel de la zona de viaducto equivalente a 14.25 m. El nivel de viaducto respecto al nivel de calle varía a lo largo de todo el trazado. En la tabla siguiente pueden observarse los valores de altura media de viaducto respecto al nivel de calle:

	Nombre	Altura media Nivel Viaducto (m)
1	Periférico Zapopan	15,67
2	Belenes	11,58
3	Mercado del Mar	9,648
4	Basílica	10,06
5	Plaza Patria	8,03
6	Circunvalación	15,715

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

	Nombre	Altura media Nivel Viaducto (m)
7	Federalismo	8,365
13	Cucei U. de G.	8,755
14	Plaza Revolución	8,07
15	Río Nilo	8,417
16	Tlaquepaque Centro	9,864
17	Nodo Revolución	8,127
18	Central Camionera	12,818

Tabla 3. Altura del viaducto en estaciones elevadas

Del mismo modo, se establece que la altura libre en el nivel locales técnicos será de aproximadamente 4 m y 0,6 de losa de tapa.

2.1.2.1.7 Datos globales

Tras analizar el total de 13 estaciones elevadas o en viaducto que componen la línea de metro ligero de la ciudad de Guadalajara, se ha llegado a la siguiente tabla resumen donde podemos caracterizar las estaciones elevadas según la disposición del nivel vestíbulo y pasos peatonales:

	Nombre	Tipología	Vestíbulo		Paso peatonal		Acceso	
			Superior	Inferior	Superior	Inferior	Doble	Único
1	Periférico Zapopan	Elevada (Terminal)		x		x	x	
2	Belenes	Elevada		x		x	x	
3	Mercado del Mar	Elevada	x		x		x	
4	Basílica	Elevada	x		x		x	
5	Plaza Patria	Elevada	x		x		x	
6	Circunvalación	Elevada		x		x	x	
7	Federalismo	Elevada	x		x		x	
13	Cucei U. de G.	Elevada	x		x		x	
14	Plaza Revolución	Elevada	x		x		x	
15	Río Nilo	Elevada	x		x		x	
16	Tlaquepaque	Elevada	x		x		x	

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

	Nombre	Tipología	Vestíbulo		Paso peatonal		Acceso	
			Superior	Inferior	Superior	Inferior	Doble	Único
	Centro							
17	Nodo Revolución	Elevada	x		x		x	
18	Central Camionera	Elevada (Terminal)		x				x

Tabla 4. Resumen de estaciones elevadas

A modo resumen, en la siguiente tabla podemos encontrar un resumen de las áreas dedicadas a locales técnicos para estaciones elevadas:

Sala técnica	Nivel	Superficie reservada
IT	Locales Técnicos	50 a 66 m ²
Subestación de Tracción		146,78 m ²
SAF 1		60 m ²
SAF 2		60 m ²
SAI		33,96 m ²
Cuarto de Tableros 1		30 m ²
Telecomunicaciones Principal		40 m ²
PCI		67 m ²
Local de señalización		72 m ²
Telecomunicaciones Secundario 1		Andén
Telecomunicaciones Secundario 1	11,52 m ²	
Cuarto de Tableros 2	11,52 m ²	

Tabla 5. Resumen superficie salas técnicas

Y la disposición de las mismas en cada una de las estaciones identificadas como tipo elevado:

	Periférico Zapopan	Belenes	Mercado del Mar	Basílica	Plaza Patria	Circunvalación	Federalismo	CUCEI U. de G.	Plaza Revolución	Río Nilo	Tlaquepaque Centro	Nodo Revolución	Central Camionera
IT / IAT	x		x		x		x	x	x		x		x
Subestación de tracción		x		x		x				x			

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

	Periférico Zapopan	Belenes	Mercado del Mar	Basílica	Plaza Patria	Circunvalación	Federalismo	CUCEI U. de G.	Plaza Revolución	Río Nilo	Tlaquepaque Centro	Nodo Revolución	Central Camionera
SAF1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SAF2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SAI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cuarto Tableros 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cuarto Tableros 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Telecom Principal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Telecom Secundaria 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Telecom Secundaria 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PCI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Señalización					X					X			X

Tabla 6. Distribución salas técnicas en estaciones elevadas

2.1.2.2. Estación tipo Subterránea

Las estaciones tipo subterráneas, cuentan con una estructura y diseño comunes que no varían entre estaciones. La única variación existente entre las estaciones de este tipo corresponde al nivel de acceso a las mismas.

2.1.2.2.1 Nivel andén

Contiene locales técnicos a los fondos de cada lado de la estación. Así también las salas de ventilación en ambos lados.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

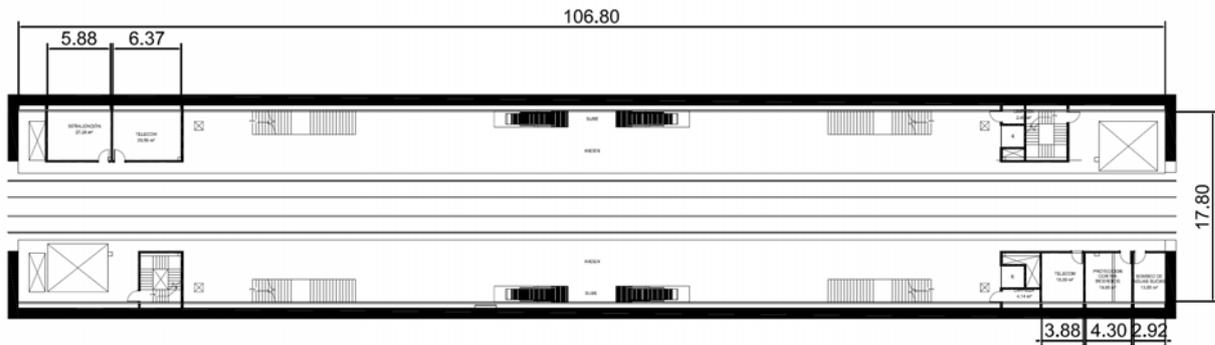


Figura 41. Planta nivel de andén para estación tipo subterránea

En la siguiente figura puede observarse un detalle de la sección correspondiente a una estación tipo túnel genérica a nivel de andén:

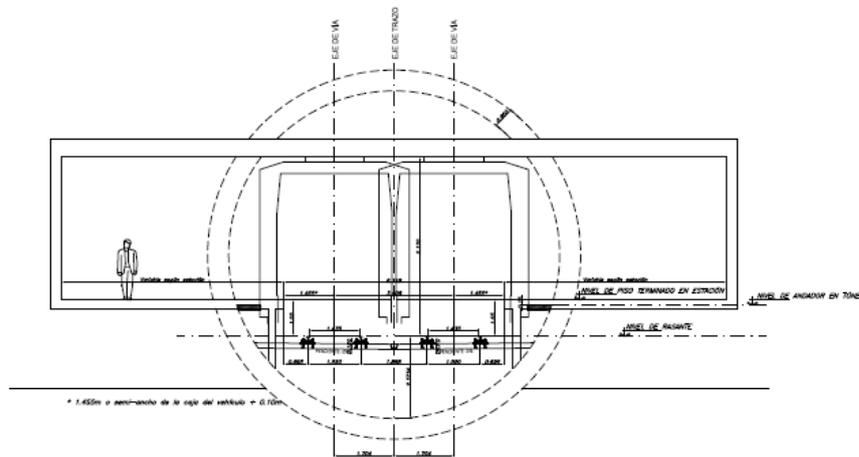


Figura 42. Sección nivel de andén para estación tipo subterránea

Se tomarán como medidas base para modelar una zona de andén tipo, una longitud de 107 m, una anchura de 18 m y una altura de 4.65 m.

2.1.2.2.2 Nivel distribuidor

A través de este nivel se distribuyen los usuarios hacia el sentido deseado. También concentra locales técnicos para funcionamiento de la estación.



Figura 43. Planta nivel de distribuidor para estación tipo subterránea

Se tomarán como medidas base para modelar un distribuidor tipo, una longitud de 107 m, una anchura de 18 m y una altura de 4.6 m.

2.1.2.2.3 Nivel intermedio

Este nivel se encarga de recibir y dividir a los usuarios que vienen del nivel de vestíbulo, así también contiene locales técnicos para el funcionamiento de la estación.

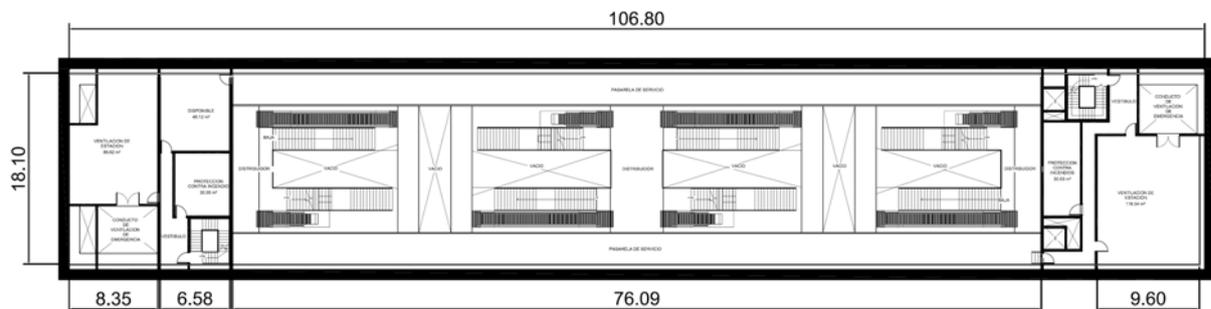


Figura 44. Planta nivel intermedio para estación tipo subterránea

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Se tomarán como medidas base para modelar una zona intermedia tipo, una longitud de 107 m, una anchura de 18 m y una altura de 4.75 m.

2.1.2.2.4 Nivel vestíbulo

Este nivel funciona como contenedor de usuarios y cuenta con locales técnicos a los extremos.

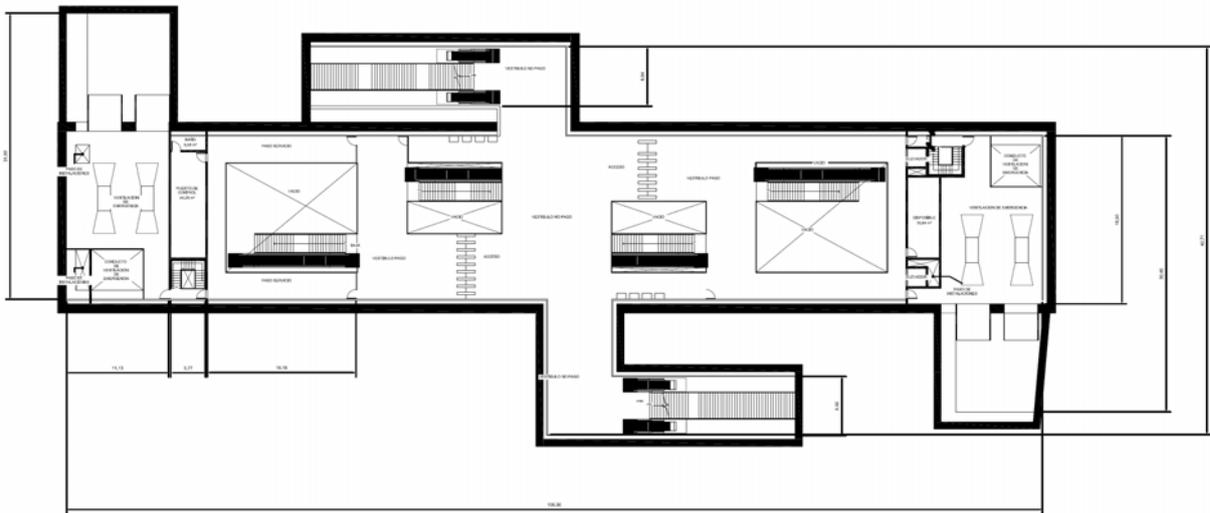


Figura 45. Planta nivel vestíbulo para estación tipo subterránea

Se tomarán como medidas base para modelar un vestíbulo tipo, una longitud de 107 m, una anchura máxima de 48 m y mínima de 18.5 m así como una altura de 3.95 m.

2.1.2.2.5 Nivel general

En la figura siguiente pueden observarse, de forma acotada, como se distribuyen los distintos niveles que conforman una estación tipo subterránea:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

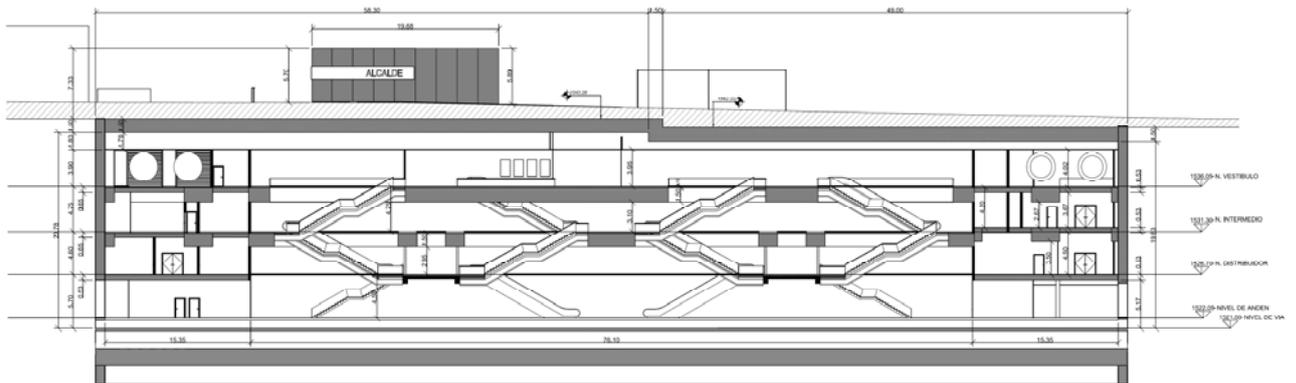


Figura 46. Sección lateral acotada de Estación tipo subterránea

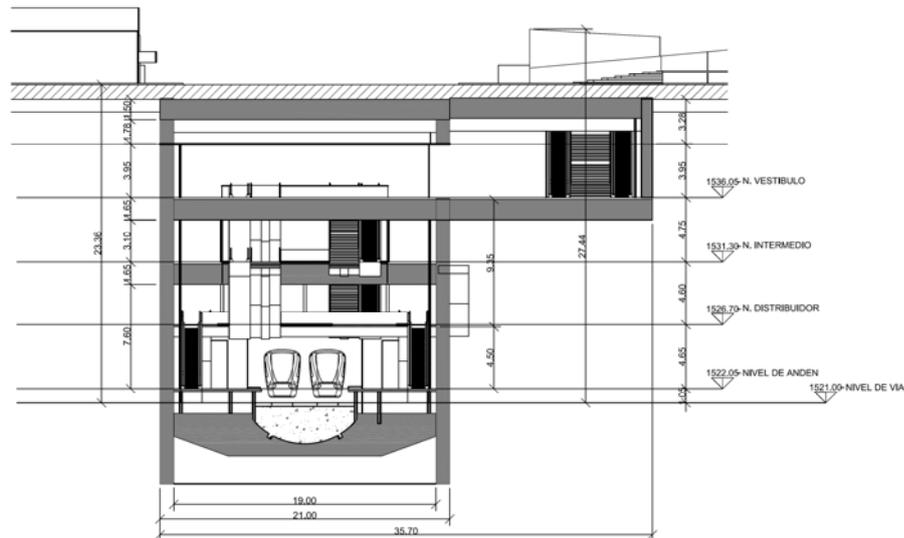


Figura 47. Sección frontal acotada de Estación tipo subterránea

A modo resumen, en la siguiente tabla, podemos encontrar los valores recogidos para cada uno de los niveles de estación tipo viaducto:

Nivel	Altura (m)	Longitud (m)	Anchura (m)
Andén	4.65	107	18
Distribuidor	4.6	107	18
Intermedio	4.75	107	18
Vestíbulo	3.95	107	48 (18.5)

Tabla 7. Resumen dimensiones en estaciones subterráneas

El nivel de las estaciones subterráneas respecto al nivel de calle varía a lo largo de todo el trazado. En la tabla siguiente pueden observarse los valores de altura de estación media subterránea respecto al nivel de calle (valores negativos):

	Nombre	Altura media nivel estación
8	Normal	-23,23
SE	Registro Civil	-25
9	Alcalde	-23,315
SE	Jardín de la Reforma	-29.6
10	Catedral	-23,55
11	Independencia Sur	-23,0435
SE	Revolución Poniente	-33
12	Plaza Bandera	-22,0525

Tabla 8. Altura media nivel de estaciones subterráneas

2.1.2.2.6 Datos globales

Tras analizar el total de 5 estaciones subterráneas que componen la línea de metro ligero, se ha observado que la distribución de espacio para las distintas salas técnicas es específica para cada una de las estaciones. En la siguiente tabla resumen se indica la superficie reservada para cada estación:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Sala técnica	Nivel	Estación				
		Normal	Alcalde	Catedral	Independencia	Plaza Bandera
Telecom Principal	Andén / Vestíbulo	36,19 m ²	37,12 m ²	30,42 m ²	23,1 m ²	36,19 m ²
Telecom Secundario 1	Andén	18,64 m ²	18 m ²	14,82 m ²	22,87 m ²	18 m ²
PCI-1	Andén	23,20 m ²	19,95 m ²	14,82 m ²	22,02 m ²	19,95 m ²
Bombeo de Aguas Sucias	Andén	14,07 m ²	13,55 m ²	10,14 m ²	22,02 m ²	13,52 m ²
Ventilación de Estación	Distribución	113,27 m ²	53,42 m ²	90,26 m ²	124,15 m ²	85,89 m ²
SAF 1	Distribución	53,42 m ²	53,42 m ²	42,05 m ²	50 m ²	53,42 m ²
SAF 2	Distribución	53,42 m ²	27,15 m ²	42,05 m ²	50 m ²	53,42 m ²
SAI	Distribución	27,14 m ²	18,77 m ²	33,04 m ²	37,72 m ²	27,15 m ²
Cuarto de Tableros	Distribución	18,77 m ²	15,7 m ²	15,96 m ²	13,78 m ²	18,77 m ²
Local de señalización	Distribución / Intermedio	48,12 m ²	-	-	-	48,12 m ²
Subestación de tracción	Distribución	-	208,32 m ²	-	-	177,03 m ²
Cuarto de seccionadores	Distribución	-	23,95 m ²	-	-	-
PCI-2	Intermedio	30,95 m ²	85,89 m ²	30,80 m ²	-	30,95 m ²
Ventilación de Estación	Intermedio	85,89 m ²	30,63 m ²	67,51 m ²	124,15 m ²	116,54 m ²
PCI-3	Intermedio	-	116,54 m ²	-	-	30,63 m ²
Sala Ventilación Mayor 1	Vestíbulo	197,14 m ²	206,44 m ²	177,65 m ²	195,29 m ²	199,52 m ²
Local Jefe de Estación	Vestíbulo	25 m ²	25 m ²	31,35 m ²	14 m ²	25 m ²
Telecom Secundario 2	Vestíbulo	19 m ²	19 m ²	18,55 m ²	17,33 m ²	18,55 m ²
Sala Ventilación Mayor 2	Vestíbulo	211,82 m ²	198,46 m ²	95,63 m ²	204,44 m ²	198,05 m ²
Sala Ventilación Mayor 3	Vestíbulo	-	-	95,63 m ²	-	-
Telecom Secundario 3	Vestíbulo	-	-	-	18,45 m ²	-

Tabla 9. Resumen superficie salas técnicas

2.1.2.3. Taller y depósito

La zona de taller y depósito se encuentra ubicada entre los puntos PK 0+347 y PK 0+388, situada en la cabecera del andén de la estación Periférico Zapopan. En el momento de la realización del presente estudio aún está en fase de diseño por lo que no se dispone de información adicional sobre este emplazamiento.

2.1.2.4. Centro de Control

En el momento de la realización del presente estudio aún está en fase de decisión la ubicación del Centro de Control, así como su diseño, por lo que no se dispone de información sobre este emplazamiento.

2.1.3. Puntos singulares

Después de realizar el estudio del trazado de la nueva línea de metro ligero para la ciudad de Guadalajara, se concluye que los puntos singulares que deben considerarse a lo largo del trazado son los mostrados en la siguiente tabla:

Nombre	Tipología	PK inicio	PK fin	Tramo	Trazado
Curva	Curva cerrada	3+310	3+464	Mercado del Mar – Basílica	Viaducto
Federalismo	Enlace Línea 1	8+350	8+425	---	Viaducto
Transición Viaducto - Túnel	Transición	8+600	8+600	Federalismo – Normal	Transición
Registro Civil	Salida de emergencia	9+668	9+680	Normal – Alcalde	Túnel
Jardín de la Reforma	Salida de emergencia	10+851	10+863	Alcalde – Catedral	Túnel
Revolución Poniente	Salida de emergencia	12+596	12+608	Independencia Sur – Plaza de la Bandera	Túnel
Transición Túnel - Viaducto	Transición	14+000	14+000	Plaza de la Bandera – Cucei U. de G.	Transición

Tabla 10. Resumen puntos singulares de la Línea

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para enmarcar los puntos se ha realizado una tabla resumen con la distancia entre el punto medio del punto singular y el punto medio de sus estaciones vecinas (a efectos de cálculo, se han excluido del listado la curvatura del trazado y el enlace con línea 1):

Tramo	Trazado	Distancia (m)
Federalismo - Transición Viaducto Túnel	Interfaz Viaducto - Túnel	212,5
Transición Viaducto Túnel - Normal	Interfaz Viaducto - Túnel	831,5
Normal - SE Registro Civil	Túnel	270,5
SE Registro Civil - Alcalde	Túnel	726,5
Alcalde – SE Jardín de la Reforma	Túnel	456,5
SE Jardín de la Reforma – Catedral	Túnel	457,5
Independencia Sur - SE Revolución Poniente	Túnel	635,5
SE Revolución Poniente - Plaza de la Bandera	Túnel	837,5
Plaza de la Bandera - Transición Túnel Viaducto	Interfaz Viaducto - Túnel	560,5
Transición Túnel Viaducto - Cucei U. de G.	Interfaz Viaducto - Túnel	496,5

Tabla 11. Relación de distancias de los puntos singulares

Se destaca como parte fundamental y característica a tener en cuenta para garantizar la cobertura de los sistemas de radio comunicaciones de voz y banda ancha en todo el trazado de la línea, los gradientes de la misma en todos sus tramos.

En la siguiente tabla pueden observarse los desniveles localizados en el trazado de la línea de metro ligero de Guadalajara, así como la distancia entre tramos:

Tramo	Trazado	Longitud (m)	Gradiente				
			Valor %	Rampa		Pendiente	
				PK Inicio	PK Fin	PK Inicio	PK Fin
Periférico Zapopan – Belenes	Viaducto	806	4,83			0+920	1+151
Periférico Zapopan – Belenes	Viaducto		5			1+151	1+426
Belenes – Mercado del Mar	Viaducto	1549,00	1,27			1+603	2+880
Belenes – Mercado del Mar	Viaducto		1,29			2+880	3+036
Mercado del Mar – Basílica	Viaducto	1399	0,28			3+151	4+211

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Tramo	Trazado	Longitud (m)	Gradiente				
			Valor %	Rampa		Pendiente	
				PK Inicio	PK Fin	PK Inicio	PK Fin
Mercado del Mar – Basílica	Viaducto		1,82			4+211	4+434
Basílica – Plaza Patria	Viaducto	1341	5			4+566	4+884
Basílica – Plaza Patria	Viaducto		3,46			4+884	5+471
Plaza Patria – Circunvalación	Viaducto	1148	5	6+604	6+897		
Circunvalación - Federalismo	Viaducto	1390	0,39			7+170	8+235
Federalismo - Normal	Interfaz Viaducto - Túnel	1037	5			8+572	9+349
Normal - Alcalde	Túnel	997	1,16	9+494	10+312		
Alcalde - Catedral	Túnel	914	1,34			10+489	10+859
Catedral - Independencia Sur	Túnel	652	1,65			11+402	11+878
Independencia sur - Plaza de la Bandera	Túnel	1473	0,05			12+054	12+647
Independencia sur - Plaza de la Bandera	Túnel		2,26	12+647	13+350		
Plaza de la Bandera - Cucei U. de G.	Interfaz Túnel - Viaducto	1057	5	13+705	14+246		
Cucei U.de G. – Plaza Revolución	Viaducto	1727	1,91	14+604	14+957		
Cucei U.de G. – Plaza Revolución	Viaducto		2,73	14+957	15+675		
Plaza Revolución – Río Nilo	Viaducto	970	1,1			16+446	16+798
Plaza Revolución – Río Nilo	Viaducto		0,65	16+798	17+128		
Río Nilo - Tlaquepaque Centro	Viaducto	904	3,94	17+635	18+028		
Tlaquepaque Centro – Nodo Revolución	Viaducto	713	2,3	18+153	18+414		
Tlaquepaque Centro – Nodo Revolución	Viaducto		1,75	18+414	18+743		
Nodo Revolución – Central Camionera	Viaducto	1627	5	18+915	19+092		
Nodo Revolución – Central Camionera	Viaducto		2,04			19+092	19+485

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Tramo	Trazado	Longitud (m)	Gradiente				
			Valor %	Rampa		Pendiente	
				PK Inicio	PK Fin	PK Inicio	PK Fin
Nodo Revolución – Central Camionera	Viaducto		0,33	19+485	20+06 4		
Nodo Revolución – Central Camionera	Viaducto		5	20+064	20+24 7		

Tabla 12. Resumen gradientes

3. REQUERIMIENTOS DE COBERTURA Y CRITERIOS DE DISEÑO

3.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).

3.1.1. Estudio de frecuencias disponibles en México

El CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) de México, muestra la forma en que se utiliza el espectro radioeléctrico en México para proporcionar una gran variedad de servicios de radiocomunicaciones. Para una banda de frecuencias atribuida a un servicio de radiocomunicaciones en particular, puede existir una diversidad de aplicaciones específicas destinadas a fines de telecomunicaciones.

En este entorno regulado de las frecuencias disponibles dentro del espectro radioeléctrico, existen unas limitaciones en cuanto a la potencia radiada y otras condiciones que serán de obligado cumplimiento para permitir la coexistencia de todos los sistemas que puedan utilizar la misma banda de frecuencia o bien, bandas adyacentes que puedan ser susceptibles de provocar un solapamiento de frecuencias.

Así pues, como paso previo necesario para el diseño de los sistemas de radiocomunicaciones resulta indispensable analizar el marco actual de distribución del espectro radioeléctrico en México. Este análisis servirá para identificar las bandas frecuenciales reservadas dentro del ámbito de México, así como también en la región que corresponde a su frontera con Estados Unidos, para los diferentes sistemas de radiocomunicaciones.

Para llevar a cabo este análisis se han analizado las Notas Nacionales referidas al CNAF de México (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias).

A continuación, se analizarán las bandas frecuenciales previstas para servicios de comunicaciones de voz y datos de baja capacidad, *trunkings* radioeléctricos y sistemas de comunicación personal.

3.1.1.1. Bandas frecuenciales disponibles para Servicios de Radiocomunicaciones fijos y móviles de baja capacidad

Del análisis de las Notas Nacionales relativas al CNAF de México es posible extraer las conclusiones que se presentan a continuación, relativas al despliegue de redes para servicios de Radiocomunicaciones fijos y móviles de baja capacidad:

- **MEX19:** La banda 1 850 - 2 000 kHz, la utilizan principalmente las estaciones radiotelefónicas del servicio fijo y móvil.
- **MEX43:** La banda de 72 - 73 MHz está atribuida al servicio fijo y móvil terrestre, para aplicaciones de corto alcance (menos de 100 metros), entre las cuales se encuentran las siguientes: control de dispositivos de trabajo, ayudas manuales, apuntadores electrónicos, control de dispositivos para entretenimiento y en equipos de uso industrial. Véase el Acuerdo por el que se atribuye a los servicios fijo y móvil terrestres la banda de frecuencias de 72 a 73 MHz, para la operación de equipos transmisores de bajas potencias, para actuar dispositivos como los indicados en el Considerando Primero del presente Acuerdo, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de octubre de 1982.
- **MEX45:** Las bandas 74.6 - 74.8 MHz y 75.2 - 75.4 MHz se utilizan para los servicios fijos y móviles de corto alcance (menos de 100 metros). Su aplicación es para transmisión de información dentro de edificios, plantas industriales, etc. Estas bandas por ser guardas para radionavegación aeronáutica, no deberán utilizarse en la cercanía de los aeropuertos.
- **MEX47:** En la banda 75.4 - 76 MHz operan sistemas radiotelefónicos fijo y móvil, con las limitaciones pertinentes para evitar interferencias perjudiciales a las estaciones de televisión de los canales 5 y 6 en VHF.
- **MEX56:** Las bandas de 148 - 149.9 MHz y 150.05 - 174 MHz están destinadas a los servicios de radiocomunicación fija y móvil en todo el país. En éstas, conjuntamente con la banda 450 - 470 MHz, se tiene el soporte de las radiocomunicaciones privadas de entidades gubernamentales, empresas paraestatales y empresas privadas, a través de estaciones fijas de base, móviles y

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

portátiles formando redes de gran alcance mediante repetidores situados en cerros o grandes torres. La frecuencia de 156.8 MHz se utiliza internacionalmente para propósitos de socorro y seguridad en radiotelefonía, además, puede ser utilizada por las estaciones de aeronave con fines de seguridad exclusivamente. Se prohíbe toda emisión capaz de causar interferencia perjudicial a las comunicaciones de socorro, alarma, urgencia o seguridad a la frecuencia 156.8 MHz.

- **MEX65:** La banda de frecuencias 220 - 222 MHz se ha destinado para el servicio móvil terrestre mediante la aplicación de nuevas tecnologías de radiocanales de banda angosta.
- **MEX66:** El 16 de junio de 1994, se realizó en Williamsburg, Virginia, el Protocolo relativo a la adjudicación y uso de los canales en la banda de 220 - 222 MHz para los Servicios Móviles Terrestres a lo largo de la frontera común México – Estados Unidos. En este documento se establece un plan común para el uso equitativo de las bandas dentro de los 120 Km a cada lado de la frontera (Estados Unidos Mexicanos – Estados Unidos de América); asimismo, se establecen los criterios técnicos para regular el uso de los canales.
- **MEX67:** Se licitó la banda 220 - 222 MHz para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento y explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para la prestación de servicios de radiocomunicación móvil terrestre, cuya convocatoria fue publicada el 19 de agosto de 1998.
- **MEX71:** El 27 de julio de 2005 se firmó el Protocolo entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los Estados Unidos Mexicanos y el Department of State de los Estados Unidos de América relativo a la Adjudicación y Uso de la Banda de 380-399.9 MHz para los Servicios Fijo y Móvil Terrenal Excepto Radiodifusión a lo Largo de la Frontera Común.

El 17 de julio de 2006 se firmaron las Enmiendas al Protocolo entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los Estados Unidos Mexicanos y el Department of State de los Estados Unidos de América relativo a la Adjudicación y Uso de la Banda de 380-399.9 MHz para los Servicios Fijo y Móvil Terrenal Excepto Radiodifusión a lo Largo de la Frontera Común firmado en la Ciudad de México el 27 de julio de 2005.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **MEX76:** El servicio fijo telefónico rural mediante sistemas analógicos de Radio Acceso Múltiple (RAM) a nivel nacional, cuenta con 47 pares de frecuencias en las bandas de 406.100 - 407.300 MHz y 416.100 - 417.300 MHz, con emisiones de 16 kHz en cada frecuencia. Estos sistemas se han ido despejando gradualmente dentro de un plazo que concluyó el primer semestre de 2009 para pasar a operar en las sub-bandas 453.000 – 457.475 MHz / 463.000 – 467.475 MHz (Ver publicación en el Diario Oficial de la Federación del Acuerdo por el cual se atribuye la banda de 406.1 a 430 MHz, para la operación de sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos, en sus modalidades monocanal, multiacceso y multicanal con capacidades de 5, 12, 24 o hasta 72 canales telefónicos por canal radioeléctrico, de fecha 4 de julio de 1985) .
- **MEX77:** El 27 de julio de 2005 se firmó el Protocolo entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los Estados Unidos Mexicanos y el Department of State de los Estados Unidos de América relativo a la Adjudicación y Uso de la Banda de 406.1-420 MHz para los Servicios Fijo y Móvil a lo Largo de la Frontera Común.
- **MEX78A:** La banda 410 - 430 MHz es apropiada para la operación de sistema móviles troncalizados digitales.
- **MEX79A:** En mayo de 2005, el Comité Consultivo Permanente II: Radiocomunicaciones incluyendo Radiodifusión, de la CITELE, adoptó la recomendación CCP.II/REC. 10 (V-05): "Uso de las bandas de 410 - 430 MHz y 450 - 470 MHz para servicios fijos y móviles para comunicaciones digitales, particularmente en áreas de densidad demográfica baja".
- **MEX82:** Se licitaron las bandas 440 - 450 MHz y 485 - 495 MHz para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil y su convocatoria fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 9 de junio de 1997. Finalmente, los títulos de concesión no fueron otorgados.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **MEX85:** La banda de 450 - 470 MHz es extensamente utilizada en ciudades y regiones de todo el país. En esta banda, en conjunto con la de 148 - 174 MHz descansa el soporte nacional de radiocomunicaciones privadas de entidades gubernamentales, empresas paraestatales y privadas, a través de estaciones fijas de base, móviles y portátiles formando redes de gran alcance mediante repetidores situados en cerros o grandes torres. También existen sistemas de telefonía rural.
- **MEX88:** El 16 de junio de 1994, se firmó el Protocolo relativo al uso de la banda 470 - 512 MHz para el servicio móvil terrestre a lo largo de la frontera común México – Estados Unidos.
- **MEX91:** La banda de 806 - 890 MHz está destinada en exclusiva para los servicios móviles y se cuenta con un Acuerdo bilateral entre México y los Estados Unidos para regular su uso en la zona fronteriza.
- **MEX 91:** Se licitaron las bandas 806-821/851-866 MHz para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación del servicio de Radiocomunicación Móvil Terrestre: Servicio Móvil de Radiocomunicación Especializada de Flotillas con cobertura en las áreas básicas de servicio que conforman las zonas Norte Uno y Dos, y Centro- Sur. Las convocatorias en comento fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 2004.
- **MEX92:** Los rangos de 806 - 821/851 - 866 MHz, están atribuidos al servicio de radiocomunicación móvil especializada de flotillas en rutas carreteras y ciudades (*“trunking”*); mientras que los rangos de 821 - 824/866 - 869 MHz, están atribuidos al mismo tipo de servicio pero para aplicaciones de seguridad pública. Ver NOM-084-SCT1-2002, Telecomunicaciones-Radiocomunicación-Especificaciones técnicas de los equipos transmisores destinados al servicio móvil de radiocomunicación especializada de flotillas, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 17 de abril de 2003.
- **MEX93:** Las bandas 824 – 849 y 869 – 894 MHz se encuentran concesionadas para el servicio de Telefonía Móvil Celular, específicamente, los rangos de 824 - 825/869 - 870 MHz ampliación para

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

radiotelefonía celular a concesionarios “A”; rangos de 825 - 835/870 - 880 MHz, radiotelefonía celular destinada a concesionarios “A” y rangos de 835 - 845/880 - 890 MHz, radiotelefonía celular destinada a concesionarios “B”. El rango de 845 - 846.5/890 - 891.5 MHz se destina para ampliación de telefonía celular “A”; los rangos de 846.5 - 849/891.5 - 894 MHz para ampliación de telefonía celular “B”.

- **MEX110:** La banda 1 429 - 1 525 MHz, se utiliza extensamente para establecer comunicaciones multicanal de punto a punto con capacidades de 120 comunicaciones de voz por frecuencia asignada y sirve para satisfacer las necesidades de empresas públicas, privadas y paraestatales. Actualmente está en estudio el Plan de frecuencias para su eventual transferencia a otras bandas, a fin de dar cabida a la radiodifusión sonora digital.
- **MEX115:** Las bandas 1 710 - 1 770 MHz / 2 110 – 2 170 MHz, se han identificado en México para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), también conocidas como Comunicaciones Móviles de Tercera Generación. El 31 de Marzo de 2008, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el programa sobre Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para usos determinados en la modalidad de acceso inalámbrico fijo o móvil para ser materia de licitación pública, en el que fueron incluidos los segmentos 1 710 – 1 755 MHz / 2 110 – 2 155 MHz. La correspondiente convocatoria de licitación, fue publicada el 23 de Noviembre de 2009 en el **Diario Oficial de la Federación** (Licitación No. 21).
- **MEX115A:** El 16 y 19 de diciembre de 2008, se suscribió en la Ciudad de México y en la ciudad de Washington, respectivamente, el Protocolo entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de los Estados Unidos Mexicanos y el Departamento de Estado de los Estados Unidos de América Relativo al Uso de las Bandas de 1710 -1755 MHz y 2110 - 2155 MHz para servicios terrenales de radiocomunicación, Excepto Radiodifusión, a lo Largo de la Frontera Común.
- **MEX115B:** Se licitaron las bandas 1 850 – 1 910 MHz /1 930 – 1 990 MHz para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias del espectro

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

radioeléctrico, para la prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil y su convocatoria fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 9 de junio de 1997.

- **MEX115C:** Se licitaron las bandas 1 850 – 1 910 / 1 930 – 1 990 MHz para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil y su convocatoria fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 2004.
- **MEX115D:** El 31 de Marzo de 2008, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el programa sobre Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico para usos determinados en la modalidad de acceso inalámbrico fijo o móvil para ser materia de licitación pública, en el que fueron incluidos los segmentos aún disponibles de las bandas 1 850 -1 910 MHz / 1 930 – 1990 MHz.

La correspondiente convocatoria de licitación, fue publicada el 23 de Noviembre de 2009 en el **Diario Oficial de la Federación** (Licitación No. 20).

- **MEX117:** Las bandas de frecuencias 1 850 - 1 910 MHz y 1 930 - 1 990 MHz se destinan para servicios de acceso inalámbrico fijo y móvil incluyendo los Servicios de Comunicación Personal (PCS). Se ha adoptado la subdivisión de la banda 1 850 - 1 990 MHz como se muestra en la Recomendación CCP.III/REC.11 (III- 95), aprobada por la Tercera Reunión del Comité Consultivo Permanente III: Radiocomunicaciones de CITELE:

Bloque	Sub-banda	Sub-banda apareada
A	1 850 - 1 865 MHz	1 930 - 1 945 MHz
B	1 870 - 1 885 MHz	1 950 - 1 965 MHz
C	1 895 - 1 910 MHz	1 975 - 1 990 MHz
D	1 865 - 1 870 MHz	1 945 - 1 950 MHz

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

E	1 885 - 1 890 MHz	1 965 - 1 970 MHz
F	1 890 - 1 895 MHz	1 970 - 1 975 MHz
	1 910 - 1 930 MHz	1 930 MHz (no apareada)

- **MEX120:** El 14 de noviembre de 1997, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, la Resolución por la que se establecen los lineamientos para llevar a cabo el despeje de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, ubicadas dentro de los rangos de los 1 850 - 1 990, 440 - 450 y 485 - 495 MHz, así como 3.4 - 3.7 GHz, para la prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil.
- **MEX121:** Las bandas 1 885 - 2 025 MHz y 2 110 - 2 200 MHz están destinadas a nivel mundial a las administraciones que desean introducir las telecomunicaciones móviles internacionales – 2000 (IMT – 2000), conocidas anteriormente como Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres (FSPTMT). Dicha utilización no excluye el uso de estas bandas por otros servicios a los que están atribuidas. Las bandas de frecuencias deberían ponerse a disposición de las IMT-2000 de acuerdo con lo dispuesto en la Resolución 212 (Rev.CMR-97). Véase también la Resolución 223 (CMR-2000).
- **MEX151:** La banda de 14.5 - 15.35 GHz se utiliza en las principales ciudades del país para el establecimiento de enlaces urbanos de comunicación multicanal de voz y datos.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

3.1.1.2. Cuadro resumen bandas frecuencias

Nota	Banda frecuencial	Servicio	Comentario
MEX19	1850-2000 kHz	Radiotelefonía servicio fijo y móvil	
MEX43	72-73 MHz	Servicio fijo y móvil terrestre	Aplicaciones corto alcance (<100m). Equipos transmisores de baja potencia
MEX45	74.6-74.8MHz 75.2-75.4 MHz	Servicio fijo y móvil terrestre	Aplicaciones corto alcance (<100m)
MEX47	75.4-76 MHz	Servicio fijo y móvil terrestre	Limitaciones para evitar interferencia TV canal 5 y 6 VHF
MEX56	148-149.9 MHz 150.05-174 MHz 450-470 MHz	Servicio fijo y móvil en todo el país	Radiocomunicaciones privadas, entidades gubernamentales, empresas paraestatales y privadas. 156.8 MHz para propósitos de socorro y seguridad. La anchura de la banda en toda emisión no deberá superar los 25kHz
MEX65	220-222 MHz	Servicio móvil terrestre	Nuevas tecnologías de radiocanales de banda angosta.
MEX71	380-399.9 MHz	Servicios fijo y móvil Terrenal	Excepto Radiodifusión a lo largo de la Frontera Común

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Nota	Banda frecuencial	Servicio	Comentario
		Asignación a nivel nacional para PPDR de banda angosta	
MEX76	406.1-430 MHz	Sistemas analógicos de Radio Acceso Múltiple (RAM) <i>(Monocanal, multiacceso y multicanal con capacidad 5,12,24 o 72 canales)</i>	Emisiones de 16 kHz en cada frecuencia. PMR privados y públicos
MEX77	406.1-420 MHz	Servicios fijo y móvil	A lo largo de la Frontera Común
MEX78A	410-430 MHz	Operación sistemas móviles troncalizados digitales	Señalización y control de trenes suburbanos.
MEX79A	410-430 MHz 450-470 MHz	Servicios fijos y móviles para comunicaciones digitales (IMT)	Áreas de densidad demográfica baja. PMR público y privado. Separación de canales de 12.5 kHz. Ancho de banda 20 MHz. <i>* En la normativa actual relativa a la distribución de bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico de México, no se han encontrado referencias a la potencia máxima de emisión autorizada.</i>

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Nota	Banda frecuencial	Servicio	Comentario
			Arreglo administrativo con los EUA, existe un reglamento para el uso de las frecuencias 463.45 MHz, 463.475 MHz, 468.45 MHz y 68.475 MHz para propósitos especiales.
MEX82	440-450 MHz 485-495 MHz	Servicio acceso inalámbrico fijo o móvil	Separación de canales de 12.5 kHz
MEX88	470-512 MHz	Servicio móvil terrestre	Uso a lo largo de la frontera
MEX91	806-890 MHz	Servicios móviles	
MEX92	806-821 MHz 851-866 MHz 821-824 MHz 866-869 MHz	Radiocomunicación móvil	Flotillas en rutas carreteras y ciudades (“trunking”). Ancho de banda 30 MHz. Seguridad pública
MEX93	824-849 MHz 869-894 MHz	Telefonía móvil celular	
MEX110	1429-1525 MHz	Comunicaciones multicanal punto a punto	Capacidades de 120 comunicaciones de voz por frecuencia asignada
MEX115	1710-1770 MHz 2110-2170 MHz	Comunicaciones móviles Tercera Generación (IMT)	No rebasará la densidad de flujo de potencia de -127 dB (W/(m ² . MHz)) Banda prevista para servicios inalámbricos de última generación, ya sea con tecnologías GSM y CDMA.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Nota	Banda frecuencial	Servicio	Comentario
MEX117	1850-1910 MHz 1930-1990 MHz	Servicios de acceso inalámbrico fijo y móvil	Incluye servicios de comunicación personal (PCS)
MEX120	1850-1990 MHz 440-450 MHz 485-495 MHz	Servicio fijo o móvil terrestre	Liberación de bandas
MEX121	1885-2025 MHz 2110-2200 MHz	Introducción telecomunicaciones móviles internacionales	Destinadas a nivel mundial para administraciones
MEX151	14.5-15.35 GHz	Enlaces urbanos multicanal voz y datos	

3.1.1.3. Límites de potencia emitida

En la normativa actual relativa a la distribución de bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico de México, no se han encontrado reglamentación en relación con límites de potencia para las bandas de frecuencias y usos especificados en el punto anterior.

Por ello, se tomarán en consideración las características definidas por la ETSI para la creación del estándar de Trunking digital TETRA a nivel Europeo, para las estaciones base TETRA (o TBS), y para los terminales TETRA.

Así pues, en relación con la potencia de las estaciones base TETRA, se establecen nueve clases de potencias definidas como el valor medio de la potencia medida en los bits útiles de una ráfaga transmitida. Estas potencias se encuentran separadas por intervalos fijos de 2 dB tal y como se indican en la tabla siguiente:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Clase de potencia	Potencia nominal por portadora (W)	Potencia nominal por portadora (dBm)
1	40	46
2	25	44
3	15	42
4	10	40
5	6,3	38
6	4	36
7	2,5	34
8	1,6	32
9	1	30
10	0,6	28

Por su parte, existen diferentes tipos de potencia de los terminales TETRA (móviles y portátiles), que se clasifican en cuatro clases, tal y como podemos ver en la tabla siguiente:

Clase de Potencia	Potencia Nominal (W)	Potencia Nominal (dBm)
1	30	45
1L	17,5	42,5
2	10	40
2L	5,6	37,5
3	3	35
3L	1,8	32,5
4	1	30
4L	0,56	27,5

3.1.1.4. Banda de Frecuencia considerada en el Estudio de Cobertura

En base a lo anterior, y para la elaboración del presente estudio de cobertura, se considerará como banda de frecuencia a utilizar para el despliegue de la red de radiocomunicaciones TETRA del CDG (Corredor Diagonal Guadalajara), la banda frecuencial de 410-430 MHz, destinada a servicios de 'operación de sistemas móviles troncalizados digitales', según la Nota MEX 78A, por ser la banda de frecuencias que actualmente se emplea en la red TETRA desplegada en el Metro de México, hecho por el que se considera muy adecuado su uso, y por ser además la banda preferida en muchos países para este tipo de redes.

3.1.2. *Requerimientos de Cobertura*

Como criterio de diseño del Sistema TETRA se requerirá el poder garantizar el:

- 96% de cobertura redundante (o doble cobertura), en las zonas de circulación de trenes de viaducto y túnel.
- 96% de cobertura simple en dependencias de estaciones y Centro de Control.
- 96% de cobertura simple en la zona de circulación de trenes de Talleres y depósitos.
- Cobertura en el interior de los trenes mediante la cobertura en la zona de circulación de trenes.

El '96% de cobertura' hace referencia al 96% zonal y al 96% temporal, sobre una sección de 100 metros de túnel o viaducto o en un área de estación. En los tramos de exteriores se considera además un 90% de cobertura perimetral o probabilidad de tener cobertura en el límite de la celda.

La 'cobertura doble o redundante' en una zona determinada hace referencia a que, en aquella zona, la cobertura se obtenga de dos estaciones base diferentes de la Red TETRA, evitando así la interrupción del Servicio de Radiocomunicaciones TETRA en caso de caída de una de las estaciones base.

De acuerdo con las necesidades de Operación, Explotación, Mantenimiento y Seguridad de la operativa prevista:

- En el ámbito de las estaciones: se considerará como requerimiento disponer de cobertura en los accesos, vestíbulos, andenes, pasillos de estación, sales técnicas, cabina del jefe de estación y salidas de emergencia.
- En el ámbito de talleres y depósito: se considerará como requerimiento disponer de cobertura TETRA en las zonas de circulación de trenes.
- En el PCC se considerará como requerimiento disponer de cobertura TETRA al menos en las salas de operación y sala de crisis

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

No será objeto del proyecto dar cobertura TETRA en la red viaria dentro del ámbito de influencia del CDG. Por ello, el diseño del sistema radiante se realizará con el objetivo de garantizar la cobertura requerida en la traza de la vía, a lo largo de toda la Línea y deberá evitar dar cobertura fuera de dicho ámbito

3.1.3. *Requerimientos de Operación*

El sistema TETRA tendrá como objetivo principal el comunicar en forma rápida, clara, segura, uniforme y exclusiva al Mando y Control de Tráfico con los conductores de los trenes, con el Puesto de Maniobras de Talleres, equipos portátiles, áreas de apoyo a la operación y Talleres de Mantenimiento.

La operación del Tren será controlada desde el Puesto de Mando y Control de Tráfico (TTR), desde el cual se realizará el control de tráfico de los trenes que circularán en toda la Línea, estas acciones serán llevadas a cabo por la persona denominada Regulador del Mando y Control de Tráfico.

Con el fin de que el Regulador pueda realizar en forma óptima sus funciones, en el pupitre de mando y control de tráfico se ubicará un terminal de radiocomunicaciones de sobremesa que le permitirá comunicarse con los conductores de los trenes a lo largo de la Línea, comunicarse con personas que se encuentren en las vías y que cuenten con terminales portátiles de radio TETRA y enviar mensajes a los pasajeros a bordo de los trenes (como back up del sistema de voceo embarcado), mediante conmutación a nivel de tren del terminal radio móvil embarcado hacia el sistema de voceo del tren.

Como apoyo al regulador, existirá un local llamado Puesto de Maniobras Auxiliar (PMA), el cual funcionará como centro de control emergente en caso de que el puesto central de control deje de operar, para lo cual estará equipado con un terminal de radiocomunicaciones de sobremesa que le permitirá realizar las funciones del regulador de línea.

En el Centro de Control existirán otros puestos de operador que dispondrán de equipos de radiocomunicaciones TETRA o Linedispatxer que permitirán establecer comunicaciones TETRA con otros terminales TETRA distribuidos a lo largo del CDG. Se podrán distinguir operadores de estaciones, seguridad, información a usuarios y supervisor de Línea.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

El Sistema de Transporte, contará con Talleres donde se dará el mantenimiento a los trenes. El tráfico de estos en toda esta zona, será controlado desde el Puesto de Maniobras de Talleres (PMT), que dispondrá de un terminal de radiocomunicaciones de sobremesa que le permitirá las establecer comunicaciones entre el operador de tráfico del PMT y los conductores de los trenes.

Los trenes que circularán a lo largo de la Línea y en los talleres, serán equipados con dos equipos de radiotelefonía TETRA, que se ubicarán en cada una de las cabinas de conducción del tren.

El Personal de Línea y Talleres (agentes de estación, personal de seguridad, personal de mantenimiento de línea y talleres, etc.), deberán disponer de terminales portátiles TETRA.

3.1.4. Subsistema Radio Considerado

Como se puede ver en la siguiente figura, para el diseño del sistema radio se ha considerado que el Sistema TETRA del CDG estará implementado mediante una red de estaciones base TETRA repartidas a lo largo del Corredor Diagonal de Guadalajara e interconectadas en una topología lógica de estrella con el nodo de control y conmutación central del sistema, que se instalará en el Centro de Control de la Línea. La conexión de todos los elementos integrantes del Sistema (estaciones base, nodo de conmutación, puestos de gestión técnica y operativa), se realizará a través de conexiones Ethernet, a través de la Red de Transporte Multiservicios (RED) de la Línea. La comunicación entre las Estaciones Base TETRA y el nodo de conmutación se realizará mediante protocolo IP.

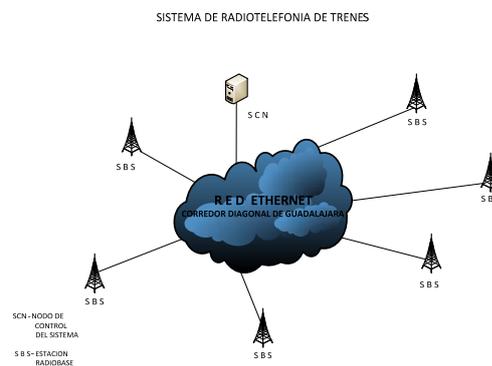


Figura 48. Arquitectura general del Sistema TETRA

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

De acuerdo con los criterios de diseño establecidos y según se justifica en el estudio de tránsito realizado (que se incluye en el apartado 8 del presente documento), se contempla una solución basada en el uso de estaciones base TETRA de 1 o 2 portadoras distribuidas a lo largo de la Línea de manera que se cumplan los requerimientos de cobertura.

A efectos de cálculo de cobertura empleados en el presente estudio, para los transceptores TETRA (TBS, terminales portátiles y terminales móviles embarcados), se han considerado los siguientes parámetros de los equipos:

Parámetros Transceptores	Valor
Potencia Tx portátil	30 dBm (1w)
Potencia salida estación base (TBS 2 portadoras) *caso más restrictivo	41,05 dBm
Potencia Tx terminal móvil (o embarcado)	40 dBm
Sensibilidad Estación Base estática	-119 dBm
Sensibilidad Estación Base dinámica	-112 dBm
Sensibilidad Estación Base dinámica efectiva en túnel y dependencias (<i>Sensibilidad dinámica del fabricante – Margen de Seguridad de 6 dB</i>)	-106 dBm
Sensibilidad Estación Base dinámica efectiva en exteriores (<i>Sensibilidad estática del fabricante – Margen de seguridad por desvanecimientos Rayleigh y Lognormales de 8 dB</i>)	-102 dBm
Sensibilidad dinámica del terminal portátil	-103 dBm
Sensibilidad dinámica del terminal móvil	-103 dBm
Ganancia antena terminal portátil	-2 dB
Ganancia antena tren	0 dB

Tabla 13. Parámetros Transceptores TETRA

3.1.5. Definición del Subsistema Radiante

El subsistema radiante es el conjunto de elementos necesarios para transportar, dividir y radiar la señal de radio frecuencia a través de los túneles, zonas de viaducto y dependencias de la Línea. El subsistema radiante se divide en cinco sectores:

1. Subsistema radiante en tramo viaducto
2. Subsistema radiante en tramo de túnel
3. Subsistema radiante en zonas de transición túnel – viaducto
4. Subsistema radiante en talleres y depósito
5. Subsistema radiante en centro de control.

3.1.5.1. Subsistema Radiante en Tramo de Viaducto

3.1.5.1.1 Cobertura en la Zona de Circulación de Trenes del Viaducto

La solución propuesta para dar cobertura al sistema de radiocomunicaciones de voz en zona de circulación de trenes dentro de un tramo de tipo viaducto está basada en antenas directivas outdoor de tipo panel.

Las antenas deben ubicarse en un lugar favorable para la propagación electromagnética y a la mayor altura posible. En este sentido se propone su instalación en la cubierta de la estación de viaducto, sujeta en un mástil galvanizado de unos 2 metros de altura aproximadamente, con el objetivo de favorecer la propagación radio en la dirección de interés.

Será necesario tener en consideración la variación en la altura del viaducto a lo largo del trazado y las pendientes, así como los radios de curvatura para garantizar la visibilidad entre antenas. Por ello, la altura final de los mástiles podrá variar ligeramente en cada caso para poder asegurar una altura efectiva de la antena. Asimismo, se ha tomado en consideración la posibilidad de instalar las antenas orientándolas e

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

inclinándolas de forma adecuada en cada caso para optimizar la cobertura en cada tramo de interestación de la línea.

Cabe destacar el caso concreto del tramo de viaducto Mercado del Mar – Basílica, identificado en el análisis de la Línea como punto singular, por presentar una curva cerrada en el trazado, aproximadamente en el punto medio del tramo. Tal como se ha indicado esta curvatura afecta a la disponibilidad de línea de visión entre ambas estaciones.

Por ello se hará uso de cable radiante a lo largo de todo el tramo. En particular se considera la instalación de cable radiante de 1 ¼" autoportado, fijado sobre los postes de catenaria, a 40cm de la misma y aprovechando los postes de catenaria previstos (situados a lo largo de la Línea, cada 40 metros en el peor caso).

3.1.5.1.2 Cobertura en Estaciones de Viaducto

La solución propuesta para dar cobertura al sistema de radiocomunicaciones de voz en estaciones de tipo viaducto está basada en una solución combinada de cable radiante y antenas. En particular se considera la instalación de cable radiante de ½" y antenas omnidireccionales indoor para falso techo y de tipo panel para instalación en pared, así como elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal.

Las antenas deben ubicarse en un lugar favorable para la propagación electromagnética y deben estar distribuidas de forma que se garantice la cobertura del sistema de radiocomunicación de voz. Se deberá dar cobertura a todos los niveles de estación analizados en apartados anteriores, correspondientes a una estación tipo viaducto, incluyendo las zonas de vestíbulo, andén y dependencias técnicas. Como criterio general la cobertura en estas dependencias se realizará mediante el uso de cable radiante de ½". En aquellos casos puntuales en que por las características arquitectónicas de la estación y / o de los acabados de los techos sea desaconsejable la instalación de cable radiante ½", se instalará una antena de tipo panel o bien una antena para falso techo con el objetivo de ofrecer cobertura en zonas de dependencias donde no sea posible la instalación de cable radiante.

3.1.5.1.3 Cobertura en Locales Técnicos Soterrados

La solución propuesta para dar cobertura al sistema de radiocomunicaciones de voz en la zona de locales técnicos subterráneos dentro de un tramo de tipo viaducto está basada en el uso de cable radiante de 1/2" combinado con antenas indoor de tipo panel o para falso techo, así como elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal.

3.1.5.2. Subsistema Radiante en Tramo de Túnel

3.1.5.2.1 Cobertura en la Zona de Circulación de Trenes del túnel

El sistema radiante en los tramos de la línea en túnel estará basado en el uso de cable radiante de 1 1/4" (considerándose la instalación de una única tirada de cable en la bóveda del túnel tan cerca del eje del túnel como sea posible).

Para la instalación del cable radiante en la bóveda del túnel, habrá que considerar una posición en la que se evite la zona de la bóveda ocupada por equipos de ventilación y catenaria en túnel. Como criterio general, En relación con estos elementos, el cable deberá quedar a una distancia mínima de entre 30-40 cm en el plano horizontal y de entre 15-20 cm en el plano vertical. En la siguiente figura puede apreciarse de forma detallada, la disposición del cable radiante considerada en la zona de túnel:

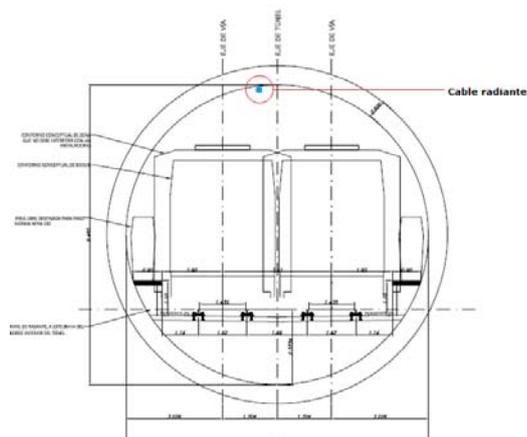


Figura 49. Instalación cable radiante en túnel

3.1.5.2.2 Cobertura en Estaciones Subterráneas y Salidas de Emergencia

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para dar cobertura a todas aquellas dependencias ubicadas a lo largo de los túneles como andenes, estaciones y salas técnicas, se considerará una solución combinada de cable radiante de 1/2" y antenas indoor (de panel y para falso techo), así como los elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal.

Para la instalación del cable radiante en dependencias, el tendido de cable radiante se realizará en bandeja existente o por falso techo (siempre que éste no sea metálico).

Principalmente se optará por la instalación de antenas indoor de falso techo para aquellas zonas de paso de viajeros para garantizar la armonía arquitectónica. En zonas exentas de público, donde únicamente acceda personal de explotación del sistema de metro, se optará por la colocación de antenas de tipo panel.

En las salidas de emergencia se considera una solución basada en el uso de cable radiante de 1/2".

3.1.5.3. Subsistema Radiante en Zonas de Transición Túnel – Viaducto

3.1.5.3.1 Cobertura en la Zona de Circulación de Trenes de la Transición Túnel-Viaducto

Como se ha indicado en el análisis de la Línea, las zonas de transición entre el trazado en viaducto y el trazado en túnel se consideran como punto singular de la Línea, por presentar una pendiente pronunciada y por el cambio de entorno que afectan a la disponibilidad de línea de visión entre ambas estaciones.

La solución propuesta para dar cobertura al sistema de radiocomunicaciones de voz en la zona de transición estará basada en el uso de cable radiante de 1 1/4" en todo el tramo.

Para asegurar la cobertura requerida en el tramo en viaducto, se considera la instalación de cable radiante de 1 1/4" autoportado, fijado sobre los postes de catenaria, a 40cm de la misma y aprovechando los postes de catenaria previstos (situados a lo largo de la Línea, cada 40 metros en el peor caso).

Una vez se llega a la zona de túnel, el cable radiante discurrirá a lo largo del túnel en la zona más cercana al eje del túnel hasta la estación subterránea.

Esta solución se aplicará en los dos tramos de transición: entre las estaciones de Federalismo y Normal y entre las estaciones de Plaza de la Bandera y Plaza Revolución.

3.1.5.4. Subsistema Radiante en Talleres y depósitos

El sistema radiante en la zona de circulación de talleres y depósitos estará basado en el uso de cable radiante de 1/2", así como los elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal.

3.1.5.5. Subsistema Radiante en Dependencias del Centro de Control

El sistema radiante en las dependencias del centro de control estará basado en el uso combinado de cable radiante de 1/2" y antenas indoor, así como los elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal.

3.1.5.6. Parámetros de los elementos del sistema radiante

El subsistema radiante engloba todo el conjunto de elementos que servirán para distribuir, dividir y combinar la señal de radiofrecuencia dentro del túnel y las estaciones. A continuación se identifican los elementos que han sido considerados como partes integrantes del subsistema radiante del sistema TETRA de la Línea:

- Cable radiante de 1 ¼".
- Cable radiante de ½".
- Antenas indoor, para falso techo.
- Antenas indoor de tipo panel.
- Antenas outdoor de tipo panel.
- Cable coaxial de ½".
- Conectores por cable coaxial y cable radiante.
- Cargas terminales.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- DC Block, para el bloqueo de continua hacia dependencias y salas técnicas.
- Elementos pasivos necesarios para distribuir la señal según la solución técnica considerada. En este subsistema se incluyen todo el conjunto de acopladores, divisores de potencia, etc.

A continuación se exponen las principales características de estos elementos que se han considerado como parámetros de cálculo para la realización del estudio de cobertura.

3.1.5.6.1 Cable radiante 1 ¼"

El cable radiante 1 ¼ "es el sistema radiante considerado para dar cobertura a los túneles y zonas de transición de la Línea. Asimismo dará cobertura a todas aquellas dependencias ubicadas a lo largo de los túneles como andenes, cuartos técnicos ubicadas cerca del túnel, etc.

Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Tipo de cable	Cable radiante
Medida	1-1/4"
Pérdidas de atenuación a 450 Mhz	2.07 dB / 100 m
Pérdidas de acoplamiento a 450 Mhz	54 dB (50%) / 59 dB (95%)

Tabla 14. Parámetros cable radiante 1 ¼"

3.1.5.6.2 Cable Radiante ½"

El cable radiante ½ ", es el sistema radiante considerado para dar cobertura en las estaciones, dependencias y salidas de emergencia de la Línea. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Tipo de cable	Cable radiante
Medida	½"
Pérdidas de atenuación a 450 Mhz	5.74 dB / 100m
Pérdidas de acoplamiento a 450 Mhz	62 dB (50%) / 66 dB (95%)

Tabla 15. Parámetros cable radiante ½"

3.1.5.6.3 Antena indoor para falso techo

Antena indoor omnidireccional para instalación sobre falso techo, en ubicaciones de dependencias donde sea necesario respetar los criterios de estética para zonas de paso del pasaje como son los vestíbulos y andenes. En aquellos casos puntuales en que por las características arquitectónicas de la estación y / o de los acabados de los techos (techos metálicos) sea desaconsejable la instalación de cable radiante 1/2", se instalará una antena para falso techo.

El objetivo principal de esta antena es el de ofrecer cobertura en puntos concretos de dependencias donde no sea posible la instalación de cable radiante o donde por las características de la estación sea conveniente su uso. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Tipo	Omnidireccional
Ganancia	0 dBd
ROE	< 2.0
Potencia máxima	50W
Impedancia	50 Ohms

Tabla 16. Parámetros antena indoor UHF

3.1.5.6.4 Antenas indoor de tipo panel

Antena indoor de tipo panel para instalación en pared, en ubicaciones de dependencias donde no sea necesario respetar los criterios de estética, como por ejemplo en zonas técnicas. El objetivo principal de esta antena es el de ofrecer cobertura en puntos concretos de dependencias donde no sea posible la instalación de cable radiante o donde por las características de la estación sea conveniente su uso. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Tipo	Panel (indoor)
Ganancia	0 dBd
Potencia máxima	500 W
Impedancia	50 Ohms

Tabla 17. Parámetros antena indoor tipo panel

3.1.5.6.5 Antenas outdoor de tipo panel

Antena tipo panel para instalación sobre mástil con una ganancia mínima de 11,5 dBi. La antena deberá estar fabricada con materiales que garanticen su correcto funcionamiento en exteriores.

Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Tipo	Panel (outdoor)
Ganancia	11.5 dBi
Potencia máxima	500 W
Impedancia	50 Ohms

Tabla 18. Parámetros antena outdoor panel

3.1.5.6.6 Cable Coaxial ½"

El cable coaxial de ½ "será utilizado para la conexión de elementos de la red radio, por los que sea necesarias tiradas cortas de cable coaxial. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Tipo de cable	Coaxial
Medida	½"
Atenuación a 450 MHz	4.71 dB / 100m

Tabla 19. Parámetros Cable Coaxial ½"

3.1.5.6.7 Elementos Pasivos

Los elementos pasivos son otra parte integrante del sistema radiante de la red radio. Los elementos pasivos utilizados en el diseño del sistema radiante de la red radio son:

- Híbridos o Divisor 2 vías
- Distribuidor o Acoplador asimétrico
- Distribuidor o Acoplador simétrico
- Bloqueo de continua
- Cargas terminales

3.1.5.6.7.1. Distribuidor híbrido

Permite repartir la mitad de la potencia de entrada hacia las dos salidas. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Pérdidas de inserción	< 3.5 dB
Aislamiento	> 20 dB
Impedancia	50 Ohms
Relación de potencia como Splitter	100 Watts
Relación de potencia como Combinador	10 Watts

Tabla 20. Parámetros Distribuidor híbrido

3.1.5.6.7.2. Distribuidor asimétrico

Este elemento permite desviar el 10% de la potencia para una salida hacia el sistema radiante y deja pasar el 90% hacia la otra salida al sistema radiante. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Potencia entrada	< 30 W
ROE Entrada	< 1.3 /1 (-18 dB)
Distribución	-1.5 dB Puertos 1-2 / -11 dB Puertos 1-3
Aislamiento entradas/salida	11 dB Puertos 2-3

Tabla 21. Parámetros Distribuidor asimétrico

3.1.5.6.7.3. Distribuidor simétrico

Este elemento reparte la potencia de forma simétrica entre las dos salidas hacia el sistema radiante. Deberá presentar las siguientes características técnicas:

Pérdidas de inserción	< 6 dB
Aislamiento	> 10 dB
Impedancia	50 Ohms
Relación de potencia como Splitter	100 Watts

Tabla 22. Parámetros Distribuidor Simétrico

3.1.5.6.7.4. Bloqueo de continua

Este elemento evita que posibles derivas de alta tensión en túnel lleguen a los equipos que se encuentran en las dependencias, en consecuencia se situarán en los puntos de unión entre el sistema radiante de túnel y el de dependencias. Las características técnicas requeridas para este elemento son:

Potencia nominal	500 W (media)
ROE entrada	< 1.30:1
Pérdidas inserción	< 0.3 dB

Tabla 23. Parámetros Bloqueo de continua

3.1.5.6.7.5. Carga Terminal

Son elementos para la terminación de tiradas de cable radiante. Deberá presentar una disipación de energía media de 1 Watt.

3.1.5.7. Elementos Pasivos

La siguiente tabla muestra los factores de pérdidas que han sido considerados en el marco del presente estudio de cobertura, para cada uno de los elementos pasivos considerados para la distribución de la señal UHF:

Dispositivo	Pérdidas Inserción	Pérdidas de derivación	Aislamiento entre salidas
Elemento Distribuidor asimétrico	1.5 dB	11 dB	11 dB
Elemento Distribuidor simétrico	6 dB	6 dB	10 dB
Elemento Repartidor Híbrido	3.5 dB	3.5 dB	20 dB
Bloqueo de continua	1 dB	1 dB	–

Tabla 24. Elementos Pasivos

3.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS)

3.2.1. Estudio de frecuencias disponibles en México

El CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) de México, muestra la forma en que se utiliza el espectro radioeléctrico en México para proporcionar una gran variedad de servicios de radiocomunicaciones. Para una banda de frecuencias atribuida a un servicio de radiocomunicaciones en particular, puede existir una diversidad de aplicaciones específicas destinadas a fines de telecomunicaciones.

En este entorno regulado de las frecuencias disponibles dentro del espectro radioeléctrico, existen unas limitaciones en cuanto a la potencia radiada y otras condiciones que serán de obligado cumplimiento para permitir la coexistencia de todos los sistemas que puedan utilizar la misma banda de frecuencia o bien, bandas adyacentes que puedan ser susceptibles de provocar un solapamiento de frecuencias.

Así pues, como paso previo necesario para el diseño de los sistemas de radiocomunicaciones resulta indispensable analizar el marco actual de distribución del espectro radioeléctrico en México. Este análisis servirá para identificar las bandas frecuenciales reservadas dentro del ámbito de México, así como

también en la región que corresponde a su frontera con Estados Unidos, para los diferentes sistemas de radiocomunicaciones.

Para llevar a cabo este análisis se han analizado las Notas Nacionales referidas al CNAF de México (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias).

A continuación, se analizarán las bandas frecuenciales previstas para servicios de radiocomunicaciones de banda ancha (*wireless*).

3.2.1.1. *Bandas de frecuencia disponibles para servicios de radiocomunicaciones de banda ancha*

Del análisis de las Notas Nacionales relativas al CNAF de México es posible extraer las conclusiones que se presentan a continuación, relativas al despliegue de redes para servicios de banda ancha sin hilos (*wireless*):

- **MEX102:** El 7 de marzo de 2006 la Secretaría emitió el “Acuerdo por el que se establece la política para servicios de banda ancha y otras aplicaciones en las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico 902 a 928 MHz; 2 400 a 2 483.5 MHz; 3 600 a 3 700 MHz; 5 150 a 5 250 MHz; 5 250 a 5 350 MHz; 5 470 a 5 725 MHz y 5 725 a 5 850 MHz”, el cual fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de marzo de 2006. En dicho Acuerdo las bandas de frecuencias 3 600 a 3 700 MHz y 5 470 a 5 725 MHz se clasifican como espectro de uso determinado; el resto de las bandas se clasifican como espectro de uso libre a nivel nacional.
- **MEX104:** En el “Acuerdo por el que se establece la política para servicios de banda ancha y otras aplicaciones en las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico 902 a 928 MHz; 2 400 a 2 483.5 MHz; 3 600 a 3 700 MHz; 5 150 a 5 250 MHz; 5 250 a 5 350 MHz; 5 470 a 5 725 MHz y 5 725 a 5 850 MHz” se fijan las condiciones de operación para las bandas 902 a 928 MHz; 2 400 a 2 483.5 MHz; 5 150 a 5 250 MHz; 5 250 a 5 350 MHz. Las condiciones de operación para la banda 2 400 - 2 483.5 MHz, y 5 725 - 5 850 MHz se publicarán próximamente.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **MEX124:** Las sub-bandas 2 300 – 2 320 MHz y 2 345 – 2 400 MHz, se encuentran bajo estudio, para aplicaciones de acceso de banda ancha.
- **MEX133A:** Se licitó la banda 3 400 - 3 700 MHz para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento o explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil y su convocatoria fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de junio de 1997. La banda de 3.6 – 3.7 GHz fue clasificada como espectro de uso determinado a través del Acuerdo por el que se establece la política para servicios de banda ancha y otras aplicaciones en las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico 902 a 928 MHz; 2,400 a 2,483.5 MHz; 3,600 a 3,700 MHz; 5,150 a 5,250 MHz; 5,250 a 5,350 MHz; 5,470 a 5,725 MHz y 5,725 a 5,850 MHz, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 13 de marzo de 2006.
- **MEX135:** El 24 de febrero de 2010 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorgó a la Coordinación de la Sociedad de la Información y el Conocimiento, responsable de proponer y conducir las políticas para el desarrollo, implementación y coordinación del Sistema Nacional e-México; la asignación de bandas de frecuencias para uso oficial, para instalar y operar una red de telecomunicaciones la cual será utilizada para el Proyecto de Redes Estatales para la Educación, Salud y Gobierno en el segmento de 3 300 a 3 350 MHz, con la finalidad de llevar conectividad de servicios de banda ancha a los tres órdenes de gobierno y a las dependencias y entidades públicas que de ellos deriven.
- **MEX 162:** Las bandas 71- 76 /81-86 GHz han sido identificadas para la operación de sistemas de banda ancha de corta distancia, en enlaces fijos punto a punto.
- **DOF de 27/11/2012¹:** ACUERDO por el que se establecen las bandas de frecuencias de 5470 a 5600 MHz y 5650 a 5725 MHz, como bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso libre, y las condiciones de operación a que deberán sujetarse los sistemas y dispositivos para su

¹ http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5279213&fecha=27/11/2012

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

operación en estas bandas. De este acuerdo hay que destacar la siguiente frase: “Debido a lo anterior, se considera conveniente que las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico comprendidas entre 5470 a 5600 MHz y 5650 a 5725 MHz sean clasificadas como espectro de uso libre, toda vez que en el entorno internacional se encuentran identificadas para su uso en aplicaciones de acceso inalámbrico”.

3.2.1.2. Cuadro resumen bandas frecuenciales

Uso	Banda	Aplicaciones
Uso libre a nivel nacional	902-928 MHz 2400-2483.5 MHz 5150-5250 MHz 5250-5350 MHz 5470-5600 MHz 5650-5725 MHz 5725-5850 MHz	Servicios de banda ancha y otras aplicaciones
Uso determinado	3600-3700 MHz 5600-5650 MHz	
	2300-2320 MHz 2345-2400 MHz	Bajo estudio para aplicaciones de banda ancha
	3400-3700 MHz	Prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil. Permite ofrecer servicios fijos de banda ancha, utilizando estándares como WiMax.
	3300-3350 MHz	Red de Telecomunicaciones de banda ancha a dependencias y entidades públicas (Proyecto Redes Estatales para educación, Salud y Gobierno)
Uso determinado	3.6-3.7 GHz	Disponibles dos bloques de 50 MHz
	71-76/81-86 GHz	Operación sistemas banda ancha de corta distancia, enlaces fijos punto a punto. Permite realizar enlaces inalámbricos de alta capacidad, hasta de 10 mil MHz.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Las tecnologías de comunicaciones de banda ancha cuentan con la ventaja de poder utilizarse en una banda de frecuencias denominada “de uso común o uso libre a nivel nacional” y por tanto no requieren de licencias de uso. A pesar de esto, es necesario tener en cuenta que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado y que se encuentra necesariamente regulado por organismos de ámbito estatal e internacional.

Es necesario considerar que, a pesar de no ser necesaria la utilización de licencias para el uso de una banda de frecuencias específica, esto no implica que la utilización pública pueda hacerse sin necesidad de realizar un control y unos trámites adicionales.

3.2.1.3. Límites de potencia emitida

A continuación se presentan los límites de potencia establecidos para las bandas de frecuencias y usos especificados en el punto anterior, relativas a servicios de comunicación de banda ancha. En el caso de que el equipo de radiocomunicación tenga la posibilidad de usar amplificadores de potencia de radiofrecuencia externos, toda combinación que conste de equipo de radiocomunicación de espectro disperso + amplificador de potencia de radiofrecuencia externo + antena que se autorice, certifique y homologue, a las máximas potencia, amplificación y ganancia, deberá cumplir con los límites máximos de PIRE (Potencia Isótropa Radiada Equivalente) indicados en la tabla siguiente:

Banda de frecuencia (MHz)		PIRE Máxima (watt)
902-928		4
2400-2483.5	Sistemas fijos punto a punto	2
	Sistemas punto a multipunto	1
5725-5850		4

Además, los equipos para sistemas de radiocomunicación por espectro disperso del tipo salto de frecuencia, deberán cumplir con unas especificaciones concretas de anchura de banda del canal de salto a 20 dB y potencia de pico máxima de salida, tal y como se indica a continuación:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Banda (MHz)	Anchura de banda del canal de salto	Potencia pico máxima
	a 20 dB <small>(AB 20dB)</small>	de salida (W)
902-928	<250 kHz	1
	≥ 250kHz (máximo permitido 500 kHz)	0.25
2400-2483.5	Sin especificación	1
	Sin especificación	0.125
5725-5850	≤ 1 MHz	1

La separación mínima entre las frecuencias de portadora de canales de salto adyacentes debe ser 25 kHz o el de la anchura de banda a 20 dB del canal de salto, la que resulte mayor. Para el caso particular de equipos que operen en la banda de frecuencias 2 400 – 2 483.5 MHz, con picos máximos de potencia conducida de salida de 0.125 Watt, la separación mínima referida será de 25 kHz o dos tercios de la anchura de banda a 20 dB del canal de salto, la que resulte mayor.

Todos los equipos del tipo modulación digital, para las tres bandas de frecuencia: 902-928 MHz, 2 400-2 483.5 MHz y 5.725-5.850 GHz, están sujetos a las siguientes especificaciones:

- La densidad espectral de potencia del transmisor conducida a la antena, no deberá ser mayor que 8 dBm en cualquier banda de 3 kHz, durante cualquier intervalo de tiempo de transmisión continua o sobre 1.0 segundo si la transmisión excede a la duración de 1.0 segundo.
- La potencia pico máxima de salida del transmisor no excederá a 1.0 watt.
- La anchura de banda mínimo de RF a 6 dB será de 500 kHz.

3.2.2. Recomendación utilización de frecuencias

Para el despliegue de redes inalámbricas en entornos ferroviarios, se recomienda hacer uso de una banda que sea licenciada, dado que en las bandas libres (también denominadas “de uso común”), los usuarios no se encuentran protegidos frente a interferencias provenientes otros usuarios autorizados a la misma banda o bandas cercanas. Por lo tanto, en bandas licenciadas la interferencia aunque existente, suele ser muy inferior a la interferencia propia de bandas libres, lo que asegura un sistema de mayor calidad. Todo esto es muy beneficioso para la implantación de una red inalámbrica, sobre todo al exterior, pero a

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

expensas de pasar por el proceso de adquisición de frecuencia y con el coste temporal y económico que esto puede suponer.

Para poder tener control sobre la red y poder garantizar el correcto funcionamiento de la misma y de los servicios soportados, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tiene que ser al 100% propiedad de la empresa explotadora de la Línea, motivo por el que cualquier banda licenciada queda descartada en este punto.

El elevado coste temporal y económico de la adquisición de espectro o su dificultad para conseguirlo podría hacer aconsejable el uso de bandas libres que no requieran licencia, aun considerando la contrapartida de estar más afectadas por las interferencias provocadas por otros servicios presentes en la banda, sobre todo en los tramos al exterior.

Según el estudio realizado para el uso del espectro frecuencial en México, detallado en el apartado 3.2.1.1, se pueden utilizar las bandas de uso común de 2.4GHz y varias bandas del intervalo entre 5 y 5.8 GHz. La banda de 2.4 GHz la utilizan sistemas de redes personales y corporativas WLAN, Bluetooth y sistemas ferroviarios como CBTC. La banda 5.4 GHz se utiliza en sistemas de acceso inalámbricos y redes de área local en exterior o interior de recintos. Por lo general los sistemas inalámbricos son muy sensibles a las interferencias otros sistemas en la misma banda y las prestaciones efectivas de estos, se ven reducidas considerablemente. En el caso de las bandas de 5 GHz, reservada para aplicaciones de acceso inalámbricos, se trata de una banda libre que tiene una ventaja respecto a las bandas de 2.4 GHz, por el hecho de que hay pocos sistemas implantados operando en esta banda y por lo tanto está caracterizada por un bajo nivel de interferencia.

Por otra parte, otro factor a considerar es que, para maximizar los rendimientos de los sistemas de radiocomunicaciones y minimizar sus costes, estos tienen que estar optimizados para funcionar en las bandas de frecuencias identificadas como interesantes para su utilización. Por tanto, es importante considerar que el número de canales radio disponibles en el sistema tendrá que ser suficiente para permitir un despliegue que evite las interferencias co-canal, para asegurar que el factor limitante en las comunicaciones no sea esta interferencia.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

En este sentido, en fase de ejecución se deberá hacer una consulta a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y a la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel) sobre su previsión a corto plazo de reservar otra banda licenciada para el establecimiento de sistemas de banda ancha de acceso inalámbricos por parte de empresas públicas (no operadores). En caso de confirmarse este hecho, se recomienda hacer la correspondiente solicitud de licencia, siempre que SCT y Cofetel esté conforme con la adjudicación de frecuencias no provisionales a la empresa explotadora del servicio ferroviario y siempre que la banda propuesta por SCT y Cofetel no suponga una dificultad para encontrar equipos en el mercado.

En caso contrario, considerando que en el caso de la empresa explotadora del servicio ferroviario, el riesgo de interferencias es bajo debido a que el paso de la línea se realiza por cascos urbanos de baja densidad y con poca elevación de los edificios, realizando la circulación al exterior mediante viaducto elevado y por líneas sepultadas en un pequeño tramo de la Línea, se recomienda usar frecuencias de uso común. En este caso, se tramitará la solicitud de frecuencias a SCT y Cofetel en las bandas 5470-5600 MHz, 5650-5725 MHz y 5725-5850 MHz, dado que existen pocos sistemas implantados operando en esta banda, y es puede considerar menor la probabilidad de encontrar un alto nivel de interferencia en comparación con el resto de bandas que son de uso común.

3.2.3. *Requerimientos técnicos y funcionalidades de la tecnología a implantar*

3.2.3.1. *Tipo de solución a implantar*

Para el despliegue de redes inalámbricas en entornos ferroviarios se recomienda hacer uso de sistemas basados en los estándares de mercado, como forma de garantizar la interoperatividad entre sistemas de diferentes proveedores y para no depender del proveedor del sistema implantado para las ampliaciones o modificaciones del mismo. No obstante, cuando ninguna de las soluciones estándar cumple con la totalidad de los requisitos del sistema a implantar, se opta por soluciones basadas en el estándar, pero mejoradas en alguna de sus funcionalidades mediante un desarrollo propio del fabricante. En estas ocasiones es importante fijar los requisitos técnicos y de escalabilidad del sistema en el proceso de contratación.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Asimismo es muy recomendable que el estándar disponga de equipos certificados que permitan la máxima interoperatividad entre diferentes fabricantes. Además, la madurez del estándar medida en términos de número de fabricantes que ofrecen equipos del mismo también es un elemento fundamental a la hora de escoger una tecnología con buenas perspectivas de futuro. No existe, a pesar de todo, un número concreto y específico mínimo de fabricantes o equipos que permita garantizar esta continuidad y expansión de futuro.

De acuerdo con la valoración de estándares y de tecnologías realizado por SENER, se recomienda que la tecnología a implantar esté basada en el estándar 802.11n. Aunque en función del momento en el que se implante la solución se debería considerar el uso del estándar 802.11ac que actualmente se encuentra en período de desarrollo, pero que parece una clara apuesta de futuro.

3.2.3.2. Capacidad

La capacidad de un sistema de comunicaciones es la máxima cantidad de información útil que se puede transmitir de forma fiable por unidad de tiempo. La capacidad del sistema viene dada en gran medida por la capacidad del canal de comunicaciones, que a su vez depende en gran medida de su ancho de banda.

El sistema de radiocomunicaciones seleccionado debe tener una capacidad que al menos sea suficiente para dar servicio útil a las aplicaciones que se soporten sobre él. En este sentido, es necesario agregar las necesidades de transmisión de todas las aplicaciones o servicios que vayan a funcionar sobre el sistema, e incluso así, la capacidad del canal tendrá que ser siempre holgadamente mayor para poder tener en cuenta las pérdidas inherentes a todo el sistema, debidas a múltiples factores que van desde las imperfecciones de los equipos electrónicos hasta las pérdidas debidas a los diferentes niveles de protocolos y la sobrecarga de señalización que comportan.

El throughput limpio total necesario que tendrá que garantizar la red de banda ancha para el enlace tren-tierra-tren tendrá que ser como mínimo de 16 Mbps. De este modo se garantiza la transmisión de 8 imágenes de vídeo en tiempo real (aplicación más crítica en la que se requiere transmitir 8 imágenes desde la misma celda), así como el resto de servicios requeridos, y se asegura la escalabilidad de los sistemas.

Asimismo, el sistema ha de permitir la agregación de canales de forma que el throughput máximo pueda alcanzar los 32 Mbps, y así poder garantizar que 2 trenes que se encuentren en la misma celda puedan disponer del ancho de banda necesario para transmitir 8 imágenes de vídeo y el resto de servicios requeridos (ver apartado 7.2.2).

3.2.3.3. *Movilidad (Handover)*

Para zonas de cobertura que conformen grandes extensiones, es necesaria la utilización de una arquitectura móvil. El procedimiento de handover es fundamental en los sistemas móviles, dado que es el que permite la transferencia de la comunicación de un punto de acceso a medida que el tren se vaya desplazando. En definitiva, el handover resulta transparente para las comunicaciones embarcadas mediante el sistema de comunicaciones desplegado sobre el recorrido de una línea, para poder prestar los servicios soportando la movilidad.

El motivo más habitual para desencadenar un proceso de handover es la mala calidad de la señal recibida; es decir, a medida que el móvil se va alejando del punto de acceso, se va degradando la calidad y puede resultar más adecuado que un punto de acceso vecino se haga cargo de la comunicación. No obstante, los mecanismos de handover pueden dispararse a veces por cuestiones de tráfico: si hay una celda muy cargada, puede resultar interesante que los móviles más alejados, incluso cuando aquella celda sea la mejor para ellos, estén conectados mediante celdas vecinas que proporcionen un nivel de calidad suficiente. En estos casos el handover permite liberar carga de esta celda derivando tráfico hacia celdas vecinas.

Dado que los requerimientos más exigentes para la red de radiocomunicaciones de banda ancha suele ser la visualización de imágenes de vídeo embarcado en el PCC en tiempo real y sin cortes apreciables y el establecimiento de conversaciones de voz (interfonía y voice), se recomienda seleccionar una tecnología que contemple mecanismos de traspaso (handover).

Tal y como ya ha sido comentado en el apartado anterior de valoración de estándares y tecnologías de mercado disponibles, los estándares WiFi no implementan mecanismos de handover. Pero sin embargo, es posible implementar estos mecanismos, de forma complementaria a los estándares, mediante desarrollos software que garanticen unos tiempos de transición que permitan mantener la continuidad del

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

servicio de vídeo (tiempo de handover inferiores a 400 ms), e incluso de voz (tiempo de handover inferiores a 150ms).

3.2.3.4. QoS

La QoS (Quality of Service, Calidad de Servicio), garantiza que se transmitirá cierta cantidad de datos en un tiempo dado (throughput). En sistemas de comunicaciones inalámbricas, conseguir garantizar unos ciertos requerimientos de QoS puede ser especialmente complicado debido a la naturaleza inherentemente variable e impredecible del canal radio. Por lo tanto, se recomienda seleccionar una tecnología que pueda implementar mecanismos de QoS.

Los parámetros más utilizados para definir los criterios de QoS suelen ser los siguientes:

- Retraso máximo extremo a extremo.
- Caudal mínimo garantizado (throughput), normalmente en bps.
- Máxima diferencia de retrasos entre paquetes de un mismo flujo de información (jitter).
- Caudal medio garantizado en un cierto periodo de tiempo.

Por otro lado, una característica relevante de la capacidad de los sistemas de comunicaciones para garantizar criterios de QoS es la posibilidad de diferenciar entre varias Clases de Servicios. Cada clase de servicio define un conjunto de parámetros de QoS que deben ser cumplidos. De este modo, todas las aplicaciones y servicios que tengan que ser soportados por la red de radiocomunicaciones de banda ancha tienen sus requerimientos de calidad de servicio en cuanto al caudal de información necesario, retraso máximo y otros. Todos estos requisitos tendrán que ser soportados por la tecnología seleccionada para la implantación de la red de radiocomunicaciones de banda ancha del Corredor Diagonal Guadalajara (CDG).

Asimismo, la capacidad final de un sistema de comunicaciones, calculada como número de usuarios y aplicaciones que puedan recibir servicio de forma simultánea en situación de máxima carga de la red, vendrá dada por la comparación entre los requerimientos y servicios que se quieran soportar, así como los parámetros de QoS que puedan definirse en el sistema, y la capacidad neta total disponible debida tanto

al canal como al resto de los elementos del estándar, es decir, descontando las pérdidas que todos ellos provoquen respecto a la capacidad bruta total del mismo.

Se recomienda que la tecnología seleccionada incorpore mecanismos propios de gestión de parámetros de calidad de servicio integrados de forma inherente, como característica muy importante a valorar. A pesar de todo, se puede considerar simplemente una amenaza para el sistema el hecho de no incorporarlos, puesto que en algunos casos es posible implementar mecanismos equivalentes que permitan al menos gestionar un cierto nivel de prioridades entre las aplicaciones que se sustentan en un mismo canal radio.

3.2.3.5. Seguridad

La flexibilidad y movilidad de las tecnologías radio tienen ventajas competitivas muy significativas, pero, debido a que esta tecnología se basa en transmisiones de ondas de radio, también originan preocupaciones sobre la seguridad de la red. En particular, el uso general de bandas no licenciadas puede suponer una amenaza de seguridad dado que existe una gran variedad de dispositivos capaces de establecer comunicaciones. Su bajo coste y la libertad de transmisión facilitan mucho la posible aparición de amenazas a la seguridad.

Para los sistemas WiFi, tales preocupaciones han sido abordadas por la especificación de seguridad de Acceso Protegido WiFi (WPA) desarrollada por el IEEE conjuntamente con la Alianza WiFi. El WPA no sólo ofrece una fuerte encriptación de los datos para corregir las debilidades de la Privacidad Equivalente Cableada (WEP), sino que agrega además la autenticación del usuario.

Por todo esto, Se recomienda que el sistema considerado incluya las suficientes medidas de seguridad como para mantener la comunicación fiable y continua. En este caso, se podrían considerar como referencia los mecanismos de seguridad de los sistemas públicos existentes, aceptando como válidos sistemas de encriptación del tipo SSL utilizados en Internet. En concreto, deberá poder incluir mecanismos de seguridad WPA2 IEEE 802.11 y (estándar de seguridad que se caracteriza por las protecciones de autenticación 802.1X y que agrega el estándar de "encriptación de avance (AES) 1" para la protección de encriptación), sistemas criptográficos con claves y, en cualquier caso, siempre tendrá que existir la posibilidad de incorporar mecanismos de seguridad por software.

3.2.4. *Requerimientos de Cobertura*

La planificación radio y la especificación del diseño de la red de banda ancha se realizará con el objetivo de optimizar la arquitectura de red, garantizando en todo momento una cobertura uniforme a lo largo de las dos vías del recorrido de los trenes de la Línea.

Como criterio de diseño del Sistema de radiocomunicaciones de banda ancha se requerirá el poder garantizar el:

- 96% de cobertura redundante (o doble cobertura), en las zonas de circulación de trenes de viaducto y túnel.
- 96% de cobertura simple en la zona de circulación de trenes de Talleres y Depósito.

El '96% de cobertura' hace referencia al 96% zonal y al 96% temporal, sobre una sección de 100 metros de túnel o viaducto o en un área de estación. La 'cobertura doble o redundante' en una zona determinada hace referencia a que, en aquella zona, la cobertura se obtenga de dos puntos de acceso diferentes de la Red de radiocomunicaciones de banda ancha, evitando así la interrupción de los servicios que soporta este enlace en caso de caída de uno de los puntos de acceso.

La cobertura de la red de banda ancha tiene que incluir:

- Las vías en todo el recorrido, dando cobertura a los trenes en los dos sentidos de la marcha incluyendo zonas de transición y zonas de aguja.
- Los andenes de todas las estaciones del tramo para garantizar la cobertura de los trenes durante su paso por las estaciones, dando cobertura a los trenes en los dos sentidos de la marcha incluyendo cuando se crucen.
- Las playas de vías en los talleres y depósitos.
- Las diagonales por el cambio de vía.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

No se contempla en esta fase la cobertura en vestíbulos ni en dependencias de las estaciones. Por tanto no será necesario realizar los cálculos para estas dependencias.

No será objeto del proyecto dar cobertura de la red de radiocomunicaciones de banda ancha en la red viaria dentro del ámbito de influencia del CDG. Por ello, el diseño del sistema radiante se realizará con el objetivo de garantizar la cobertura requerida en la traza de la vía, a lo largo de toda la Línea.

En ningún caso habrá zonas de sombra y tendrá que asegurarse la continuidad de los servicios soportados por la red de banda ancha.

El material rodante tendrá que tener acceso radio durante todo el tiempo y durante todo su recorrido al largo de las inter-estaciones, estaciones y de la zona de talleres y depósito.

Los niveles de señal y calidad se mantendrán homogéneos incluido durante los cruzamientos de trenes en cualquier zona de la línea ferroviaria.

El nivel y la calidad de señal a lo largo de todo el recorrido del Material Rodante deberán ser suficientes para garantizar los requerimientos de ancho de banda de la red.

En el ámbito de talleres y depósitos se considera indispensable que se implementen en la red mecanismos que aseguren el reparto equitativo del ancho de banda disponible entre todos los trenes que se encuentren estacionados en dichas zonas.

3.2.5. *Requerimientos de Operación*

El sistema de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá como objetivo principal permitir la comunicación en forma rápida, clara, segura, uniforme y exclusiva entre el Centro de Control y Operación (CCO) y los trenes, permitiendo la correcta ejecución de los servicios que se transportan a través de la red y que se listan a continuación:

- Servicios embarcados previstos por la explotación de la Línea:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Servicio de Vídeo Vigilancia Embarcada, destinado a que los operadores del Centro de Seguridad y los conductores de los trenes puedan visualizar en tiempo real el interior de los vagones de los trenes en servicio.
- Servicio de Telemando de Tráfico (Material Rodante), destinado a que los reguladores de tráfico del Centro de Control puedan disponer de información acerca del estado de funcionamiento del tren. En concreto información que pueda afectar a la circulación normal de los trenes, como por ejemplo el tirado de una palanca de accionamiento del freno de emergencia.
- Servicio de Interfonía, destinado a que los usuarios embarcados puedan establecer una comunicación directa con el Centro de Seguridad a fin de atender a llamadas de emergencia. En casos degradados, con pérdida de las comunicaciones con el centro de control, el conductor del tren podrá atender las llamadas de interfonía que se generen.
- Servicio de Sonorización y Voceo Embarcada., destinado a que los operadores del Centro de Información y Atención al Usuario del Centro de Control puedan emitir al interior del tren mensajes de voceo en vivo o emitir órdenes de activación de mensajes pregrabados. En casos muy concretos, los conductores también podrán emitir mensajes de voceo al interior de su propio tren. Existirá una vía de retorno de los mensajes en vivo emitidos desde el Centro de Control o desde la cabina, con objeto de monitorización.
- Servicio de Teleindicadores, destinado a proporcionar una plataforma de emisión audiovisual de mensajes, enfocada tanto a temas del trayecto (itinerario, paradas, incidencias, etc...) como a temas del propio operador (ofertas, eventos, publicidad, etc...). Los mensajes son emitidos y gestionados desde el Centro de Información y Atención al Usuario (CIAU) del Centro de Control.

3.2.5.1. Tipos de Comunicaciones

La red de radiocomunicaciones de banda ancha ha de ser transparente para los usuarios y ha de permitir que los servicios anteriormente descritos se puedan ejecutar correctamente tanto a nivel embarcado como a nivel del Centro de Control y Operación, teniendo en cuenta la calidad de servicio (ancho de banda garantizado) exigida a cada uno de los servicios, descrita en el apartado 7.2.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Las comunicaciones que se tendrán en cuenta para el estudio de cobertura son las bidireccionales de datos entre el equipo embarcado de tren y cada uno de los puntos de acceso que se despliegan a lo largo de la vía. En particular, se establecerán comunicaciones asociadas a:

- Videovigilancia embarcada
- Interfonía
- Sonorización y Voceo
- Datos asociados al Telemando de Material Rodante
- Teleindicadores

3.2.5.2. *Usuarios Radio*

Los usuarios del Sistema de Radiocomunicaciones de banda ancha son los equipos embarcados en los trenes y los servidores que soportan los servicios que se ejecutan desde los puestos de operación del CCO.

Puesto que la red es sólo un medio de transmisión de los servicios anteriormente mencionados, para realizar el estudio de cobertura de la red únicamente es necesario conocer el ancho de banda consumido por cada uno de los servicios que se transmitirán y el número de trenes máximos que puede haber bajo un mismo punto de acceso (celda). Este número dependerá del plan de explotación de la línea (intervalo entre trenes) y, evidentemente, de la distancia entre puntos de acceso.

3.2.6. *Subsistema Radio Considerado*

El Sistema de Radiocomunicaciones de banda ancha estará integrado por los siguientes subsistemas:

- Subsistema Radio: puntos de acceso radio distribuidos a lo largo de las Línea para hacer posible el establecimiento de comunicaciones radio.
- Subsistema de Control y Conmutación: instalado a nivel de estación y/o Centro de Control desde el que se controla el funcionamiento de los elementos del sistema y que es la interfaz con los servidores que ejecutan cada uno de los servicios que se transmiten a través de la red.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Subsistema radiante: conjunto de elementos que proporcionan la cobertura radio en las áreas requeridas, que en el caso de esta red serán antenas.
- Subsistema de gestión de red, que permite realizar las tareas de mantenimiento necesarias sobre la red.

Para el diseño del sistema radio se ha considerado que el Sistema de Radiocomunicaciones de banda ancha del CDG estará implementado mediante una red de puntos de acceso radio repartidos a lo largo del Corredor Diagonal de Guadalajara e interconectados con el nodo de control y conmutación central del sistema, que se instalará en el Centro de Control de la Línea. Si bien algunos sistemas pueden requerir la instalación de equipos de conmutación y control a nivel de estación.

La conexión de todos los elementos integrantes del Sistema (puntos de acceso y equipos de conmutación y control), se realizará a través de conexiones Ethernet, a través de la Red de Transporte Multiservicios de la Línea (RED). La comunicación entre los Puntos de Acceso y el Equipamiento de Conmutación y control se realizará mediante protocolo IP.

La conexión de puntos de acceso con equipos de lógica de red ubicados en estaciones se llevará a cabo mediante cables de f.o. disponibles a tal efecto en el CDG. Para optimizar el uso de fibras ópticas y para aportar una mayor robustez al sistema, esta interconexión se realizará mediante una configuración en semianillos, conectando los puntos de acceso de cada semianillo a los dos equipos de lógica de red de estaciones colaterales.

El cableado de fibra óptica, necesario para la conexión en semianillos de los puntos de acceso a los equipos de control y lógica de red de estación del sistema de banda ancha, y los repartidores de fibra necesarios se instalarán a tal efecto como parte del alcance del sistema FIS.

3.2.7. *Subsistema Radiante considerado*

3.2.7.1. *Subsistema Radiante en Tramo Viaducto*

Tal y como ya se ha mencionado anteriormente, el Sistema de Radiocomunicaciones de banda ancha proporcionará cobertura en la zona de circulación de los trenes (incluyendo andenes de parada) mediante puntos de acceso que se instalarán a lo largo del viaducto.

Estos puntos de acceso estarán conectados mediante cableado de fibra óptica, siguiendo una topología de semianillos tal como se ha expuesto en el apartado anterior, y energizadas mediante cableado de Baja Tensión que procederá de la estación más cercana.

Cada punto de acceso estará formado por un armario que se instalará fuera del gálibo de los trenes, preferiblemente en los postes de catenaria, y que contendrá todo el equipamiento radio necesario. Será en la parte superior del poste de catenaria, por encima del hilo de contacto, donde se propone la instalación de las antenas que proporcionaran la cobertura necesaria. Con esta propuesta se minimiza el impacto visual que supondría la instalación de un nuevo mástil en el viaducto.

Asimismo, las antenas del sistema de radiocomunicaciones de banda ancha deberán guardar una distancia de separación de 1 metro con respecto a las antenas del sistema de señalización CBTC que también se instalarán en el viaducto.

3.2.7.2. *Subsistema Radiante Tramos de Túnel*

Para los tramos en túnel está previsto que se utilice el mismo sistema radiante y siguiendo la misma topología, que se muestra en la imagen siguiente:

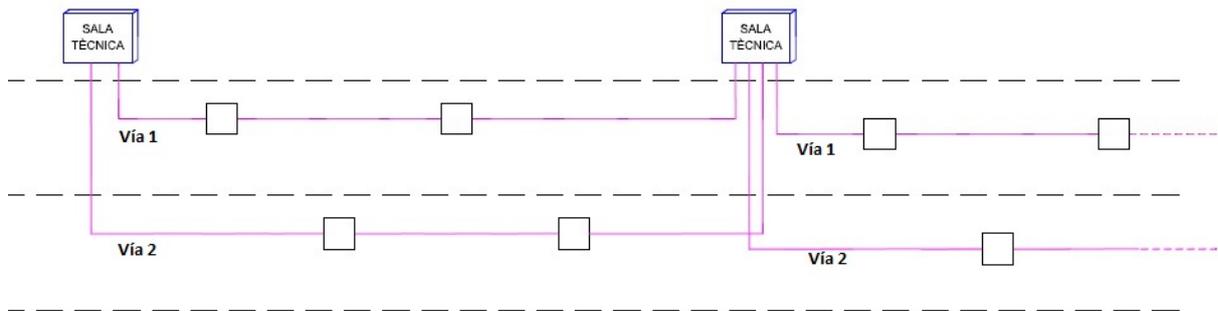


Figura 50. Esquema de distribución de puntos de acceso en túnel.

Los armarios de los puntos de acceso así como las correspondientes antenas, se instalarán a ambos lados del túnel (siempre que sea posible) y fuera del gálibo del túnel. La caja se instalará a una altura que permita fácil acceso para las tareas de mantenimiento y las antenas se colocaran lo más cerca posible de la caja para así disminuir las pérdidas de atenuación introducidas por el cable coaxial y guardando una distancia mínima de 30 cm con respecto a la catenaria.

Siempre que sea posible, las antenas se instalarán por encima de la altura del techo del tren, para facilitar que pueda haber línea directa de visión entre la antena del tren y la antena del punto de acceso radio.

El punto de acceso, descrito en el apartado 10.2.4.2 del presente documento, estará integrado por un armario que se instalará fuera del gálibo de los trenes, preferiblemente en los postes de catenaria, y que contendrá todo el equipamiento radio necesario. Será en la parte superior del poste de catenaria, por encima del hilo de contacto, donde se propone la instalación de las antenas que proporcionaran la cobertura necesaria.

Adicionalmente, las antenas del sistema de radiocomunicaciones de banda ancha deberán guardar una distancia de separación de 1 metro con respecto a las antenas del sistema de señalización CBTC que también se instalarán en el túnel.

3.2.7.3. Subsistema Radiante Zonas de Transición Túnel – Viaducto

Para las zonas de transición está prevista la misma solución que para viaducto: puntos de acceso instalados sobre los postes de catenaria y antenas en el inicio del túnel.

En el estudio de cobertura se verificará que esta zona quede totalmente cubierta cumpliendo el requerimiento de cobertura redundante.

3.2.7.4. Subsistema Radiante Dependencias de Talleres y Depósitos

Para las zonas de talleres se propone la misma solución que en túnel, pero dado el elevado número de trenes que se concentrarán en una sola zona, el fabricante deberá de prever mecanismos que permitan el reparto equitativo del ancho de banda disponible entre todos los trenes.

3.2.7.5. Subsistema Radiante en los trenes

Se prevé la instalación de 2 antenas en cada tren, una en cada extremo, de forma que se pueda tener redundancia también a nivel de tren. En el apartado 10.2.4.5 del presente documento se muestra un ejemplo del tipo de antena a utilizar.

4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En este capítulo se describe la metodología de cálculo aplicadas al Estudio de Cobertura Radioeléctrica, tanto para el Sistema de Radiocomunicaciones de Voz TETRA como para el sistema de Radiocomunicaciones de Banda Ancha.

4.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA)

En este capítulo se describe la metodología de cálculo utilizada para la elaboración del presente estudio de cobertura radioeléctrica, considerando los diferentes entornos de propagación de la señal radio TETRA a lo largo de la Línea.

4.1.1. Metodología de cálculo de cobertura en Exteriores

El punto de partida para realizar el estudio de cobertura es la definición de los criterios de calidad que se quieren conseguir, es decir, el grado de cobertura deseado. En las zonas de exteriores, en general el parámetro que se toma como referencia es la cobertura perimetral o probabilidad de tener cobertura en el límite de la celda. Este parámetro representa una cota inferior de la cobertura zonal o probabilidad de tener cobertura en cualquier punto de una celda. Son valores de diseño típicos para la cobertura perimetral el 90 o 95 %. El hecho de utilizar un valor no determinístico para hablar de cobertura viene determinado por el comportamiento del canal radio, variante en tiempo y espacio.

A efectos del presente estudio, y dado que la cobertura en viaducto se requiere en la traza de la vía, se han considerado como requerimientos de cobertura valores de cobertura zonal del 96% en espacio y tiempo y cobertura perimetral del 90%.

Para el cálculo de cobertura en la zona de viaducto, se deberá tener en cuenta la visibilidad entre el usuario y las antenas situadas en el techo de las estaciones, de tipo viaducto, vecinas. Este hecho dependerá en gran medida de las alturas relativas entre la antena de estación, la altura del terminal a nivel de usuario y la directividad de las antenas en el plano de radiación vertical y horizontal.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para analizar la viabilidad de la solución radio propuesta, la metodología de cálculo se ha aplicado en el caso más desfavorable posible, tomando como referencia los puntos extremos del área que debe cubrir cada TBS. Para ello, en cada tramo, se han hecho los cálculos para medir el margen de potencia que se obtendría en el límite del área de cobertura de cada antena: con el tren situado en la estación 1 y el terminal portátil de usuario embarcado dentro del tren estableciendo comunicación a través de la TBS de la estación 2 y viceversa (puntos 1 y 2 de la figura).

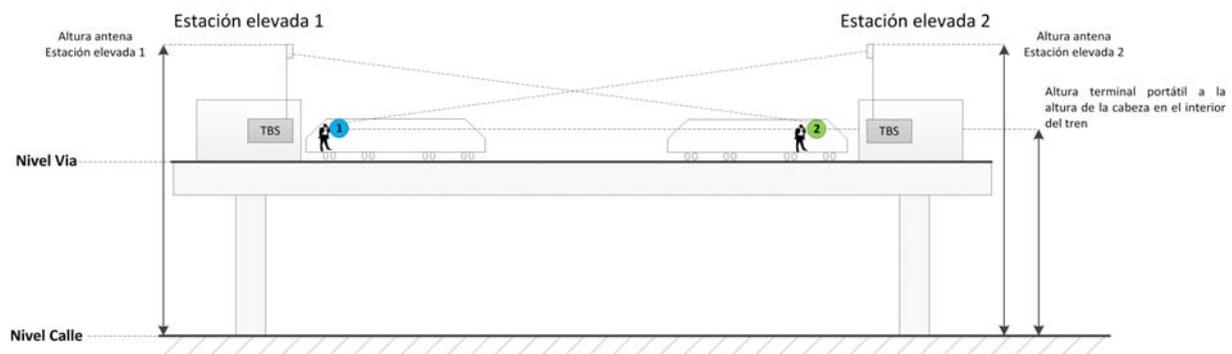


Figura 51. Cobertura en exterior: caso más desfavorable ‘comunicación usuario embarcado – tierra’.

En un entorno de comunicaciones en superficie, se deben tener en consideración una serie de pérdidas para caracterizar correctamente el escenario de comunicación.

– Pérdidas por desvanecimiento de tipo log-normal

Dado que la señal radio presenta variaciones aleatorias, sólo se puede garantizar la recepción por encima de un cierto umbral con una cierta probabilidad. Estas variaciones están en función del tipo de entorno y de la mayor o menor existencia de zonas de sombra radioeléctrica (zonas donde el sistema no ofrece cobertura).

Empíricamente se ha podido observar que la señal presenta unas variaciones lentas entorno a un cierto valor medio según una función de distribución de tipo log-normal (distribución Gaussiana en dB). La dispersión de estos valores dependerá directamente del tipo de entorno. Por ejemplo, según la

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

recomendación de la ITU-R P.1406 el valor de la dispersión que caracteriza un entorno rural viene dado por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}\sigma_L [dB] &= 6 + 0.69 \left(\frac{\Delta h}{\lambda} \right)^{1/2} - 0.0063 \left(\frac{\Delta h}{\lambda} \right) && \text{si } \Delta h / \lambda < 3000 \\ \sigma_L [dB] &= 25 && \text{si } \Delta h / \lambda > 3000\end{aligned}$$

Dónde:

Δh : representa la ondulación del terreno, en m.

λ : es la longitud de onda de la señal, en m.

Por ejemplo, asumiendo un entorno rural y una ondulación del terreno igual 20 m, la desviación típica sería 9.4 dB a 400 MHz. Valor ligeramente superior a los 8 dB de la recomendación que hace la ETSI para sistemas TETRA en entornos rurales y suburbanos (documento ETR 300-1).

Por otro lado, en un entorno urbano aproximadamente plano y extenso, la estimación de este parámetro según la recomendación de la ITU-R se tiene que hacer con la expresión:

$$\sigma_L [dB] = 5.25 + 0.42 \log \left(\frac{f}{100} \right) + 1.01 \log^2 \left(\frac{f}{100} \right)$$

Donde f es la frecuencia de trabajo en MHz. En este caso y en la frecuencia de interés (~400MHz) el valor de la desviación será de unos 6 dB, que coincide con la recomendación de la ETSI para sistemas TETRA en entornos urbanos (este valor puede llegar a los 10 dB si el entorno es de tipo *denso urbano*).

No obstante, considerando el entorno del CDG como un entorno urbano de las características anteriores, se tomará en consideración un margen de 8 dB, ya que se considera un margen de protección adicional (calculado una vez conocida la desviación típica), para garantizar una cobertura perimetral o probabilidad de tener cobertura en el límite de la celda del 90%.

– **Pérdidas por desvanecimiento de tipo Rayleigh**

Habitualmente los fabricantes facilitan la sensibilidad de los equipos en condiciones estáticas y por lo tanto hay que añadir un segundo margen corrector que tenga en cuenta la dinámica del canal. La degradación por desvanecimientos de tipo Rayleigh depende del tipo de modulación utilizado, de la velocidad media del equipo de usuario y del tipo de entorno de propagación, siguiendo las recomendaciones de la ETSI en el documento ETR 300-1, se considerará un valor igual a 9 dB. Éste es un valor medio para la modulación $\pi/4$ -QPSK (TETRA). Cabe destacar que el resultado de aplicar este valor para el cálculo de la sensibilidad dinámica en lugar de tomar el valor dado por los fabricantes, supone considerar un valor de sensibilidad dinámica más restrictivo, lo que añade un mayor margen de protección a los cálculos realizados.

– **Pérdidas por propagación**

Atendiendo a nuestro entorno de estudio, se observa que la zona donde se va a dar cobertura para el sistema de radiocomunicaciones de voz corresponde a un corredor con tramos interestación rectos, donde se garantiza la línea de visión entre antenas transmisora y receptora, y sin obstáculos considerables, aunque sí con singularidades a tener en cuenta en cada escenario de comunicación posible que se deben tomar en consideración para la realización de los cálculos de cobertura. Para las pérdidas de propagación al exterior, teniendo presente las características del entorno del CDG, se ha decidido realizar el cálculo de cobertura en exteriores aplicando el modelo empírico de Okumura-Hata.

La fórmula de Okumura-Hata permite determinar la pérdida de transmisión, supuesto que las antenas transmisora y receptora se encuentran separadas por una distancia d . Se tiene, por tanto, que la pérdida por transmisión es:

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m$$

Donde $a(h_m)$ es un factor de corrección que depende de la altura del móvil y que se calcula como sigue:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- para áreas urbanas (ciudades pequeñas o medianas):

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log f - 0.8)$$

- Para áreas urbanas (ciudades grandes):

$$a(h_m) = 8.29 (\log 1.54 h_m)^2 - 1.1 \text{ si } f \leq 200 \text{ Mhz}$$

$$a(h_m) = 3.2 (\log 11.75 h_m)^2 - 4.97 \text{ si } f \geq 400 \text{ Mhz}$$

- Para áreas suburbanas:

$$L_b = L_b (\text{urban}) - 2[\log(f/28)]^2 - 5.4$$

- Para áreas rurales:

$$L_b = L_b (\text{urban}) - 4.78 \log(f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

Dónde:

L_b : constante que representa las pérdidas por transmisión.

f : frecuencia de trabajo.

h_m : altura de la antena del terminal móvil, en metros

h_b : altura de la antena en estación, en metros

d_m : distancia entre el emisor y el receptor (en km)

A efectos del estudio realizado, para el entorno del CDG, se ha considerado el modelo Okumura-Hata particularizado para áreas urbanas y ciudades grandes, debido a la morfología del terreno urbano por el que circula el metro ligero, y a una frecuencia $f = 430$ Mhz (como caso más restrictivo).

– **Pérdidas por cable y por branching en transmisión y recepción**

La alimentación de las antenas se llevará a cabo con cables coaxiales de bajas pérdidas y con una impedancia característica tal que se garantice adaptación en ambos extremos. Aun así, se considerarán las pérdidas acumuladas por la inserción de cables coaxiales, conectores y elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal entre el equipo de radio y las antenas.

El término branching en transmisión hace referencia a los diferentes elementos pasivos para la distribución de señal que tiene que atravesar la señal radio desde el equipo TX/RX hasta el conector de la antena Transmisora/Receptora.

– **Pérdidas por penetración en el tren**

Las pérdidas por penetración tienen en cuenta la atenuación adicional que sufre la señal al tener que penetrar dentro del tren. Estas pérdidas aplican en el caso de comunicaciones establecidas por usuarios con terminal portátil embarcados dentro de los trenes. Las pérdidas derivadas de la ubicación del terminal dentro del tren típicamente se estiman en unos 6-8 dB. A efectos del presente estudio, se ha considerado como factor de pérdidas por penetración en tren de 8dB.

– **Pérdidas “body loss”**

La presencia del cuerpo humano en el campo eléctrico alrededor de un equipo de usuario, degrada el comportamiento efectivo de la antena. Cuanto más próxima esté la antena al cuerpo mayor será la degradación. Existen varios estudios realizados en los que estas pérdidas oscilan entre 3 y 5 dB. A efectos del presente estudio, y en base a las medidas empíricas realizadas en el marco de proyectos similares, se considera un factor de pérdidas de 6 dB por terminal en cinturón, cuando el terminal se encuentra a nivel de cintura, afectando, por tanto, sólo en los cálculos del *downlink*.

Tal como se ha indicado en el punto anterior, el sistema radiante en los tramos de superficie se implementará mediante una solución basada en antenas directivas en todos los tramos, a excepción de los tramos de transición túnel –viaducto y el tramo entre las estaciones de Mercado del Mar y Basílica, en los

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

que se empleará cable radiante. Cuando el sistema radiante es cable radiante se deben considerar otros factores de pérdidas que afectan al establecimiento de las comunicaciones radio. Estos factores son:

- **Pérdidas por cable y por branching en transmisión y recepción**

Se considerarán las pérdidas acumuladas por la inserción de cables coaxiales, conectores y elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal entre el equipo de radio y el cable radiante.

- **Pérdidas longitudinales o de inserción del cable radiante**

Las pérdidas longitudinales o de inserción se expresan como la pérdida sufrida por la señal (o atenuación del cable), por recorrido dentro del cable. Es un valor facilitado por el fabricante en dB por cada 100 m.

- **Pérdidas por acoplamiento del cable radiante**

La pérdida por acoplamiento es definida como el cociente entre la potencia del cable y la potencia recibida por una antena dipolo a una distancia determinada del cable. Es un valor facilitado por el fabricante que se obtiene a partir del método de propagación en el espacio libre de acuerdo con la IEC 61 196-4 a 2 metros de distancia del cable. Partiendo de esa medida los fabricantes proporcionan dos valores:

- Acoplamiento el 50% del tiempo
- Acoplamiento el 95% del tiempo

En el presente estudio se ha considerado el valor de acoplamiento al 95% que indica que para la medida realizada el acoplamiento será inferior al valor proporcionado a lo largo del 95% del tiempo.

- **Pérdidas adicionales por distancia del cable radiante**

El valor de las pérdidas de acoplamiento que proporcionan los fabricantes se realiza a 2 m. Para este estudio se ha estimado que podrán darse situaciones en las que el terminal radio esté a mayor distancia del cable radiante, por lo que se considera un margen de protección adicional. A efectos del presente estudio se ha considerado un margen de 8 dB, como factor típicamente aplicado.

A continuación se muestran las fórmulas aplicadas para cada una de las soluciones de sistema radiante consideradas, que permiten obtener el margen de potencia de señal (en dB), disponible en los extremos de cada tramo de interestación.

4.1.1.1. Cobertura mediante antenas

A partir del modelo de propagación en exteriores Okumura – Hata y considerando el conjunto de pérdidas aplicables en las zonas de viaducto cubiertas por antenas, el margen disponible en un punto concreto entre estaciones, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink y usuario embarcado), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - Se_{RX} - L_{Rayleigh} - L_{D.lognormal} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{prop} - L_{tren} + G_{antena \text{ Tx}} + G_{antena \text{ Rx}}]$$

Dónde:

M es el Margen en dBm disponible.

P_{TX} es la potencia transmitida (en el uplink se considera la del terminal portátil)

Se_{RX} es la sensibilidad estática en recepción.

L_{Rayleigh} margen teórico por desvanecimientos de tipo Rayleigh.

L_{D.lognormal} margen teórico por desvanecimientos de tipo lognormal.

L_{branching y cable} corresponde a las pérdidas de branching e inserción de cableado introducidas tanto en recepción como en transmisión.

L_{prop} es el conjunto de pérdidas de propagación, calculadas en base al modelo Okumura-Hata en la forma antes indicada.

L_{tren} son las pérdidas teóricas introducidas por la penetración de señal en el tren.

G_{antena TX} Ganancia de la antena de transmisión.

G_{antena RX} Ganancia de la antena de recepción.

4.1.1.2. Cobertura mediante cable radiante

A partir del modelo de propagación en exteriores Okumura – Hata y considerando el conjunto de pérdidas aplicables en las zonas de viaducto cubiertas por cable radiante, el margen disponible en un punto

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

concreto entre estaciones, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink y usuario embarcado), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - Se_{RX} - L_{Rayleigh} - L_{D.lognormal} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{inseccr} - L_{acobT} - L_{dist} - L_{tren} + G_{antena TX}]$$

Dónde:

M es el Margen en dB disponible

P_{TX} es la potencia transmitida (en el uplink se considera la del terminal portátil)

Se_{RX} es la sensibilidad estática en recepción.

L_{Rayleigh} margen teórico por desvanecimientos de tipo Rayleigh.

L_{D.lognormal} margen teórico por desvanecimientos de tipo lognormal.

L_{branching y cable} corresponde a las pérdidas de branching y el cableado.

L_{inseccr} son las pérdidas de inserción del cable radiante.

L_{acobT} son las pérdidas de acoplamiento teóricas del cable radiante.

L_{dist} son las pérdidas adicionales por distancia al cable radiante.

L_{tren} son las pérdidas teóricas introducidas por la penetración en el tren.

G_{antena TX} Ganancia de la antena de transmisión.

4.1.2. Metodología de cálculo de cobertura en Túnel

El principal factor que caracteriza el entorno de túnel es el multitrayecto que sigue la señal emitida a lo largo del entorno túnel. Para caracterizar la propagación en zonas de túnel se han considerado las siguientes pérdidas para obtener el margen de potencia de señal (en dB), disponible en los extremos del cable radiante en cada tramo de interestación.

En este caso, se deben aplicar los factores de pérdidas que afectan al establecimiento de las comunicaciones radio. Estos factores son:

– **Pérdidas por fading**

El valor de las pérdidas de acoplamiento proporcionado por los fabricantes es un valor calculado partiendo de unas medidas reales realizadas al espacio libre. Cuando se trabaja en un entorno cerrado como es el caso del entorno de túnel, se producen múltiples caminos de propagación que provocan cancelaciones de las señales y efectos de distorsión. Los fabricantes proponen añadir un margen llamado fading para acercar el cálculo teórico al real. A efectos del presente estudio se ha considerado un margen de 6 dB para la zona de túnel, como factor típicamente aplicado.

– **Pérdidas por cable y por branching en transmisión y recepción**

Se considerarán las pérdidas acumuladas por la inserción de cables coaxiales, conectores y elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal entre el equipo de radio y el cable radiante desplegado a lo largo del túnel.

El término branching en transmisión hace referencia a los diferentes elementos pasivos para la distribución de señal que tiene que atravesar la señal radio desde el equipo TX/RX hasta el cable radiante de túnel.

– **Pérdidas por penetración en el tren**

Las pérdidas por penetración tienen en cuenta la atenuación adicional que sufre la señal al tener que penetrar dentro del tren. Estas pérdidas aplican en el caso de comunicaciones establecidas por usuarios con terminal portátil embarcados dentro de los trenes. Las pérdidas derivadas de la ubicación del terminal dentro del tren típicamente se estiman en unos 6-8 dB. A efectos del presente estudio, se ha considerado como factor de pérdidas por penetración en tren de 8dB.

– **Pérdidas “body loss”**

La presencia del cuerpo humano en el campo eléctrico alrededor de un equipo de usuario, degrada el comportamiento efectivo de la antena. Cuanto más próxima esté la antena al cuerpo mayor será la degradación. Existen varios estudios realizados en los que estas pérdidas oscilan entre 3 y 5 dB. A efectos del presente estudio, y en base a las medidas empíricas realizadas en el marco de proyectos similares, se considera un factor de pérdidas de 6 dB por terminal en cinturón, cuando el terminal se encuentra a nivel de cintura, afectando por tanto sólo en los cálculos del *downlink*.

– **Pérdidas longitudinales o de inserción del cable radiante**

Las pérdidas longitudinales o de inserción se expresan como la pérdida sufrida por la señal (o atenuación del cable), por recorrido dentro del cable. Es un valor facilitado por el fabricante en dB por cada 100 m.

– **Pérdidas por acoplamiento del cable radiante**

La pérdida por acoplamiento es definida como el cociente entre la potencia del cable y la potencia recibida por una antena dipolo a una distancia determinada del cable. Es un valor facilitado por el fabricante que se obtiene a partir del método de propagación en el espacio libre de acuerdo con la IEC 61 196-4 a 2 metros de distancia del cable. Partiendo de esa medida los fabricantes proporcionan dos valores:

- Acoplamiento el 50% del tiempo
- Acoplamiento el 95% del tiempo

En el presente estudio se ha considerado el valor de acoplamiento al 95% que indica que para la medida realizada el acoplamiento será inferior al valor proporcionado a lo largo del 95% del tiempo.

– **Pérdidas adicionales por distancia del cable radiante**

El valor de las pérdidas de acoplamiento que proporcionan los fabricantes se realiza a 2 m. Para este estudio se ha estimado que podrán darse situaciones en las que el terminal radio esté a mayor distancia

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

del cable radiante, por lo que se considera un margen de protección adicional. A efectos del presente estudio se ha considerado un margen de 8 dB, como factor típicamente aplicado.

A continuación se muestra la fórmula aplicada para la solución de sistema radiante considerada, que permite obtener el margen de potencia de señal (en dB), disponible en los extremos del cable en cada tramo de interestación.

Así, considerando el conjunto de pérdidas aplicables en la zona de túnel cubiertas por cable radiante, el margen disponible en un punto concreto entre estaciones, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink y usuario embarcado), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - Sd_{RX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insec} - L_{acobT} - L_{fading} - L_{dist} - L_{tren} + G_{antena TX}]$$

Dónde:

M es el Margen en dB disponible

P_{TX} es la potencia transmitida (en el uplink se considera la del terminal portátil).

Sd_{RX} es la sensibilidad dinámica efectiva del transmisor (sensibilidad dinámica aportada por el fabricante menos un margen de protección adicional de 6 dB).

L_{branching y cable} corresponde a las pérdidas de branching y el cableado.

L_{insec} son las pérdidas de inserción del cable radiante.

L_{acobT} son las pérdidas de acoplamiento teóricas del cable radiante de túnel

L_{fading} margen de fading teórico en túnel.

L_{dist} son las pérdidas adicionales por distancia al cable radiante.

L_{tren} son las pérdidas teóricas introducidas por la penetración en el tren.

G_{antena TX} Ganancia de la antena de transmisión.

4.1.3. Metodología de cálculo de cobertura en Interiores (Dependencias)

El principal factor que dificulta la existencia de cobertura en interiores es la atenuación que las señales sufren al atravesar muros y suelos. Para caracterizar la propagación en interiores (dependencias) existen varios modelos que pueden ayudar a obtener un valor aproximado de los niveles de señal en cada punto del interior.

Los múltiples obstáculos que la señal encuentra en su camino hacen que cuando ésta llega al receptor, lo haga a través de multitrayectos con reflexión, dispersión y difracción. Estos múltiples trayectos que sigue la señal debidos a que no existe visión directa entre el transmisor y el receptor, se conocen como NLOS (Non-Line of sight). En cambio, son menos las ocasiones en las que la propagación de señales tiene lugar en condiciones de visión directa, trayectos conocidos como LOS (Line of sight).

La complejidad de la propagación en interiores hace que sea muy difícil la creación de un modelo teórico clásico, basado en términos de rayos. En consecuencia, la mayoría de los modelos para propagación en interiores son empíricos o semi-empíricos.

Los modelos empíricos son modelos en los que sólo se tienen en cuenta medidas de campo reales, mientras que en los semi-empíricos se utilizan medidas reales junto con modelos teóricos. Las medidas que se realizan en ambos modelos tienen como objetivo principal dar un valor de atenuación de la señal, en función de la distancia que recorra y el tipo de muro o suelo que atraviese.

– Pérdidas por propagación

Entre los modelos existentes destacan el COST 231, modelo semi-empírico en el que han trabajado diversos países europeos y la recomendación de la ITU (ITU-R) para propagación en interiores.

Para realizar el cálculo de cobertura en interiores del presente estudio, se optará por el uso del modelo COST 231, ya que tiene en cuenta la frecuencia, la distancia entre el transmisor y el receptor, así como las atenuaciones producidas por las paredes y el suelo, por lo que se considera más ajustado al entorno de propagación de las dependencias de la Línea.

La expresión general que se usa para calcular las pérdidas (L) es:

$$L = L_0 + 10 n \log d + \sum_{i=1}^I k_{fi} L_{fi} + \sum_{j=1}^J k_{wj} L_{wj} \text{ [dB]}$$

Dónde:

L_0 : es una constante que representa las pérdidas a una distancia de referencia.

n : es un índice de variación de la potencia con la distancia.

d : es la distancia entre emisor y receptor.

L_{fi} : es un factor de pérdidas para el suelo de tipo i .

L_{wj} : es un factor de pérdidas para una pared de tipo j .

k_{fi} : es el número de suelos de tipo i atravesados.

k_{wj} : es el número de paredes de tipo j atravesadas.

I : es el número de tipos de suelo.

J : es el número de tipos de paredes.

Para calcular L_0 se usará la fórmula de pérdidas en espacio libre para distancia 1 m (distancia de referencia):

$$L_0 = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f \text{ [dB]}$$

Siendo ' d ' la distancia en Km (0,001) y ' f ' la frecuencia en MHz a la que se quieren calcular las pérdidas (se tomará 430 MHz como caso más restrictivo). El valor de L_0 calculado es de 25.07 dB, que será el que se usará, y que coincide con la variación teórica con la frecuencia de 6dB/octava.

Para ' n ' se mantiene el valor anterior $n=2$, ya que aunque éste suele disminuir con la frecuencia, las variaciones del mismo son mínimas, y resulta más práctico absorber la dependencia con la frecuencia en los términos de pérdidas por suelo y pared (L_{fi} y L_{wj}).

Los coeficientes de atenuación L_{fi} y L_{wj} de la ecuación varían con la frecuencia y dependen del tipo de material para el que se calculen.

– **Pérdidas por penetración paredes**

Las pérdidas por penetración tienen en cuenta la atenuación adicional debida a la interposición de paredes entre el terminal y la fuente. En función de los materiales usados para construir las dependencias, se obtendrá un mayor o menor grado de atenuación. Para la realización de este estudio, se ha establecido una atenuación media de 6 dB asociada a la penetración de paredes en interior de dependencias.

– **Pérdidas por fading**

El valor de las pérdidas de acoplamiento proporcionado por los fabricantes es un valor calculado partiendo de unas medidas reales realizadas al espacio libre. Cuando se trabaja en un entorno cerrado como es el caso del entorno de dependencias, se producen múltiples caminos de propagación que provocan cancelaciones de las señales y efectos de distorsión. Los fabricantes proponen añadir un margen llamado fading para acercar el cálculo teórico al real. A efectos del presente estudio se ha considerado un margen de 6 dB, como factor típicamente aplicado.

– **Pérdidas por cable y por branching en transmisión y recepción**

Se considerarán las pérdidas acumuladas por la inserción de cables coaxiales, conectores y elementos pasivos necesarios para la distribución de la señal entre el equipo de radio y el cable radiante o antenas desplegados a lo largo de las diferentes zonas de dependencias.

El término branching en transmisión hace referencia a los diferentes elementos pasivos para la distribución de señal que tiene que atravesar la señal radio desde el equipo TX/RX hasta el cable radiante o antena de Tx/Rx.

– **Pérdidas “body loss”**

La presencia del cuerpo humano en el campo eléctrico alrededor de un equipo de usuario, degrada el comportamiento efectivo de la antena. Cuanto más próxima esté la antena al cuerpo mayor será la degradación. Existen varios estudios realizados en los que estas pérdidas oscilan entre 3 y 5 dB. A efectos del presente estudio, y en base a las medidas empíricas realizadas en el marco de proyectos similares, se considera un factor de pérdidas de 6 dB por terminal en cinturón, cuando el terminal se encuentra a nivel de cintura, afectando por tanto sólo en los cálculos del *downlink*.

– **Pérdidas longitudinales o de inserción del cable radiante**

Las pérdidas longitudinales o de inserción se expresan como la pérdida sufrida por la señal (o atenuación del cable), por recorrido dentro del cable. Es un valor facilitado por el fabricante en dB por cada 100 m.

– **Pérdidas por acoplamiento del cable radiante**

La pérdida por acoplamiento es definida como el cociente entre la potencia del cable y la potencia recibida por una antena dipolo a una distancia determinada del cable. Es un valor facilitado por el fabricante que se obtiene a partir del método de propagación en el espacio libre de acuerdo con la IEC 61 196-4 a 2 metros de distancia del cable. Partiendo de esa medida los fabricantes proporcionan dos valores:

- Acoplamiento el 50% del tiempo
- Acoplamiento el 95% del tiempo

En el presente estudio se ha considerado el valor de acoplamiento al 95% que indica que para la medida realizada el acoplamiento será inferior al valor proporcionado a lo largo del 95% del tiempo.

– **Pérdidas adicionales por distancia del cable radiante**

El valor de las pérdidas de acoplamiento que proporcionan los fabricantes se realiza a 2 m. Para este estudio se ha estimado que podrán darse situaciones en las que el terminal radio esté a mayor distancia

del cable radiante, por lo que se considera un margen de protección adicional. A efectos del presente estudio se ha considerado un margen de 8 dB, como factor típicamente aplicado.

Tal como se ha indicado en el punto anterior, el sistema radiante en dependencias se implementará mediante una solución combinada de antenas y cable radiante. A continuación se muestran las fórmulas aplicadas para cada una de las soluciones de sistema radiante consideradas, que permiten obtener el margen de potencia de señal (en dB), disponible en dependencias.

4.1.3.1. Cobertura mediante antenas

A partir del modelo de propagación en interiores COST 231 y considerando el conjunto de pérdidas aplicables en cada zona de dependencias cubierta por antenas, el margen disponible en un punto concreto, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink y usuario en dependencias), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - Sd_{RX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{prop} - L_{paredes} + G_{antena TX} + G_{antena RX}]$$

Dónde:

M es el Margen en dB disponible

P_{TX} es la potencia transmitida (en el uplink se considera la del terminal portátil).

Sd_{RX} es la sensibilidad dinámica efectiva del transmisor (sensibilidad dinámica aportada por el fabricante menos un margen de protección adicional de 6 dB).

L_{branching y cable} corresponde a las pérdidas de branching y el cableado.

L_{prop} es el conjunto de pérdidas de propagación en el espacio de dependencias siguiendo el modelo COST 231.

L_{paredes} son las pérdidas teóricas introducidas por la penetración de paredes.

G_{antena TX} Ganancia de la antena de transmisión.

G_{antena RX} Ganancia de la antena de recepción.

4.1.3.2. Cobertura mediante cable radiante

A partir del modelo de propagación en interiores COST 231 y considerando el conjunto de pérdidas aplicables en cada zona de dependencias cubierta por cable radiante, el margen disponible en un punto concreto, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink y usuario en dependencias), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - S_{dRX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insec} - L_{acobT} - L_{fading} - L_{dist} - L_{paredes} + G_{antena TX}]$$

Dónde:

M es el Margen en dB disponible

P_{TX} es la potencia transmitida (en el uplink se considera la del terminal portátil).

S_{dRX} es la sensibilidad dinámica efectiva del transmisor (sensibilidad dinámica aportada por el fabricante menos un margen de protección adicional de 6 dB).

L_{branching y cable} corresponde a las pérdidas de branching y el cableado.

L_{insec} son las pérdidas de inserción del cable radiante.

L_{acobT} son las pérdidas de acoplamiento teóricas del cable radiante de dependencias (en este caso ½”).

L_{dist} son las pérdidas adicionales por distancia al cable radiante de dependencias.

L_{fading} margen de fading teórico.

L_{paredes} son las pérdidas teóricas introducidas por la penetración de paredes.

G_{antena TX} Ganancia de la antena de transmisión.

4.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).

4.2.1. Introducción

Los sistemas de banda ancha actuales permiten el funcionamiento de enlaces en condiciones de línea de visión (LOS) y sin línea de visión (NLOS).

En los enlaces LOS, la señal viaja por un camino directo que no posee obstrucciones entre el transmisor y el receptor y por tanto la primera zona de Fresnel se considera libre. En caso de haber algún obstáculo en dicha zona se produciría una reducción significativa de la intensidad de la señal recibida.

En los enlaces NLOS, la señal que alcanza el receptor está formada por una composición de señales que llegan a través de reflexiones, difracciones y dispersiones. Estas señales tienen diferentes retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa frente a la señal que se transmite por el camino directo.

La atenuación principal son las pérdidas de propagación en espacio libre de la señal emitida por el punto de acceso radio al propagarse por el medio se atenúa a una razón proporcional al cuadrado de la distancia recorrida. Esta magnitud depende de dos valores, la distancia y la frecuencia, que para la red propuesta la frecuencia es un valor de en la banda de 5 GHz y la distancia es un valor que cambia según la posición de los equipos.

El valor exacto de atenuación se calcula utilizando la siguiente ecuación, que se corresponde a las pérdidas de espacio libre (dB):

$$L = 32,44 + 20 \log f + 20 \log d$$

Dónde:

- f = frecuencia en MHz;
- d = distancia en Km.

Esta ecuación es válida para ambientes donde la onda electromagnética viaja en un material homogéneo donde debe existir una trayectoria directa sin obstrucciones (LOS). Para los casos donde pudiera haber obstrucciones (túnel) habrá que tener en cuenta los efectos de las paredes y techo del túnel, la influencia de posibles obstáculos situados en dichas paredes y techo, la propagación en curva y los cambios de sección (paso de túnel a andén de estación).

4.2.2. Metodología de cálculo de cobertura en Exteriores

Para la predicción de los niveles de cobertura podríamos distinguir entre modelos determinísticos y modelos empíricos.

Los modelos determinísticos utilizan un modelo físico de la zona donde se quiere calcular el nivel de señal recibido y con ellos se trata de representar la interacción de las ondas propagadas con cada objeto. Esta técnica se conoce como trazado de haces (*Ray Tracing*) donde se modela cada camino que pueda tomar una onda electromagnética irradiada por la antena transmisora.

Los modelos empíricos por su lado se desarrollan a partir de mediciones realizadas en el campo. En base a estas mediciones se extrae un modelo matemático donde y en función de ciertos parámetros como frecuencia, distancia, tipo de terreno, altura de antenas, entre otros permiten predecir la pérdida encontrada en el campo.

Para el cálculo en exteriores aplicaremos el modelo empírico COST 231 Okumura-Hata. Este modelo, propuesto por el grupo europeo COST 231, complementa al modelo Hata y es válido para frecuencias superiores a 1500 MHz. Además, existe un análisis para la banda de frecuencia de trabajo de la red de radiocomunicaciones propuesta (5,5 GHz), donde se combinan simulaciones y datos empíricos.

El modelo tiene en cuenta los efectos producidos por la reflexión, difracción y dispersión, aunque hay que tener en cuenta que dichos efectos se verán muy limitados por el hecho que entre las antenas del punto de acceso y del equipo de tren habrá línea de visión directa (LOS), y en la mayor parte del trazado el viaducto está por encima de la altura de los edificios colindantes.

No obstante, para ser conservadores, aplicaremos el modelo que se expresa en la siguiente ecuación de pérdidas de transmisión:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

$$L_{trans} = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log (h_b) - a (h_m) + (44,9 - 6,55 \log (h_b)) \log d + C_m$$

Dónde:

- h_m : es la altura de la antena del tren.
- h_b : es la altura de la antena del punto de acceso radio.
- C_m : es un factor de corrección para tomar en cuenta el ambiente de propagación (-5 dB para el entorno de viaducto).
- f : frecuencia de la portadora en MHz (5500 MHz).
- d : Distancia entre transmisor y receptor en km.
- $a (h_m)$: factor de corrección de la altura, que es igual a: $(1,1 \log f - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \log f - 0,8)$

En exteriores (viaducto) se tendrán en cuenta las pérdidas para el enlace de comunicación uplink (tren-punto de acceso) que es el más desfavorable.

El valor obtenido de las pérdidas de transmisión (L_{trans}) se incluirá en la siguiente fórmula, donde se comprueba el margen de potencia con respecto a la sensibilidad de recepción del punto de acceso:

$$M = [P_{TX} - S_{RX} - L_{SRad} - L_{trans} + G_{antena RX} + G_{antena TX}]$$

Dónde:

- M es el Margen de señal en dB disponible en la antena del punto de acceso con respecto la sensibilidad del punto de acceso.
- P_{TX} es la potencia transmitida por el terminal embarcado en el tren.
- S_{RX} es la sensibilidad de recepción del punto de acceso.
- L_{srad} es el conjunto de pérdidas de inserción de la cadena de pasivos del sistema radiante y las pérdidas de atenuación longitudinal de los cables coaxiales.

- L_{trans} es el conjunto de pérdidas de propagación calculadas según el modelo COST 231 Okumura-Hata.
- $G_{antena TX}$ es la ganancia de la antena transmisora.
- $G_{antena RX}$ es la ganancia de la antena receptora.

4.2.3. Metodología de cálculo de cobertura en Túnel

Para el cálculo de la cobertura en interiores (túnel) también se tendrá en cuenta el enlace de comunicación uplink (tren-punto de acceso) que es el más desfavorable, pero la complejidad de la propagación en interiores hace que sea muy difícil la creación de un modelo teórico clásico, basado en términos de rayos, ya que los efectos de reflexión, difracción y dispersión son difíciles de generalizar.

En consecuencia, la mayoría de los modelos para propagación en interiores son empíricos o semiempíricos, aunque hay que tener en cuenta que las dimensiones del túnel, la concavidad de las paredes, la altura a la que se coloquen las antenas, la presencia de obstáculos y de estaciones son los principales parámetros que tienen una influencia directa en la propagación de la señal, y estos parámetros varían en cada caso particular. Asimismo, actualmente no disponemos de un modelo para la banda de frecuencias típica de la red de banda ancha propuesta (5,5GHz).

Por tanto, a falta de un modelo aplicable, se han utilizado en este estudio de cobertura los criterios de diseño empleados en otros proyectos similares en los que SENER ha participado, aplicados para el diseño de un sistema de banda ancha wireless similar en funcionalidades, tecnología y uso frecuencial (banda alrededor de 5,5 GHz). De este modo, y a partir de las medidas de cobertura obtenidas a través de una serie de medidas realizadas en campo durante la puesta en servicio del sistema, se han podido extrapolar los resultados obtenidos en el mencionado caso de estudio, para aplicarlos al diseño del sistema de banda ancha wireless del CDG para el tramo subterráneo.

A continuación se detalla el alcance de un punto de acceso de características similares a la propuesta, teniendo en cuenta que la sensibilidad del punto de acceso es -80 dB (puntos de acceso situados al inicio de la curva):

Tipo de tramo	Alcance de cobertura
Tramo recto	400-500 m
Tramo curva de radio 80 m	150 m
Tramo curva 200 m	200-250 m
Tramo curva de radio 225 m	280-300 m
Tramo curva de radio 300 m	300-350 m
Tramo curva de radio 500 m	350-400 m
Estación	150 m

Tabla 25. Alcance de la cobertura de los puntos de acceso por cada tipo de tramo.

En estas medidas no se han tenido en cuenta las mejoras que introducen en la transmisión/recepción el uso de la diversidad de antenas en el punto de acceso, ni la mejora que introduce el esquema de modulación OFDM que suelen usar la mayoría de sistemas, ni la corrección FEC (Forward Error Correction).

4.2.4. Metodología de cálculo de cobertura en Interiores (Talleres y Depósitos)

Para el cálculo de la cobertura en interiores (talleres y depósitos) aplicaremos el mismo principio que para túnel, es decir la utilización de medidas empíricas, pero teniendo en cuenta que la elevada concentración de trenes que se dará, especialmente en depósitos, obligará a instalar un elevado número de puntos de acceso con el objetivo de proporcionar un ancho de banda suficiente para cada uno de los trenes. Es decir, no será suficiente con proporcionar doble cobertura, sino que se deberá proporcionar la cobertura del mayor número posible de puntos de acceso para que cada tren disponga de un ancho de banda suficiente. No obstante, se deberá tener en cuenta la no interferencia entre los puntos de acceso que utilicen el mismo par de frecuencias.

Por último, se ha de tener en cuenta que en un taller y en depósitos están presentes un elevado número de elementos que suponen un obstáculo para la propagación radioeléctrica.

5. POSIBLES ESCENARIOS DE COMUNICACIONES

5.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).

Dependiendo de los diferentes elementos del sistema en transmisión y recepción y del subsistema radiante que pueden intervenir se pueden distinguir los siguientes escenarios de comunicaciones posibles:

- *Comunicación Tren - Tierra*
- *Comunicación Usuario Embarcado - Tierra*
- *Comunicación Usuario - Dependencias*

Para cada uno de estos escenarios, han sido considerados los dos sentidos de comunicación posibles que se han definido como sigue:

- *Uplink:* desde el terminal hacia la TBS
- *Downlink:* desde la TBS hacia el terminal.

En este apartado se describen los diferentes escenarios antes mencionados, indicando los cálculos y parámetros que intervienen en cada caso.

Como se ha indicado antes, los cálculos presentados en el presente estudio se corresponden con el escenario considerado como más desfavorable en cada uno de los ámbitos de la Línea. El enlace ascendente, que constituye el camino que va del terminal a la TBS, suele ser siempre el más restrictivo, ya que la potencia de emisión de un terminal siempre es menor que la de una TBS. Por ello, el Balance de Potencia presentado en el Apéndice 2 se ha realizado considerando la cobertura obtenida para el enlace ascendente (uplink), contemplando además el escenario de comunicación para el que se han de considerar más factores de pérdidas en el cálculo del enlace: 'Usuario Embarcado – Tierra' para los tramos de viaducto, túnel, talleres y depósitos; y 'Usuario Dependencias' en dependencias de estaciones.

De este modo, los resultados obtenidos permiten confirmar que se cumplen los requerimientos de cobertura, tanto en el enlace más restrictivo (uplink), como para el downlink (menos restrictivo), en todos los escenarios de comunicaciones posibles.

5.1.1. Comunicación Tren – Tierra

En este caso se considera una comunicación establecida entre la TBS y el terminal móvil instalado en el interior del tren, considerando el tren en movimiento, tal y como se muestra en la siguiente figura:

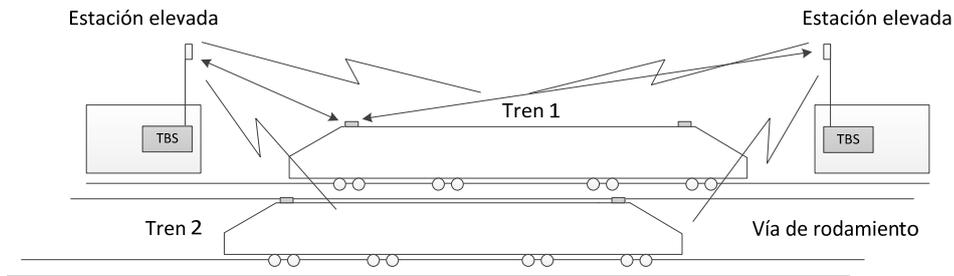


Figura 52. Comunicación Tren – Tierra en viaducto

Además de considerar la comunicación existente en el trayecto de viaducto, cabe tener en consideración el entorno de túnel:

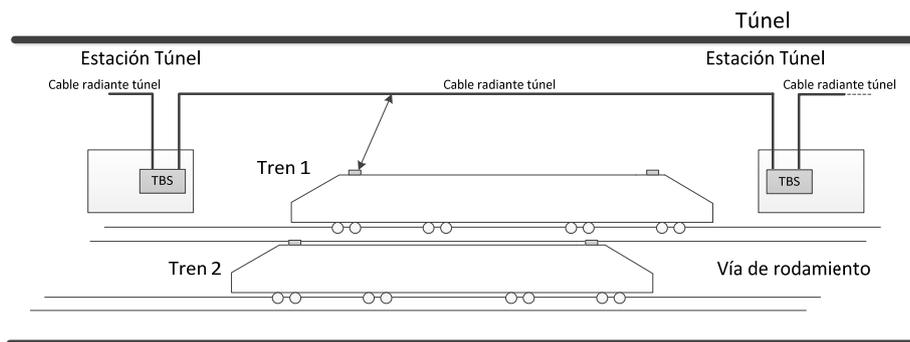


Figura 53. Comunicación Tren – Tierra en túnel

5.1.1.1. Descripción de los cálculos en cada escenario de comunicación tren-tierra

Para el escenario de comunicación Tren-Tierra en viaducto, cubierto por antenas, se ha optado por la metodología de cálculo de cobertura en exterior, según el modelo de Okumura – Hata, obteniéndose el margen de potencia disponible (en dB), para el enlace de uplink en un punto concreto entre estaciones mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - S_{eRX} - L_{Rayleigh} - L_{D.lognormal} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{prop} + G_{antena \text{ Tx}} + G_{antena \text{ Rx}}]$$

(en este caso no aplica el factor de pérdidas por penetración en el tren ya que la antena del tren se encuentra en el techo).

Donde L_{prop} se calcula como:

$$L_{prop} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m$$

Y $a(h_m)$ se concreta para ciudad grande, calculándose como:

$$a(h_m) = 3.2 (\log 11.75h_m)^2 - 4.97$$

Para el escenario de comunicación Tren-Tierra en túnel, se ha optado por la metodología de cálculo de cobertura en túnel, caracterizada para entornos de radiación basados en cable radiante, obteniéndose el margen de potencia disponible (en dB), para el enlace de uplink en un punto concreto entre estaciones mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - S_{dRX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insec} - L_{acobT} - L_{fading} + G_{antena \text{ TX}}]$$

(en este caso no aplican los factores de pérdidas por penetración en el tren, ya que la antena del tren se encuentra en el techo, ni el de distancia al cable radiante, ya que la antena del tren quedará a una distancia inferior a 2 metros del cable radiante en túnel).

Para el escenario de comunicación Tren-Tierra en zona de transición, se ha optado por la aplicación de las siguientes relaciones:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para el ámbito al exterior cubierto con cable radiante:

$$M = [P_{TX} - Se_{RX} - L_{Rayleigh} - L_{D.lognormal} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insecr} - L_{acobT} - L_{dist} + G_{antena TX}]$$

(en este caso no aplica el factor de pérdidas por penetración en el tren, ya que la antena del tren se encuentra en el techo, pero si aplica el factor por distancia al cable radiante, ya que la antena del tren podrá quedar en algunos casos a más de 2 metros del cable radiante instalado en viaducto).

Para el ámbito de túnel:

$$M = [P_{TX} - Sd_{RX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insecr} - L_{acobT} - L_{fading} + G_{antena TX}]$$

(en este caso no aplican los factores de pérdidas por penetración en el tren, ya que la antena del tren se encuentra en el techo, ni el de distancia al cable radiante, ya que la antena del tren quedará a una distancia inferior a 2 metros del cable radiante en túnel).

5.1.1.2. *Parámetros de cálculo de comunicaciones Tren-Tierra*

A continuación se muestran los parámetros de cálculo aplicados para cada escenario:

– Escenario Tren-Tierra en viaducto

Los parámetros considerados para el escenario Tren – Tierra en viaducto son:

- P_{TX}**: 40 dBm.
- Se_{RX}**: -119 dBm.
- L_{D.lognormal}**: 8 dB.
- L_{Rayleigh}**: 9 dB.
- G_{antena TX}**: 0 dBd.
- G_{antena RX}**: 9.5 dBd.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para el cálculo de L_{prop} se han establecido los valores:

f : 430 Mhz.

El valor de d_m , h_b y h_m dependerán del tramo estudiado.

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño.

– **Escenario Tren-Tierra en túnel**

Los parámetros considerados para el escenario Tren – Tierra en túnel son:

P_{TX} : 40 dBm.

S_{dRX} : -106 dBm.

L_{fading} : 6 dB.

$G_{antena TX}$: 0 dBd.

L_{insec} : dependerá de la longitud de la tirada de cable radiante en cada caso dependiendo de la solución de diseño.

L_{acobT} : 59 dBm (cable 1 ¼”).

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño.

– **Escenario Tren-Tierra en zona de transición**

Los parámetros considerados para el escenario Tren – Tierra en la zona de transición túnel-viaducto (y viceversa) son:

P_{TX} : 40 dBm.

S_{eRX} : -119 dBm.

$L_{D.lognormal}$: 8 dB.

$L_{Rayleigh}$: 9 dB.

S_{dRX} : -106 dBm.

L_{fading} : 6 dB.

$G_{antena TX}$: 0 dBd.

L_{insec} : dependerá de la longitud de la tirada de cable radiante en cada caso dependiendo de la solución de diseño.

L_{acobT} : 59 dBm (cable 1 ¼”).

L_{dist} : 8 dB

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño.

5.1.2. Comunicación Usuario Embarcado - Tierra

En este caso se considera una comunicación establecida entre la TBS y un terminal portátil, considerando que el usuario que lleva el terminal está dentro del tren y por tanto en movimiento, tal y como se muestra en la siguiente figura:

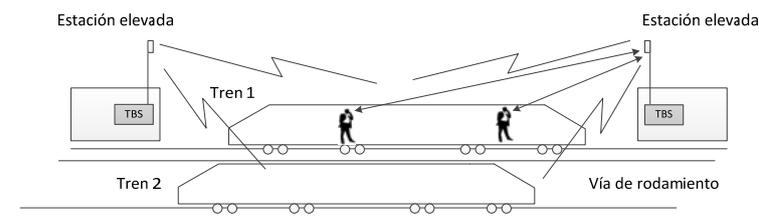


Figura 54. Comunicación Usuario Embarcado – Tierra en viaducto

Además de considerar la comunicación existente en el trayecto de viaducto, cabe tener en consideración el entorno de túnel:

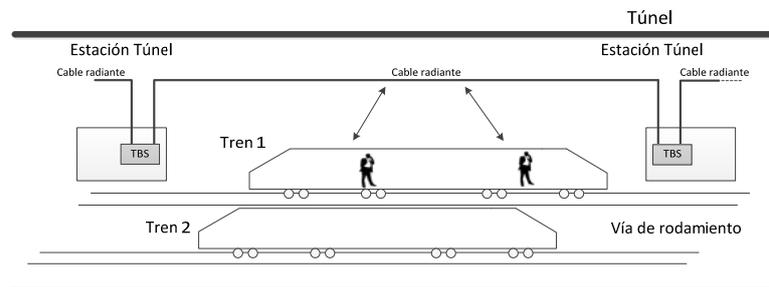


Figura 55. Comunicación Usuario Embarcado – Tierra en túnel

5.1.1. Descripción de los cálculos en cada escenario de comunicación Usuario Embarcado - Tierra

Para el escenario de comunicación Usuario Embarcado - Tierra en viaducto, cubierto por antenas, se ha optado por la metodología de cálculo de cobertura en exterior, según el modelo de Okumura – Hata, obteniéndose el margen de potencia disponible (en dB), para el enlace de uplink en un punto concreto entre estaciones mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - S_{eRX} - L_{Rayleigh} - L_{D.lognormal} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{prop} - L_{tren} + G_{antena \text{ Tx}} + G_{antena \text{ Rx}}]$$

Donde L_{prop} se calcula como:

$$L_{prop} = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d_m$$

Y $a(h_m)$ se concreta para ciudad grande, calculándose como:

$$a(h_m) = 3.2 (\log 11.75h_m)^2 - 4.97$$

(en este caso si aplica el factor de pérdidas por penetración de la señal en el tren L_{tren} , que se ha estimado en 8 dB).

Para el escenario de comunicación Usuario Embarcado - Tierra en túnel, se ha optado por la metodología de cálculo de cobertura en túnel, caracterizada para entornos de radiación basados en cable radiante, obteniéndose el margen de potencia disponible (en dB), para el enlace de uplink en un punto concreto entre estaciones mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - S_{dRX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insec} - L_{acobT} - L_{fading} - L_{dist} - L_{tren} + G_{antena \text{ Tx}}]$$

(en este caso si aplican los factores de pérdidas por penetración de la señal en el tren L_{tren} , que se ha estimado en 8 dB, y el factor L_{dist} de pérdidas por distancia al cable radiante que se ha estimado en 8 dB).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para el escenario de comunicación Usuario Embarcado - Tierra en la zona de transición, se ha optado por la aplicación de las siguientes relaciones:

Para el ámbito de superficie cubierto con cable radiante:

$$M = [P_{TX} - Se_{RX} - L_{Rayleigh} - L_{D.lognormal} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insecr} - L_{acobT} - L_{dist} - L_{tren} + G_{antena TX}]$$

Para el ámbito de túnel:

$$M = [P_{TX} - Sd_{RX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insecr} - L_{acobT} - L_{fading} - L_{dist} - L_{tren} + G_{antena TX}]$$

5.1.2. *Parámetros de cálculo de una Comunicación Usuario Embarcado - Tierra*

A continuación se muestran los parámetros de cálculo aplicados para cada escenario:

– Escenario Usuario Embarcado - Tierra en viaducto

Los parámetros considerados para el escenario Usuario Embarcado – Tierra en viaducto son:

P_{TX}: 30 dBm.

Se_{RX}: -119 dBm.

L_{D.lognormal}: 8 dB.

L_{Rayleigh}: 9 dB.

G_{antena TX}: -2 dBd.

G_{antena RX}: 9.5 dBd.

L_{tren}: 8 dB.

Para el cálculo de **L_{prop}** se han establecido los valores:

f: 430 Mhz.

El valor de d_m , h_b y h_m dependerán del tramo estudiado.

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño. La justificación del valor de esta atenuación puede encontrarse en el Apéndice 2. Balance de Potencia presentado para este escenario.

– **Escenario Usuario Embarcado - Tierra en túnel**

Los parámetros considerados para el escenario Usuario Embarcado – Tierra en túnel son:

P_{TX} : 30 dBm.

S_{dRX} : -106 dBm.

L_{fading} : 6 dB.

L_{insec} : dependerá de la longitud de la tirada de cable radiante en cada caso dependiendo de la solución de diseño.

L_{acobT} : 59 dBm (cable 1 ¼").

$G_{antena TX}$: -2dBd.

L_{tren} : 8 dB.

L_{dist} : 8 dB.

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño. La justificación del valor de esta atenuación puede encontrarse en el Apéndice 2. Balance de Potencia presentado para este escenario.

– **Escenario Usuario Embarcado-Tierra en zona de transición**

Los parámetros considerados para el escenario Usuario Embarcado – Tierra en la zona de transición túnel-viaducto (y viceversa) son:

P_{TX} : 30 dBm.

S_{eRX} : -119 dBm.

$L_{D.lognormal}$: 8 dB.

$L_{Rayleigh}$: 9 dB.

S_{dRX} : -106 dBm.

L_{fading} : 6 dB.

$G_{antena Tx}$: -2 dBd.

L_{insec} : dependerá de la longitud de la tirada de cable radiante en cada caso dependiendo de la solución de diseño.

L_{acobT} : 59 dBm (cable 1 ¼").

L_{dist} : 8 dB

L_{tren} : 8 dB.

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño. La justificación del valor de esta atenuación puede encontrarse en el Apéndice 2. Balance de Potencia presentado para este escenario.

5.1.3. Comunicación Usuario - Dependencias

En este caso se considera una comunicación establecida entre la TBS y un usuario (con terminal fijo o portátil), ubicado en dependencias de estación tipo viaducto, tal y como se muestra en la siguiente figura:

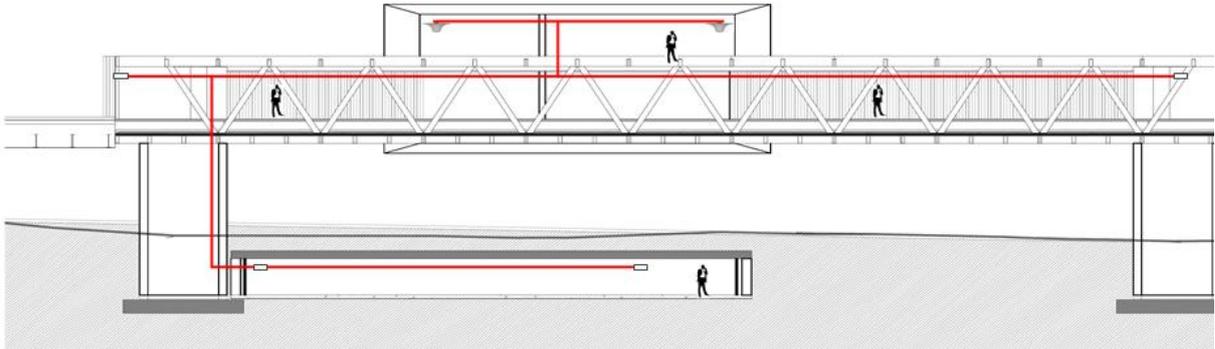


Figura 56. Comunicación Usuario – Dependencias en Estación Viaducto

Además de considerar la comunicación existente en la estación tipo viaducto, cabe tener en consideración la tipología de estación en el entorno de túnel:

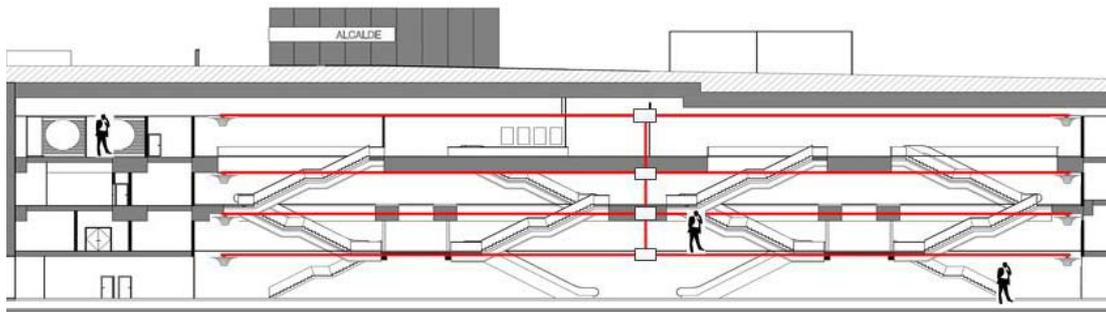


Figura 57. Comunicación Usuario – Dependencia en Estación Túnel

Y aquellos tramos en los que encontremos salidas de emergencia:

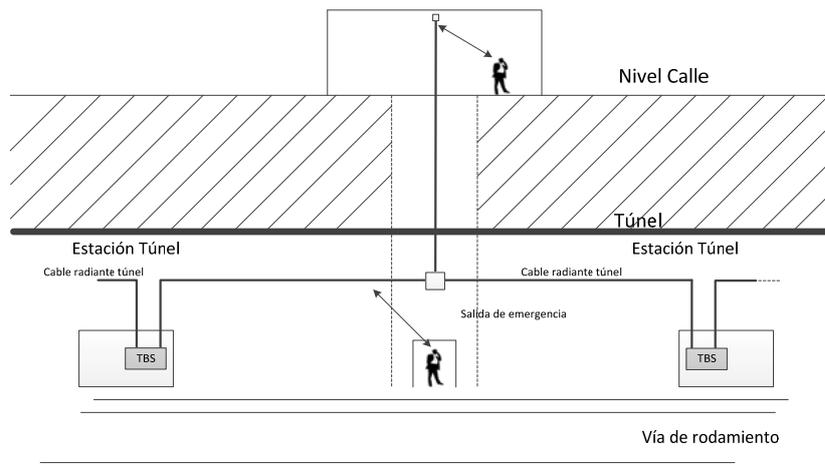


Figura 58. Comunicación Usuario– Dependencia en Salida de Emergencia

5.1.1. Descripción de los cálculos en cada escenario de Comunicación Usuario - Dependencias

Para todos los anteriores escenarios de comunicación Usuario – Dependencias, se ha optado por la metodología de cálculo de cobertura en interiores, haciendo uso de antenas y cable radiante de ½” en función del nivel en que nos encontremos y de si las dependencias tratadas son estaciones tipo Viaducto, Subterráneas o salidas de emergencia.

A partir del modelo de propagación en interiores COST 231 y considerando el conjunto de pérdidas aplicables en las zonas de dependencias cubiertas por antenas, el margen disponible en un punto concreto, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - Sd_{RX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{prop} - L_{paredes} + G_{antena TX} + G_{antena RX}]$$

Donde L_{prop} se calcula como:

$$L_{prop} = L_0 + 10 n \log d_{enlace} \text{ [dB]}$$

Donde

$$L_0 = 32.4 + 20 \log d_0 + 20 \log f \text{ [dB]}$$

Considerando el conjunto de pérdidas aplicables en las zonas de dependencias y salidas de emergencia cubiertas por cable radiante, el margen disponible en un punto concreto, para el escenario de comunicación más restrictivo (uplink), se ha modelado mediante la relación siguiente:

$$M = [P_{TX} - Sd_{RX} - L_{branching \text{ y cable}} - L_{insec} - L_{acobT} - L_{fading} - L_{dist} - L_{paredes} + G_{antena TX}]$$

5.1.2. Parámetros de cálculo en una Comunicación Usuario - Dependencias

A continuación se muestran los parámetros de cálculo aplicados para cada escenario:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

– **Escenario Usuario – Dependencias en zona de Estación cubierta con antena**

Los parámetros considerados son:

P_{TX} : 30 dBm.

S_{dRX} : -106 dBm.

$G_{antena TX}$: -2dBd.

$G_{antena RX}$: 0 dBd.

$L_{paredes}$: 6 dB.

El cálculo de $L_{branching}$ y L_{cable} dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño. La justificación del valor de esta atenuación puede encontrarse en el Apéndice 2. Balance de Potencia presentado para este escenario.

Para el cálculo de L_{prop} se han establecido los valores:

n : 2

El valor de d_{enlace} dependerá del tramo estudiado.

Para el cálculo de L_0 se han establecido los valores:

d_0 : 0.0001 km.

f : 430 Mhz.

Con lo que obtenemos un valor de L_0 de 25.07 dB.

– **Escenario Usuario – Dependencias en zonas de Estación y Salidas de emergencia cubiertas mediante cable radiante**

Los parámetros considerados son:

P_{TX} : 30 dBm.

S_{dRX} : -106 dBm.

L_{fading} : 6 dB.

L_{dist} : 8 dB.

L_{acobT} : 66 dB (cable de 1/2”).

$G_{antena TX}$: -2dBd.

L_{paredes} : 6 dB.

L_{inserc} : dependerá de la longitud de la tirada de cable radiante en cada caso dependiendo de la solución de diseño.

El cálculo de $L_{\text{branching y cable}}$ dependerá de la cadena de pasivos correspondiente a la solución de diseño. La justificación del valor de esta atenuación puede encontrarse en el Apéndice 2. Balance de Potencia presentado para este escenario.

5.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS)

5.2.1. Comunicación Tren – Tierra

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, el único enlace radio será entre el equipo radio embarcado y el punto de acceso. De este enlace, centraremos los cálculos en el sentido uplink (de tren a punto de acceso), ya que este se hace en una frecuencia superior a la del enlace downlink (punto de acceso – tren) y la potencia de transmisión del equipo embarcado es inferior o igual a la potencia de transmisión de los punto de acceso.

Asimismo, el sistema se diseñará de forma que el tren disponga siempre de cobertura redundante, es decir, en cualquier punto de la línea el equipo del tren deberá recibir señal de al menos dos puntos de acceso diferentes.

Con este objetivo se propone la instalación de dos grupos de puntos de acceso, cada uno utilizando un canal diferente y desplegado en lados opuestos de la vía. Los dos canales del sistema funcionarán con pares de frecuencias diferentes y los puntos de acceso de cada canal radiarán en dirección opuesta a los puntos de acceso del otro grupo, consiguiendo de esta forma la redundancia, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Además, puesto que cada tren dispondrá de dos antenas directivas, cada una de las radios de tren se asignará a uno u otro canal en función del sentido de la marcha.

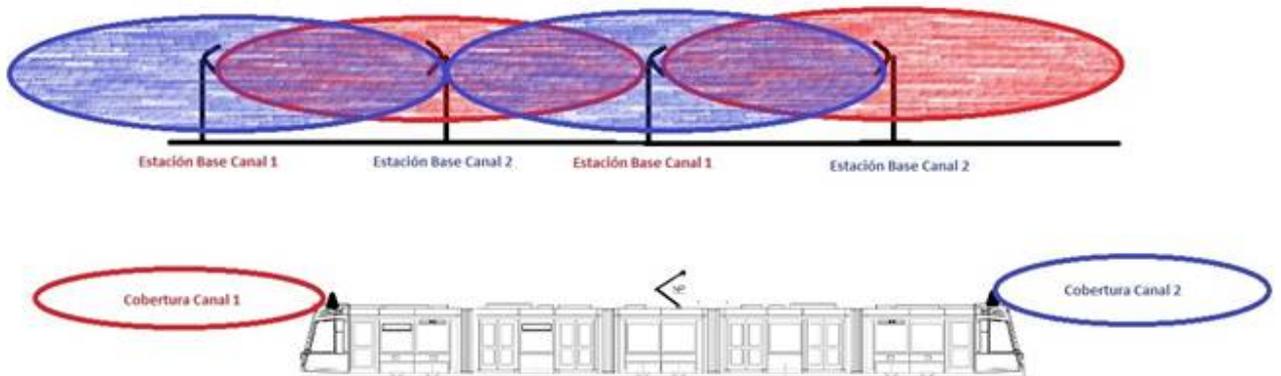


Figura 59. Esquema de radiación propuesto para disponer de redundancia.

Por otro lado, puesto que el acceso al medio suele ser determinista (esto es necesario para poder gestionar adecuadamente el mecanismo de handover), no existe la posibilidad de interferencias mutuas entre puntos de acceso de un mismo canal.

5.2.1. *Parámetros de cálculo en una Comunicación Tren – Tierra*

Para realizar los cálculos vamos a establecer los siguientes valores (teniendo en cuenta las restricciones de frecuencias fijada para un sistema de banda ancha situada en la banda de 5,5 GHz, descrito en el apartado 10.2.2 del presente documento):

- Frecuencia: fijando el intervalo de frecuencias de transmisión del punto de acceso en: 5470-5600 MHz; y el intervalo de frecuencias de transmisión del terminal móvil (tren): 5650-5725 MHz. Puesto que el enlace más restrictivo es el uplink (transmisión del terminal móvil), podríamos tomar 5715 MHz como frecuencia de transmisión (suponemos un espaciamiento entre canales de 20 MHz).
- Sensibilidad de recepción del punto de acceso: es valor mínimo con el que ha de recibir el punto de acceso la señal procedente del terminal móvil. Para el cálculo tomaremos un valor de -83 dBm (extraído típico de la especificación de fabricantes).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Potencia de transmisión: 1 W (30 dBm). Esta potencia cumple con la restricción fijada por la ETSI EN 301 893 V1.5.1, así como las restricciones fijadas en el apartado 10.2.2.1.3 del presente documento).
- Pérdidas conectores y cables: pérdidas introducidas por los tramos de cable coaxial y los conectores utilizados para la conexión de las radios de los puntos de acceso y del terminal de tren con sus respectivas antenas. Para el cálculo utilizaremos un valor de 3 dB, ya que los metros de cable utilizados son bajos y los conectores de dichos cables tienen también una atenuación baja.
- Se propone instalar dos antenas en cada punto de acceso para de esta forma disponer de una mejora del balance por el uso de la diversidad de antenas del punto de acceso. El valor que hemos considerado es de 3 dB. Esta funcionalidad será exigible al fabricantes del punto de acceso.
- Para el cálculo en exteriores (viaducto) son necesarios también los siguientes parámetros para la fórmula COST 231- Okumura Hata:
 - Altura de la antena del punto de acceso (respecto al nivel de vía): 7 m
 - Altura de la antena del terminal móvil (respecto al nivel de vía): 3 m.La altura de las antenas se ha fijado estableciendo como nivel 0 la vía, ya que el objetivo del sistema es proporcionar cobertura únicamente en el ámbito de movimiento del tren.
- Ganancia de la antena del terminal móvil (tren): 10 dBd (12 dBi). Este valor es para una antena como la descrita en el apartado 10.2.4.5.2 .
- Ganancia de la antena de punto de acceso: 16 dBd (típicamente 18-19 dBi). Este valor es para una antena como la descrita en el apartado 10.2.4.3 .

5.2.1. Descripción de los cálculos en cada escenario de una Comunicación Tren – Tierra

Tal y como ya se ha descrito en anteriores apartados, para la red de radiocomunicaciones de banda ancha sólo hay un posible escenario: transmisión terminal tren – punto de acceso. Por tanto, las zonas en las que

se ha de proporcionar cobertura son aquellas por las que pueden circular los trenes: vías en viaducto, en túnel, en talleres y en depósitos.

5.2.1.1.1 Exteriores (Viaducto)

Teniendo en cuenta la necesidad de disponer de doble cobertura, se propone instalar un grupo de puntos de acceso a cada lado del viaducto, de forma que la cobertura de ambos grupos quede solapada a lo largo del recorrido. La distancia entre puntos de acceso vendrá fijada por el alcance máximo calculado a partir de la metodología descrita en el apartado 4.2.2. El resultado de estos cálculos se presentará en el apartado 6.2.1.

5.2.1.1.2 Túnel

Para el túnel se mantiene el mismo principio de doble cobertura a lo largo de todo el recorrido del tren y al igual que en viaducto se propone intercalar dos grupos de puntos de acceso que transmitan 2 canales diferentes. La distancia entre puntos de acceso se fijará en base a los datos empíricos presentados en el apartado 4.2.3.

5.2.1.1.3 Talleres y depósitos

En el caso de talleres y depósitos no se podrán concretar los cálculos ya que en el momento de la redacción del presente proyecto no disponemos de un diseño definitivo de la zona de talleres. Las zonas de estacionamiento que se encuentran en el viaducto se cubrirán adecuadamente, teniendo en cuenta que la concentración de trenes es mayor que la que se puede dar a lo largo de la línea.

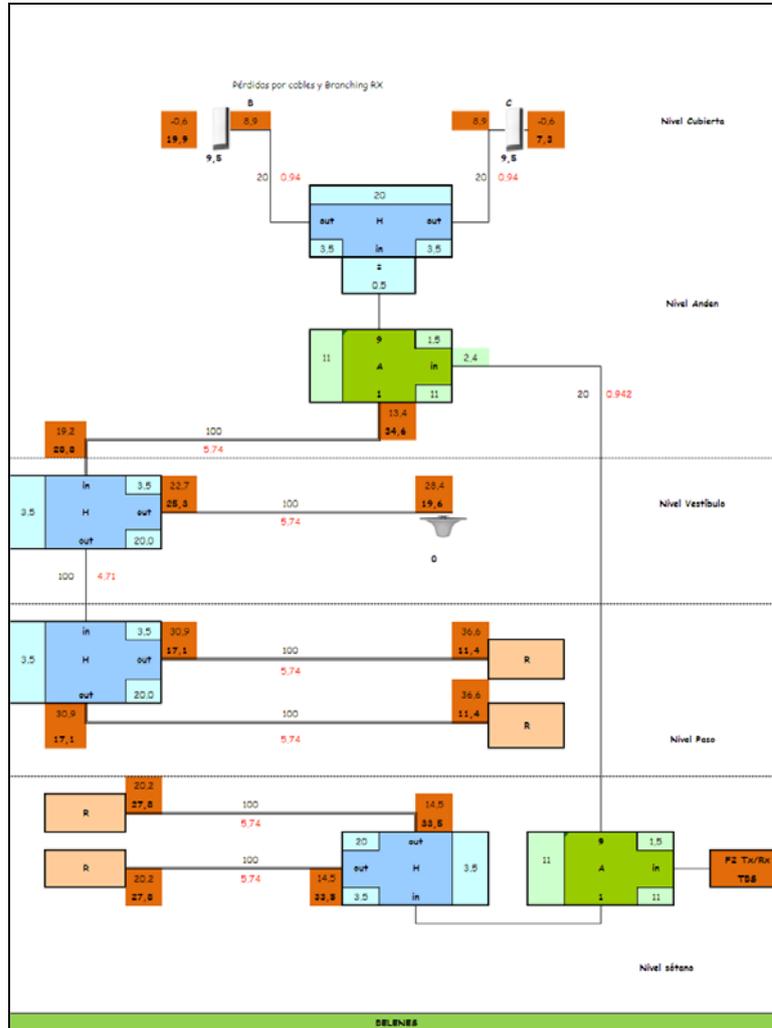
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO RADIOELÉCTRICO

6.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).

6.1.1. Balance de Potencia y Esquema preliminar de distribución de equipamiento para el sistema de radiocomunicaciones TETRA

En el Apéndice 2 del presente documento se incluye el Balance de potencia completo y esquema preliminar de distribución de equipamiento para el sistema de radiocomunicaciones TETRA para toda la Línea del CDG, incluyendo las instalaciones, tanto a nivel de equipos radio como a nivel de elementos del subsistema radiante, para las diferentes tipologías de tramos y estaciones consideradas en el Estudio.

Para la realización del balance de potencias, se han establecido unas configuraciones tipo, en relación con la distribución de elementos de sistema radiante, por cada tipología de estación y tramo de interestación, distinguiéndose principalmente las siguientes tipologías:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Figura 60. Distribución de Equipamiento en Estación Tipo Viaducto

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

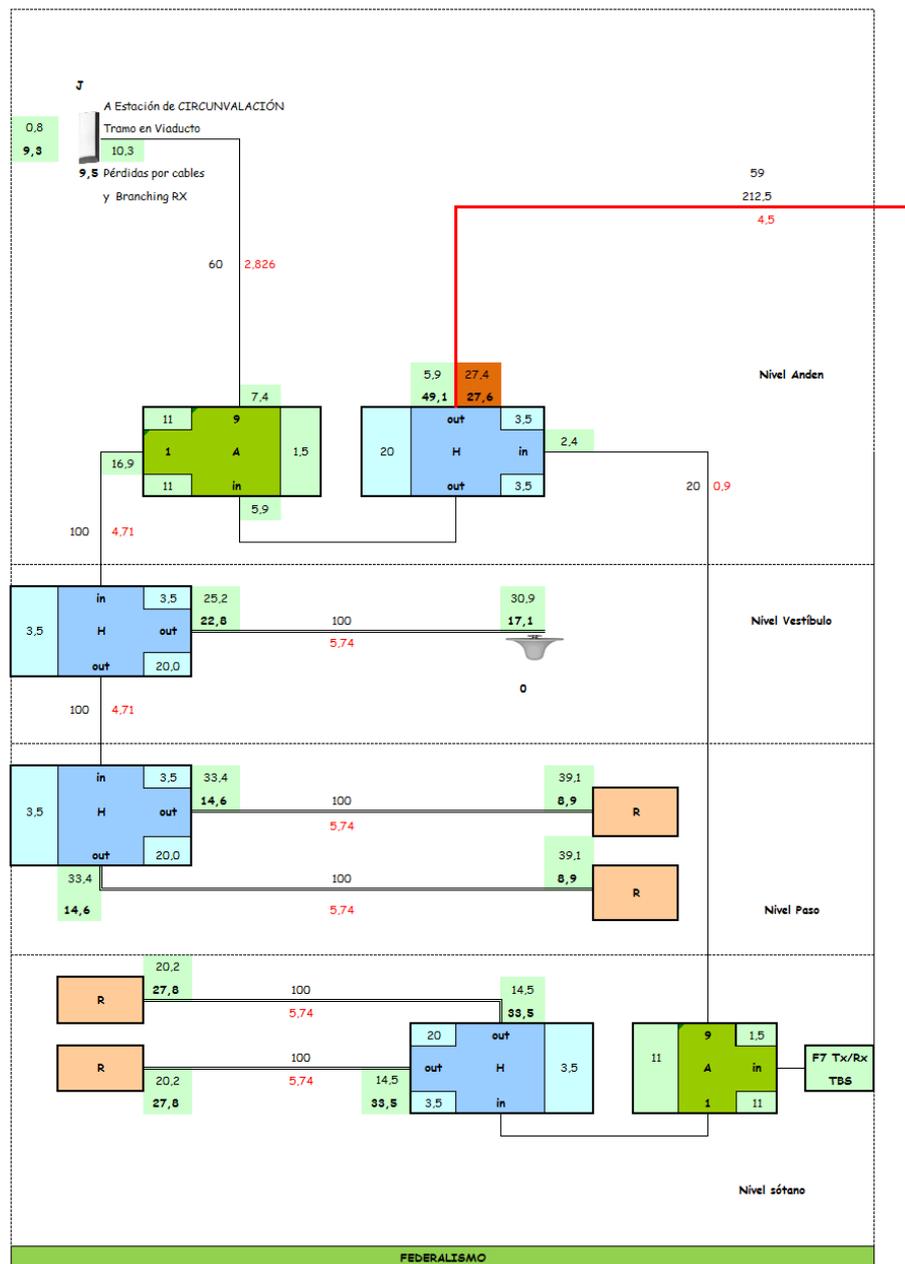


Figura 61. Distribución de Equipamiento en Estación de Transición Viaducto-Túnel

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

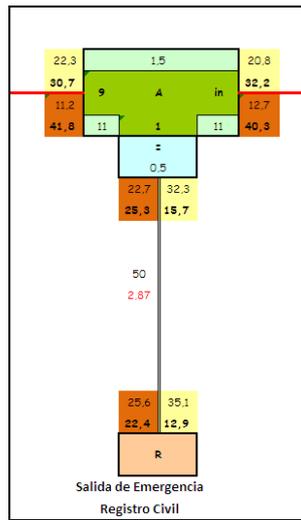


Figura 62. Distribución de Equipamiento en Salida de Emergencia Tipo

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA



Figura 63. Distribución de Equipamiento en Estación Tipo Subterránea

La simbología empleada se describe detalladamente en el Apéndice 2 del presente documento.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

El enlace ascendente, que constituye el camino que va del terminal a la TBS, suele ser siempre el más restrictivo, ya que la potencia de emisión de un terminal siempre es menor que la de una TBS. Por ello, el Balance de Potencia presentado se ha realizado considerando la cobertura obtenida para el enlace ascendente (uplink), contemplando además el escenario de comunicación para el que se han de considerar más factores de pérdidas en el cálculo del enlace: 'Usuario Embarcado – Tierra' para los tramos de viaducto, túnel, talleres y depósitos; y 'Usuario Dependencias' en dependencias de estaciones.

De este modo, los resultados obtenidos permiten confirmar que se cumplen los requerimientos de cobertura, tanto en el enlace más restrictivo (uplink), como para el downlink (menos restrictivo), en todos los escenarios de comunicaciones posibles.

El Balance de Potencia se ha realizado aplicando las fórmulas comentadas en los apartados anteriores a cada una de las soluciones de distribución tipo de equipamiento del sistema radiante consideradas, obteniéndose el margen de potencia de señal (en dB), disponible en los puntos analizados.

Como se puede apreciar en el Balance de potencias, el margen de potencia de señal disponible en todos los puntos analizados presenta un resultado positivo del margen de potencia disponible, de lo que se puede concluir que las comunicaciones podrán establecerse con normalidad y, por tanto, se cubren adecuadamente toda las áreas de la Línea, de acuerdo a los requerimientos de cobertura del sistema TETRA.

6.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).

6.2.1. Balance de potencia en exteriores (viaducto)

Aplicando la metodología expuesta en el apartado 4.2.2 y con los parámetros descritos en el apartado 5.2.1 podemos obtener una tabla como la que se muestra a continuación:

Distancia desde Punto de Acceso Radio [km]	L_{trans} [dB]	Margen respecto a la sensibilidad [dB]
0,1	112,38	26,62
0,2	124,23	14,77
0,3	131,16	7,84
0,4	136,08	2,92
0,45	138,10	0,90
0,475	139,02	-0,02
0,5	139,90	-0,90
0,6	143,01	-4,01
0,7	145,65	-6,65
0,8	147,93	-8,93
0,9	149,95	-10,95
1	151,75	-12,75

Tabla 26. Cálculo de cobertura punto de acceso en exteriores.

Dónde el Margen se obtiene de la fórmula ya expresada:

$$M = [P_{TX} - S_{RX} - L_{SRad} - L_{trans} + G_{antena RX} + G_{antena TX}]$$

Con:

- $P_{TX} = 30$ dBm (1W)
- $S_{RX} = -83$ dBm

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- $L_{\text{srad}} = -3 \text{ dB}$
- L_{trans} es el conjunto de pérdidas de propagación calculadas según el modelo COST 231 Okumura-Hata: $L_{\text{trans}} = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log (h_b) - a (h_m) + (44,9 - 6,55 \log (h_b)) \log d + C_m$
 - $f = 5725 \text{ MHz}$
 - $h_b: 7 \text{ m}$
 - $h_m: 3 \text{ m}$
 - d : distancia entre punto de acceso y el terminal móvil (en km)
- $G_{\text{antena TX}} 10 \text{ dBd (12 dBi)}$
- $G_{\text{antena RX}} 16 \text{ dBd (típicamente 18-19 dBi)}$.

En esta tabla podemos ver que con un punto de acceso de las características mencionadas en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y con un sistema radiante convenientemente orientado, es posible que el punto de acceso ofrezca una cobertura óptima a una distancia de 400-450 m.

A partir de estos resultados se ha propuesto una distribución de los puntos de acceso, que se puede ver en el Apéndice 3.

6.2.2. *Balance de potencia en túnel*

Dado que los valores para túnel son empíricos, el balance de potencia en túnel tiene su reflejo en una propuesta de distribución de los puntos de acceso a lo largo del túnel que se concreta en el Apéndice 3.

6.2.3. *Esquema preliminar de distribución longitudinal de equipamiento para el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha.*

En el Apéndice 3 se adjunta una primera propuesta de distribución de los puntos de acceso dentro del ámbito de túnel y viaducto, donde está previsto que haya cobertura de la red de radiocomunicaciones de banda ancha. Los talleres no se han incluido puesto que no se dispone de un plano definitivo.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para realizar esta propuesta se han tenido en cuenta los requerimientos de cobertura, las características de los equipos, la metodología de cálculo y los balances calculados para cada uno de los escenarios.

7. ESTUDIO DE DIMENSIONADO DEL TRÁFICO

7.1. ESTUDIO DE TRÁFICO DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA)

El objeto de este apartado es describir los requerimientos del Sistema TETRA en relación con el tránsito de voz y datos, presentando los cálculos realizados y las hipótesis consideradas para llevar a cabo los mismos, para justificar los criterios de diseño definidos en cuanto al número de portadoras para las estaciones base de la Línea.

7.1.1. Descripción de los Servicios soportados por el Sistema

El Sistema TETRA deberá permitir el establecimiento de comunicaciones de voz y el envío de datos entre cualquier punto de la Línea en donde se disponga de un terminal TETRA. El servicio de Radiotelefonía es un servicio muy crítico y de máxima prioridad dado que afecta a la explotación de la línea, que deberá permitir:

- Establecer comunicaciones de voz bidireccionales Tren-Tierra-Tren entre los operadores y los maquinistas de los trenes.
- Establecer comunicaciones de voz bidireccionales entre los operadores del Centro de Control y los agentes de estación, personal de seguridad y personal de mantenimiento.
- Establecer comunicaciones de voz bidireccionales entre personal de la Línea.
- Envío de mensajes de datos y de auto diagnóstico del sistema.

7.1.1.1. Usuarios Radio

Como usuarios del Sistema de Radiocomunicaciones TETRA se distinguirán los siguientes tipos:

- Maquinistas (conductores de los trenes).
- Operador de Tráfico (Regulador del Mando y Control de Tráfico del TTR)
- Operador del Puesto de Maniobras Auxiliar (PMA)

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Operador de Tráfico del Puesto de Maniobras de Talleres (PMT)
- Operador de Estaciones
- Operador de Atención e Información al Usuario
- Operador de Energía
- Operador de Seguridad
- Operador Supervisor de Línea
- Personal de línea:
 - Agentes o Jefes de estación
- Personal de Seguridad.
- Personal de Mantenimiento en Línea
- Personal de Mantenimiento en Talleres

7.1.2. Metodología de cálculo

Se partirá de la base de que todas las llamadas tienen que ser cursadas y que, por lo tanto, se podrá dar el caso de que haya leves retrasos al cursar las llamadas. El máximo tiempo de espera se tomará como requerimiento de calidad objetivo del sistema. El presente estudio de tránsito de voz se realiza asumiendo que la gestión del tráfico de las comunicaciones de voz de las redes TETRA se puede modelar mediante la teoría de colas y el uso de fórmulas de Erlang C (modelo matemático más ajustado a nuestro entorno), calculando la cantidad de recursos necesarios para satisfacer la demanda de los usuarios de la red TETRA a cada estación base.

En este modelo intervienen los siguientes elementos:

- Los generadores de las llamadas, que en este caso son los usuarios de la red.
- Los servidores que atienden las llamadas, que son los canales de las estaciones base.
- El régimen de llegada de las llamadas.
- El tiempo de servicio u ocupación de los servidores por llamada.

En el caso de que en un momento determinado no existan servidores libres para atender una nueva llamada, el sistema pondrá esta nueva petición en espera, que será atendida en el momento que se libere

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

algún canal (no superándose el tiempo de espera que se defina como parámetro de diseño). Adicionalmente, en el caso del Sistema TETRA, se pueden definir una serie de prioridades que determinan el acceso al sistema. Estas prioridades se pueden establecer según el tipo de llamada (llamada de grupo, individual o de emergencia), la organización a la que pertenece el abonado ó a nivel de usuario.

En definitiva, el sistema TETRA es un sistema de colas con una probabilidad de espera y un sistema de prioridades, que se modela a nivel matemático cómo si fuera una cola de capacidad infinita (como aproximación para simplificar los cálculos). Los recursos por estación base son limitados y en consecuencia hay que garantizar que el tiempo que un usuario tendrá que esperar en cola para acceder a los recursos no sea superior a un cierto tiempo en un determinado porcentaje de las ocasiones. Este cálculo de la probabilidad de espera se realiza mediante el modelo de Erlang C, asumiendo un régimen de llegada de las llamadas de tipo Poisson y duración según una ley exponencial.

Así, el tráfico generado se calcula a partir de la siguiente fórmula 1.1:

$$A = \frac{M \times L \times H}{3600} [\text{Erlangs}]$$

(1.1)

Dónde: A = Tráfico Ofrecido; M = número de terminales; L = número medio de llamadas por terminal en la hora cargada (suma de periodos de mayor actividad, hasta totalizar 60 minutos); H = duración media de una llamada.

Una vez fijada la tasa de cada usuario tipo se tiene que fijar el criterio de calidad. En un sistema PMR el parámetro más importante es la probabilidad de demora, puesto que las llamadas que no se puedan cursar se ponen en cola. Entonces se establece el 'Grado de Servicio' o 'GoS, que es la probabilidad (en %), de tener que esperar más tiempo de un valor fijado. Las fórmulas para realizar los cálculos vienen dadas por la distribución de Erlang C (M/M/C), puesto que las llamadas que no se pueden servir se ponen en cola de espera, y ninguno de ellas se pierde.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

La distribución de Erlang C ha sido programada como función en Visual Basic e introducida como macro dentro de una hoja de cálculo Excel. La fórmula es la siguiente:

$$C(N, A) = \frac{A^N}{A^N + N!(1 - A/N) \sum_{k=0}^{N-1} (A^k / k!)} \quad (1.2)$$

Donde N = número de canales.

Así, el GoS, o probabilidad de que la espera sea superior a un tiempo W0 viene determinada por las siguientes relaciones:

$$GoS(N, A) = \Pr(W > W_0) = C(N, A) \cdot \exp[-(N - A) \cdot W_0 / H] \quad (1.3)$$

$$GoS(\%) = 100 \cdot C(N, A) \cdot \exp[-(N - A) \cdot W_0 / H] \quad (1.4)$$

Donde W es la duración de la llamada y W0 es el tiempo máximo de espera fijado como parámetro de grado de servicio. Esta última función también se ha programado en Visual Basic para facilitar los cálculos a una hoja Excel.

Con las fórmulas anteriores se puede obtener N (número de canales), introduciendo como datos el GoS objetivo (%), el tiempo máximo de espera requerido (segundos), la duración media de una llamada y el tráfico. Pero con esto los recursos de red todavía no se han tenido en cuenta, y, por lo tanto, se hace un paralelismo entre canales y grupos. Esto se puede hacer porque en un sistema trunking sólo se ocupa un canal cuando hay una comunicación de grupo (sin tener en cuenta las llamadas individuales, telefónicas o de datos que son mínimas comparadas con las de grupo). Además, se tiene que tener en cuenta que el hecho de realizar el cálculo de tráfico a partir de la duración media de las llamadas de cada usuario y, por lo tanto no haber tenido en cuenta una distribución estadística de las llamadas, hace que el resultado final esté sobredimensionado.

7.1.2.1. Parámetros para la caracterización del Tráfico de Voz

Para caracterizar el tránsito de voz se requieren los datos de requerimientos de usuarios y llamadas cursadas en el Sistema, con parámetros tales como:

- Distribución de usuarios por estaciones o número medio de usuarios en estación.
- Cantidad de usuarios o número de terminales móviles y portátiles.
- Tipo de grupos de comunicaciones que se establecerán.
- Cantidad de llamadas por cada terminal, tipo y duración de las mismas.
- Tiempo medio de duración de una llamada en hora cargada.
- Número y tipo de llamadas por usuario/terminal en 1 hora
- Calidad de servicio (GoS), o tiempo de espera máximo objetivo

Como requerimiento básico del diseño ha sido considerado que el tiempo máximo de espera de un usuario para poder establecer una llamada en el Sistema sea de 5 segundos, el 95% de las veces que intenta cursar una llamada (GoS 5%).

7.1.2.2. Parámetros para la caracterización del Tráfico de Datos

Para caracterizar el tránsito de datos se requieren los datos en relación con los mensajes de datos requeridos para la explotación de la línea, que tendrán que ser cursados en el Sistema a través del canal de control, con parámetros tales como:

- N° de mensajes SDS por terminal y tamaño (bytes).
- N° de mensajes de estado.

7.1.3. Parámetros e Hipótesis de Cálculo consideradas para el Tráfico de Voz

Dado que algunos de los parámetros necesarios para la caracterización del tránsito de voz no se conocen con exactitud en el momento de la redacción del presente documento, para poder determinar los requerimientos de tránsito de voz en el Sistema se han realizado hipótesis en relación con aspectos tales

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

como la distribución de los usuarios, la cantidad y los tipos de grupos de comunicaciones que se establecerán, la cantidad de llamadas por cada terminal y la duración de las mismas. Estos parámetros son determinantes para poder realizar un análisis completo. Así pues, el estudio realizado es orientativo y permite dar una orientación del grado de servicio logrado según unas determinadas hipótesis de utilización de la red TETRA.

Como criterio general, se adoptarán las siguientes hipótesis:

Como criterio de calidad de servicio, se requiere que la espera en cola no supere los 5 segundos en un 95% de los intentos (Grado de Servicio (GoS) inferior al 5%).

La duración media de las llamadas individuales se estima en 30 segundos (tasa de tráfico/llamada: 0,008 Erlangs).

A continuación se estudian los tipos de usuario y su distribución para poder estimar la duración media de una llamada de grupo.

Se considerarán los tipos de usuarios y su distribución a lo largo de las diferentes dependencias de la Línea siguientes:

- Trenes a lo largo de la Línea (38):
 - Se dispondrá de 76 terminales móviles dado que en cada tren se dispondrá de terminal móvil en cada una de las cabinas de conducción del tren. Se considerará que en el ámbito de cobertura de una estación, en la zona de circulación de trenes, se tendrá un máximo de 2 trenes simultáneamente con una radio activa cada uno: en total 2 terminales móviles.
- Personal en Estaciones (18 estaciones): Se considerará que el personal de estaciones dispondrá de un terminal portátil. En particular se considerará:
 - (1) Jefe de estación. Aunque la operativa prevista inicialmente considera 1 jefe de estación cada 3 estaciones, se considerará para los cálculos la presencia de un jefe de estación en cada estación.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- (36) Personal de Seguridad /Vigilancia: Se considerarán 2 agentes de seguridad por cada estación.
- (6) Agentes de Mantenimiento en Línea. Se considerarán 2 agentes de mantenimiento por cada 6 estaciones.
- Personal en Talleres y Depósitos: Se considerará un máximo de 9 usuarios en Talleres.
 - (1) Operador del Puesto de Maniobras de Talleres (PMT), o 'Inspector Jefe' encargado de maniobras en el taller.
 - (4) Ingenieros de Mantenimiento de Talleres.
 - (2) Personal de Seguridad /Vigilancia de Talleres.
- Personal en Centro de Control:
 - (1) Puesto de Supervisor de Línea.
 - (2) Operadores de Mando y Control de Tráfico (TTR).
 - (2) Puestos de Operador de Estaciones.
 - (5) Puestos de Operador de Centro de Comunicaciones o Información a Usuarios.
 - (2) Puestos de Operador de Energía.
 - (3) Puestos de Operador en Centro de Seguridad (1 coordinador y 2 operadores).

Para los diferentes tipos de Usuario se establecen las siguientes Hipótesis en relación con el número total de usuarios, el número medio de llamadas / hora cargada y la duración media de una llamada, obteniéndose el tráfico generado por cada tipo de usuario (o tasa de tráfico/usuario).

Parámetros de cálculo												
Tipos de usuarios	Supervisor	Op Tráfico TTR/PMA	Op. PMT	Op EST	Op Inf Usuarios	Op SEG	Op ENE	Jefe de Estación	Trenes	Agentes Seguridad	Agentes Mantenimiento	TOTAL
Nº medio de llamadas/hora cargada	15	60	10	26	4	26	4	13	30	13	2	203
Duración media de una llamada (segundos)	15	10	20	15	10	20	15	15	15	20	15	15,45
Tráfico por usuario (Erlangs)	0,06	0,17	0,06	0,11	0,01	0,14	0,02	0,05	0,13	0,07	0,01	-

Asimismo, se establecen los siguientes tipos de grupos operativos dentro del Sistema TETRA y los siguientes ámbitos de estudio dentro de la Línea:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Tipos de Grupos
Tráfico
Tráfico Emergencias
Seguridad
Seguridad Talleres
Estaciones
Mantenimiento en Línea
Mantenimiento Talleres

Ámbitos de Estudio
Estación
Taller
Centro de control

Considerando los tipos de usuario y la tasa de tráfico que cargan en el Sistema, se establecen las siguientes hipótesis en relación con las llamadas de grupo y llamadas individuales que se podrán dar en cada ámbito de estudio dentro de la Línea, tomando en consideración la distribución de usuarios en cada uno de los ámbitos considerados. En cada caso se indica el total de tráfico cursado.

AREA de influencia de ESTACION													
Tipos de Grupos (distribución del tráfico por usuario)	Supervisor	Op Tráfico TTR/PMA	Op. PMT	Op EST	Op. C. Coms	Op C. SEG	Op ENE	Jefe de Estación	Trenes	Agentes Seguridad	Agentes Mantenimiento	Llamada Individual	TOTAL (Erlangs)
Tráfico	0	0,25							2			2	0,31
Tráfico Emergencias	0,5	0,75		0,25					2			4	0,47
Seguridad	0,2					0,9				2		6	0,33
Estaciones	0,2			0,5	1			3				2	0,26
Mantenimiento en Línea	0,1			0,25			1				2	2	0,08
												TOTAL:	1,45

AREA de influencia de taller													
Tipos de Grupos (distribución del tráfico por usuario)	Supervisor	Op Tráfico TTR/PMA	Op. PMT	Op EST	Op. C. Coms	Op C. SEG	Op ENE	Jefe de Estación	Trenes	Agentes Seguridad	Agentes Mantenimiento	Llamada Individual	TOTAL (Erlangs)
Seguridad Talleres						0,1				2		8	0,22
Mantenimiento en Línea			0,25								2	2	0,05
Mantenimiento Talleres			0,75									4	0,16
												TOTAL:	0,42

AREA de influencia de CC													
Tipos de Grupos (distribución del tráfico por usuario)	Supervisor	Op Tráfico TTR/PMA	Op. PMT	Op EST	Op. C. Coms	Op C. SEG	Op ENE	Jefe de Estación	Trenes	Agentes Seguridad	Agentes Mantenimiento	Llamada Individual	TOTAL (Erlangs)
Tráfico	0	0,25							2			4	0,32
Tráfico Emergencias	0,5	0,75		0,25					2			4	0,47
Seguridad	0,2					0,9				2		8	0,35
Seguridad Talleres						0,1				2		8	0,22
Estaciones	0,2			0,5	1			6				4	0,43
Mantenimiento en Línea	0,1			0,25			1					4	0,12
												TOTAL:	1,91

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

En condiciones normales una estación base TETRA de N portadoras dispone de 1 canal de control y $[3+((N-1)*4)]$ canales de tráfico. Con los parámetros de % de GoS y tiempo de espera máximo definidos, y considerando como media de servicio la duración media de llamadas obtenida a partir de las hipótesis anteriores, se puede extraer el tráfico máximo que podría cursar una TBS de 1 y de 2 portadoras.

Máximo Tráfico TBS 1 portadora	
GoS	5%
Canales	3
Máxima espera	5
Media de servicio	15,45
Máximo Tráfico (Erlangs)	2,222

Máximo Tráfico TBS 2 portadoras	
GoS	5%
Canales	7
Máxima espera	5
Media de servicio	15,45
Máximo Tráfico (Erlangs)	6,16

Considerando los datos comentados, se obtienen los resultados que se muestran a la tabla siguiente:

Tipo de Emplazamiento	Emplazamiento	BTS (Num)	Tipo de BTS (Num. portadoras)	Duración media de llamada (segundos)	Nº de canales disponible por TBS	Nº de grupos utilizados	Tiempo Máximo espera (segundos)	GoS obtenida (%)	GoS objetivo (%)	Máximo Tráfico TBS (Erlangs)	Tráfico Consumido (Erlangs)	Tráfico Sobrante (Erlangs)
Viaducto T + Taller	1. Periférico Zapopan + Taller	1	1	15,45	3	7	5	0,06%	5%	2,222	1,871	0,351
Viaducto	2. Belenes	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	3. Mercado del Mar	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	4. Basílica	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	5. Plaza Patria	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	6. Circunvalación	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	7. Federalismo	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Subterránea	8. Normal	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Subterránea	9. Alcalde	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Subterránea	10. Catedral	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Subterránea	11. Independencia Sur	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Subterránea	12. Plaza de la Bandera	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	13. Cucei U. de G.	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	14. Plaza Revolución	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	15. Río Nilo	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	16. Tlaquepaque Centro	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto	17. Nodo Revolución	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Viaducto T	18. Central Camionera	1	1	15,45	3	5	5	0,55%	5%	2,222	1,447	0,775
Centro de Control	Centro de Control	1	2	15,45	3	6	5	0,39%	5%	2,222	1,913	0,309

Cómo se puede observar, con las hipótesis establecidas, y la distribución de grupos definida, considerando la instalación de TBS de 1 portadora en cada una de las estaciones y en el Centro de Control, el sistema proporciona un grado de servicio mejor al requerido (Grado de Servicio (GoS) inferior al 5%), y el tráfico consumido es inferior al tráfico máximo que podría cursar la TBS, lo que indica un dimensionado suficiente de los recursos radio de la red.

Así pues, con las suposiciones establecidas y los grupos de usuario definidos se puede concluir que, respecto al tráfico de voz, el dimensionado de red considerado permite conseguir tiempos de espera por debajo del objetivo de calidad de servicio establecido (5 segundos). No obstante, para poder ofrecer garantía de crecimiento en cuanto al número de usuarios y flexibilidad en cuanto a la gestión de grupos de usuarios, se propone la instalación de TBS de 2 portadoras en el Centro de Control, por tratarse de la zona donde se prevé la mayor concentración del tráfico de llamadas de la Línea; y en la estación terminal de 'Periférico Zappopan' ya que la TBS de esta estación también dará cobertura a la zona de talleres (aún pendiente confirmación ubicación de Talleres) y, por tanto, tendrá que soportar el tráfico generado en la propia estación y también el tráfico generado en la zona de talleres.

Parámetros e Hipótesis de Cálculo consideradas para el Tráfico de Datos

En cuanto al tránsito de datos, teniendo en cuenta el dimensionado y configuración de la Red TETRA para la Línea, se dispondrá de tantos canales de control como TBS se distribuyan en la Línea.

En el momento de la redacción del presente documento, no han sido definidos los requerimientos en cuanto al tránsito de datos dado que no se conocen los tipos de transmisiones de datos que se tendrán que poder realizar. En el momento de la ejecución de los trabajos, el adjudicatario tendrá que realizar un estudio de detalle utilizando parámetros de diseño lo más parecidos posibles a los modelos de explotación finales, para establecer el dimensionado de los canales de control necesarios.

7.1.4. Conclusiones

Con las suposiciones establecidas se puede concluir que, respecto al tráfico de voz y datos, el dimensionado de red considerado permite conseguir los objetivos de calidad fijados.

Los resultados presentados tienen un carácter orientativo, puesto que están basados en unas hipótesis que tendrán que ser revisadas por parte del adjudicatario de los trabajos de despliegue de la red.

7.2. DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE BANDA ANCHA (WIRELESS)

7.2.1. Descripción y dimensionado de los Servicios soportados por el Sistema

En este apartado se identifican y describen los servicios embarcados requeridos que tendrá que poder soportar la red de radiocomunicaciones a nivel de comunicaciones, analizando los requerimientos básicos y características particulares que cada servicio precisa para su correcto funcionamiento, tanto a nivel de transmisión como nivel de operación, y que serán la base para el diseño de la red de radiocomunicaciones de banda ancha tren-tierra-tren de la Línea del CDG.

Los servicios embarcados ofrecidos se pueden agrupar en dos grupos, en función de cuáles son los usuarios que los ejecutan, o en base a quien recibe los beneficios de su utilización:

- Servicios ofrecidos y/o utilizados por el personal de la Línea
- Servicios ofrecidos y/o utilizados por los usuarios de la Línea

Asimismo, se tiene que tener en cuenta que existen un conjunto mínimo de servicios que tienen que ser soportados por la red de radiocomunicaciones como 'servicios obligatorios' o tradicionalmente ofrecidos a Líneas de metro convencionales actualmente en explotación, mientras que otros se pueden considerar como 'servicios complementarios' o de futura implantación, que representarán un valor añadido de gran importancia, puesto que marcarán la diferencia entre los servicios ferroviarios tradicionales y los servicios ferroviarios de última generación, que pueden generar un alto grado de satisfacción para los usuarios de la línea. Por lo tanto, y en vista al futuro, es necesario plantear el diseño de una red totalmente escalable y capaz de adaptarse a las necesidades del futuro más próximo.

De acuerdo con lo que se ha comentado, los servicios que serán necesarios y que deberá soportar la futura red de radiocomunicaciones serán los siguientes:

- Servicio soportado por una Red radio de trunking digital de estándar TETRA:
 - Servicio de radiotelefonía de la Línea: El servicio de Radiotelefonía (Tren-Tierra-Tren), estará. El servicio de Radiotelefonía es un servicio muy crítico y de máxima prioridad dado que afecta a la explotación de la línea, que tendrá que permitir:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Establecimiento de conversaciones de voz bidireccionales Tren-Tierra-Tren entre el Centro de Control y los Maquinistas, Centro de Control y agentes de estación y agentes de mantenimiento, en el equipo de tren.
- Envío de mensajes de texto y auto diagnóstico (reporte de estados de los elementos que componen el sistema).
- Servicios soportados por una red WiFi:
 - Servicios embarcados previstos por la explotación de la Línea:
 - Servicio de Vídeo Vigilancia Embarcada.
 - Servicio de Mando y Supervisión del Material Rodante en el Telemando de Tráfico (TTR).
 - Servicio de Interfonía Embarcado.
 - Servicio de Voceo Embarcado.
 - Servicio de Telefonía Embarcada [a tener en cuenta, pero no ejecutable].
 - Servicios embarcados ofrecidos a los usuarios de la Línea como valor añadido:
 - Servicio de información al viajero en paneles (SIV-texto).
 - Servicio SIV con contenido vídeo (SIV-multimedia).

En este documento se analizan las posibilidades tecnológicas para implantar la red de radiocomunicaciones de banda ancha basada en tecnología WiFi, con capacidad y prestaciones suficientes para soportar el servicio de vídeo vigilancia embarcada a la Línea, así como el resto de servicios complementarios o de futuro indicados.

El ámbito de cobertura de la red de banda ancha será a lo largo del trazado de la línea y en talleres y depósitos, sin tener que dar cobertura a la red viaria dentro del ámbito de influencia de la línea y garantizando también la cobertura en el interior de los trenes. A diferencia de la Red TETRA, no hará falta además garantizar la cobertura a las dependencias de las estaciones (tanto de tipos viaducto como subterráneas).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

En los siguientes apartados se hará una breve descripción de los diferentes servicios considerados y de sus requerimientos, tanto a nivel de operación como a nivel técnico, para poder realizar un correcto dimensionamiento de la red de radiocomunicaciones de banda ancha a implementar.

Por el análisis de los requerimientos de operación de cada servicio, nos centraremos en parámetros como son los siguientes:

- Funcionalidades del Servicio.
- Cobertura del servicio.
- Criticidad de la Información.
- Disponibilidad de servicio de Back up.
- Prioridad de la Información.

A nivel técnico, todos los servicios que se analizan en este documento, están relacionados por el hecho que requieren comunicación directa del tren con tierra y de tierra con el tren. Esta comunicación, por la propia naturaleza del entorno, tiene que ser soportada por una comunicación inalámbrica, que sea capaz de transmitir en un entorno móvil y con unas condiciones radioeléctricas complejas. En base al hecho que el estudio tiene como objetivo analizar y obtener las bases por el diseño de la red de radiocomunicaciones de Banda Ancha de la Línea CDG, el análisis de los requerimientos técnicos de los servicios identificados se basará en sus requerimientos de comunicación, centrándonos en parámetros como los presentados a continuación:

- Capacidad / Ancho de Banda.
- Disponibilidad.
- Seguridad.
- Retraso de Transmisión (Tiempo Real/ Latencia).
- Escalabilidad.
- Autenticación.

7.2.1.1. Servicio de Vídeo Vigilancia embarcada

7.2.1.1.1 Descripción del servicio

El sistema de vídeo vigilancia embarcada permite visualizar en el puesto de control central (CCO), las imágenes de vídeo captadas por cámaras digitales ubicadas en el interior de los trenes en movimiento, en tiempo real. De este modo, el sistema de vídeo vigilancia embarcada sobre IP o Híbrido (Digital-IP), basará su funcionamiento en la utilización de cámaras, que enviarán un flujo de datos IP hacia el CCO.

Se requiere disponer en los trenes de un sistema de vídeo embarcado que ofrezca una interficie IP, con cámaras situadas en el interior y exterior de los trenes. Se contempla en este estudio, para realizar los cálculos, que al menos deberá haber instaladas 2 cámaras en cada coche y al menos una cámara en cada uno de los frontales (8 cámaras en total).

La ubicación móvil de las cámaras justifica la necesidad de utilizar una red inalámbrica como medio de comunicación y acceso entre la red LAN embarcada y la red de Transporte que se despliegue a lo largo de la línea, que permitirá la comunicación con el Centro de Control.

7.2.1.1.2 Requerimientos de Operación del Servicio

Los principales requerimientos del servicio de vídeo vigilancia desde el punto de vista de su operación serán los siguientes:

- **Funcionalidades del Servicio:** Todas las cámaras de los trenes estarán en funcionamiento y todas las imágenes generadas serán grabadas en el vídeo grabador de cada tren, pero no todas se enviarán hacia el Centro de Control. Sólo se visualizarán las cámaras seleccionadas por los operadores del Centro de Control. Desde el Centro de Control los operadores podrán visualizar al mismo tiempo un mínimo de 8 imágenes que lleguen de las cámaras de un solo tren. La selección de las diferentes cámaras se podrá realizar a voluntad del operador (los operadores podrán seleccionar las imágenes de una determinada cámara de un tren en concreto en cualquier momento); también se visualizarán cámaras activadas por una señal de alarma enviada desde el tren (tirador ubicado junto a las puertas del tren), o por activaciones de diferentes automatismos (por circuito de vía predefinido y por un automatismo de visualización de una secuencia con todas

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

las cámaras de todos los trenes que están en cobertura). La red de radiocomunicaciones de Banda Ancha únicamente realizará el transporte tren-tierra-tren de la información asociada al servicio.

- **Cobertura del servicio:** Dado que se requiere poder transmitir la información de vídeo captada a los trenes hacia el CCO en cualquier momento y desde cualquier tren de la línea, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá que disponer de cobertura con el equipo del tren a lo largo de toda la línea (tramos sepultados y al exterior, túneles y viaductos), así como en los talleres y depósitos, de forma que el enlace radio tren-tierra-tren esté garantizado.
- **Criticidad de la Información:** La video vigilancia embarcada se considera un servicio no crítico dentro de la explotación ferroviaria. Aunque se trata de un servicio destinado a mejorar la seguridad de los pasajeros a los trenes aumentando la capacidad de reacción de los operadores, agentes de Operación (conductores) y cuerpos de seguridad ante cualquier situación imprevista o de emergencia que se pueda producir en el interior de los trenes, hay que destacar que en los trenes se dispone de registros de vídeo donde queda registrada de forma continua toda la información de video vigilancia captada por las cámaras y que esta información ha de poder ser recuperada en cualquier momento desde la plataforma de video vigilancia con la que se integre el sistema (a confirmar en el diseño del Sistema de Video Vigilancia).
- **Back up:** No se dispone de un servicio de back up del servicio de Videovigilancia embarcada en tiempo real. A destacar no obstante, el hecho de que en los trenes se dispone de registros de vídeo donde queda registrada de forma continua toda la información de videovigilancia captada por las cámaras y que esta información puede ser recuperada en cualquier momento. Asimismo, el diseño de la red de radiocomunicaciones Wireless de banda ancha tendrá las redundancias necesarias para asegurar la continuidad del servicio: redundancia de equipo embarcado, redundancia de cobertura y redundancia de equipos de tierra.
- **Prioridad de la Información (calidad de servicio):** A pesar de la no criticidad del servicio, en relación con la explotación ferroviaria, la información asociada al servicio de Videovigilancia se considera prioritaria frente a otros tipos de información que puedan coexistir en la red de

radiocomunicaciones. Por tanto, se tendrá que asegurar un ancho de banda del total disponible en el enlace tren-tierra.

7.2.1.1.3 Requerimientos Técnicos del Servicio

Los requerimientos técnicos del servicio de Vídeo vigilancia se centrarán fundamentalmente en la comunicación con el CCO. Adicionalmente, cuando el sistema necesite operar con múltiples dispositivos de fabricantes diferentes, se incorpora como requerimiento asegurar la compatibilidad entre ellos, para así poder integrar una plataforma única para la gestión de este servicio. Los principales requerimientos técnicos del servicio de Vídeo vigilancia embarcada sobre el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha son los siguientes:

- **Capacidad / Ancho de Banda:** La capacidad de un sistema de comunicaciones está directamente relacionada con los retrasos que se pueden experimentar. El hecho de disponer de un ancho de banda limitado se traduce en la aparición de colas al aumentar el volumen del tráfico y por lo tanto en un aumento del retraso de transmisión. Por eso es fundamental realizar un correcto dimensionado de los requerimientos en ancho de banda del servicio. El servicio de Vídeo Vigilancia se caracteriza por la transmisión de grandes volúmenes de información que requiere el uso de sistemas de comunicación de alta capacidad. A pesar de la utilización de potentes algoritmos de compresión de vídeo (H264, MPEG-4, Wavelet), se requiere un elevado ancho de banda para la transmisión de una imagen de calidad. Teniendo en cuenta las cámaras existentes actualmente y suponiendo un caso exigente (una transmisión a 25 fps con una resolución de 4CIF (704x480)), el ancho de banda que ocupará cada cámara será de 1,5 Mbps.
- **Disponibilidad:** Este servicio se considera como no prioritario y no crítico, por lo cual la red de comunicaciones inalámbricas tendrá que proporcionar un nivel de disponibilidad suficientemente alto.
- **Seguridad:** Debido al uso legal y/o penalti con que las imágenes grabadas pueden ser utilizadas es fundamental la utilización de marcas de agua (Watermarking), que aseguren la integridad de las reproducciones. Por eso, se considera necesario el aseguramiento de la Privacidad o Confidencialidad y la Integridad de la información, así como la Autenticación y No Repudio.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **Retraso de Transmisión:** Al utilizarse una red de conmutación de paquetes, de intervalo de recepción de paquetes por parte del receptor no se puede fijar, siendo variable de un paquete a otro. Esta situación puede afectar a la calidad de la transmisión de vídeo hacia el CCO, puesto que si el retraso entre paquetes se eleva, la imagen recibida se degrada. La visualización y supervisión de imágenes y secuencias de vídeo requieren el uso de aplicaciones en tiempo real, de tal forma que la información e imágenes con la que un operador está trabajando sean actuales y no conduzcan a errores y generación de falsas alarmas. En base a los retrasos máximos permitidos típicamente en diferentes sistemas según la ITU-T H.323, un sistema de comunicación que soporte un servicio de vídeo vigilancia tiene que asegurar un retraso de transmisión máximo entre paquetes (jitter) de información inferior a 400 ms (tiempo real). Un componente importante de este retraso lo representa el retraso que introduce el codificador de vídeo, puesto que en función del codificador que se use en los trenes el retraso de transmisión extremo a extremo puede variar significativamente. Se debería recomendar el uso en los trenes de los equipos que implementen los algoritmos de compresión más eficientes, como por ejemplo H264.
- **Escalabilidad** El sistema de vídeo vigilancia embarcada tendrá que ser escalable. Por lo tanto, si la explotación ferroviaria desea hacer alguna mejora en su equipamiento o la optimización en el servicio (por ejemplo ofrecer vídeo de alta definición, ampliar a nuevas prestaciones, etc.), entonces tendrá que ser posible llevarla a cabo mediante un cambio mínimo del sistema para así poder adaptarlo a las nuevas prestaciones que se desean proporcionar. Esto implica que, ante una actualización de las prestaciones del servicio, la explotación será capaz de conservar la infraestructura y realizar las modificaciones generales en los equipos, bajo costes razonables, que no impliquen un cambio radical de la tecnología y por extensión de la infraestructura. Por lo tanto, la red de comunicaciones tiene que estar suficientemente dimensionada para soportar los la introducción de nuevos servicios.

La capacidad de transmisión está relacionada directamente con varios parámetros como por ejemplo:

- **Modelo de tráfico:** En aplicaciones de vídeo en tiempo real, sobre todo en entornos donde el ancho de banda es limitado, se recomienda la utilización de un modelo de tráfico de tipo CBR

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

(Constant Bit Rate). El modelo CBR se caracteriza por ofrecer en la red un flujo de datos constante y acotado con una desviación muy reducida, hecho que facilita la reserva de ancho de banda.

- Tasa de Transmisión: La tasa de transmisión de vídeo hacia el CCO depende del tipo de codificador de vídeo utilizado y de la calidad de la imagen de vídeo requerida. Actualmente existen un gran abanico de codificadores que combinando los dos factores anteriormente presentados proporcionan prestaciones ajustadas a, como ejemplo, el tipo de red. Por lo tanto, es posible disponer de un codificador con un alto grado de compresión pero una calidad reducida o todo el contrario, un codificador con un bajo grado de compresión con una alta calidad de imagen. Asimismo, existen codificadores más avanzados que combinan una buena calidad de imagen con un alto índice de compresión. En este caso, el servicio de video vigilancia embarcada requiere disponer de una tasa de transmisión máxima de 1,5 Mbps por cámara, que sería el flujo que se generaría si se quisiera enviar el vídeo con 25 fps y una buena resolución (4CIF).
- Densidad de cámaras: Todas las cámaras de los trenes estarán continuamente en funcionamiento, pero esto no implica que todas generen un tráfico simultáneo hacia el CCO. En el caso más desfavorable los operadores podrán a llegar a transmitir hasta 8 cámaras de un mismo tren con una resolución de 25 fps, a solicitud de los operadores o por activación de una alarma.

Por lo tanto, para el caso más exigente fijaremos un flujo de datos máximo de 1,5Mbit/cámara y consideraremos la transmisión de 8 cámaras de forma simultánea y desde la misma celda. En este caso el mínimo ancho de banda requerido al sistema para el servicio de Vídeo Vigilancia Embarcada sería de 12 Mbps.

7.2.1.2. *Servicio de Telemando de Tráfico (Material Rodante)*

7.2.1.2.1 **Descripción del Servicio**

El servicio de Telemando de Tráfico incorpora la opción de recepción de información de los trenes y de sus equipos desde el CCO, así como la posibilidad de envío de determinadas órdenes hacia los equipos de los trenes (a determinar en el diseño del Telemando y del Material Rodante). Este servicio permite a un operador del CCO tener información y control sobre los trenes y dispositivos que se encuentran en

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

operación, pudiendo establecer mecanismos de control, generar órdenes de mantenimiento, ejecutar diagnósticos del Material Rodante en remoto, ejecutar medidas cautelares en caso de recepción de alarmas o desencadenar protocolos de actuación que sirvan para reducir el costes de la explotación o para mejor factores tanto exigentes como la seguridad de la explotación ferroviaria. Asimismo, también debe permitir a un Operador de Mantenimiento la descarga de ficheros con los estados y alarmas de un equipo del tren.

Para todo ello se requiere disponer en los trenes del equipamiento necesario para la captación y distribución de datos correspondiente, así como la interfaz adecuada con el sistema informático del tren, de donde se puede extraer toda la información demandada.

Este servicio, que se basa en una arquitectura cliente-servidor, está distribuido en tres partes principales:

- Equipamiento y Aplicaciones embarcadas (clientes).
- Equipamiento y Aplicaciones centrales (servidor).
- Red de comunicaciones, integrada por los elementos que conforman la arquitectura del esquema siguiente:

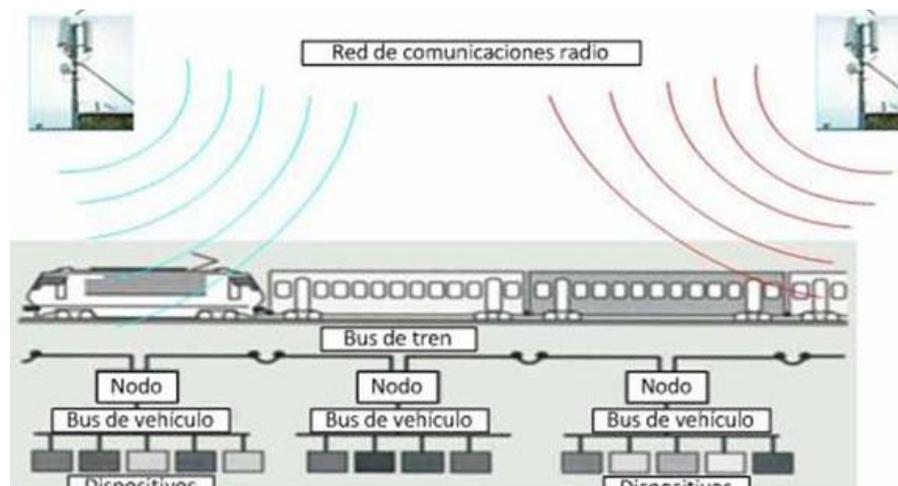


Figura 64. Arquitectura genérica del servicio de Telecontrol y Monitorización del Material Rodante

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

La red de comunicaciones enlaza el equipamiento central con los equipamientos embarcados a cada tren. La ubicación móvil de los equipamientos embarcados justifica la necesidad de utilizar una red inalámbrica como medio de comunicación y acceso entre la red embarcada de los trenes (TCN) y la red de distribución en tierra. Por este motivo, la red de comunicaciones estará integrada por:

- Red de comunicaciones interior del tren (TCN - Train communications Network), que es una arquitectura de red específica para los trenes que define como se realiza la comunicación entre los diferentes equipamientos instalados en el Material Rodante que requieren de comunicación, control o supervisión. Esta arquitectura permite la compatibilidad y la comunicación entre el equipamiento embarcado de diferentes fabricantes instalados en el mismo vagón o en diferentes vagones del tren.

Además, en el interior de los trenes se deberá disponer de una red Ethernet (al menos Fast-Ethernet) dónde se conectarán los equipos de CCTV, de vídeo información e información al pasajero, con los que el equipo radio embarcado en el tren deberá tener una interfaz. Esta red es necesaria porque el ancho de banda disponible en la red TCN no es suficiente para la transmisión de streamings de vídeo.

- Red de radiocomunicaciones para las comunicaciones tren-tierra-tren, que realiza la función de puente entre los dispositivos conectados a las redes de tren (TCN y Ethernet) y los elementos de control de tierra.
- Red de Transporte Multiservicio en tierra, que tendrá conexión con el equipamiento central y con la red de radiocomunicaciones implementada en la vía.

Así, como puente entre los dos sistemas, la red de radiocomunicaciones a implantar deberá asegurar una total transparencia a nivel de comunicación, que se conseguirá mediante el cumplimiento de las siguientes premisas:

- Ofreciendo los recursos disponibles para garantizar los parámetros de calidad establecidos por las aplicaciones.
- Ofrecer altas prestaciones en concepto de disponibilidad, minimizando al máximo el número de cortes de comunicación.

- Asegurar la comunicación, abortando la transmisión de información modificada o el acceso ilícito a los sistemas del tren.

7.2.1.2.2 Requerimientos de Operación del Servicio

Los principales requerimientos del servicio de Información del Tren en Mantenimiento desde el punto de vista de su operación son:

- **Funcionalidades del Servicio:** Desde el CCO los operadores podrán obtener de forma remota información en tiempo real sobre el funcionamiento de los equipamientos de los trenes, monitorizando el estado del Material Rodante en circulación o estacionado en talleres y depósitos, así como realizar diagnósticos, actualizaciones de firmwares del equipos embarcados en línea y activar o configurar simulaciones en cualquier momento. Si bien será necesaria la coordinación con el fabricante del tren para acordar el número de funcionalidades a implementar sin poner en riesgo la integridad de los sistemas embarcados. A nivel de integración funcional: se podrá realizar la gestión operativa desde el lugar central y gestión de mantenimiento desde oficina de mantenimiento.
- **Cobertura del servicio:** Dado que se requiere poder transmitir datos de telemetría desde el tren hacia el CCO para su monitorización, así como poder transmitir datos de telecontrol desde el CCO hacia los trenes, en cualquier momento y desde cualquier tren de la línea ferroviaria, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá que disponer de cobertura con el equipo del tren a lo largo de toda la línea (tramos sepultados y al exterior, túneles y viaductos), así como a los talleres y depósitos, de forma que el enlace radio tren-tierra-tren esté garantizado.
- **Criticidad de la Información:** El servicio de Telemando de Tráfico (Material Rodante) se considera un servicio no crítico dentro de la explotación ferroviaria, puesto que se trata de un servicio que no afecta a la explotación (el hecho de que no funcione no impide el movimiento de los trenes) y que únicamente está destinado a controlar parámetros del tren y a monitorizar sus equipos, funcionalidades que representan un valor añadido a las tareas de mantenimiento y control de los trenes, reduciendo los costes de la explotación ferroviaria y mejorando la seguridad.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **Back up:** Dado que se considera un servicio no crítico, no se dispone de servicio de back up, aunque el diseño de la red tendrá las redundancias necesarias para asegurar la continuidad del servicio: redundancia de equipo embarcado, redundancia de cobertura y redundancia de equipos de tierra.
- **Prioridad de la Información:** A pesar de la no criticidad del servicio, la información asociada al servicio de Telemando de Tráfico (Material Rodante) se considera prioritaria frente a otros tipos de información que puedan coexistir en la red de radiocomunicaciones. Por tanto, se tendrá que asegurar un ancho de banda del total disponible en el enlace tren-tierra (ver tabla resumen con QoS).

7.2.1.2.3 Requerimientos Técnicos del Servicio

Los requerimientos técnicos del servicio de Información del Tren en Mantenimiento se centrarán fundamentalmente en la comunicación con los centros de control de tierra, que normalmente es donde reside el conjunto de aplicaciones servidores. Adicionalmente, cuando el sistema tiene que operar con múltiples dispositivos de fabricantes diferentes, se incorpora como requerimiento asegurar la compatibilidad entre ellos, para así poder integrar una plataforma única para la gestión de este servicio.

Los principales requerimientos técnicos del servicio de telecontrol y monitorización sobre el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha son:

- Capacidad / Ancho de Banda: La capacidad total del sistema de comunicación necesaria para el servicio de telecontrol vendrá dada por factores que tendrán que ser considerados previamente tales como el número total de dispositivos a controlar, cantidad de parámetros a gestionar, volumen de datos a transmitir, etc. Para obtener una aproximación del ancho de banda que se requiere para el sistema de Información del Tren en Mantenimiento, cogeremos como referencia la carga de tráfico máxima en el caso de GSM-R (uno de los sistemas más utilizados hoy en día para servicios de telecontrol a las infraestructuras ferroviarias). En este caso, se requiere una reserva de como mínimo 115,2Kbps por tren. Por lo tanto, añadiendo un margen de seguridad, se

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

considera que la capacidad de la red de radiocomunicaciones de banda ancha destinada al servicio de Telecontrol y monitorización del Material Rodante disponga de una reserva de como mínimo 200 Kbps por tren. Por lo tanto, en el caso más exigente que se daría en la situación de que dos trenes coincidan a la misma celda, el mínimo ancho de banda requerido al sistema sería de 400 Kbps/por línea.

- Disponibilidad: Este servicio transmite al CCO y a otras ubicaciones autorizadas un conjunto de información que se caracteriza para requerir de un alto grado de interactividad. Este servicio se considera como no prioritario y no crítico, por lo cual la red de comunicaciones inalámbricas tendrá que proporcionar un nivel de disponibilidad suficientemente alto.
- Seguridad: La existencia de un acceso a los sistemas internos en el tren hacen que el grado de seguridad de este servicio tenga que ser suficientemente alto. Por eso se considera necesario el aseguramiento de la Privacidad o Confidencialidad y la Integridad de la información, así como la Autenticación.
- Retraso de Transmisión: La monitorización de datos de control y supervisión de un sistema es un servicio interactivo que requiere el uso de aplicaciones en tiempo real, de tal forma que los datos con las que un operador está tratando estén actualizadas y no conduzcan a errores y generación de falsas alarmas. En base a los retrasos máximos permitidos típicamente en diferentes sistemas según la ITU-T H.323, un sistema de comunicación que soporte un servicio de monitorización de datos tiene que asegurar un retraso de transmisión máximo extremo a extremo entre paquetes de información inferior a 1seg (casi real).
- Escalabilidad: A medida que el equipamiento embarcado mejora en prestaciones, pueden aparecer nuevos servicios de comunicación o se pueden generar nuevas necesidades de telecontrol y monitorización, requiriendo una reestructuración de la red de comunicaciones. La red de comunicaciones tiene que estar suficientemente dimensionada para soportar los diferentes cambios introducidos en el servicio, bajo este supuesto el mantenimiento, la modificación o la extensión de los componentes del servicio no tienen que requerir extraer del funcionamiento todo el servicio.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

La capacidad total del sistema de comunicación necesaria para el servicio de telecontrol vendrá dado por un conjunto de factores, que tendrán que ser considerados previamente:

- Número total de dispositivos a controlar.
- Cantidad de parámetros a gestionar.
- Volumen de datos a transmitir.
- Retrasos máximos permitidos.
- Sobrecarga del tráfico debido a servicios adicionales (seguridad).

7.2.1.3. Interfonía

7.2.1.3.1 Descripción del Servicio

El servicio de interfonía permite a los pasajeros ponerse en comunicación directamente con los operadores del CCO, mediante interfonos instalados en los trenes. Se requiere disponer en los trenes de un sistema de interfonía embarcada.

7.2.1.3.2 Requerimientos de Operación del Servicio

Los principales requerimientos del servicio de Interfonía embarcada desde el punto de vista de su operación son los siguientes:

- Funcionalidades del Servicio: El servicio de interfonía IP permite a los pasajeros embarcados comunicarse directamente con el CCO a través de los interfonos instalados en los trenes, sin necesidad de marcar, estableciendo comunicaciones de voz bidireccionales.

El servicio de Telefonía IP no está previsto como servicio a implantar para el CDG. No obstante se considera la posibilidad de implantarlo en el futuro como back-up del sistema de radiotelefonía TETRA. El servicio de telefonía IP podría proporcionar a la explotación facilidades para la comunicación entre operarios de la Línea. Estos operarios podrían estar embarcados en los trenes o ser operarios móviles desplazándose por la zona de talleres, cocheras o dependencias de las líneas.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Para poder implantar estos servicios, sería necesario ampliar el alcance de cobertura de la red de banda ancha y dotar de terminales portátiles al personal de la Línea.

- Cobertura del servicio: Dado que se requiere poder transmitir en cualquier momento información de voz (interfonía) entre el CCO y los terminales fijas embarcados de cualquier tren de la línea ferroviaria, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá que disponer de cobertura con el equipo del tren a lo largo de toda la Línea del CDG (tramos sepultados y al exterior, túneles y viaductos), así como a los talleres y depósitos para tareas de mantenimiento, de forma que el enlace radio tren-tierra-tren esté garantizado.
- Criticidad de la Información: El sistema de Interfonía es un servicio destinado a permitir que los pasajeros puedan establecer una conversación directamente con los operadores del CCO en caso de emergencia. Por este motivo la Interfonía embarcada se considera un servicio crítico.
- Back up: El back up del servicio de Interfonía se hará posible a través del maquinista mediante la radio del tren (siempre en función de las capacidades funcionales del sistema de interfonía embarcado que esté implantado en los trenes y con el desarrollo de la interfaz correspondiente).
- Prioridad de la Información: Dada la criticidad del servicio, la información asociada al servicio de interfonía se considera prioritaria en frente otros tipos de información que puedan coexistir en la red de radiocomunicaciones.

7.2.1.3.3 Requerimientos Técnicos del Servicio

Los principales requerimientos técnicos del servicio de interfonía IP sobre el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha son los siguientes:

- Capacidad / Ancho de Banda: Las redes de VoIP utilizan potentes esquemas de compresión y supresión de silencio con el objetivo de disminuir el ancho de banda requerido por cada "canal" de voz. La asignación del ancho de banda de la red de radiocomunicaciones para el servicio de Interfonía

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

se basa en la estimación del número de llamadas en la hora cargada y la tasa de transmisión de datos por llamada. Se considera un ancho de banda requerido por canal de 96 Kbps. De acuerdo con la operación establecida para este servicio, en condiciones normales de operación, como máximo podrán ser atendidas cinco llamadas simultáneas en el CCO. Así, el mínimo ancho de banda requerido por el servicio de Interfonía sería de 480 Kbps.

- Disponibilidad: El servicio de Interfonía debe proporcionar una alta disponibilidad. Para conseguir este nivel de disponibilidad es necesario que la red de radiocomunicaciones sea capaz de proporcionar también un alto nivel de disponibilidad.
- Seguridad: Las comunicaciones de voz entre usuarios tienen que ser totalmente confidenciales, evitando que se puedan realizar escuchas ilegales. Aun así, y debido a que todos los sistemas presentes en esta Línea utilizarán el mismo acceso radio, se proporcionarán los mismos mecanismos básicos de seguridad, como por ejemplo integridad o autenticación. Por eso se considera necesario el aseguramiento de la Privacidad o Confidencialidad y la Integridad de la información, así como la Autenticación.
- Retraso de Transmisión: Según la ITU-T H.323, el sistema de interfonía IP es intrínsecamente un servicio de tiempo real, el cual requiere retrasos entre paquetes de voz (extremo a extremo) inferiores a 150ms.
- Escalabilidad: Si la explotación ferroviaria decide hacer alguna mejora al equipamiento u optimización en el servicio, entonces sería posible hacer una reestructuración minoritaria en el sistema de interfonía para poder adaptarlo a las nuevas prestaciones que se deseen proveer. El sistema sobre el que opera el servicio de interfonía IP deberá ser ampliable en un futuro (si procede), de forma sencilla y sin tener que ser rediseñado. Esta característica implicará que, ante una actualización en las prestaciones del servicio comentado, la explotación será capaz de conservar la infraestructura y realizar las modificaciones generales en los equipos, bajo costes razonables, que no impliquen un cambio radical de la tecnología o la infraestructura. La red de comunicaciones tiene que estar suficientemente dimensionada para soportar los diferentes cambios introducidos en el servicio, bajo este supuesto el

mantenimiento, la modificación o la extensión de los componentes del servicio no tienen que requerir extraer del funcionamiento todo el servicio.

7.2.1.4. *Megafonía (Voceo) Embarcada*

7.2.1.4.1 Descripción del Servicio

El sistema de megafonía permitirá la emisión desde el CCO de mensajes acústicos en el interior de cualquier tren a lo largo de la Línea del Corredor Diagonal Guadalajara (CDG), bien sea de forma global o selectiva para la difusión de información sobre incidencias o mensajes informativos sobre acontecimientos, recomendaciones a los pasajeros u otros. Estos mensajes pueden ser emitidos en directo o grabados para su difusión a determinadas horas, cada cierto tiempo, etc. En el caso de la emisión en directo se hace necesario el envío de mensajes en tiempo real desde el CCO hacia los trenes a través de una red de radiocomunicaciones. Se requiere disponer en los trenes de un sistema de megafonía embarcada.

7.2.1.4.2 Requerimientos de Operación del Servicio

Los principales requerimientos del servicio Megafonía embarcada desde el punto de vista de su operación son los siguientes:

- Funcionalidades del Servicio: El servicio de megafonía embarcada permitirá difundir mensajes de audio generados en el CCO en tiempo real, en el interior de todos los trenes o de forma selectiva, para informar a los pasajeros sobre condiciones del servicio, transbordos e incluso, instrucciones en caso de emergencia. A nivel de integración funcional: se podrá realizar la gestión operativa desde el lugar central y gestión de mantenimiento desde la oficina de mantenimiento.
- Cobertura del servicio: Dado que se requiere poder transmitir mensajes de megafonía desde el CCO hacia los trenes, en cualquier momento y hacia cualquier tren de la línea ferroviaria, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá que disponer de cobertura con el equipo del tren a lo largo toda la Línea del CDG (tramos sepultados y al exterior, túneles y viaductos), así como en los talleres y depósitos para tareas de mantenimiento, de forma que el enlace radio tren-tierra-tren esté garantizado.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Criticidad de la Información: El sistema de Megafonía embarcada es un servicio destinado a permitir que los pasajeros puedan recibir mensajes de audio emitidos en directo desde el CCO, tanto en condiciones de explotación normal para dar a información general sobre el estado del servicio, como en condiciones de emergencia para dar instrucciones de actuación. No obstante, al haber maquinista en los trenes, se considera un servicio no crítico.
- Back up: No se requerirá back up del servicio de Megafonía, ya que el maquinista podrá emitir mensajes a los viajeros.
- Prioridad de la Información: Dada la no criticidad del servicio, la información asociada al servicio de megafonía no se considera prioritaria en frente otros tipos de información que puedan coexistir en la red de radiocomunicaciones.

7.2.1.4.3 Requerimientos Técnicos del Servicio

Los principales requerimientos técnicos de los servicios de megafonía embarcada sobre el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha son los siguientes:

- Capacidad / Ancho de Banda: El Servicio de Megafonía embarcada transmite la información de voz de los mensajes generados al CCO hacia los altavoces de los trenes a través de la red de radiocomunicaciones de banda ancha basada en tecnología IP. Esto implica que utiliza codificadores de voz con el objetivo de reducir el ancho de banda consumido. Aun así, como se trata de una comunicación unidireccional y de difusión, es necesario la utilización de técnicas multicast para obtener un mejor rendimiento de transmisión. De este modo, con un único flujo de datos originado en el CCO o en cualquier otra ubicación autorizada, se puede transmitir un mensaje de voz a los diferentes altavoces situados en un conjunto de trenes, en uno específico o en una zona geográfica definida. Por lo tanto, el ancho de banda del sistema vendrá dado por el número de flujos que se originan y se transmiten hacia los trenes. El ancho de banda de cada uno de estos flujos vendrá dado por la codificación de voz seleccionada.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

En el caso de la Línea del CDG, el mínimo ancho de banda requerido al servicio de Megafonía será de 80 Kbps/por cada transmisión (a un tren o conjunto de trenes). Por lo tanto, en el caso más exigente que se daría en la situación de que se quisiera enviar tres mensajes diferentes de forma simultánea a dos zonas o trenes que coincidan en la misma celda, el mínimo ancho de banda requerido al sistema sería de 160 Kbps/por línea.

- Disponibilidad: El servicio de Megafonía tiene que proporcionar una alta disponibilidad. Para conseguir este nivel de disponibilidad es necesario que la red de radiocomunicaciones sea capaz de proporcionar también un alto nivel de disponibilidad.
- Seguridad: El uso del servicio de megafonía es restringido. Esto significa que sólo personal autorizado deberá tener acceso al mismo para evitar un mal uso y los posibles accidentes derivados de este mal uso. Por eso se considera necesario el aseguramiento de la Privacidad o Confidencialidad y la Integridad de la información, así como la Autenticación.
- Retraso de Transmisión: Según la ITU-T H.323, el sistema de megafonía es intrínsecamente un servicio de tiempo real, el cual requiere retrasos entre paquetes de voz (extremo a extremo) inferiores a 150ms.
- Escalabilidad: El Servicio de Megafonía embarcada tiene que ser escalable. Si la explotación ferroviaria decide hacer alguna mejora al equipamiento u optimización en el servicio, entonces será posible hacer una reestructuración minoritaria en el sistema para así poder adaptarlo a las nuevas prestaciones que se deseen proveer. El sistema sobre el que opera el servicio de Megafonía tiene que poder ser ampliable en un futuro (si procede), de forma sencilla y sin tener que ser rediseñado. El anterior implica que, ante una actualización en las prestaciones del servicio comentado, la explotación será capaz de conservar la infraestructura y realizar las modificaciones generales en los equipos, bajo costes razonables, que no impliquen preferencia hacia un cambio radical de la tecnología o la infraestructura. La red de comunicaciones deberá estar suficientemente dimensionada para soportar los diferentes cambios introducidos en el servicio. Bajo este supuesto, el mantenimiento, la modificación o la extensión de los componentes del servicio no tienen que requerir extraer del funcionamiento todo el servicio.

7.2.1.5. Servicio de información al viajero en paneles (SIV-texto)

7.2.1.5.1 Descripción del Servicio

El servicio de Información al Viajero en paneles (SIV-texto), permitirá la difusión de mensajes de texto a los pasajeros del interior de cualquier tren a lo largo de la línea del Corredor Diagonal Guadalajara (CDG), bien sea de forma global o selectiva para la difusión de información sobre incidencias o mensajes informativos sobre acontecimientos, recomendaciones a los pasajeros u otros. Estos mensajes pueden ser emitidos en directo o grabados para su difusión a determinadas horas, cada cierto tiempo, etc, y se podrán visualizar en los trenes mediante paneles de leds o sobre pantallas de información instaladas en el interior de los trenes. En el caso de la emisión en directo se hace necesario el envío de mensajes de datos en tiempo real desde el CCO hacia los trenes a través de una red de radiocomunicaciones. Se requiere disponer en los trenes de un sistema de información al usuario embarcado.

7.2.1.5.2 Requerimientos de Operación del Servicio

Los principales requerimientos del servicio de Información al Viajero en Paneles (SIV-texto), desde el punto de vista de su operación son los siguientes:

- Funcionalidades del Servicio: El servicio de información al viajero permitirá difundir mensajes de texto generados en el CCO en tiempo real, en el interior de todos los trenes o de forma selectiva, para informar a los pasajeros sobre próxima parada, condiciones del servicio, transbordos, información general de la línea. El Sistema de Información a los usuarios estará controlado desde el CCO. Se puede considerar un servicio complementario al servicio de Voceo embarcado, dado que los dos sistemas difundirán información relevante a los usuarios de los trenes, pero a través de medios diferentes: voz y datos respectivamente. A nivel de integración funcional: se podrá realizar la gestión operativa desde el lugar central y gestión de mantenimiento desde la oficina de mantenimiento.
- Cobertura del servicio: Dado que se requiere poder transmitir mensajes de texto desde el CCO hacia los trenes, en cualquier momento y hacia cualquier tren de la línea ferroviaria, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá que disponer de cobertura con el equipo del tren a lo

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

largo de toda la Línea del CDG (tramos sepultados y al exterior, túneles y viaductos), así como a los talleres y depósitos para tareas de mantenimiento, de forma que el enlace radio tren-tierra-tren esté garantizado.

- Criticidad de la Información: El sistema de Información al viajero es un servicio destinado a permitir que los pasajeros puedan recibir mensajes de texto emitidos en directo desde el CCO, tanto en condiciones de explotación normal para dar a información general sobre el estado del servicio, como en condiciones de emergencia para dar instrucciones de actuación. No obstante, al haber maquinista en los trenes, se considera un servicio no crítico.
- Back up: No se requerirá.
- Prioridad de la Información: Dado que se trata de un servicio no crítico, la información asociada al servicio de información al usuario embarcado se considera no prioritaria frente otros tipos de información que puedan coexistir en la red de radiocomunicaciones.

7.2.1.5.3 Requerimientos Técnicos del Servicio

Los principales requerimientos técnicos del servicio de Información al Viajero en paneles (SIV-texto), sobre el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha son los siguientes:

- Capacidad / Ancho de Banda: El Servicio de Información al usuario embarcado transmite la información de datos de los mensajes de texto generados desde el CCO hacia los dispositivos embarcados, para su visualización a través de la red de radiocomunicaciones de banda ancha basada en tecnología IP. Al tratarse de un pequeño volumen de datos (texto), con un único flujo de datos originado en el CCO o en cualquier otra ubicación autorizada, el ancho de banda del sistema vendrá dado por el número de flujos que se originan y se transmiten hacia los trenes. La tasa de transmisión no tiene que ser superior a los 64 Kbps por cada transmisión (a un tren o conjunto de trenes). Por lo tanto, en el caso más exigente que se daría en la situación de que se quisiera enviar dos mensajes diferentes de forma simultánea a dos trenes que coincidan a la misma celda, el mínimo ancho de banda requerido al sistema sería de 128 Kbps/por línea.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Disponibilidad: El hecho de transmitir información que en muchas ocasiones es importante para el usuario es necesario que la red de radiocomunicaciones de banda ancha proporcione un alto nivel de disponibilidad.
- Seguridad: La seguridad del Servicio de Información al Usuario recae en la protección de la confidencialidad de los datos y la integridad de la información transmitida, evitando que terceras personas puedan modificar la información hacia los usuarios. Por eso se considera necesario el aseguramiento de la Privacidad o Confidencialidad y la Integridad de la información, así como la Autenticación.
- Retraso de Transmisión: El sistema de Información al Usuario es un sistema que requiere de una red inalámbrica de comunicaciones con apoyo para aplicaciones en tiempo real para la transmisión de información de última hora a los usuarios embarcados. Por lo tanto, la red de radiocomunicaciones de banda ancha que soporte el servicio de Información de Usuario tiene que asegurar un retraso máximo extremo a extremo inferior a 400 ms para transmitir información de última hora (tiempo real).

7.2.1.6. Servicio de Información SIV con contenidos multimedia en el interior de los trenes

7.2.1.6.1 Descripción del Servicio

El servicio SIV de difusión de información de vídeo permitiría ofrecer contenidos multimedia para la videodifusión de información a los usuarios que se encuentran embarcados, mediante pantallas de vídeo o paneles visuales instalados en los trenes, tales como vídeos corporativos (vía streaming), informaciones sobre los servicios ferroviarios o incluso anuncios publicitarios pregrabados y almacenados en equipos del tren. Se requiere disponer en los trenes de un sistema de difusión de información y contenidos multimedia en el interior.

Estos contenidos se caracterizan por su gran medida y porque pueden ser grabados previamente para su posterior difusión a determinadas horas. Para no tener que desplazar personal en cada tren para acceder a su equipo de grabación, el volcado de la información de videodifusión a los trenes se realizará mediante

la descarga masiva y en remoto de la información a los trenes a través de la red de radiocomunicaciones de banda ancha.

7.2.1.6.2 Requerimientos de Operación del Servicio

Los principales requerimientos del servicio desde el punto de vista de su operación son los siguientes:

- Funcionalidades del Servicio: El servicio de información a los usuarios embarcados mediante contenidos multimedia se considera un servicio de valor añadido, complementario al servicio de información mediante mensajes de texto o megafonía embarcada. La descarga de información de videodifusión a los trenes se realizará en determinados puntos de la infraestructura ferroviaria (por ejemplo en las depósitos o los talleres), o a determinadas horas (fuera del horario comercial), al paso de los trenes por un tramo en concreto, de forma que el transporte de esta información no pueda saturar el ancho de banda del sistema de radiocomunicaciones y para no tener que sobredimensionar la red para soportar este servicio. A nivel de integración funcional se podrá realizar la gestión operativa desde el puesto central y la gestión de mantenimiento desde la oficina de mantenimiento.
- Cobertura del servicio: Dado que se requiere poder transmitir la información de videodifusión desde el CCO hacia cualquier tren de la línea ferroviaria en la zona de talleres y depósitos o en determinados tramos de la línea y a determinadas horas, la red de radiocomunicaciones de banda ancha tendrá que disponer de cobertura con el equipo del tren a lo largo de toda la Línea del CDG (tramos sepultados y al exterior, túneles y viaductos), así como a los talleres y depósitos, de forma que el enlace radio tierra-tren esté garantizado.
- Criticidad de la Información: Dado que el sistema de Información a los usuarios con contenidos de videodifusión se considera un servicio puramente informativo, que aporta un valor añadido, por tanto se considera un servicio no crítico.
- Back up: Dado que se considera un servicio no crítico, no se dispondrá de servicio de back up del servicio de Información a los viajeros con contenidos multimedia.

- Prioridad de la Información: Dado que se trata de un servicio no crítico, la información asociada al servicio de información al usuario embarcado con contenidos de videodifusión se podrá considerar no prioritaria frente otros tipos de información que puedan coexistir en la red de radiocomunicaciones.

7.2.1.6.3 Requerimientos Técnicos del Servicio

Los principales requerimientos técnicos de los servicios de información al usuario embarcado con contenidos multimedia, sobre el sistema de radiocomunicaciones de banda ancha, son los siguientes:

- Capacidad / Ancho de Banda: Dado que se trata de un servicio de descarga puntual de información, que se realizará en puntos localizados de la red ferroviaria y en un espacio de tiempo controlado (por ejemplo fuera de servicio), no se considera un servicio que tenga que condicionar el ancho de banda de la red. No obstante, es necesario analizar el volumen de información a transmitir por este servicio para definir la ventana de tiempo y el punto para realizar la carga de forma que se pueda aprovechar de la forma más eficiente posible, el ancho de banda de la red de radiocomunicaciones disponible.
- Disponibilidad: Para que sea posible la descarga de los contenidos a los trenes, es necesario que la red de radiocomunicaciones de banda ancha proporcione un cierto nivel de disponibilidad, a pesar de que no es preciso que llegue a los niveles establecidos por otros sistemas más críticos.
- Seguridad: La seguridad del servicio recae en la protección de la confidencialidad de los datos y la integridad de la información transmitida, evitando que terceras personas puedan modificar la información de videodifusión. Por eso se considera necesario el aseguramiento de la Privacidad o Confidencialidad y la Integridad de la información, así como la Autenticación y No Repudio, para garantizar que los datos han sido recibidos y grabados en los trenes convenientemente.
- Retraso de Transmisión: Dado que los datos asociados al servicio son grabados en los trenes para su posterior difusión, no se requiere transmisión de la información en tiempo real

- Escalabilidad: Los factores a tener en consideración para dimensionar la reserva de ancho de banda requerida por este servicio serán: el aumento de contenidos a cargar en los trenes, el aumento del número de trenes a cargar o el aumento de la frecuencia de trenes.

7.2.1.7. Servicio de Telefonía y mensajería IP

El servicio de Telefonía IP no está previsto como servicio a implantar para el CDG. No obstante se quiere destacar la posibilidad de implantarlo como back-up del sistema de radiotelefonía TETRA. Por ello, este servicio únicamente será tenido en cuenta para el dimensionado de la capacidad de la red de radiocomunicaciones de banda ancha, de manera que se tenga en cuenta su posible futura implantación.

El servicio de telefonía IP podría proporcionar a la explotación facilidades para la comunicación entre operarios de la Línea. Estos operarios podrían estar embarcados en los trenes u operarios móviles desplazándose por la zona de talleres, depósitos o dependencias de las líneas. Pero hay que remarcar que, para poder implantar estos servicios, sería necesario ampliar el alcance de cobertura de la red de banda ancha y dotar de terminales portátiles al personal de la Línea.

El servicio de mensajería IP tampoco está previsto como servicio a implantar para el CDG, pero se ha tenido en cuenta para el dimensionado de la capacidad de la red de radiocomunicaciones de banda ancha. La mensajería IP permitiría principalmente el intercambio de mensajes cortos de texto entre los operarios de la explotación ferroviaria, para así intercambiar información de carácter administrativo, de mantenimiento, supervisión y de emergencia. Además, permitiría el envío y recepción de mensajes cortos entre operarios y trabajadores de otros entes (policía, bomberos, etc.). Al igual que la telefonía, este servicio se podría acceder a través de los terminales fijos embarcados en los trenes. Hay que remarcar que, para poder implantar estos servicios también para operarios móviles, desplazándose por la zona de talleres, depósitos o dependencias de las líneas, sería necesario ampliar el alcance de cobertura del sistema radio de banda ancha y dotar de terminales portátiles al personal de la Línea.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

7.2.2. Cuadro resumen de dimensionado del Sistema

A continuación se muestra una tabla dónde se describen a modo resumen los servicios embarcados existentes en la Línea del CDG que tendrá que poder soportar la red de radiocomunicaciones:

Servicio	Capacidad (Mínima)	Capacidad Estimada	Capacidad Total Tiempo Real Reservada en la red	Capacidad Total Tiempo No Real Reservada en la red
CCTV (Video Vigilancia embarcada)	12 Mbps por tren (8 cámaras a 25fps en un punto de la línea)	24 Mbps (TR) (considerando 2 trenes consumiendo recursos de red en la misma celda y un flujo de datos máximo de 1,5 Mbit/cámara)	24 Mbps	-
Servicio de Telemando de Tráfico (Material Rodante)	200 Kbps por tren	400 Kbps (TR) (considerando 2 trenes consumiendo recursos de red en la misma celda)	400 Kbps	-
Interfonía y Telefonía (No ejecutable)	96 Kbps por llamada (5 llamadas simultáneas)	480 Kbps (TR) (considerando la posibilidad de atender hasta 5 llamadas simultáneas localizadas en la misma celda)	480 Kbps	-
Megafonía (Voceo)	80 Kbps por cada transmisión a: - una zona - un tren o conjunto de trenes	160 Kbps (TR) (considerando 2 trenes consumiendo recursos de red en la misma celda)	320 Kbps	-

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Servicio	Capacidad (Mínima)	Capacidad Estimada	Capacidad Total Tiempo Real Reservada en la red	Capacidad Total Tiempo No Real Reservada en la red
SIV- Servicio de información al viajero en Paneles (información tipo texto, excepto contenido para la difusión de vídeo)	- 64 Kbps para cada transmisión a un tren o conjunto de trenes (Inf. Tiempo real) - 256 Kbps para cada transmisión a un tren o conjunto de trenes (Inf. No Tiempo Real)	128 Kbps (TR) (considerando 2 trenes consumiendo recursos de red en la misma celda) 512 Kbps (TNR)	256 Kbps	512 Kbps
SIV: Contenido de Vídeo información y vídeo entretenimiento	Por dimensionar	4 Mbps (TNR) (En talleres y depósitos)	No aplica	4 Mbps
			25,456 Mbps	4,512 Mbps

Tabla 27. Resumen Servicios embarcados.

8. PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

8.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).

El objetivo de este apartado es describir la planificación de frecuencias prevista para la operación del Sistema TETRA, presentando los criterios de diseño y las hipótesis consideradas para realizar esta planificación.

8.1.1. Criterios de Diseño

Tal como se ha expuesto ya en un apartado anterior, el sistema TETRA del CDG operará en la banda frecuencial de 410-430MHz.

El ancho de banda de los canales será de 25 KHz y la separación dúplex de 10 MHz (distancia de Tx a Rx). Así mismo, se considerará que todas las frecuencias asignadas estarán dentro de una misma sub-banda de 5 MHz.

Se reutilizarán frecuencias cada 4 estaciones base (**f1, f2, f3, f4, f1**), considerando los requerimientos de separación entre frecuencias de una misma estación base (TBS), y estaciones base adyacentes que se indican a continuación:

- Separación entre frecuencias de una misma TBS: 250 KHz (f1-f11).
- Separación entre frecuencias de estaciones base adyacentes: 75 KHz (f1-f4).
- Frecuencias de una misma estación base no equidistantes.

De cara a la solicitud y adjudicación de frecuencias se deberá tener en consideración que:

- Debido a la existencia de tramos de línea al exterior (tramos en viaducto, talleres y depósitos), la asignación de frecuencias deberá ser tal que garantice que otras redes de radiocomunicaciones de servicios públicos o privados que ofrezcan cobertura en las mismas zonas de exterior, no provoquen interferencias con la Red TETRA del CDG.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Las frecuencias asignadas no deberán ser consecutivas. Como norma general, entre cada una de las frecuencias asignadas deberán existir 2 canales de guarda.

8.1.2. Plan de frecuencias

De acuerdo con el estudio de cobertura radioeléctrica realizado y con los requerimientos de tráfico antes indicados, se dimensiona la Infraestructura del Sistema, para la que se establece la planificación de frecuencias que se muestra en la tabla siguiente.

ESTACIÓN	EQUIPO	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14
Periférico Zapopan + Taller	TBS 2p	X											X		
Belenes	TBS 1p		X												
Mercado del Mar	TBS 1p			X											
Basílica	TBS 1p				X										
Plaza Patria	TBS 1p	X													
Circunvalación	TBS 1p		X												
Federalismo	TBS 1p			X											
Normal	TBS 1p				X										
Alcalde	TBS 1p	X													
Catedral	TBS 1p		X												
Independencia Sur	TBS 1p			X											
Plaza de la Bandera	TBS 1p				X										
Cucei U. de G.	TBS 1p	X													
Plaza Revolución	TBS 1p		X												
Río Nilo	TBS 1p			X											
Tlaquepaque Centro	TBS 1p				X										
Nodo Revolución	TBS 1p	X													
Central Camionera	TBS 1p		X												
Centro de Control	TBS 2p			X											X

Figura 65. Propuesta de asignación de Frecuencias para el Sistema TETRA

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

De acuerdo con la planificación de frecuencias realizada, serán necesarios 6 pares de frecuencias no consecutivos para el modo trunking. Adicionalmente, se propone la utilización de 2 pares de frecuencias adicionales para comunicaciones en modo directo.

Dada la estrecha relación que existe entre las condiciones de propagación de la señal y el medio por el que ésta se propaga, y de manera muy especial en entornos como los túneles, la planificación de frecuencias aquí propuesta deberá ser revisada una vez que se conozcan los detalles de todas las infraestructuras por las que se podrá propagar la señal. De la misma manera, modificaciones en el diseño del Sistema en relación con la red de cobertura requerirán una revisión de la propuesta aquí realizada.

La planificación de frecuencias propuesta, por tanto, deberá ser revisada en el momento de la ejecución de las obras, por parte del adjudicatario de los trabajos de despliegue de la red TETRA, de acuerdo con el diseño y tecnología finalmente empleados.

8.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).

8.2.1. Criterios de Diseño

Para realizar la planificación de frecuencias se plantea un sistema basado en el intervalo de frecuencias propuestas para la red: 5470-5600 MHz, 5650-5725 MHz y 5725-5850 MHz.

Si bien el estándar 802.11n permite anchos de canal de 20MHz y 40 MHz, la mayoría de fabricantes utilizan un ancho de banda de 20 MHz, con lo que este será utilizado para la realización de la planificación.

Cada punto de acceso deberá trabajar en un par de frecuencias: una frecuencia para el uplink (transmisión) y otra frecuencia para el downlink (recepción). Y puesto que hemos planteado la posibilidad de disponer de redundancia de canal, los puntos de acceso de cada canal transmitirán un par de frecuencias diferente.

Pero el traspaso de la comunicación de un terminal de tren entre puntos de acceso (handover), ya sea de un mismo canal o de un canal diferente, no es estándar y cada fabricante presenta una solución propietaria para su realización.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Una práctica utilizada es forzar que la conexión sea determinista, de forma que el sistema decide a que punto de acceso se ha de conectar cada terminal de tren en función de la calidad de la señal medida en el punto de acceso y también medida en el terminal de tren. De esta forma se evitan las interferencias mutuas entre puntos de acceso de un mismo canal, y, por tanto se puede plantear la posibilidad que los puntos de acceso de un mismo canal utilicen la misma frecuencia, optimizando el uso del espectro radioeléctrico y facilitando la planificación radio.

No obstante, los sistemas pueden tener una limitación de ancho de banda máximo por par de frecuencias y para evitar ese problema se puede plantear el uso de diferentes pares de frecuencias para diferentes áreas de la línea.

Para la Línea del Corredor Diagonal Guadalajara (CDG) planteamos definir dos áreas, con un par de frecuencias diferente para cada canal (los valores para cada frecuencia son orientativos y estarán condicionados por la disponibilidad de las frecuencias):

- Tramo en viaducto:
 - Canal 1:
 - Uplink: f1 (5660 MHz)
 - Downlink: f1' (5450 MHz)
 - Canal 2:
 - Uplink: f2 (5700 MHz)
 - Downlink: f2' (5490 MHz)
- Tramo en túnel:
 - Canal 1:
 - Uplink: f3 (5680 MHz)
 - Downlink: f3' (5470 MHz)
 - Canal 2:
 - Uplink: f4 (5720 MHz)
 - Downlink: f4' (5510 MHz)

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Hay que señalar que para el enlace downlink se han utilizado las frecuencias más bajas de la banda propuesta, para aumentar el área de cobertura. Asimismo, se ha desacoplado el uplink del downlink con una banda de 150 MHz, que es más que suficiente.

8.2.2. Plan de frecuencias

Teniendo en cuenta los criterios descritos en el apartado anterior y la distribución de los puntos de acceso propuesta en el apartado 6.2.3, a continuación se muestra una propuesta de plan de frecuencias para la línea:

Nº Punto de Acceso Canal 1	PK	Frecuencias		Nº Punto de Acceso Canal 2	PK	Frecuencias
1	0+400	f1/f1'		1	0+600	f2/f2'
2	0+600	f1/f1'		2	0+800	f2/f2'
3	0+900	f1/f1'		3	1+100	f2/f2'
4	1+300	f1/f1'		4	1+500	f2/f2'
5	1+720	f1/f1'		5	1+920	f2/f2'
6	2+140	f1/f1'		6	2+320	f2/f2'
7	2+580	f1/f1'		7	2+740	f2/f2'
8	2+980	f1/f1'		8	3+140	f2/f2'
9	3+240	f1/f1'		9	3+340	f2/f2'
10	3+400	f1/f1'		10	3+540	f2/f2'
11	3+700	f1/f1'		11	3+900	f2/f2'
12	4+040	f1/f1'		12	4+180	f2/f2'
13	4+380	f1/f1'		13	4+620	f2/f2'
14	4+740	f1/f1'		14	5+000	f2/f2'
15	5+160	f1/f1'		15	5+400	f2/f2'
16	5+600	f1/f1'		16	5+800	f2/f2'
17	6+020	f1/f1'		17	6+100	f2/f2'
18	6+400	f1/f1'		18	6+540	f2/f2'
19	6+800	f1/f1'		19	6+940	f2/f2'
20	7+020	f1/f1'		20	7+200	f2/f2'
21	7+380	f1/f1'		21	7+600	f2/f2'
22	7+800	f1/f1'		22	8+000	f2/f2'

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Nº Punto de Acceso Canal 1	PK	Frecuencias	Nº Punto de Acceso Canal 2	PK	Frecuencias
23	8+180	f1/f1'	23	8+340	f2/f2'
24	8+460	f3/f3'	24	8+600	f4/f4'
25	8+800	f3/f3'	25	9+000	f4/f4'
26	9+180	f3/f3'	26	9+260	f4/f4'
27	9+380	f3/f3'	27	9+500	f4/f4'
28	9+700	f3/f3'	28	9+900	f4/f4'
29	10+080	f3/f3'	29	10+200	f4/f4'
30	10+340	f3/f3'	30	10+460	f4/f4'
31	10+620	f3/f3'	31	10+700	f4/f4'
32	10+900	f3/f3'	32	11+080	f4/f4'
33	11+260	f3/f3'	33	11+380	f4/f4'
34	11+500	f3/f3'	34	11+660	f4/f4'
35	11+800	f3/f3'	35	11+900	f4/f4'
36	12+040	f3/f3'	36	12+160	f4/f4'
37	12+260	f3/f3'	37	12+400	f4/f4'
38	12+560	f3/f3'	38	12+740	f4/f4'
39	12+920	f3/f3'	39	13+060	f4/f4'
40	13+220	f3/f3'	40	13+380	f4/f4'
41	13+500	f3/f3'	41	13+600	f4/f4'
42	13+720	f3/f3'	42	13+920	f4/f4'
43	14+060	f1/f1'	43	14+320	f2/f2'
44	14+460	f1/f1'	44	14+600	f2/f2'
45	14+720	f1/f1'	45	15+000	f2/f2'
46	15+220	f1/f1'	46	15+400	f2/f2'
47	15+620	f1/f1'	47	15+800	f2/f2'
48	16+020	f1/f1'	48	16+180	f2/f2'
49	16+340	f1/f1'	49	16+500	f2/f2'
50	16+700	f1/f1'	50	16+800	f2/f2'
51	17+000	f1/f1'	51	17+140	f2/f2'
52	17+300	f1/f1'	52	17+440	f2/f2'
53	17+700	f1/f1'	53	17+860	f2/f2'
54	18+040	f1/f1'	54	18+200	f2/f2'

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Nº Punto de Acceso Canal 1	PK	Frecuencias		Nº Punto de Acceso Canal 2	PK	Frecuencias
55	18+360	f1/f1'		55	18+600	f2/f2'
56	18+720	f1/f1'		56	18+900	f2/f2'
57	19+060	f1/f1'		57	19+260	f2/f2'
58	19+460	f1/f1'		58	19+600	f2/f2'
59	19+700	f1/f1'		59	19+880	f2/f2'
60	20+020	f1/f1'		60	20+280	f2/f2'
61	20+400	f1/f1'		61	20+600	f2/f2'
62	20+680	f1/f1'		62	20+760	f2/f2'

Tabla 28. Distribución de Frecuencias.

9. ANÁLISIS DE EMISIONES RADIOELÉCTRICAS.

En el momento de la ejecución de las obras, tanto en el caso del Sistema TETRA como en el caso del sistema de Banda Ancha, el adjudicatario de los trabajos deberá realizar los estudios de emisiones radioeléctricas que sean necesarios de acuerdo a lo estipulado en la legislación local o estatal aplicable de ordenación ambiental de las instalaciones de radiocomunicaciones, así como lo estipulado en las ordenanzas y reglamentos locales o estatales por las que se establezcan condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por parte de operadores de servicios de radiocomunicaciones o condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria ante las emisiones radioeléctricas.

Las actuaciones a efectuar por parte del adjudicatario de las obras se corresponderán con las acciones que recoja la normativa aplicable en el momento de la realización de los trabajos. En cualquier caso, y dado que las certificaciones deberán realizarse en nombre del operador de las redes, será imprescindible disponer por parte del adjudicatario de todos los datos que se requieran para cumplimentar de manera correcta y completa toda la información requerida por parte de las Administraciones correspondientes en cada caso.

10. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS RADIO

10.1. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE VOZ (TETRA).

Se define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas, o entre estaciones móviles únicamente. Es posible distinguir clases de servicios móviles (cada uno de ellos se puede prestar por medios terrestres o por satélite): servicio móvil terrestre, servicio móvil marítimo y servicio móvil aeronáutico.

Dentro de las redes móviles terrestres podemos destacar los sistemas llamados de radiotelefonía privada, PMR (Private Mobile Radio), que se caracterizan porque tienen una cobertura básicamente local y no están conectados a la red telefónica pública conmutada (PSTN, Public Switched Telephone Network por sus siglas en inglés).

Debido a la escasez de canales de RF para el servicio móvil se utilizan sistemas más avanzados de técnicas multiacceso basados en la compartición de frecuencias, denominados de concentración de enlaces (trunking). Entre estos sistemas destaca el estándar TETRA.

El estándar TETRA (TERrestrial Trunked Radio) es una iniciativa de la ETSI (European Telecommunication Standards Institute), apoyada por la Unión Europea. Inicialmente fue concebido como estándar europeo para los sistemas PMR digitales, pero la intención de los fabricantes que lo apoyaban era no limitarse al mercado europeo. Eso llevó a cambiar el significado del acrónimo TETRA, y que pasase a ser conocido también con el nombre de Trans-European Trunked Radio.

10.1.1. Descripción de la tecnología

El sistema TETRA es un estándar desarrollado como una norma abierta para las comunicaciones móviles digitales troncales, para lo cual ha reunido propuestas de operadores de redes, administraciones nacionales, fabricantes de equipos y usuarios de servicios móviles.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Como se ha comentado anteriormente, el estándar ha sido definido por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute), aun cuando no sólo se usa en Europa y contando con una consolidación importante en países de todo el mundo. Entre sus objetivos principales está el hecho de unificar los mercados de sistemas PMR, armonizando el uso del espectro radioeléctrico.

En el sector ferroviario, TETRA ha sido utilizado como tecnología para diferentes servicios como son:

- Sistemas de radiocomunicaciones Tren-Tierra para el soporte de telefonía, envío de datos y alarmas.
- Red de radiocomunicaciones para la comunicación del personal de la explotación ferroviaria.
- Red de radiocomunicaciones para los servicios de emergencia (Policía, Bomberos, Ambulancias, etc.).

Ejemplo de ello son las redes instaladas en las líneas de metro de importantes ciudades del mundo como son Nueva York, Londres, Madrid, Barcelona, México o Singapur.

TETRA ha sido diseñado desde el principio como un sistema trunking que soporta un uso compartido de la red por parte de diversas organizaciones, manteniendo la privacidad y una mutua seguridad. Una funcionalidad importante de la red TETRA es el establecimiento de Redes Virtuales que permiten que cada organización opere de forma independiente, compartiendo los recursos existentes, lo cual redundaría en un uso muy eficiente de los mismos.

10.1.2. Funcionalidades

A continuación se enumeran las características principales del estándar TETRA que le permiten gozar de una ventaja competitiva respecto a los otros sistemas de comunicaciones móviles, especialmente cuando se está pensando en servicios de emergencia y seguridad. El sistema inicial de referencia es el estándar de facto por las comunicaciones móviles públicas, el sistema GSM. Se incluye además una comparación de prestaciones con otros sistemas representativos.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Tiempo de establecimiento de llamada <300 mseg, muy inferior al de GSM.
- Alto Grado de servicio
- Calidad de voz.
- Tiempo de establecimiento de llamadas de datos:
 - Conmutación de circuitos <300 mseg.
 - Conmutación de paquetes <2 seg.
- Retraso de tránsito para datos en modo paquete orientados a conexión <500 ms, (paquetes de 100 octetos).
- Retardo de tránsito para datos modo paquete no orientados a conexión 3s, 5s, 10s, según prioridad.
- Régimen binario neto: hasta 19,2 kbits/s.
- Llamadas multi-terminal: llamadas de grupo y llamadas de difusión (broadcast)
- Hasta cuatro servicios simultáneos de voz y datos.
- Operación de gestión con control total de llamadas.
- Comunicación directa entre terminales (DMO), especialmente interesante para servicios de emergencias y seguridad. Además, el estándar TETRA contiene una amplia gama de facilidades, adecuadas para los operadores de servicios troncales. Entre ellas destacan:
 - Operación fuera de las zonas de cobertura de la infraestructura.
 - Ofrece capacidad extra cuando la red trunking está muy cargada.
 - Operaciones en áreas con recepción de señal muy débil, como las opciones de ampliar cobertura mediante los Repeaters y Gateways DMO.
 - Operación en modo Fall-back en caso de caída o quiebra de la infraestructura de red.
 - Operaciones discretas, dado que son operaciones no controladas por el gestor central de la red.
 - Aplicaciones 'de línea', para dar servicio a sistemas de distribución (de potencia, gas, gasolina, agua, etc.), sin necesidad de disponer de una infraestructura fija de comunicaciones.
 - Mayor eficiencia espectral que GSM: se tienen 4 canales de voz en un ancho de banda de 25 kHz utilizando codificador ACELP de 4'5 kbps, mientras que en GSM se tienen 8 canales de voz en 200 kHz de ancho de banda (4 veces el ancho de banda, sólo el doble de canales).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Alta velocidad de transmisión de datos.
- Elevada calidad de las señales de voz y datos.
- Identificación y reencaminamiento de llamadas.
- Flexibilidad de configuraciones.
- Múltiples servicios suplementarios.
- Amplia gama de interfaces y cabeceras para funcionamiento con redes telefónicas externas, como PSTN e ISDN.
- Definición de prioridades diferentes para las llamadas y existencia de llamadas de emergencia con opción de ser preemptivas (pueden incluso cortar otras comunicaciones en caso de ser necesario).
- Opción de trabajar simultáneamente en diferentes modos de operación y diferentes bandas desde un mismo terminal.
- Opciones de seguridad avanzadas, que incluyen las siguientes funcionalidades:
 - Autenticación de los equipos, tanto de los terminales como de la red.
 - Cifrado de la interfaz aire.
 - Mecanismos de cifrado extremo a extremo (E2E)
 - Grabación de tiempo (Time Stamping)
 - Inhibición temporal del cifrado (OTAR)
 - Cifrado de las tarjetas SIM.
 - Inhabilitación remota de terminales robados.
 - Sistema de colas para las llamadas (trunking).
 - Gestión de diferentes flotas con facilidades de operador muy versátiles. Flexibilidad en la definición de los grupos de trabajo.
- Interfaz radio TETRA diseñada y optimizada para la transmisión simultánea de voz y datos, también en modo paquete.
- Opción de transmisión de datos en modo circuito para aplicaciones especializadas.
- Programación de los terminales mediante la interfaz radio.
- Mensajes de estado para reducir la carga de tráfico.
- Posibilidad de ofrecer servicios especiales como la asignación dinámica de grupos (DGNA), la escucha ambiente o la escucha discreta.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Existen terminales de un número muy importante de fabricantes, comparable a los terminales GSM.
- Es un mercado especializado, no de masas.

Para asegurar un mercado con múltiples proveedores, en TETRA se especifica un mínimo de interfaces abiertas entre las diferentes entidades de la red. A parte de éstas, las especificaciones no determinan como ha de ser la arquitectura de la red, dejando un grado de libertad considerable.

Los tipos de interfaces definidos para éste estándar son los siguientes:

- **IF1:** Interfaz Radio (asegura interoperabilidad de terminales de diferentes fabricantes).
- **IF2:** Interfaz de Equipo Terminal (TEI) (facilita el desarrollo independiente de aplicaciones móviles de datos).
- **IF3:** Interfaz entre sistemas (ISI) (permite interconexión de redes TETRA de distintos proveedores).
- **IF4:** Interfaz Radio de Modo Directo (DMO) (asegura comunicación entre terminales, incluso fuera del área de cobertura de la red).

Existen dos interfaces más, de los que se definen sólo unas funciones básicas dejando el resto de funciones más avanzadas en manos de cada fabricante. De esta manera, se asegura la compatibilidad en cuanto a las funciones básicas del sistema. Los dos interfaces son:

- **IF5:** Interfaz de Terminal con hilos.
- **IF6:** Interfaz de Gestión de Red.

El estándar TETRA también define pasarelas con redes PSTN, ISDN, PDN, PTN.

La siguiente tabla muestra una comparativa resumida de las prestaciones de los sistemas de comunicaciones móviles más representativos, en la que se pueden apreciar las ventajas del sistema TETRA:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Prestaciones	TETRA	GSM/GPRS	DECT	APCO25
Ancho de banda del canal Tráfico (kHz)	6.25	25	166.6	12.5
Cobertura de áreas extensas	√	√		
Duplexado inherente	√	√	√	
Servicios telefonía	√	√		
Servicios Trunking	√			√
Prioridad y llamadas pre-emptivas	√			√
Tiempo establecimiento llamada <0.5 seg	√			√
Llamadas de grupo y de difusión	√			√
Llamadas en cola	√			√
Seguridad avanzada	√			√
Modo Directo (DMO)	√			√
Voz y datos simultáneos	√	√		√
Codec de voz robusto de tasa baja	√			√

Tabla 29. Comparativa de los sistemas de comunicaciones móviles

10.1.3. Servicios

Para que el estándar de radiocomunicaciones TETRA preste sus servicios de una forma correcta, existen dos modos básicos de funcionamiento (dos tipos de redes TETRA) que son los siguientes:

- TETRA Voz+datos (V+D), para redes integradas de voz y datos.
- TETRA paquetes de datos optimizados (PDO: Packet Data Optimized), para redes exclusivas de datos.

Es posible clasificar los sistemas TETRA según la distinción siguiente:

- Servicios de transporte, que ofrecen una capacidad de transmisión de información entre interfaces normalizados.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Teleservicios que proporcionan la comunicación de extremo a extremo con inclusión de los terminales.
- Servicios suplementarios, que modifican características de un teleservicio para facilitar su empleo por el usuario.

Dentro de estos servicios, es posible destacar los siguientes:

- Telefonía vocal semidúplex o dúplex, con o sin cifrado.
- Modo directo o comunicación móvil-móvil sin pasar por el control.
- Amplias clases de llamadas, como son:
 - Llamada individual.
 - Llamada de grupo.
 - Llamada de difusión.
 - Llamada prioritaria.
 - Llamada de emergencia.
- Servicios variados de datos:
 - Datos cortos.
 - Conmutación de circuitos.
 - Conmutación de paquetes.
- Del conjunto de servicios suplementarios, pueden destacarse:
 - Autorización de llamadas por despacho.
 - Incorporación tardía a una llamada en curso.
 - Prohibiciones de llamadas.
 - Desvío de llamadas.
 - Buzón.
 - Escucha discreta y ambiente.
 - Asignación dinámica de grupo.
 - Interfuncionamiento e interoperabilidad.
 - Selección de áreas.
 - Prioridad de acceso.
 - Llamada prioritaria.

- Llamada de prioridad preemptiva (tiene máxima prioridad en el acceso a los recursos).

10.1.4. Funciones de red soportadas por TETRA V+D

Las funciones de red sirven para gestionar el funcionamiento de la red de forma eficiente para los usuarios y para el operador de la red. A continuación, describiremos algunas de ellas:

10.1.4.1. Establecimiento del servicio

El proceso de búsqueda de un canal de control en la red se efectúa de forma automática siempre que el terminal TETRA se encuentre funcionando en modo trunking.

El proceso a seguir es el siguiente:

- Búsqueda de una ráfaga descendente de sincronismo para sincronizarse con la red.
- Obtención de la Sysinfo PDU, que contiene la información siguiente: la portadora principal, el número de canales de control secundarios en operación, parámetros para calcular las pérdidas de propagación, tipos de terminales que admite la red, etc.

Una vez cumplidos estos dos pasos, el terminal se pone a la escucha del canal de control para registrarse en la red.

10.1.4.2. Registro en la red

Una vez localizado el canal de control, el terminal pasa a registrarse en la red, para así poder ser localizado en caso de que se produzca una llamada dirigida a él. Se establecen unas áreas, denominadas LA (Location Areas), que pueden corresponder a una o más células, de tal forma que el terminal sólo debe registrarse cada vez que cambia de LA.

Cuando exista un requerimiento de la red para enviar algún mensaje dirigido hacia alguno de los terminales registrados, ésta lo hará a través de las TBS (TETRA Base Station) del área en la que se haya registrado dicho terminal. El registro de un terminal puede hacerse con un mensaje específico de registro (explícito) o mediante cualquier otro mensaje enviado por el terminal, en el que indica su identidad (implícito).

En el caso que un terminal esté registrado en más de una LA, se define la Registration Area como el conjunto de LA en las que se haya registrado.

10.1.4.3. Reselección de célula

La reselección de célula es el proceso por el que un terminal cambia de célula. En el caso que el terminal esté implicado en una llamada, este proceso se conoce como traspaso (*handover*). Para poder cambiar de célula (cuando sea necesario) es obligatorio que el terminal siga los siguientes pasos:

- Recepción de mensajes de difusión de la célula a la que está conectado, que contienen información de la propia célula y de las células vecinas.
- Monitorización del nivel recibido de la célula a la que está conectado.
- Monitorización de los niveles recibidos de las células vecinas.
- Mantener una lista de células vecinas ordenadas según el nivel recibido de cada una de ellas y de los parámetros difundidos a través de la Sysinfo PDU.

Los procedimientos para llevar a cabo la reselección de célula (según la situación) son los siguientes:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **No declarado:** el terminal cambia de célula sin avisar a la red. Esto sucede cuando el terminal no está implicado en una llamada y no cambia de LA.
- **No anunciado:** el terminal cambia de célula sin avisar previamente. Esto sucede cuando el terminal está a la escucha de una llamada de grupo y cuando la pérdida de cobertura ha sido tan rápida, que al terminal no le ha dado tiempo a avisar del cambio de célula.
- **Anunciado:** el terminal avisa a la célula en la que está que tiene la intención de cambiar. Puede ser de tres tipos:
 - **Tipo 3:** el terminal no informa de cuál es la nueva célula porque todavía no la ha seleccionado.
 - **Tipo 2:** el terminal informa de cuál es la nueva célula y espera el consentimiento de la red. El registro y restauración de la comunicación se lleva a cabo a la nueva célula.
 - **Tipo 1:** es igual que el tipo 2, pero la negociación se hace en la célula en la que estaba antes del cambio. De esta forma se consigue que la interrupción sea totalmente imperceptible para el usuario (*seamless handover*).

10.1.5. Características Radioeléctricas de TETRA

En los siguientes apartados se presentan las características definidas por la ETSI para la creación del estándar TETRA a nivel Europeo.

10.1.5.1. Frecuencias

Las bandas de frecuencias propuestas para el uso del estándar TETRA son las siguientes:

- 380-390/390-400 MHz
- 410-420/420-430 MHz
- 450-460/460-470 MHz
- 870-888/915-993 MHz

10.1.5.2. Características básicas del interfaz radio

Las características básicas del interfaz radio de TETRA son las siguientes:

- Multiacceso TDMA con 4 intervalos por trama.
- Canal de 25 kHz (opción a 12,5 kHz).
- Modulación $\pi/4$ -DPSK con filtros conformadores en coseno realizado con factor de *roll-off* $\alpha=0,35$.
- Velocidad de transmisión de 36 Kbits/s.
- Retardo de multitrayecto máximo de 15 μ s.
- Relación portadora/ interferencia: C/I = 19 dB

La separación entre canales RF es de 25 kHz y cada uno de éstos está dividido en 4 intervalos temporales, con lo que conseguimos una capacidad equivalente a un radiocanal por cada 6,25 kHz. La separación dúplex (separación entre las frecuencias de transmisión y recepción) es de 10 MHz para las bandas más habituales.

El método de acceso múltiple es TDMA, mediante una estructura compuesta por hipertramas, multitramas, tramas, intervalos y subintervalos. Éste método permite que, aunque el estándar sólo requiera que todos los terminales puedan funcionar en modo semidúplex, un terminal pueda trabajar en modo dúplex de forma sencilla sin tener que transmitir y recibir a la vez (siempre y cuando se use un solo intervalo en cada sentido).

La modulación usada es $\pi/4$ -DPSK, que es una variación de la modulación cuaternaria de fase típica (QPSK) en la que cada símbolo o pareja de bits corresponden a una transición de fase, tal y como se indica en la tabla nº.2. Además, con esta modulación se alcanza una velocidad de transmisión de 36 Kbps.

Símbolo	Transición de fase
00	$\pi/4$
01	$3\pi/4$
10	$-\pi/4$
11	$-3\pi/4$

Tabla 30. Modulación $\pi/4$ -DPSK

Las estaciones base (TBS, TETRA Base Station) trabajan en dúplex, mientras que los terminales funcionan generalmente en semidúplex (transmisión y recepción de frecuencias diferentes pero no simultáneamente), aunque algunos fabricantes disponen de terminales que aprovechan la estructura TDMA para ofrecer un servicio dúplex sin tener que transmitir y recibir de forma simultánea (dúplex-TDMA).

El correcto funcionamiento del enlace por interfaz radio requiere la participación de tres funciones auxiliares con sus correspondientes protocolos: sincronización, control del enlace radio y linealización del transmisor.

La exigencia de una canalización estrecha, a 25 kHz, impone la necesidad de una modulación lineal ($\pi/4$ -DPSK). Esto implica la necesidad de linealizar el transmisor ya que no se puede utilizar un amplificador lineal clase A, a causa de su consumo. Además, el nivel de protección del canal adyacente (-60 dBc) también obliga a tener un alto grado de linealidad.

La solución a este problema es el uso de amplificadores no lineales de consumo muy bajo para alargar la duración de la batería y linealizar la respuesta.

Por lo que respecta a la sincronización, ésta tiene a cargo las siguientes tareas: adquisición por el receptor de la frecuencia y la temporización, ajuste de la trama temporal para las transmisiones en el enlace ascendente (modo V+D) y el ajuste de la base de tiempos de la estación móvil (modo V+D).

El control del enlace radio ejecuta las funciones de: control adaptativo de la potencia, selección de célula y reelección de célula.

10.1.5.3. Potencia de TBS y terminales TETRA

Por lo que respecta a la potencia de las TBS se han establecido nueve clases de potencias definidas como el valor medio de la potencia medida en los bits útiles de una ráfaga transmitida. Estas potencias se encuentran separadas por intervalos fijos de 2 dB tal y como se indican en la tabla siguiente:

Clase de potencia	Potencia nominal por portadora (W)	Potencia nominal por portadora (dBm)
1	40	46
2	25	44
3	15	42
4	10	40
5	6,3	38
6	4	36
7	2,5	34
8	1,6	32
9	1	30
10	0,6	28

Tabla 31. Potencia TBS

Existen diferentes tipos de potencia de los terminales TETRA (móviles y portátiles), que se clasifican en cuatro clases, tal y como podemos ver en la tabla siguiente:

Clase de Potencia	Potencia Nominal (W)	Potencia Nominal (dBm)
1	30	45
1L	17,5	42,5
2	10	40
2L	5,6	37,5
3	3	35
3L	1,8	32,5
4	1	30
4L	0,56	27,5

Tabla 32. Potencia terminales TETRA

Además, estos receptores pueden ser de tres tipos, cada uno de los cuales está optimizado para trabajar en un entorno determinado. La clasificación es la siguiente:

Tipo	Optimizado para uso
A	Rural
B	Urbano
E	Quasisíncron

Tabla 33. Entornos de trabajo TETRA

Por último, en la tabla siguiente mostramos cual es el nivel mínimo que ha de recibir un terminal para poder funcionar (sensibilidad del terminal). Éste variará en función de si está en movimiento o no (dinámico o estático).

Sensibilidad (dinámica)	Sensibilidad (estática)
-103 dBm	-112dBm

Tabla 34. Sensibilidad del terminal

10.1.5.4. Modos de operación (TMO/DMO)

El estándar TETRA define dos modos de operación, para los que es necesario definir unos parámetros frecuenciales específicos:

- El Modo Troncal (TMO, Trunked Mode Operation) es aquel en el que los terminales utilizan la infraestructura de la red, es decir, las estaciones base para las comunicaciones, que pueden ser dúplex o semidúplex.
- El Modo Directo (DMO, Direct Mode Operation) es aquel en el que los terminales se comunican en modo símplex, usando frecuencias no controladas por la red, es decir, sin hacer uso ni de las estaciones base, ni de la infraestructura de conmutación.

10.1.5.4.1 Modo Troncal (TMO)

El modo de operación habitual de la comunicación TETRA usa el primero de los estándares, V+D. Este modo de funcionamiento, llamado TMO, permite la comunicación en red entre varios terminales TETRA permitiendo los servicios que se presentan a continuación:

- Llamada de Grupo: Es el modo más habitual de funcionamiento, ya que un usuario habla para todo un GCU. Pensemos por ejemplo en la comunicación de un coche de policía con la central.
- Llamada Individual: En ciertas ocasiones un usuario se puede ver en la necesidad de comunicarse con un único individuo de su GCU, sin que el mensaje llegue al resto del grupo.
- Llamada de Emergencia: Llamada con prioridad.
- Envío de Mensaje: Un terminal puede enviar un mensaje de texto o cierta información, como las coordenadas GPS, a uno o a todo su grupo.

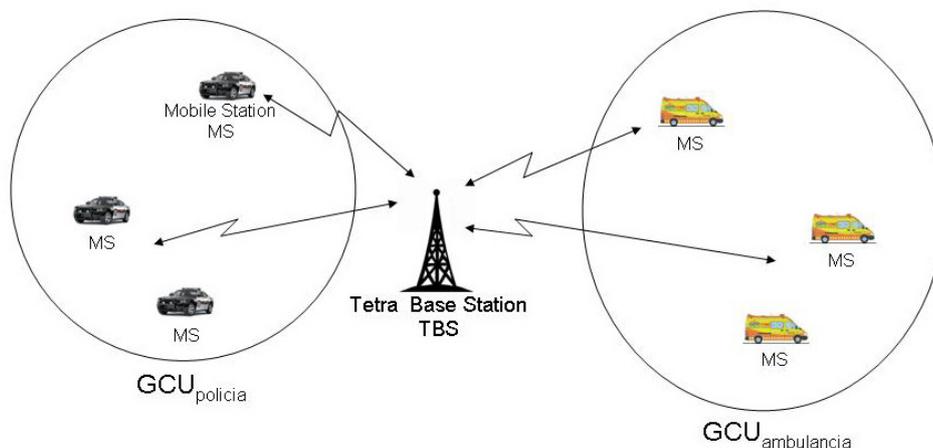


Figura 66. Modo troncal TETRA

10.1.5.4.2 Modo Directo (DMO)

El modo DMO tiene la característica de realizar una comunicación sin utilizar la red. Esta forma de trabajo posibilita la comunicación entre un grupo de terminales que se encuentren dentro de su radio de cobertura. Además el terminal puede trabajar también en modo *Gateway*, permitiendo a los terminales que no se encuentran dentro de la zona de cobertura de una estación base, TBS, alcanzar la red, utilizando el terminal en modo Gateway como un repetidor.

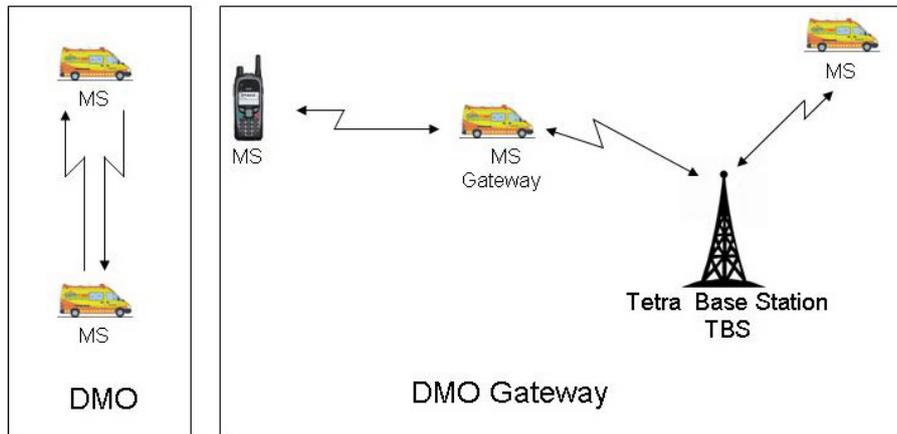


Figura 67. Modo directo TETRA

Las características principales del Modo Directo son las siguientes:

- A diferencia del Modo Troncal, cada grupo TETRA de Modo Directo es equivalente a un canal radio, es decir, tiene una portadora asignada.
- La separación mínima entre canales se mantiene en 25 kHz.
- Es símplex.
- Existen dos tipos de Modo Directo:
 - “Modo normal”: el Modo Directo permite una comunicación por portadora (cada portadora está formada por 4 ‘slots’ de tiempo). Por tanto se usan dos y dos quedan libres.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- “Modo de eficiencia espectral”: se usan los 4 slots de la portadora y por tanto es posible establecer dos comunicaciones por portadora.

Además, el Modo Directo introduce numerosas ventajas, entre las cuales destacan las presentadas a continuación:

- Permite que los usuarios se puedan comunicar entre sí, a pesar que estén fuera del área de cobertura de la Red Troncal. El alcance es limitado.
- En caso que los usuarios que necesiten comunicarse se encuentren próximos entre sí, pueden usar el Modo Directo, evitando así usar recursos de Red.
- En caso que el tráfico de la Red sea elevado, su uso puede ayudar a disminuirlo.
- En el supuesto que la Red dejara de funcionar, podría servir para que los usuarios que se encontraran en una misma zona pudieran comunicar.

10.1.5.5. *Modos de comunicación*

Se utilizan tres modos de comunicación:

- Comunicación semi-dúplex: El transmisor utiliza un canal de subida (uplink) para hablar, mientras el receptor escucha el mensaje en el canal de bajada (down-link). Las frecuencias de subida y bajada son diferentes.
En este modo sólo puede hablar un interlocutor a la vez. Para usar dicho modo se utiliza el PTT (Push To Talk), presionando dicho botón para hablar y liberándolo para escuchar.
- Comunicación Dúplex: El transmisor y el receptor utilizan ambos el canal de subida para hablar y el de bajada para escuchar y pueden hacerlo a la vez. El funcionamiento es análogo al telefónico.
- Comunicación Simplex: Se utiliza un único canal tanto para la recepción como para la transmisión. En este modo, utilizado en el modo DMO, un único usuario transmite y el resto recibe usando ambos una única frecuencia para la comunicación.

10.1.5.6. Modulación y espectro

La tecnología TETRA se ha diseñado con la capacidad de poder operar en el rango de frecuencias comprendido entre el VHF (150 MHz) y el UHF (900 MHz).

10.1.5.6.1 Bandas de Frecuencia:

- Frecuencia para uso de Cuerpos de Seguridad y Emergencia Pública (como Policía, bomberos, etc.):
 - Down-link: 390-400 Mhz.
 - Up-link: 380-390 MHz.

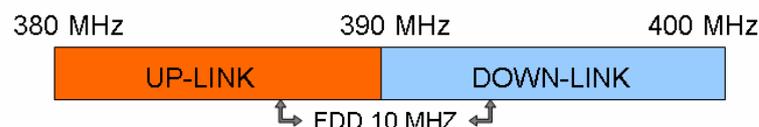


Figura 68. Espectro TETRA

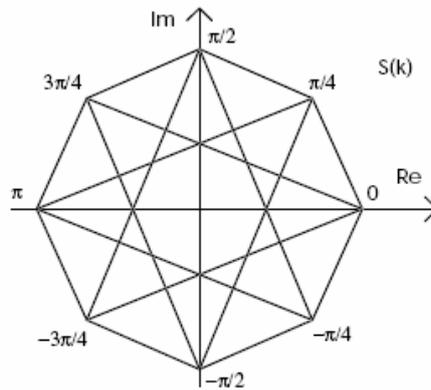
- Frecuencias Privadas:
 - Down-link 420-430 MHz:
 - Up-link: 410-420 MHz

Duplexado de Frecuencia: La separación frecuencial entre el enlace de subida y bajada es de 10 MHz. En la banda de los 900 MHz el FDD= 45 MHz

Ancho de Banda por portadora: 25 kHz.

Velocidad de Transmisión: 36 Kbps.

Modulación: $\pi/4$ DQPSK, con filtro conformador coseno alzado y factor de roll-off de 0,35.

Figura 69 . $\pi/4$ DQPSK

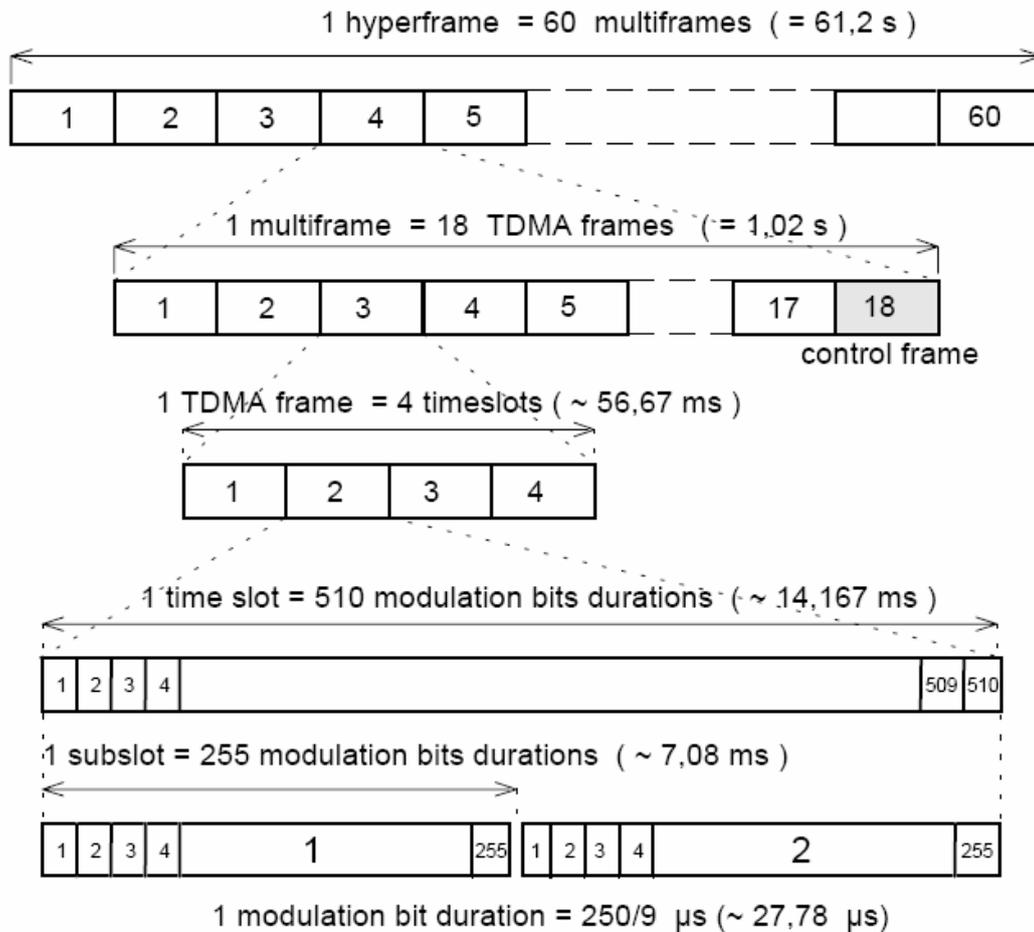
Bit Rate del Canal: 36 Kbps.

10.1.5.7. Estructura de la trama

El acceso utilizado por TETRA es el TDMA. Esto significa que se dedican porciones de tiempo exclusivamente para una transmisión. Si existe más de una comunicación, cada una de ellas utilizará una porción de tiempo (o TS) para el envío/recepción del mensaje. A mayor número de usuarios diferentes, se requerirá un mayor número de TS's.

La trama TDMA de TETRA utiliza 4 TS por portadora. Cada TS puede ser usado por un usuario diferente, así que por cada portadora tendremos 4 comunicaciones simultáneamente. Cada uno de estos TS es referenciado por su TN (TS Number) con valores del 1 al 4.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA


Figura 70. Estructura trama TETRA

Cada trama TDMA es numerada por un FN (Frame Number) del 1 al 18. El conjunto de las 18 tramas TDMA forma una estructura llamada multitrama. Entonces tendremos cada portadora que transporta una trama TDMA con 4 TS.

De manera cíclica cada portadora irá incrementando el valor de su FN hasta llegar al 18. Esta trama es la utilizada por el sistema como trama de control y es exclusivamente utilizada para la señalización.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

La trama básica TDMA con 18 TS's son comprimidos y alojados en tan sólo 17, de esta forma el TS 18 queda libre para ser usado como canal de señalización.

Cada emplazamiento dispone de una portadora principal y en modo normal ésta aloja, en el primer TS, el canal de control principal MCCH (Main Control CHannel).

10.1.5.8. Canales TETRA

Existen dos tipos de canales, físicos y lógicos. Un canal físico es un TS de la trama TDMA y puede transportar diferentes canales lógicos. Un canal lógico es un camino de datos entre dos o más puntos de la red.

- Existen tres tipos de canales físicos:
 - Control Physical Channel (CP): Señalización radio-red.
 - Traffic Physical Channel (TP): Tráfico, voz y datos.
 - Unallocated Physical Channel (UP): Libre.

- Existen dos grupos de canales lógicos:
 - Canales de tráfico (TCH): Transportan voz y datos en modo circuito.
 - Canales de control (CCH): Transportan información de control y datos en modo paquete.

10.1.5.9. Aspectos radio

Existen diferentes clases de transmisores tanto para BS's como para MS's. Los MS's utilizan un control de potencia RF adaptativo que consiguen las funcionalidades siguientes:

- Minimizar el nivel de potencia transmitido.
- Reducir la interferencia a usuarios de canales adyacentes y la co-canal.
- Reducir el consumo de potencia, de vital importancia en terminales portátiles.

El control de potencia adaptativo está sujeto a la ubicación del MS con respecto a la BS, o dicho de otra manera, el MS debe saber en todo momento las pérdidas que tiene en el enlace ascendente para establecer la comunicación.

Para conocerlas, el MS necesita conocer dos valores: la potencia que le llega de la BS y la potencia que está transmitiendo ésta, de esta manera puede calcular las pérdidas que hay en el canal.

En el apartado 3.1.5.3 se pueden consultar las tablas que muestran las diferentes categorías existentes dentro de los transmisores de una BS y de un MS.

10.1.6. Arquitectura tipo del sistema

Como aspecto más significativo en el diseño de la arquitectura TETRA, es necesario destacar que la conexión de todos los elementos integrantes de la red (estaciones base, nodos de conmutación, equipos de gestión técnica y equipos de gestión operativa) se realiza a través de una red de transporte. La interconexión física de los diferentes nodos de transporte se puede realizar mediante una red física de fibra óptica o mediante la utilización de radioenlaces.

En la siguiente figura se muestra una posible arquitectura de red TETRA. Sin embargo, el tipo de red a desplegar se tendrá que adaptar en cada caso a las necesidades del explotador.

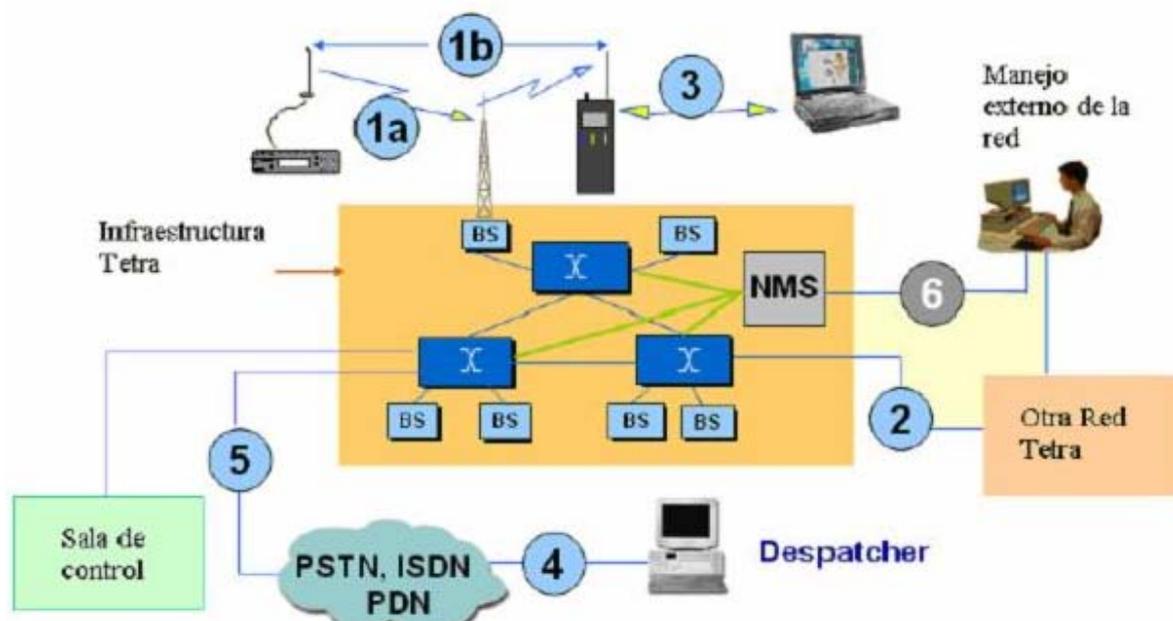


Figura 71. Arquitectura TETRA

En este esquema general de Arquitectura podemos diferenciar los interfaces siguientes:

- **1a** es la interfaz que utilizan los usuarios a través de las Estaciones Bases (BS);
- **1b** es la interfaz de comunicaciones entre terminales en modo directo (DMO).
- **2** es el enlace de comunicaciones entre la infraestructura de redes TETRA diferentes.
- **3** es la interfaz de configuración de terminales.
- **4 y 5** son interfaces medias entre la infraestructura TETRA y el dispatcher, este último puede estar conectado a la infraestructura TETRA directamente.
- **6** es la interfaz existente entre un usuario externo de gestión del sistema y el sistema de administración de la red.

Habitualmente para el sistema TETRA junto al nodo de conmutación por el que discurren todas las comunicaciones ya sean de texto, punto a punto o de grupo, se añade un sistema de grabación. El

El sistema permite, en función del fabricante, realizar una grabación de todas las comunicaciones o bien una grabación de tipo selectiva de mensajería de texto, conversaciones establecidas punto a punto o en grupo.

La conexión entre las estaciones bases con los centros de conmutación y la conexión entre centros de conmutación de diferentes segmentos de red TETRA se puede hacer de la siguiente manera:

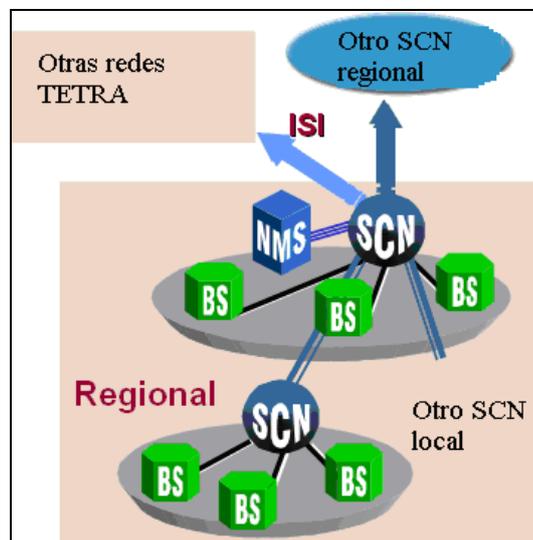


Figura 72. Conexión entre las estaciones bases y centros de conmutación

10.1.7. Principales Subsistemas integrantes

La tecnología TETRA es empleada para dar comunicación a grupos profesionales de usuarios. Para poder dar cobertura a la totalidad de un conjunto de personas, es necesario emplear una serie de elementos, que son los que componen la red, y que se dividen en los subsistemas siguientes:

- Subsistema Radio, Estaciones Base distribuidas a lo largo de la Línea (BS o TBS).
- Subsistema de Control y Conmutación, en el Centro de Control desde el que se controla el funcionamiento de los elementos del sistema.
- Subsistema radiante, para aportar la cobertura radio en las áreas requeridas.

- Subsistema de gestión de red.
- Consolas de despacho o terminales de sobremesa y terminales portátiles.
- Subsistema de grabación de llamadas. Por la importancia de las comunicaciones cursadas por el sistema de radiotelefonía, todas las comunicaciones deberán ser grabadas. En el marco del presente proyecto estas comunicaciones se grabarán en el sistema de grabación de audio definido de forma global, como un sistema aparte, para la grabación de todas las comunicaciones de voz que tengan lugar en la Línea, incluyendo las del sistema TETRA.

La red puede dar salida a usuarios de la misma hacia otras redes, como la red telefónica pública, otras redes de radiotelefonía de servicios de emergencias, Internet, etc.

10.1.7.1. Nodo Central de Conmutación en el Centro de Control

Es el cerebro de la red, su función principal es la de posibilitar la comunicación entre diferentes usuarios del servicio de comunicaciones móviles.

10.1.7.1.1 Sistemas de conmutación

Existen dos tipologías de sistemas de conmutación: centralizado y distribuido. La elección de uno u otro sistema viene dada principalmente por su tamaño; una red muy grande encaja mejor con uno centralizado, ya que su gestión es más sencilla que una distribuida. Pensemos en el caso de una red extensa con muchos grupos de usuarios localizados en diferentes TBS's, se tendría que generar un tráfico muy elevado entre nodos para comunicar a los usuarios.

La comunicación en un sistema centralizado se hace mediante conmutación de circuitos, cada TBS se comunica mediante un enlace con el nodo central. Un sistema distribuido realiza la comunicación mediante paquetes IP, de esta manera uno de los nodos lanza los paquetes IP a la red y sólo los nodos de destino los recogen y envían a su TBS.

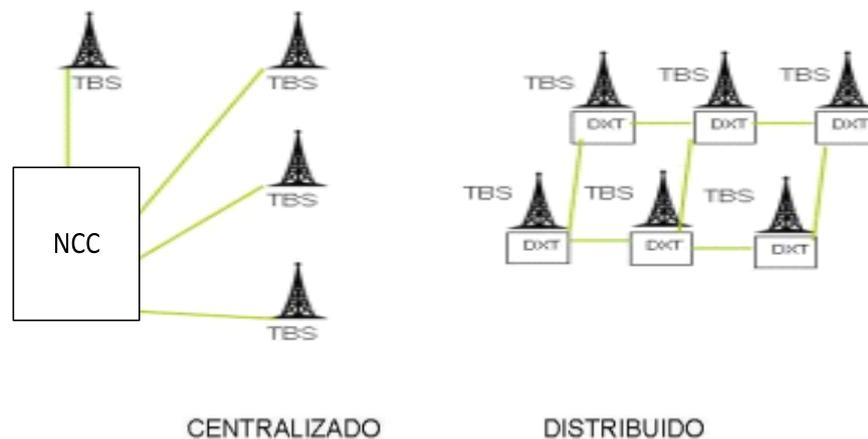


Figura 73. Sistemas de conmutación TETRA

10.1.7.1.2 Funciones principales

Autenticación: cuando un nuevo usuario quiere acceder a la red, primero el nodo de control tiene que confirmar que éste tiene permisos para poder acceder a la misma, autenticando que el terminal permanece al rango de usuarios que tienen acceso.

Privilegios: el conmutador tiene programados los privilegios de cada usuario, para por ejemplo tener acceso a un canal de voz cuando no queda ninguno libre, expulsando a un usuario con menos privilegios del canal.

Gestión: de los grupos de usuarios, asociando a los diferentes terminales de un mismo grupo a las TBS's de las que dependen en ese momento. Esta característica lleva asociada la movilidad de los usuarios, ya que en todo momento tiene que saber dónde están ubicados para que la comunicación entre todos los usuarios de un grupo sea posible.

Control: de todo el tráfico que se genera en los diferentes canales, de los radiocanales, de los abonados, etc.

10.1.7.1.3 Elementos

El Nodo Central de Conmutación opera como núcleo de gestión del tráfico del sistema y se compone típicamente de los elementos siguientes:

- Unidad Control Central
- Elementos para el alojamiento de los diferentes módulos de comunicaciones y switch Ethernet que integran el nodo.
- Tarjetas de conexión Ethernet para dar conectividad a las Estaciones Base.
- Gateways VoIP: para proporcionar conectividad con redes privadas externas y conectar los equipos de despacho.
- Matriz de Conmutación: realiza la conmutación y direccionamiento del audio hacia diferentes sistemas externos: grabadoras, otras redes de comunicaciones, etc.
- Grabador: equipo de grabación para permitir registrar las conversaciones de voz establecidas entre los usuarios TETRA y los operadores del Centro de Control.
- Tarjetas y Switch necesarios para la conexión del nodo a la red de Transporte.

10.1.7.2. *Servidor Gestión Técnica y Operativa de Red (NMS)*

El equipo que conforma este servidor está basado en una CPU dotada con el software de gestión y configuración de la red que tenga acceso al Nodo Central. Del mismo modo, el equipo está dotado de una base de datos donde se guardan las grabaciones del sistema. Se dispondrá de un servidor de gestión NMS en el Centro de Control.

- La gestión operativa se realiza para lograr las siguientes funcionalidades:
 - Organizar grupos de usuarios y abonados.
 - Configurar servicios.
 - Controlar, gestionar y monitorizar las comunicaciones de la red.
 - Modificar grupos de usuarios.
 - Control y supervisión del estado de la red.

- La gestión técnica se encarga de las tareas siguientes:
 - Gestionar y configurar los distintos elementos de la red.
 - Supervisar posibles fallos de la red.
 - Gestionar el rendimiento de la misma.
 - Monitorización y mantenimiento remoto.

10.1.7.3. *Subsistema de red radio o estaciones Base TETRA*

A la hora de planificar la red de difusión, es necesario contar con un equipo que sea capaz de dar cobertura por sí mismo, esto significa que la difusión de la señal no sea la reemisión de otra. Así pues, una red TETRA ha de estar compuesta de al menos por una TBS que se encargue de la difusión del tráfico.

La utilización de esta tecnología lleva asociado el uso de un enlace que se encargue del transporte del tráfico que puede ser soportado sobre cualquier línea de transmisión. El transporte se lleva cabo entre la TBS y el nodo central. Este último se encarga de gestionar el tráfico en la red y decidir a qué TBS tiene que enviar el tráfico que tiene que difundir.

El empleo de una TBS lleva asociada varias ventajas. La primera de ellas es que esta tecnología es capaz de dar cobertura sin depender de otra estación base. Este punto es importante si en el diseño se quiere dar un grado de fiabilidad a todo el conjunto. Otra cualidad respecto a otras tecnologías de difusión es la potencia de salida. Por lo general suelen emitir una potencia más elevada que un amplificador de cobertura, en torno a 10 dB más.

Así pues, la función principal de una estación base, o TBS, es la de dar cobertura a una zona geográfica concreta. Una estación base asigna de forma dinámica los canales de tráfico. Es decir, si el nodo central le envía una comunicación de voz para un usuario que pertenece a un grupo de usuarios concreto, la TBS le asigna uno de sus canales que tenga libres. Una función que ha de realizar también es la gestión del enlace con el nodo central.

Las estaciones bases pueden trabajar con sistemas radiantes de diversidad múltiple. Los más habituales son los siguientes:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Diversidad en frecuencia: La información se envía de forma redundante con dos frecuencias diferentes. El inconveniente principal es el uso del espectro radioeléctrico, ya que tiene una necesidad mayor de este recurso.
- Diversidad en tiempo: Al igual que el anterior punto, la información es enviada de manera repetida en dos 'slots' (tramas) de tiempo. Esto implica la necesidad de un ancho de banda mayor, para alojar más información, lo que obliga a necesitar un uso mayor del espectro.
- Diversidad en espacio: Esta es una de las técnicas más empleadas hasta el momento. Se utilizan varias antenas para captar la señal de radio, pero dichas antenas se separan una distancia tal que los caminos que recorre la señal hasta llegar a ellas son incorrelados. De esta manera se recibe la señal por caminos diferentes y combinándolas de la manera adecuada, se puede mejorar la calidad de la señal recibida.
- Diversidad en polarización: Una señal emitida con cierta polarización, al atravesar un canal radio, ve modificada su polarización. Si utilizamos dos antenas con polarizaciones diferentes, usualmente suelen ser ortogonales o cruzadas, podemos combinar ambas señales para mejorar la señal recibida.

El enlace ascendente, que constituye el camino que va del terminal a la TBS, suele ser siempre el más restrictivo, ya que la potencia de emisión de un terminal siempre es menor que la de una TBS. Para mejorar la recepción se suele emplear diversidad espacial, pudiéndose llegar a utilizar hasta 6 antenas en recepción. Además el sistema radiante en recepción se sitúa en la parte más elevada de la torre, de esta manera se consigue mejorar la baja potencia que llega de un terminal TETRA.

10.1.7.4. *Subsistema Radiante*

Un sistema radiante se compone del conjunto de antenas omnidireccionales, directivas y cable radiante distribuidos por toda la línea. Asimismo se incluyen todos los elementos auxiliares necesarios para garantizar el nivel de cobertura TETRA requerido: cables coaxiales, conectores, divisores, acopladores y Duplexores.

Cuando es necesario cubrir una zona desprovista de cobertura, ya sea interior o exterior, hemos de elegir entre los siguientes elementos según sean las necesidades que tengamos:

10.1.7.4.1 Antena

Una antena es un elemento capaz de radiar energía electromagnética en el espacio libre cuando por ella circula una corriente eléctrica y viceversa.

Las antenas se pueden clasificar en dos grandes grupos: omnidireccionales y directivas. Las omnidireccionales radian el campo de forma uniforme en todo el espacio, y las directivas concentran la energía en una porción, o en varias, del mismo.

En función del número de elementos de nuestra antena, la forma de ésta, etc., seremos capaces de radiar de diferentes formas, o crear un diagrama de radiación específico para cada antena.

La antena más simple de construir es un dipolo, que se compone de dos conductores colineales, alimentados por el centro. Su diagrama de radiación es máximo en el plano perpendicular al conductor y nulo en la dirección del mismo. El diagrama resultante obtenido es una figura toroidal.

Una antena que emite el campo eléctrico en sentido vertical respecto al plano de tierra, se dice que tiene una polarización vertical. Si ésta es paralela al plano de tierra se la llama horizontal. Para que una antena capte el máximo de energía del campo eléctrico que se ha emitido al espacio, es necesario que la polarización de ambas antenas, emisora y transmisora, tengan la misma polarización. En el caso de las comunicaciones móviles se suele emplear polarización del tipo vertical.

La elección de una antena ha de venir precedida por la frecuencia de trabajo de nuestro sistema, ya que una antena trabaja en una banda de frecuencias concreta. El tamaño de ésta está relacionado con la longitud de onda de la señal que circula por ella. Una antena diseñada para trabajar a frecuencias altas será de un tamaño menor que otra para trabajar a frecuencias menores.

Un aspecto importante de una antena es la ganancia que tiene. De manera general, las antenas directivas tienen mayor ganancia que las omnidireccionales.

La inserción de antenas en diferentes emplazamientos, tiene que venir precedida de la elección de su diagrama de radiación. En función de las necesidades que tengamos, deberemos ser capaces de elegir la

que tenga unas características más adecuadas a nuestro caso. Si por ejemplo necesitamos concentrar la energía que se quiere transmitir en un haz estrecho, deberemos escoger un diagrama más directivo, en caso contrario uno omnidireccional será más conveniente.

Parece razonable colocar las antenas omnidireccionales en el centro de la planta de un edificio, para que la energía se propague por igual en todas direcciones. Y las directivas en lugares que limiten la zona a cubrir, como por ejemplo la pared que delimita un edificio, la boca de un túnel, etc. , para dirigir, de esta forma, la energía hacia el interior del recinto.

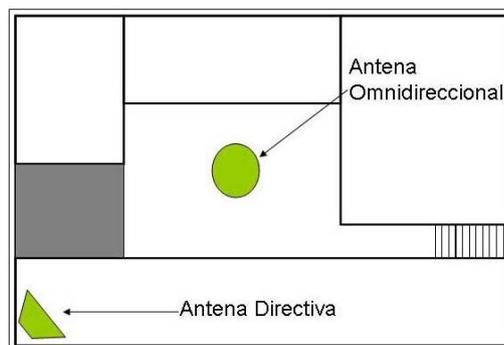


Figura 74. Tipo de antenas TETRA

La ventaja principal del empleo de antenas como sistema radiante es el coste y la complejidad de la instalación.

10.1.7.4.2 Cable radiante

La utilización de este tipo de elementos nos facilita cubrir las zonas donde existe un número elevado de obstáculos entre emisor y receptor, o cuando sea difícil cubrir una zona sin verse obligado a utilizar muchos elementos radiantes y de distribución.

Un cable radiante es básicamente un cable coaxial con una serie de aperturas en su conductor exterior tal y como se muestra en la figura siguiente:

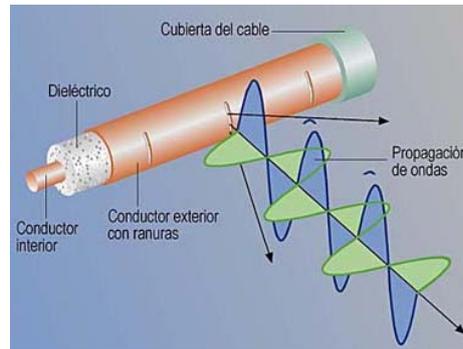


Figura 75. Cable radiante

Un cable coaxial común se define como una línea de transmisión con dos conductores paralelos separados a distancia uniforme, uno interior y otro exterior. Este último envuelve por completo al primero e impide en buena medida que los campos electromagnéticos escapen o penetren en el conductor. Realizando una serie de aperturas en el conductor externo, se permite que los campos puedan escapar de la línea de transmisión a la vez que recorre ésta, produciéndose el acoplamiento electromagnético. El tamaño de la apertura del cable se determina en función de la frecuencia de trabajo. Una frecuencia elevada reduce el tamaño de ésta y viceversa. Además del tamaño de la apertura, hay que tener en cuenta la distancia de separación entre dos aperturas consecutivas. Cada una de éstas se comporta como una antena, así que interesa que la distancia no sea grande para tener más focos de emisión de señal, así se puede conseguir radiar de forma más uniforme a medida que se tiende el cable. La separación entre rendijas está limitada para que el conductor no pierda rigidez y pueda ser sometido a cierta tensión sin que se vea perjudicada la integridad del mismo. El anterior punto es de vital importancia, ya que si el conductor se doblase podría quedar inutilizado al producirse el contacto físico entre el conductor exterior e interior, provocando un cortocircuito en la línea.

Una característica a tener en cuenta a la hora de hacer un diseño que mejore la cobertura, son las pérdidas de inserción del cable. Éstas son más elevadas que un cable no radiante, ya que parte de la energía se escapa de la línea de transmisión.

A la hora de calcular el nivel de potencia que recibimos del cable, el fabricante nos adjunta los valores de acoplamiento que ha medido. Estos valores son estadísticos, ya que el nivel recibido en un punto es la

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

contribución de varias señales y éstas al ser sumadas cada una con su fase, generan una forma de onda muy variable. La señal resultante, o interferencia, se mide a una distancia fija (habitualmente 2m) y se da un valor que cumple el tanto por ciento de las veces que es alcanzado. Es habitual dar valores de acoplamiento para un 50% o 95% de los casos, es decir, que el 50% de las veces se ha medido un valor de acoplamiento que está por encima de un umbral dado.

El empleo de cable radiante necesita que al final del mismo se coloque una carga del mismo valor que la impedancia del cable. Sin la inclusión de ésta, la señal que se transporta por el cable es reflejada en el extremo, produciendo desadaptaciones en la línea y provocando que parte de la potencia vuelva al equipo emisor. Una alternativa en el empleo de cargas que finalicen el circuito, es la colocación de antenas. En vez de disipar la energía que circula por la línea de transmisión, se emite toda ella al espacio, aprovechando toda la energía que hay en la línea.

Una de las ventajas que tiene el empleo de cable radiante, es que se pueden emitir por el mismo, señales de diferentes bandas frecuenciales. Esta característica es muy importante, ya que se puede utilizar el sistema radiante para diferentes servicios que se puedan difundir en el futuro. Además suele ser necesario un menor número de elementos de distribución, ya que el mismo cable se puede llevar por donde sea necesario dar cobertura.

10.1.7.5. *Subsistema de terminales*

Se dispondrá de terminales TETRA para proporcionar el servicio al personal móvil de la línea. Estos terminales capacitarán a un usuario para poder comunicarse en la red. Existen cuatro tipos de terminales:

- Portátiles: Son dispositivos de mano. Utilizan el transmisor de menor potencia, ya que funcionan mediante baterías. Habitualmente suelen ser de clase 4 o 4L, es decir, menores o iguales a la unidad de vatio, aunque también se dispone de terminales que transmiten con 3 vatios de potencia..
- Móviles: Van embarcados en vehículos y utilizan la energía de la batería del mismo para funcionar, con lo que pueden emitir con mayor potencia que los portátiles. Los transmisores suelen ser del tipo 2, que emiten potencias menores de la decena de vatios. Se instalan en las cabinas de conducción de los trenes, junto con las antenas ubicadas en el exterior del tren.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- **Fijos:** Se localizan en edificaciones, como puede ser una comisaría, una estación de bomberos, etc. El consumo eléctrico no suele ser un inconveniente, así que sus transmisores son del tipo 1, es decir que pueden alcanzar la treintena de vatios.
- **De Operador:** A diferencia de los anteriores, no emplea un sistema radiante propio para la comunicación, si no que utiliza la red para enviar su mensaje al resto de usuarios.

10.2. SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA (WIRELESS).

10.2.1. Introducción

Las comunicaciones inalámbricas se han convertido en uno de los campos de la tecnología que más rápido y extensamente se ha desarrollado en los últimos años. Existe a la actualidad un interés creciente por el desarrollo de redes inalámbricas que posibilitan el transporte de servicios embarcados, tanto de voz, como de datos y vídeo, incluido en aplicaciones en las que se requiere tiempo real.

La futura red de radiocomunicaciones de banda ancha tren-tierra-tren, que se implantará en la Línea de metro Ligero de Guadalajara (México), dispondrá de todas las funcionalidades requeridas por los servicios o sistemas que esta red tendrá que soportar, haciendo posible la explotación e integración en una sola red del mayor número de servicios posibles.

10.2.2. Descripción de la tecnología WiFi (802.11)

Para la red de radiocomunicaciones de banda ancha nos centraremos en el estándar 802.11, que forma parte de una familia de estándares para redes de área local y metropolitana (LAN y MAN). En 1997 el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) adoptó el estándar 802.11-1997 como el primer estándar para comunicaciones inalámbricas en redes de acceso locales.

Este estándar define la capa física (PHY) y de acceso al medio (MAC). Esta versión definió tres opciones para la capa PHY, con las siguientes técnicas: infrarrojos (IR), espectro ensanchado por secuencia directa (Direct Sequence Spread Spectrum) DSSS y espectro ensanchado por salto de frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum FHSS), que pueden operar a 1 o 2 Mbps.

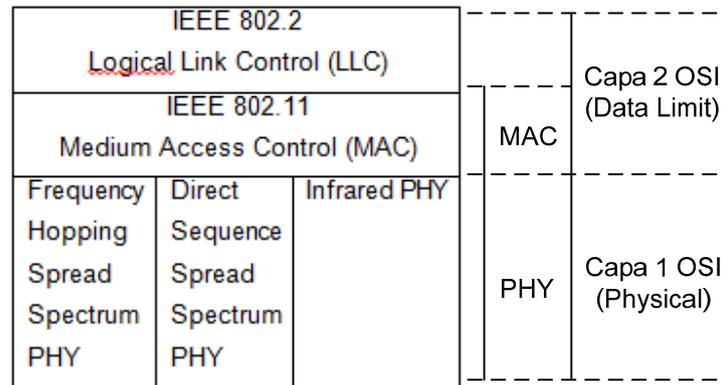


Figura 76.. Capas OSI de los estándares 802.11

En 1999, se introdujeron dos nuevas versiones de la capa física a alta velocidad, los estándares 802.11a y 802.11b. El estándar 802.11a utiliza una modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que trabaja en la banda de 5 GHz y ofrece velocidades de hasta 54 Mbps en capa física. El estándar 802.11b es una extensión del original DSSS PHY que mediante nuevas formas de codificación consigue velocidades de hasta 11 Mbps de capa física de banda de 2,4 GHz. En 2003 finalizó la definición estándar 802.11g que define una nueva extensión de la capa física para poder conseguir velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps en la banda de 2,4 GHz con compatibilidad con los dispositivos 802.11b.

En 2007 finalizó la definición de la extensión 802.11 para mejorar los mecanismos de acceso (MAC) del 802.11, con el objetivo de poder apoyar a aplicaciones con requisitos de calidad de servicio (QoS).

En 2009 se ratificó el estándar 802.11 que ofrece las prestaciones establecidas hasta la fecha con la ventaja respecto de otras versiones de WiFi para trabajar simultáneamente en las dos bandas de frecuencia (2,4GHz y 5GHz) el que permite compatibilidad con todas las ediciones de WiFi anteriores (a, b y g).

A continuación se enumeran algunas de las extensiones de los estándares:

- IEEE 802.11.a Define la capa física en la banda UNII a 5GHz.
- IEEE 802.11b. Define la capa física en la banda 2.4 GHz.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- IEEE 802.11c. Define los procedimientos MAC para operaciones de puente (bridge).
- IEEE 802.11d. Define los requerimientos de la capa física (canalización, saltos de frecuencia, etc.), para extender el uso a países con particularidades en la regulación del espectro.
- IEEE 802.11e. Define las mejoras de capa MAC para soportar aplicaciones con requerimientos de QoS.
- IEEE 802.11f. Recomendación para implementar un protocolo denominado Inter Access Point Protocolo (IAPP), utilizado para comunicar los puntos de acceso de diferentes fabricantes mediante el sistema de distribución y permitir operaciones de traspaso.
- IEEE 802.11g. Define la capa física para la banda de 2,4GHz con velocidades de hasta 54 Mbps con compatibilidad con el estándar 802.11b.
- IEEE 802.11h. Mejora de la capa MAC y de las especificaciones de capa física 802.11a para añadir capacidades de selección de canal en entornos interiores y exteriores, control y medidas de potencia en la banda de 5 GHz necesaria en Europa.
- IEEE 802.11i. Mejora de la capa MAC para añadir mecanismos de seguridad y autenticación.
- IEEE 802.11j. Mejora de la capa MAC y de las especificaciones de capa física 802.11a para operar a las bandas de 4.9 GHz y 5 GHz disponibles en Japón.
- IEEE 802.11k. Define las mejoras para medidas de recursos radio y para proveer de interfaces a capas superiores.
- IEEE 802.11n. Mejora de capa física para conseguir velocidades de transmisión mayores.
- IEEE 802.11r Mejora de la capa MAC para añadir nuevos mecanismos que minimizan el tiempo de conexión de la estación con el Distribution System y permitan acelerar el tiempo de handover.
- IEEE 802.11s. Este estándar dotará de capacidad de encaminamiento a los puntos de acceso para poder redirigir los datos entre puntos de acceso cercano tal y cómo hacen los nodos de Internet.
- IEEE 802.11ac: es una propuesta de mejora de la norma IEEE 802.11n que actualmente se encuentra en desarrollo, se espera su ratificación por el grupo de trabajo hacia finales del 2013. Este estándar se caracteriza por la mejora de las tasas de transferencia hasta 1 Gbit/s dentro de la banda de 5 GHz, la ampliación del ancho de banda hasta 160 MHz (40 Mhz en las redes 802.11n), utilización de hasta 8 flujos MIMO y modulación de alta densidad (256 QAM).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

La siguiente tabla resume las características principales de los estándares 802.11a/b/g/n analizados en este documento:

	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Espectro	2.4 – 2.4835 GHz	< 11 GHz	2.4 – 2.4835 GHz	< 11 GHz
Tasa de bit	11, 5.5, 2, 1 Mbit/s	Hasta 54 Mbit/s	Hasta 54 Mbit/s	Hasta 600 Mbit/s
Tasa de bit Efectiva máx.	6 Mbits/s ¹	30 Mbits/s ¹	30 Mbits/s ¹	100 Mbits/s ¹
Modulación	DSSS	OFDM con subportadores QPSK, 16QAM, 64QAM	Igual que 802.11a	Tecnología MIMO, compatible con a/b/g
Movilidad	Permite movilidad ²	Permite movilidad ²	Permite movilidad ²	Permite movilidad ²
Anchos de banda	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz/40MHz
Radio de celda típico	300 m con visión directa ³	100 m con visión directa ³	300 m con visión directa ³	100 m con visión directa ³

Tabla 35. Características de los estándares 802.11a/b/g/n

¹ La tasa efectiva está condicionada por múltiples factores como la tasa real empleada que depende a la vez de las condiciones de propagación, del número de usuarios conectados a un punto de acceso, de la medida de los paquetes, etc.

² El Estándar permite movilidad aunque no todos los productos comerciales implementan esta característica. Por otro lado todavía no define mecanismos de Fast handover y por lo tanto cada producto tiene un tiempo de handover diferente en función del fabricante.

³ El alcance máximo está condicionado por la calidad de cada uno de los fabricantes, así como el tipo de antenas utilizado y por las condiciones de propagación.

10.2.2.1. Características de las interfaces radio IEEE802.11b/a/g/n

Las características de la capa física influyen de forma determinante en las prestaciones de los sistemas de comunicaciones inalámbricas. La máxima velocidad utilizable está condicionada por el tipo de modulación empleado y el nivel de señal recibida en el receptor, o el tipo de receptor, entre otros factores. A continuación se describen las características de las capas radio o física de los estándares WLAN.

10.2.2.1.1 Capa radio

La capa física (PHY) es la interfaz con el medio radioeléctrico. Es decir, es la capa que se encarga de generar las señales necesarias para que la información llegue al receptor en las mejores condiciones. En el estándar se definen las especificaciones para las versiones 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g y 802.11n.

El estándar original de la versión 802.11 define tres opciones para PHY operante a 1 y 2 Mbps en la banda de 2,4 GHz, utilizando infrarrojos o señales radioeléctricas con técnicas de salto de frecuencia (Frequency hopping FH) o de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS). En 1999 fueron ratificadas dos nuevas versiones, el 802.11b y el 802.11^a. El primero de ellos, el 802.11b, utilizando técnicas DSSS, provee velocidades de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps. El estándar 802.11a utiliza técnicas OFDM en la banda UNII de 5 GHz y ofrece velocidades de hasta 54 Mbps. En 2003 se cerró la extensión 802.11g, que proporciona tasas de hasta 54 Mbps utilizando las mismas modulaciones que el estándar 802.11a en la banda de 2,4 GHz y con compatibilidad con 802.11b.

El IEEE 802.11a es la segunda extensión que se ratificó en 1999. Esta PHY funciona en la banda UNII de 5 GHz. Está basada en una técnica de modulación OFDM muy similar a la utilizada en los sistemas ADSL. La técnica OFDM divide la señal binaria de alta velocidad en subportadoras que se transmiten en paralelo. Estas portadoras, ortogonales entre sí, obtienen un aprovechamiento espectral muy eficiente. Para mejorar la probabilidad de error se utiliza el entrelazado de bits y la codificación convencional. El estándar 802.11a, provee velocidades de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps de capa física.

La capa física del estándar 802.11g propone de utilización de OFDM en la banda de 2,4 GHz obteniendo las mismas velocidades de transmisión que el estándar 802.11a en la misma banda del 802.11b. Una de las particularidades de esta extensión es la compatibilidad con el estándar 802.11b. En este sentido, pueden coexistir sistemas los dos estándares y comunicarse de forma correcta, aunque cuando coexisten, el rendimiento de los dispositivos IEEE 802.11g se ve deteriorado, puesto que los equipos basados en el estándar IEEE 802.11b transmiten a un bit-rate prácticamente cinco veces más lento. Esto produce que las transmisiones de estos equipos sean más largas, y por lo tanto, no se permita transmitir durante más tiempo a las estaciones con un mayor bit-rate, provocando una clara reducción del rendimiento del sistema global. Las velocidades características de los sistemas IEEE 802.11g son 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Mbps. Estas velocidades se escogen en función de la calidad de la señal en la estación receptora, que está influenciada principalmente por la distancia entre el punto de acceso y la estación y medio las condiciones del medio de transmisión.

Finalmente, en 2009 se ratifica el estándar 802.11n que, como principal ventaja en cuanto a otras versiones de WiFi es que trabaja simultáneamente en las dos bandas de frecuencia (2,4GHz y 5GHz) lo que permite compatibilidad con todas las ediciones de WiFi (a, b y g) [si la red es utilizada por un equipo que utilice un WiFi anterior (a/b/g), la red baja su alcance para ser compatible con los equipos más antiguos].

Gran parte de la mejora del estándar se debe al procesamiento de señales basado en la tecnología MIMO (Multiple Input Multiple-Output); esta tecnología implementa múltiples antenas, transmisores y receptoras por los que circulan los datos con el fin de mejorar el ancho de banda. Por un lado aprovecha las señales multirutas, las cuales son señales reflejadas que llegan retrasadas al receptor con respecto a la señal que llega en línea de vista; estas señales multirutas son consideradas interferencias cuando no se dispone de la tecnología MIMO. Otra característica que provee MIMO es el Multiplexado de División Espacial (SDM), que implica que cadenas de datos diferentes son enviadas por antenas diferentes y el equipo receptor, utiliza sus diversas antenas, para reconstruir apropiadamente la cadena de datos.

Otra mejora dentro del estándar es la unión de interfaces de red (Channel Bonding), que permite utilizar dos canales separados, que no se solapan, para transmitir datos simultáneamente. Esto incrementa la cantidad de datos que se pueden transmitir. Para cumplir este objetivo se utilizan dos bandas adyacentes de 20MHz (40MHz) y se consigue duplicar la velocidad a nivel de capa física disponible.

10.2.2.1.2 Alcance y velocidad

Cuando se dimensionan o planifican las redes basadas en los estándares IEEE 802.11, es frecuente pensar que la capacidad de estas redes es la definida por la velocidad de transmisión indicada en las especificaciones del IEEE, es decir, 11 Mbps en el caso del estándar IEEE 802.11b, 54 Mbps para 802.11a y 802.11g; y 600 Mbps para 802.11n. En la práctica, esta capacidad máxima no se puede conseguir por la propia definición de los estándares, reduciendo considerablemente el valor máximo teórico de la capacidad. Por ejemplo, en el caso ideal, donde únicamente existiera un terminal

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

transmitiendo, la tasa efectiva con el estándar 802.11g o 802.11a transmitiendo paquetes UDP de 1500 bytes es de unos 32 Mbps. Si el terminal tiene una conexión TCP la velocidad es de unos 25 Mbps. En el caso del estándar 802.11b la velocidad efectiva es de unos 6 Mbps. Si el terminal tiene una conexión TCP la velocidad es de unos 5 Mbps. En el caso del estándar 802.11n IEEE 802.11n se dispone de un incremento significativo en la velocidad de transmisión de hasta un máximo de 600 Mbps. Actualmente se pueden obtener velocidades de 300Mbps, con el uso de dos flujos espaciales y en un canal de 40 MHz. Dependiendo de las características del entorno, esto puede interpretarse como una velocidad de 100Mbps para el usuario.

Además la capacidad de la red se ve seriamente afectada cuando existen un gran número de usuarios conectados simultáneamente. A esto se tiene que añadir, los problemas de cuando hay estaciones que transmiten a diferentes velocidades, puesto que la ocupación del canal se realiza de forma desigual, o cuando existen estaciones que están ocultas desde el punto de vista radioeléctrico. La utilización del mecanismo RTS/*CTS que evita colisiones entre estaciones ocultas también provoca una reducción de la tasa real.

Respecto al alcance de los sistemas 802.11 depende de la potencia y la directividad de las antenas. Al tener limitado el PIRE máximo a 100 mw en la banda de 2,4 GHz y hasta 1 W en la banda de 5GHz se hace necesaria la utilización de antenas de alta ganancia para obtener alcances mayores de 200 metros.

10.2.2.1.3 Handover

El procedimiento de reelección o handover no está definido en las especificaciones del IEEE. Su inclusión y por lo tanto el mecanismo de funcionamiento y sus prestaciones están ligadas a cada uno de los fabricantes.

10.2.2.2. Resumen comparativo de Tecnologías

A continuación se realiza una breve descripción de los estándares 802.11b, 802.11g, 802.11a y 802.11n, en relación con los parámetros de valoración identificados.

Estándar WiFi 802.11b

- Capacidad:

El estándar 802.11b dispone de velocidades nominales de 11, 5.5, 2, 1 Mbits/s con una velocidad de transmisión efectiva máxima 1 usuario UDP: 6 Mbits/s. Únicamente dispone de 3 canales sin solapamiento en la banda libre de 2,4 GHz y el PIRE máximo es de 100 mW. Esta banda la utilizan libremente múltiples usuarios, mediante puntos de acceso para los que es difícil controlar su instalación, teléfonos móviles, auriculares y otros dispositivos que utilizan Bluetooth,.
- Movilidad:

El estándar 802.11b no contempla movilidad capa 2. Los productos que lo ofrecen lo hacen en modo propietario.
- QoS:

El estándar 802.11b no contempla mecanismos de QoS.
- Despliegue:

El estándar 802.11b dispone de múltiples fabricantes que han desarrollado productos con gran compatibilidad entre sí.
- Seguridad:

Los productos más recientes del estándar 802.11b contemplan medidas eficaces de seguridad.

Estándar WiFi 802.11g

- Capacidad:

El estándar 802.11g dispone de velocidades nominales: 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbits/s con una velocidad de transmisión efectiva máxima 1 usuario UDP: 32 Mbits/s. Únicamente dispone de 3 canales sin solapamiento en la banda libre de 2,4 GHz y el PIRE máximo es de 100 mW. Esta banda la utilizan libremente múltiples usuarios, mediante puntos de acceso para los que es difícil de controlar su instalación, teléfonos móviles, auriculares y otros dispositivos que utilizan Bluetooth,.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Movilidad:

El estándar 802.11g no contempla movilidades capa 2. Los productos que lo ofrecen lo hacen en modo propietario. El tiempo de handover depende de los fabricantes.
- QoS:

El sistema 802.11g no incorpora de forma natural mecanismos que permitan gestionar tráfico de datos de forma diferenciada. A pesar de todo, el IEEE ha desarrollado la extensión 802.11e que sí que permite administrar el vídeo, la voz y los servicios *Best Effort* con calidades de servicio diferentes. La organización WiFi tiene una certificación de productos denominados WMM (WiFi Multimedia), como subconjunto de las especificaciones 802.11 y WMM añade capacidad de priorizar diferentes tipos de tráfico que tienen necesidades diferentes de retraso y throughput. También es posible establecer mecanismos de diferenciación de servicio a nivel IP mediante gestores de colas, como filtros HTB (Hierarchical Token Bucket), CBQ (Class-Based Queuing) o PRIO (priority scheduler) que permitan asignar a diferentes tráficos o incluso conexiones con valores de prioridad diferentes.
- Despliegue:

El estándar 802.11g dispone de múltiples fabricantes que han desarrollado productos con gran compatibilidad entre sí.
- Seguridad:

Los productos más recientes del estándar 802.11g contemplan medidas eficaces de seguridad.

Estándar WiFi 802.11a

- Capacidad:

El estándar 802.11a dispone de velocidades nominales de 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbits/s con velocidad de transmisión efectiva máxima 1 usuario UDP: 32 Mbits/s. Dispone de 19 canales sin solapamiento en la banda libre de 5 GHz y el PIRE máximo depende de la sub-banda que se utilice aunque llega hasta 1 W. Esta banda la pueden utilizar libremente múltiples usuarios, mediante puntos de acceso, aunque actualmente su uso todavía se encuentra limitado. Se prevé la instalación de equipos compatibles para este estándar en el futuro.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

- Movilidad:
El estándar 802.11a no contempla movilidades capa 2. Los productos que lo ofrecen lo hacen en modo propietario.
- QoS:
Idéntico a 802.11g.
- Despliegue:
Idéntico a 802.11g.
- Seguridad:
Idéntico a 802.11g.

Estándar WiFi 802.11n

- Capacidad:
IEEE 802.11n brinda un incremento significativo en la velocidad de transmisión pudiendo conseguir hasta un máximo de 600 Mbps. Actualmente se pueden obtener velocidades de 300Mbps, con el uso de dos flujos espaciales y en un canal de 40 MHz. Dependiente de las características del entorno, esto se puede interpretar como una velocidad de 100Mbps para el usuario. Puede funcionar en la banda libre de 2,4 GHz y en la de 5 GHz.
- Movilidad:
El estándar 802.11n no contempla movilidades capa 2. Los productos que lo ofrecen lo hacen en modo propietario. El tiempo de handover depende de los fabricantes.
- QoS:
Idéntico a 802.11g.
- Despliegue:

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Idéntico a 802.11g.

- Seguridad:

Idéntico a 802.11g.

Estándar WiFi 802.16 y 802.16e

El estándar IEEE 802.16 ofrece la posibilidad de desplegar redes inalámbricas en las bandas inferiores a los 11 GHz. Por otro lado, el WiMAX Foro ha creado perfiles para la certificación únicamente para la banda de 3.5 GHz y para operadores. En consecuencia, sólo se fabrican equipos compatibles con el estándar IEEE 802.16 por operadores que operan en la banda de 3.5 GHz y que pueden optar por lo tanto a la certificación WiMAX, por lo cual, para poder utilizar equipos certificados compatibles con el estándar es necesario hacer un despliegue con dependencia de los operadores. Además, actualmente no existen equipos WiMAX compatibles con el IEEE 802.16, que operen en bandas de frecuencia no licenciadas. Únicamente existen soluciones propietarias que operan en la banda libre que toman como referencia los estándares 802.16 y 802.16e. Por todo lo anterior, esta tecnología no se considera recomendable.

10.2.2.2.1 Cuadro Resumen comparativo de Tecnologías

Tecnología	Estándar	Banda Frecuencial	Licencia	Tasa de bit	Throughput	Radio típico de cobertura	QoS	Handover	Madurez	Topología	Seguridad
IEEE 802.11a	Solución Estándar (WiFi)	5150 - 5250 MHz 5250 - 5350 MHz 5470 - 5725 MHz	No	< 54 Mbps	> 5 Mbps < 27 Mbps	< 500 m	Si, con IEE 802.11e (Sólo downlink)	Sí, pero con corte	Alta	Infraestructura o Ad-hoc	WPA2 con IEEE 802.11i
IEEE 802.11g	Solución Estándar (WiFi)	2400 - 2485 Mhz	No	< 54 Mbps	> 5 Mbps < 27 Mbps	< 650 m	Si, con IEE 802.11e (Sólo downlink)	Sí, pero con corte	Alta	Infraestructura o Ad-hoc	WPA2 con IEEE 802.11i
IEEE 802.11 n	Solución Estándar (WiFi)	2400 - 2485 Mhz 5150 - 5250 MHz 5250 - 5350 MHz	No	< 300 Mbps	>5 Mbps < 100 Mbps	< 650 m	Si, con IEE 802.11e (Sólo downlink)	Sí, pero con corte	Alta	Infraestructura o Ad-hoc	WPA2 con IEEE 802.11i

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Tecnología	Estándar	Banda Frecuencial	Licencia	Tasa de bit	Throughput	Radio típico de cobertura	QoS	Handover	Madurez	Topología	Seguridad
		5470 - 5725 MHz									
IEEE 802.16-2004	Solución Estándar Wimax	< 11 GHz (con y sin licencia) 11 - 66 GHz (con licencia)		< 134.4 Mbps	< 75 Mbps	5 - 50 Km	Si	Si	Media	Infraestructura	PKM, RSA, DES, Aes, HMAC
IEEE 802.16e	Solución Estándar Wimax	< 6 GHz (con y sin licencia)		< 31,68 Mbps (sin smart antenas)	< 15 Mbps (por sector)	> 1 Km	Si, QoS Clases (UGS, ertPS, rtPS, nrtPS, BE)	Si Hard Hand Off Fast Base Station Switching & Macro Diversity Handover	Baja	Cluster (Punto - Multipunto)	Eap, AES-CCM, CMAC, HMAC, SIM/USIM, Tarjetas Inteligentes

Tabla 36. Comparativa tecnologías WiFi.

10.2.2.3. Valbración de los diferentes estándares y tecnologías

Del análisis de los estándares Wireless se pueden sacar las siguientes conclusiones en cuanto a su aplicación para una línea férrea de transporte urbano como la que nos ocupa:

- El estándar 802.11b ofrece un throughput efectivo máximo de 6 Mbps por punto de acceso. Dispone únicamente de 3 canales no interferentes y utiliza la banda libre de 2,4 GHz. No se recomienda realizar el despliegue de una red de banda ancha basada en este estándar, dado que no cumple con los requerimientos de capacidad, banda frecuencial y QoS para ofrecer los servicios necesarios.
- El estándar 802.11g ofrece un throughput efectivo máximo de 30 Mbps por punto de acceso. Dispone únicamente de 3 canales no interferentes y utiliza la banda libre de 2,4 GHz. No se

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

recomienda realizar el despliegue de una red de banda ancha basada en este estándar, dado que no cumple con los requerimientos de banda frecuencial para ofrecer los servicios necesarios.

- El estándar 802.11a ofrece un throughput efectivo máximo de 30 Mbps por punto de acceso. Dispone de hasta 19 canales no interferentes y utiliza la banda libre de 5 GHz. Hay que destacar que, como para el resto de estándares WiFi 802.11, el estándar no contempla movilidad capa 2 (handover requerido), por lo que se hace necesario en este caso, implementar mecanismos adicionales para aumentar las prestaciones del estándar. Los productos de mercado ofrecen soluciones para reducir el tiempo de handover de forma propietaria, en mayor o menor grado, y por lo tanto el tiempo de handover depende de los fabricantes y de cada solución. Se podría recomendar realizar el despliegue de una red de banda ancha basada en este estándar, dado que cumple con los requerimientos de capacidad, banda frecuencial, seguridad y QoS para ofrecer los servicios necesarios.
- El estándar 802.11n ofrece un throughput efectivo máximo de 100 Mbps por punto de acceso. Puede trabajar simultáneamente en las dos bandas de frecuencia (2,4GHz y 5GHz), el que permite compatibilidad con todas las ediciones de WiFi anteriores (a, b y g). Es necesario destacar, como para el resto de estándares WiFi 802.11, el estándar no contempla movilidad capa 2 (handover requerido), por lo que resulta necesario en este caso, implementar mecanismos adicionales para aumentar las prestaciones del estándar. Los productos de mercado ofrecen soluciones para reducir el tiempo de handover de forma propietaria, en mayor o menor grado, y por lo tanto el tiempo de handover depende de los fabricantes y de cada solución. Se podría recomendar realizar el despliegue de una red de banda ancha basada en este estándar, dado que cumple con los requerimientos de capacidad, banda frecuencial, seguridad y QoS para ofrecer los servicios necesarios.
- El estándar WiMAX (802.16 y 802.16e), permite la certificación de equipamientos únicamente para la banda de 3.5 GHz y para operadores. En consecuencia, sólo se fabrican equipos compatibles con el estándar para operadores que operan en la banda de 3.5 GHz y que pueden optar por lo tanto a la certificación WiMAX, por lo cual, para poder utilizar equipos certificados compatibles con el estándar es necesario hacer un despliegue con dependencia de los operadores. Únicamente

existen soluciones propietarias que operan en la banda libre que toman como referencia los estándares 802.16 y 802.16e. Por todo lo anterior, esta tecnología no se considera recomendable.

10.2.3. Arquitectura tipo del sistema

El sistema de radio para la Línea del Corredor Diagonal Guadalajara (CDG) proporcionará conexiones de datos fiables y de banda ancha entre los equipos del interior de los trenes y los de las vías. Las interfaces externas y la comunicación interna estarán basadas en tecnología IP. Una arquitectura típica se muestra en la siguiente imagen:

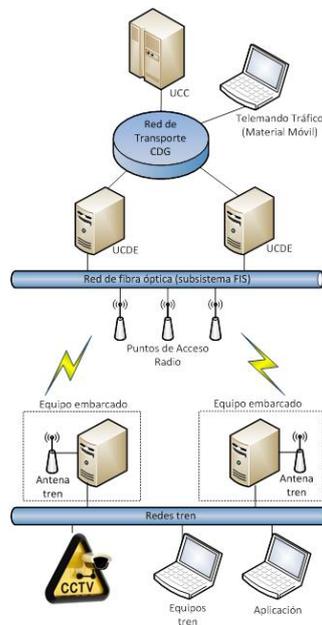


Figura 77. Arquitectura del sistema radio de la Línea

El esquema anterior muestra una arquitectura posible para el sistema de radio de la Línea del Corredor Diagonal Guadalajara. La cobertura de radio está proporcionada por los puntos de acceso radio (PA) en toda la vía. Un PA incluye un ensamblaje de antena, un transceptor de punto de acceso y una caja de conexiones que contiene la alimentación y el conmutador de red. Las EB de una área de radio están conectadas a través de la red de retorno de los puntos de acceso a la unidad de control de radio distribuida en estación (UCDE).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

La UCDE coordina las conexiones de radio a todos los trenes ubicados en el área de radio a través de las EB. Las UCDE de diferentes áreas de radio están conectadas a través de la red troncal de radio. La red troncal de radio también conecta la unidad de control central (UCC), que se utiliza para la configuración y el diagnóstico del sistema. La red troncal de radio también proporciona la interfaz de datos externas para los servicios de las aplicaciones.

Cada tren estará equipado con dos unidades de radio móviles embarcadas en el tren (EET). Una unidad de radio móvil incluirá una antena de tren y una unidad de control de radio móvil. El EET incluirá dos antenas móviles instaladas en el techo y conectadas a través de cables coaxiales con un transceptor de estación móvil instalado cerca. Los equipos de radio embarcados estarán conectados a una LAN de vehículo, que proporciona la interfaz externa de los servicios de las aplicaciones.

10.2.4. Equipamientos principales

El sistema de radio representado en la arquitectura anterior, está formado por cinco elementos básicos:

- Red de Transporte del CDG (RED y FIS)
- UCC: Unidad de control central
- UCDE: Unidad de control distribuida en estación
- PA: Punto de Acceso Radio
- EET: Equipo embarcado en tren

La UCC, o unidad de control central, recoge la información de diagnóstico del sistema radio y proporciona mensajes de control de alto nivel. También realiza funciones de actualización del sistema.

La UCDE, o unidad de control distribuida en estación, se encarga de gestionar el acceso radio de una sección dedicada. La UCDE controla los puntos de acceso que dependen de ella, por medio de una red troncal IP, y que son las que dan la cobertura radio.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 ESTUDIO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA

Los PA, o puntos de acceso radio, están colocadas a lo largo de la vía para cubrir toda la zona de la vía. Cada uno de los puntos de acceso radio está controlado por la UCDE correspondiente y da cobertura radio a una determinada zona del túnel.

El EET, o equipo embarcado en el tren, es el encargado de la transmisión/recepción de datos entre el vehículo y los puntos de acceso.

10.2.4.1. RED y FIS

Existirá interfaz entre la Red de Banda Ancha (BA), y la Red de Transporte del CDG (RED), a nivel de comunicaciones fijas necesarias entre los equipos de lógica de red distribuidos por estaciones y centro de control. Los diferentes equipos de lógica de red del sistema se comunicarán entre sí y con el equipo central instalado a nivel de centro de control, mediante un doble camino Ethernet a través de la red de Transporte del CDG, de tal forma que, ante cualquier problema en el camino principal, la conexión se reestablezca de manera automática por el segundo camino disponible.

Asimismo, el sistema de Radiocomunicaciones de Banda Ancha tendrá interfaz con el sistema FIS del CDG, aportando fibras ópticas dedicadas al sistema para la interconexión entre los puntos de acceso radio distribuidos a lo largo de la vía y los equipos de lógica de red del sistema ubicados en las cámaras técnicas de estaciones.

Se distinguen, por tanto:

- Red de Radio Backbone: permite la conexión entre las unidades de control distribuidas en estación (UCDE) y las unidades de Centro de Control UCC. Es la interfaz del sistema radio con los datos externos.
- Red de PA: permite la conexión de la unidad de control distribuida en estación (UCDE) con todos los puntos de acceso radio que estén asignados a ese UCDE.

10.2.4.2. *Puntos de Acceso Radio (PA)*

Los puntos de acceso radio (PA) se colocarán a lo largo del recorrido de la vía ferroviaria, en función de los resultados del procedimiento de planificación de radio que se realice, para permitir cubrir toda la zona de la vía.

Cada uno de los puntos de acceso radio estará controlado por la UCDE correspondiente, a la que estará conectada a través del switch de estación.

Las principales funciones de los puntos de acceso son las siguientes:

- Proporciona la interfaz de radio con la vía a través de antenas directivas.
- Comunicación con la red de datos multiservicio (RED)

A nivel de hardware las EB están formadas por los siguientes elementos:

- Caja de conexiones para la fibra óptica y el cableado eléctrico.
- Antenas directivas y el cableado de conexión entre estas y la EB.
- Transmisor-receptor en la banda seleccionada (5,5 GHz), que se puede instalar en la misma caja en la que se realizan las conexiones.

10.2.4.3. *Antenas de PA*

El tipo de antenas de EB que se utilice dependerá en gran medida de la zona a cubrir. A fin de superar las restricciones de espacio siempre presentes en los túneles, las antenas deberán ser pequeñas y robustas.

En el túnel se propone que la antena se instale en polarización vertical fuera del gálibo del túnel, en el hastial del mismo o en las paredes del túnel según el tipo de antena y según su diagrama de radiación. En cualquier caso la antena se debe instalar lo más próxima posible al punto de acceso radio correspondiente, para evitar pérdidas significativas por atenuación del cable coaxial, y guardando una distancia mínima de 20 cm con respecto a la catenaria.

La ganancia de estas antenas se estima debe ser 18-19 dBi.

En las estaciones y los tramos curvos al aire libre se utilizarán antenas con un patrón de radiación horizontal más amplio, pero directivo. Por lo tanto, la ganancia será ligeramente inferior a las antenas propuestas para túnel (16 dBi) ya que las antenas de túnel son mucho más directivas (lóbulo principal más estrecho). Asimismo, se propone instalar estas antenas sobre los postes de catenaria por encima de la altura del tren y respetando las distancias con respecto de la catenaria.

10.2.4.4. *Equipos en Centros de Control*

10.2.4.4.1 **Unidad de control distribuida en estación (UCDE)**

La UCDE controla el acceso radio en una sección radio exclusiva. La cobertura de la sección de radio se obtiene a partir de una serie de puntos de acceso radio controladas por la UCDE.

Puede estar instalado a nivel de estación o bien en el Centro de Control (depende del fabricante).

La UCDE está conectada a los puntos de acceso radio a través de una red troncal basada en tecnología IP. Las UCDE y la UCC están interconectadas a través de una red IP. La UCDE funciona como un dispositivo de encaminamiento entre la UCC y la EB correspondiente.

Funciones básicas:

- Unidad de control de la vía / sistema de radio específico de la línea de metro.
- Interfaz con los subsistemas externos específicos en vía.
- Control de la red que interconecta las EB.
- Enrutamiento dinámico de los datos procedentes y dirigidos a sistemas de radio móviles.
- Gestión del roaming-handover por cambio de enlace radio de una EB a otra.

10.2.4.4.2 Unidad de control central (UCC)

La UCC controla la información de diagnóstico del sistema de radio. Además, la UCC también se puede emplear para actualizar la configuración del sistema.

Funciones básicas:

- Interfaces de diagnóstico.
- Base de datos.
- Actualización de la configuración de los equipos que forma la arquitectura de la red.

10.2.4.5. Equipo embarcado en el tren (EET)

El equipamiento embarcado en cada cabina de un tren estará compuesto principalmente por dos elementos:

- Equipo radio embarcado.
- Sistema radiante (antenas).

Todos los componentes del equipo embarcado deben tener una interfaz Ethernet basada en IP para facilitar la integración con otras infraestructuras de redes IP y con los servicios que utilizarán la red.

10.2.4.5.1 Equipo radio embarcado

Funciones básicas:

- El módulo embarcado del sistema radio servirá de Interfaz radio entre el tren y la vía.
- Este módulo también realizará las funciones de control del sistema radio embarcado en el tren, sirviendo de interfaz con los subsistemas externos del tren y permitiendo el enrutamiento dinámico de los datos procedentes y dirigidos al sistema de radio de la vía.

Para poder mantener unas comunicaciones robustas y sólidas en un entorno donde se producen muchas reflexiones del señal, el transceptor utiliza modulación OFDM, multiplexación por división ortogonal de frecuencias.

En este caso es prescriptivo que el transceptor disponga de dos salidas de antena, de manera que la cadena de recepción del transceptor esté duplicada. De esta forma el sistema de recepción podrá seleccionar la mejor recepción entre las dos cadenas de recepción.

10.2.4.5.2 Sistema radiante embarcado

En el montaje de la antena en el tren se utilizan dos antenas con diversidad espacial en polarización vertical situadas en la parte delantera de cada cabina de tren tractora (en cada sentido de circulación). En total se instalarán un total de cuatro antenas para cada tren.

La antena a utilizar en este entorno es preferible que sea de tipo directiva y se aconseja que sea en forma de aleta para ir colocada en el techo de tren.

Las características principales de la antena en forma de aleta son las siguientes:

- Aprobada para su aplicación en ferrocarriles.
- Antena directiva para varios rangos de frecuencia con ganancias de hasta 12 dBi.

Este equipo tiene la función de realizar la interfaz de radio entre el tren y la vía.

APÉNDICE 1. PERFIL LONGITUDINAL DE LA LÍNEA

En el presente apéndice se presenta el trazado longitudinal de la línea de metro ligero para la ciudad de Guadalajara. Éste muestra de forma segmentada y ordenada según punto kilométrico creciente, las capturas correspondientes a los tramos entre estaciones que conforman la línea, según se indica en la lista siguiente:

- Periférico Zapopan – Belenes
- Belenes - Mercado del Mar
- Mercado del Mar – Basílica
- Basílica – Plaza Patria
- Plaza Patria – Circunvalación
- Circunvalación – Federalismo
- Federalismo – Alcalde
- Alcalde – Normal
- Normal – Catedral
- Catedral – Independencia Sur
- Independencia Sur – Plaza de la Bandera
- Plaza de la Bandera – Cucei U. de G.
- Cucei U. de G. – Plaza Revolución
- Plaza Revolución – Río Nilo
- Río Nilo – Tlaquepaque Centro
- Tlaquepaque Centro – Nodo Revolución
- Nodo Revolución – Central Camionera

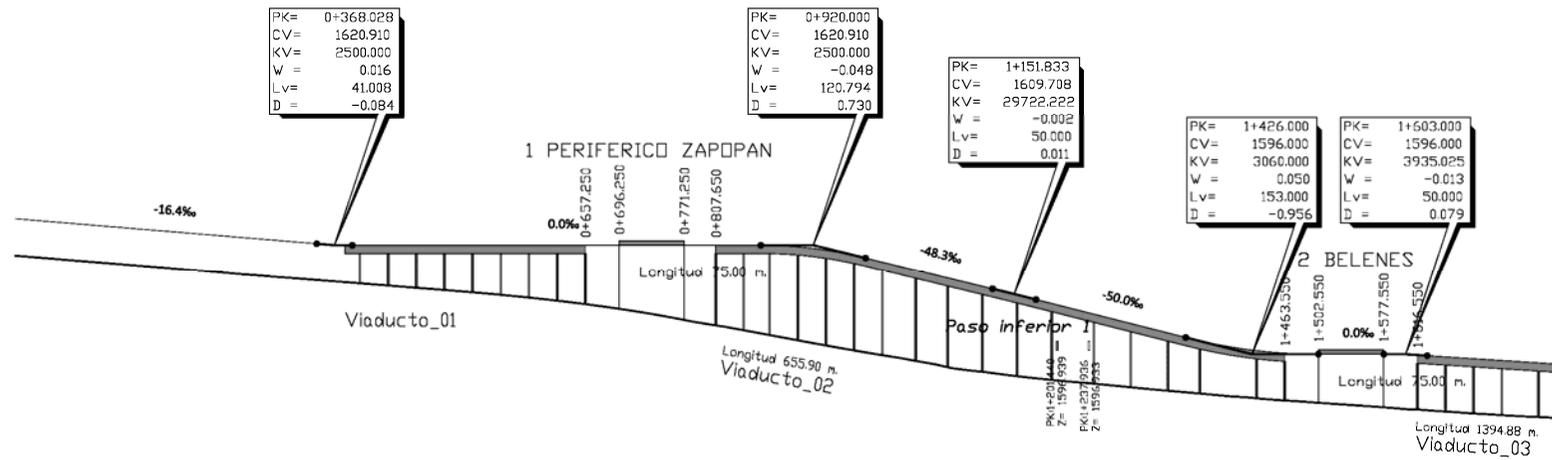
A lo largo del perfil longitudinal pueden observarse una serie de cuadros que marcan el inicio y fin de segmentos con gradiente constante. Por tanto, dichos cuadros marcan puntos donde existe un cambio en el perfil del trazado (rampas o pendientes).

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

Además de las transiciones en el perfil, se han indicado los puntos kilométricos (PK) de inicio y fin de estación, así como otros puntos de interés relacionados con la línea.

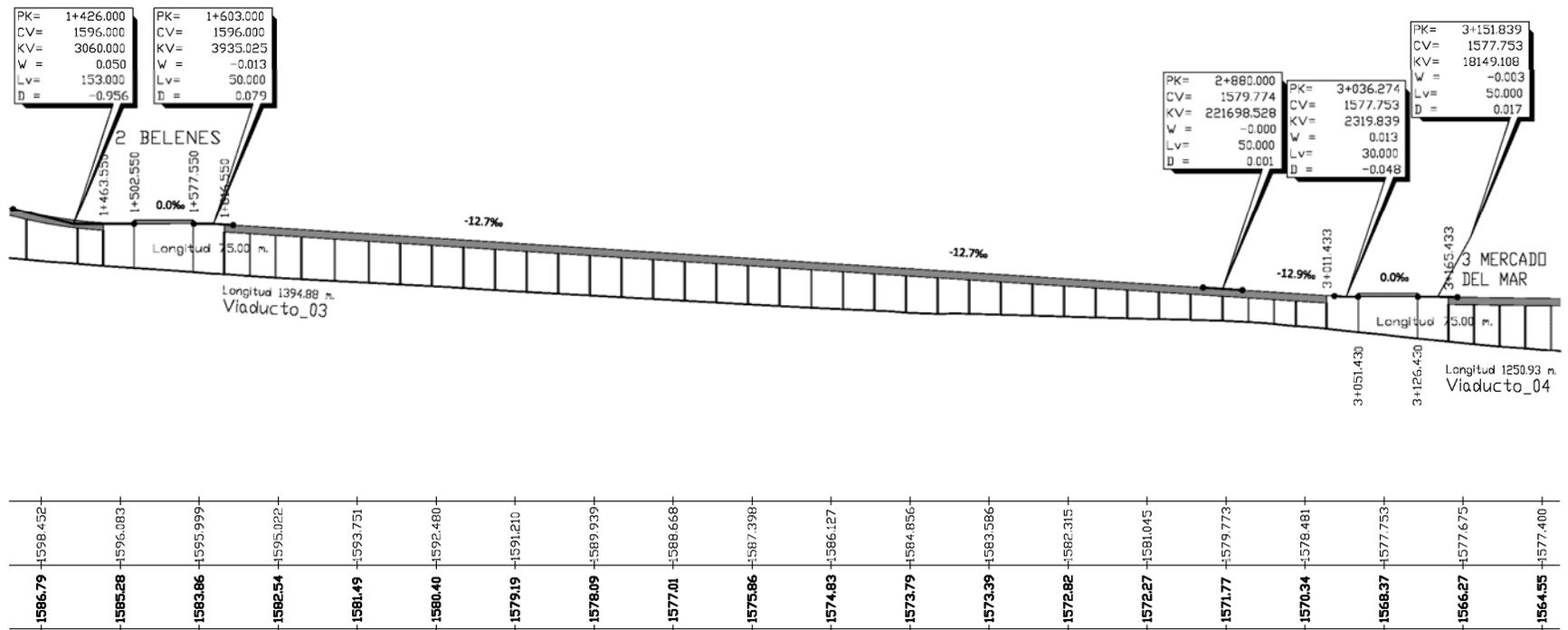
En la zona baja de cada captura, pueden observarse dos líneas de cota, donde la hilera superior corresponde a la cota a nivel de viaducto para ese punto, mientras que la hilera inferior corresponde a la cota a nivel de terreno para el mismo. Así pues, puede extraerse de una forma sencilla la altura del viaducto en cada punto marcado del trazado.

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

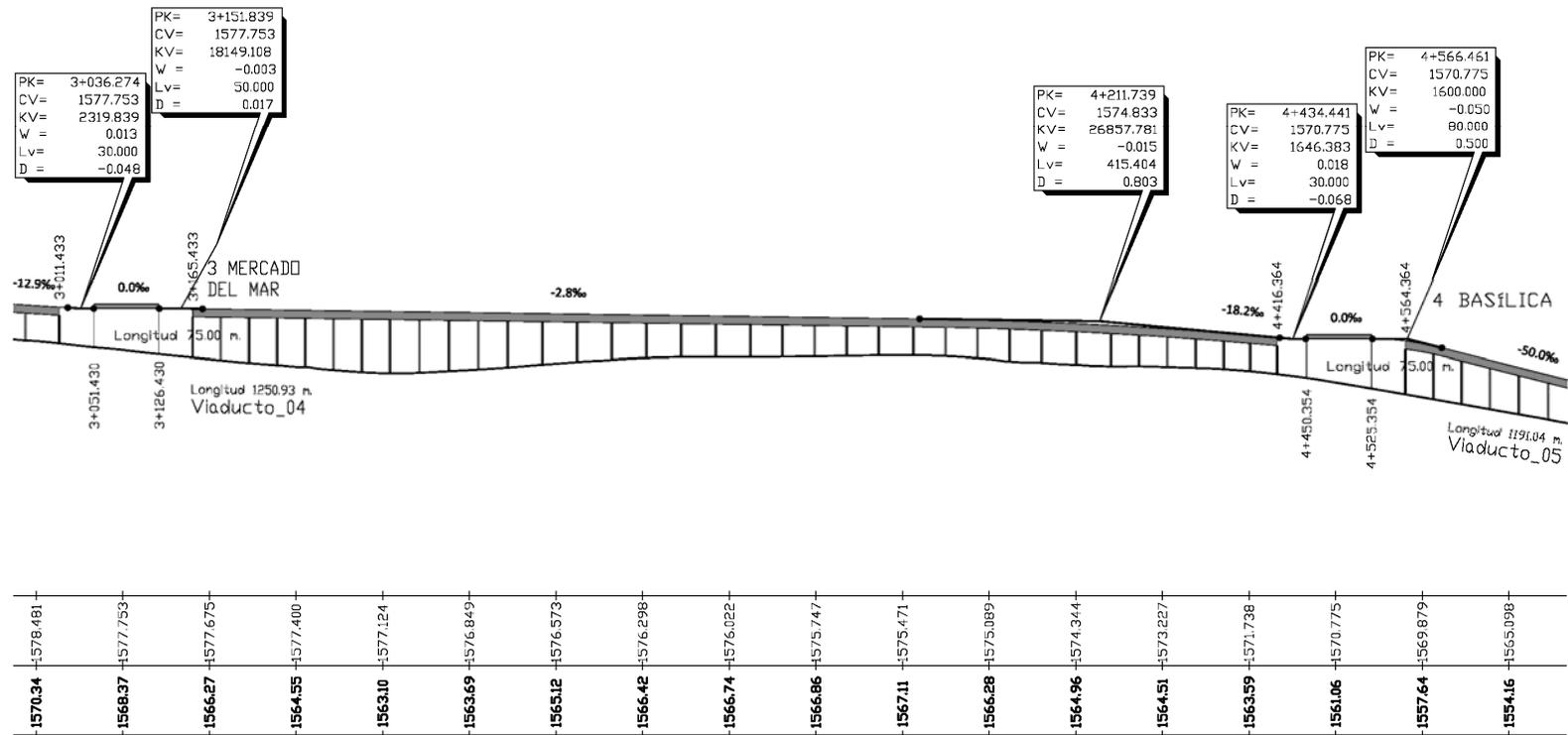


ORDENADAS	Elevaciones (m)														
	RASANTE	1620.925	1620.910	1620.910	1620.910	1620.910	1620.827	1618.011	1613.179	1590.300	1603.300	1598.452	1596.083	1595.999	1595.022
TERRENO	1612.41	1610.65	1609.14	1606.79	1603.44	1600.00	1596.43	1592.82	1590.48	1588.60	1586.79	1585.28	1583.86	1582.54	

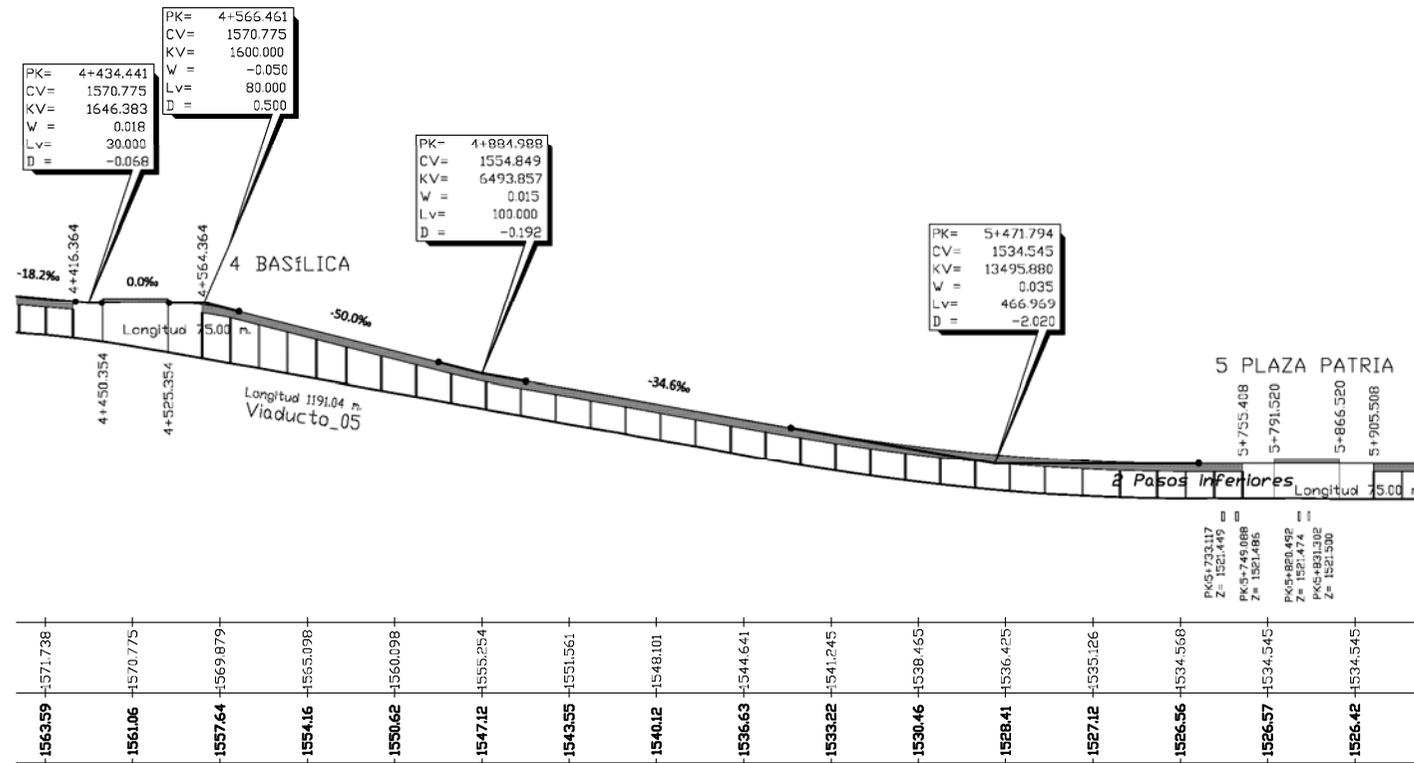
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



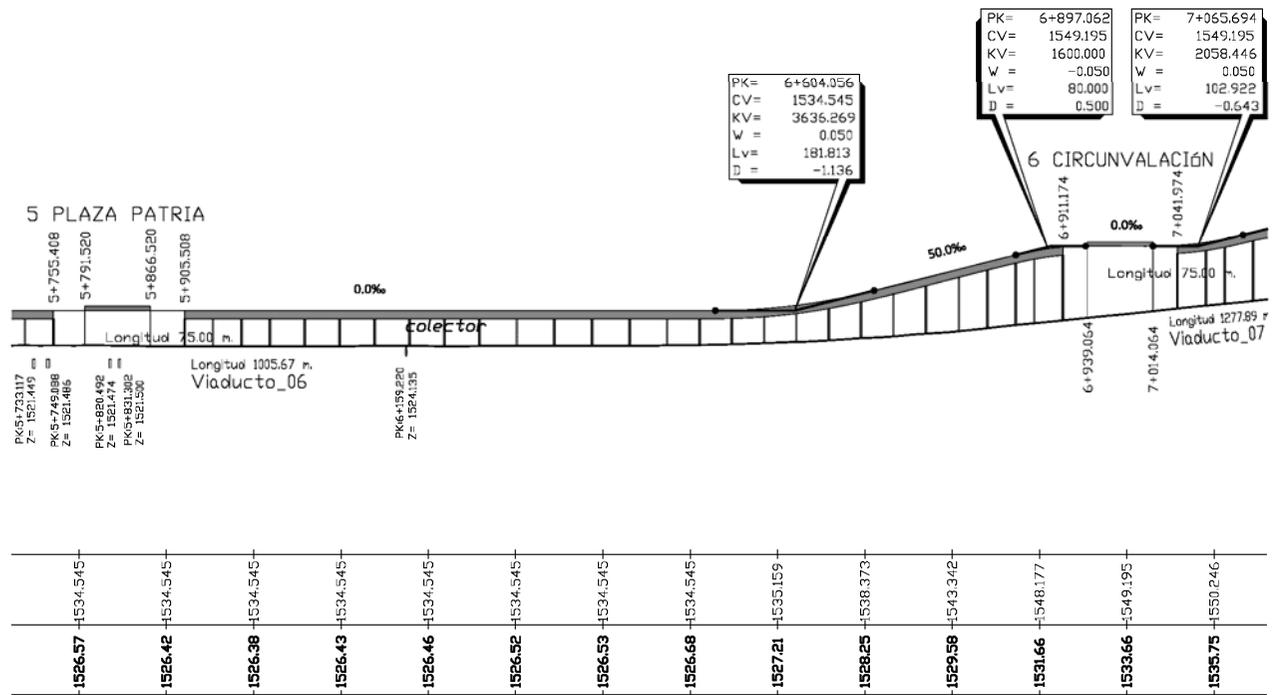
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



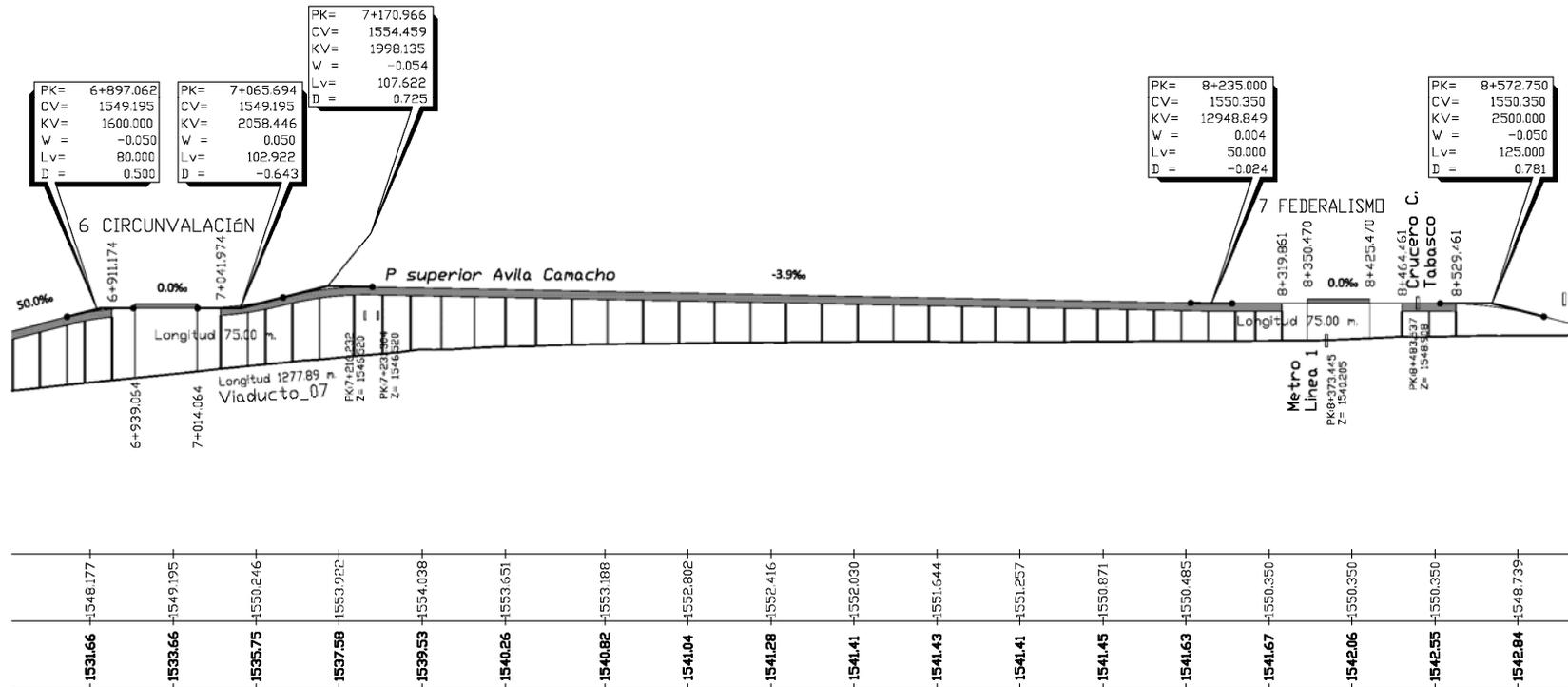
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



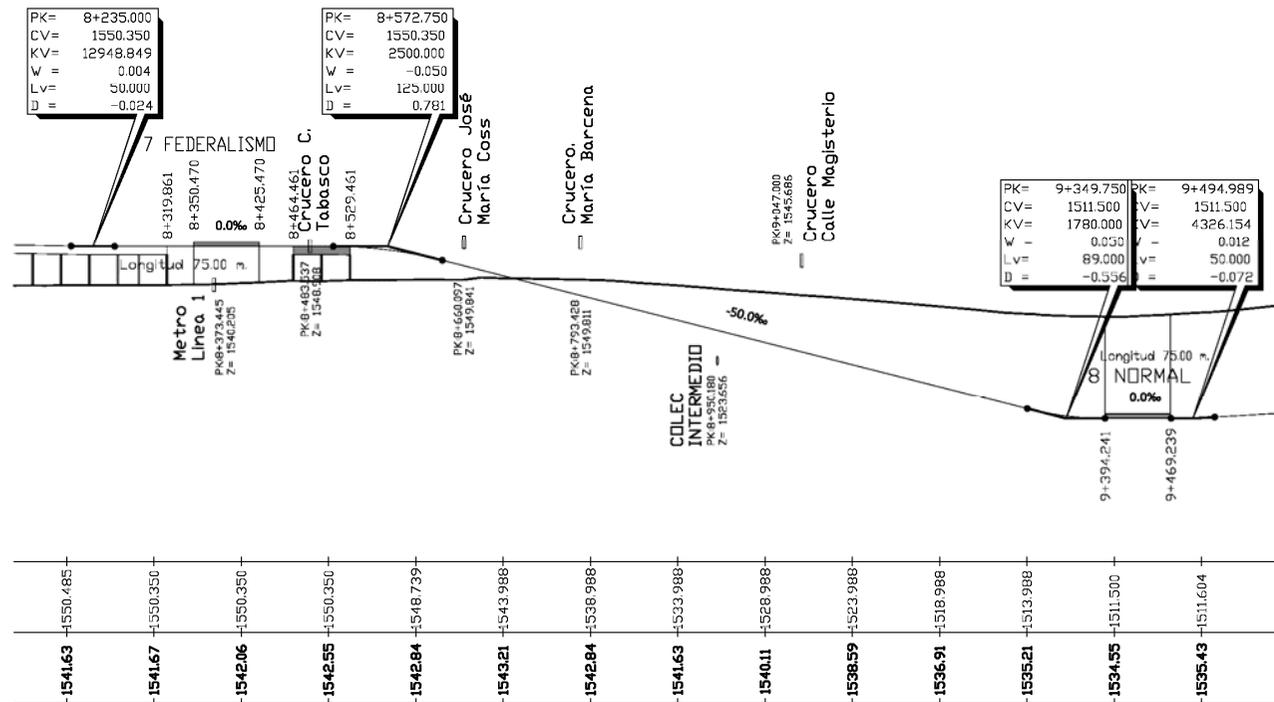
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



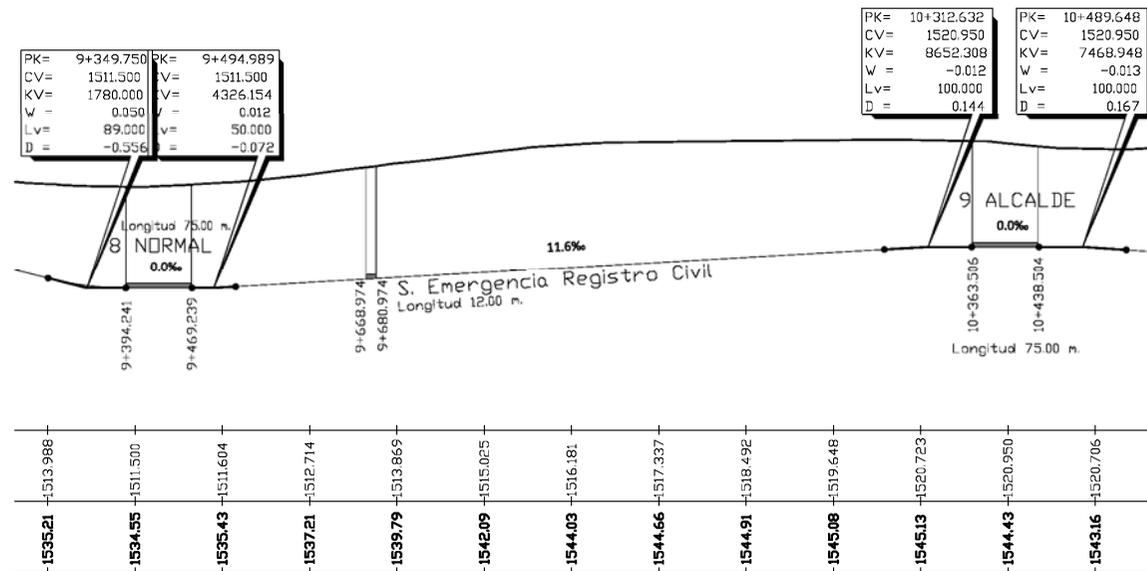
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



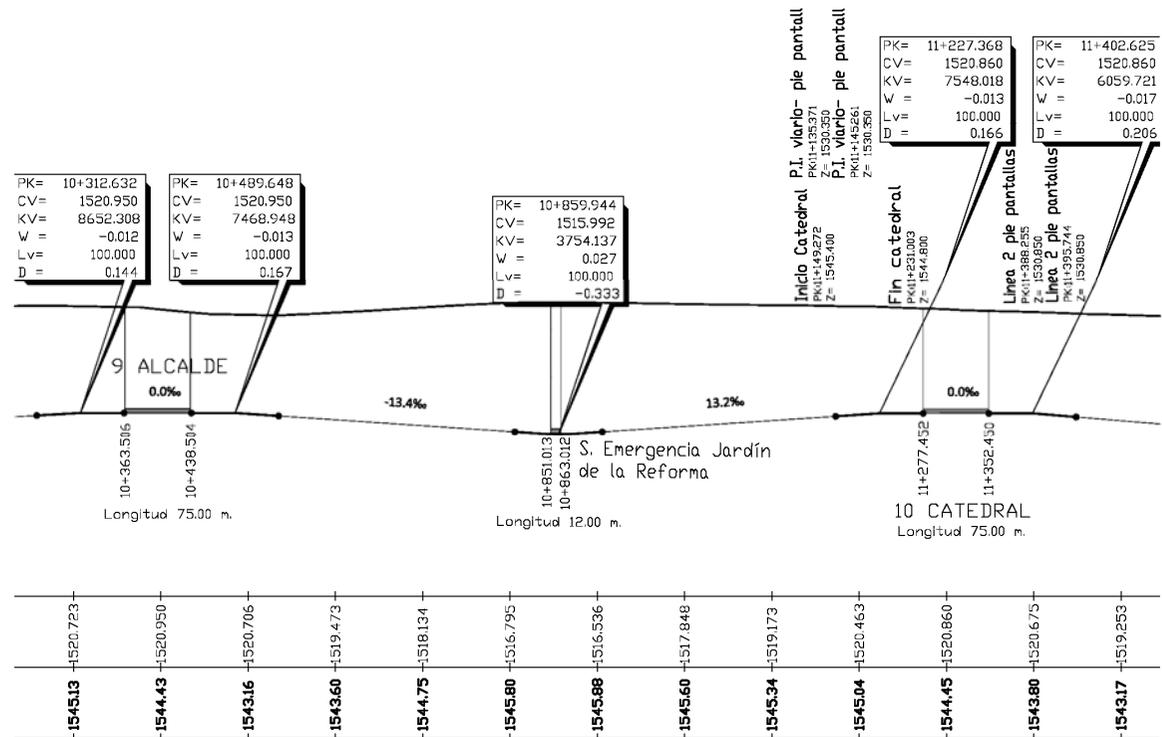
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



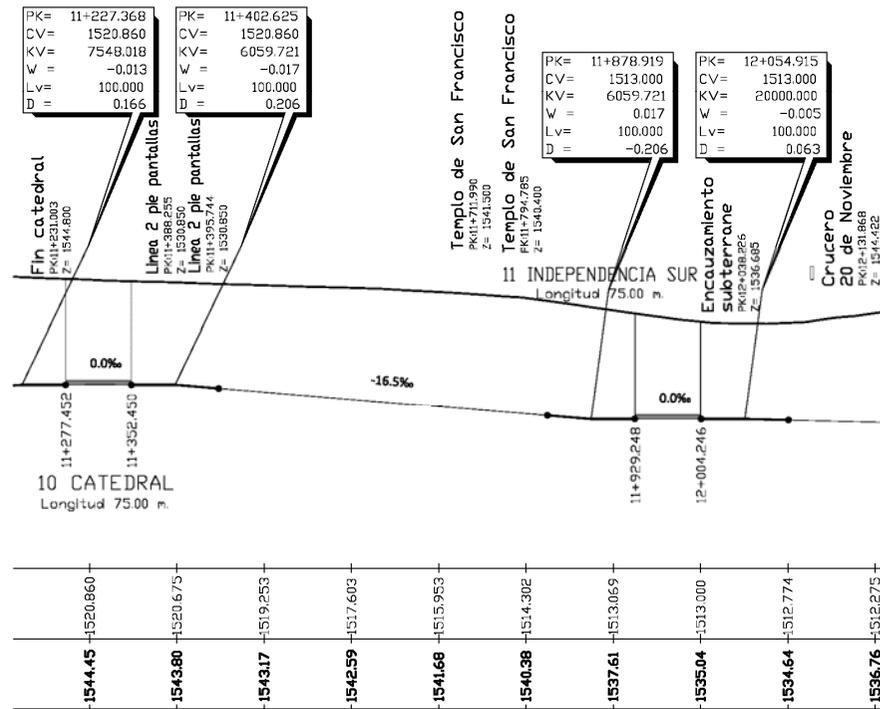
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



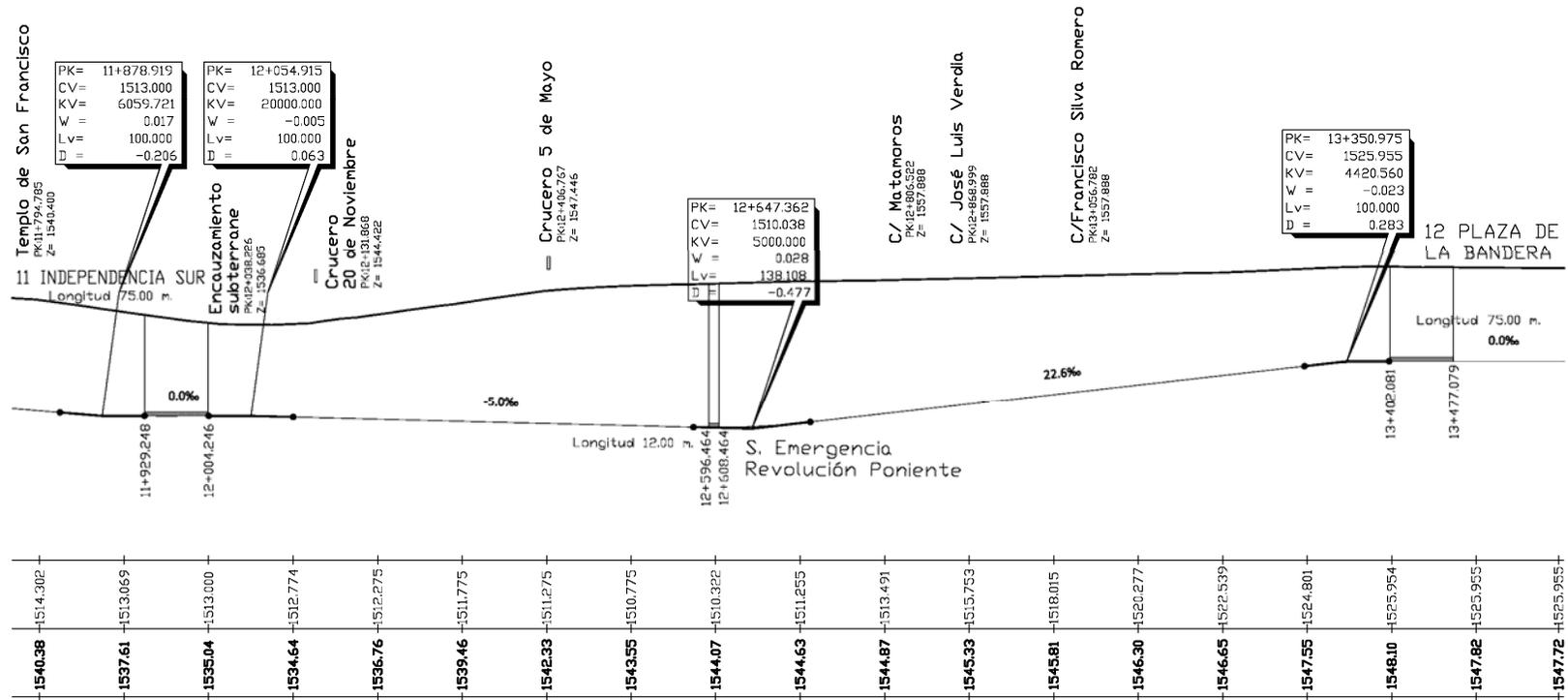
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

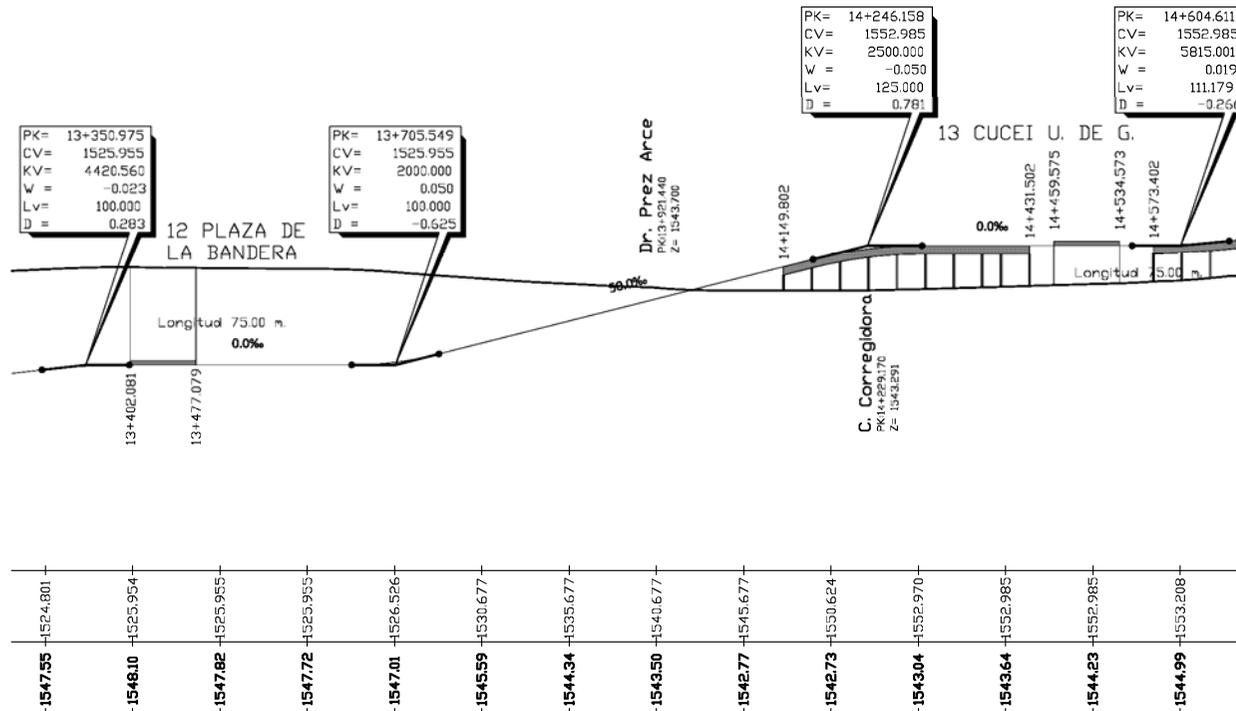


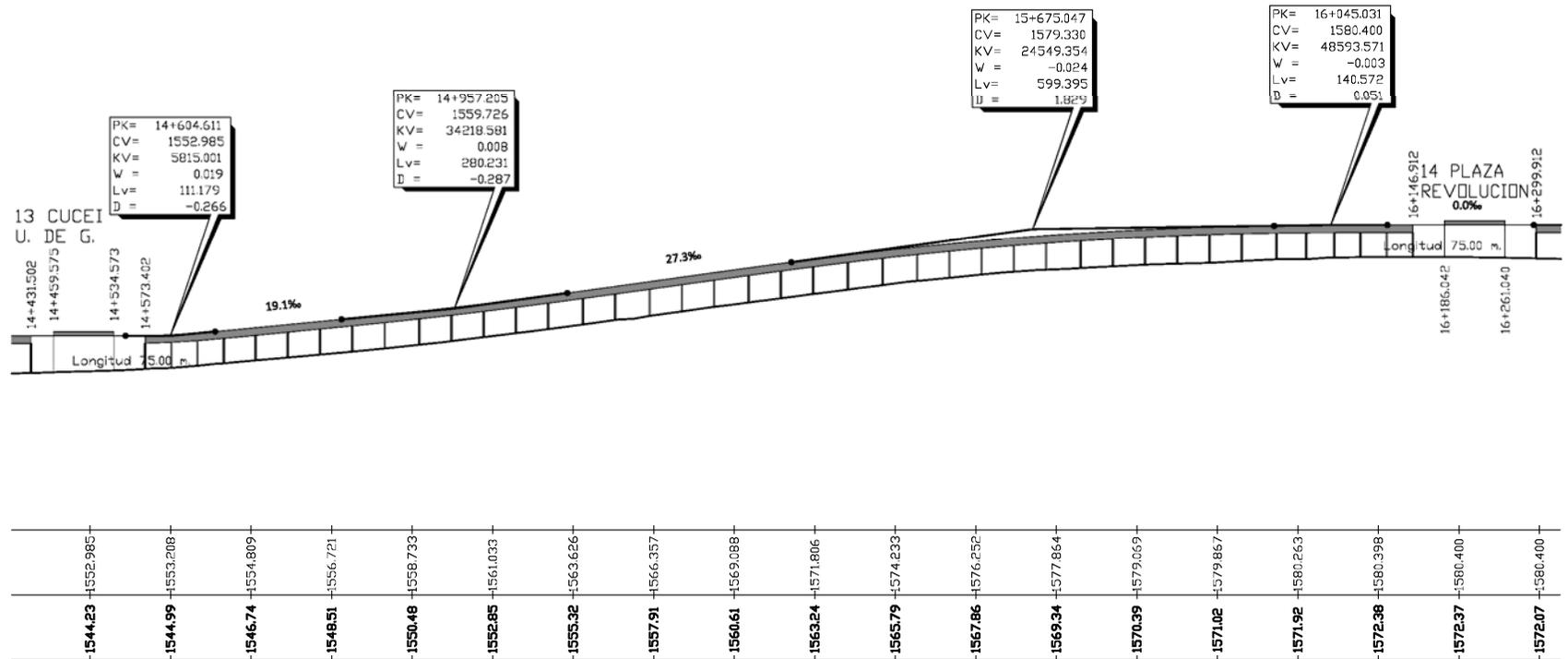
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



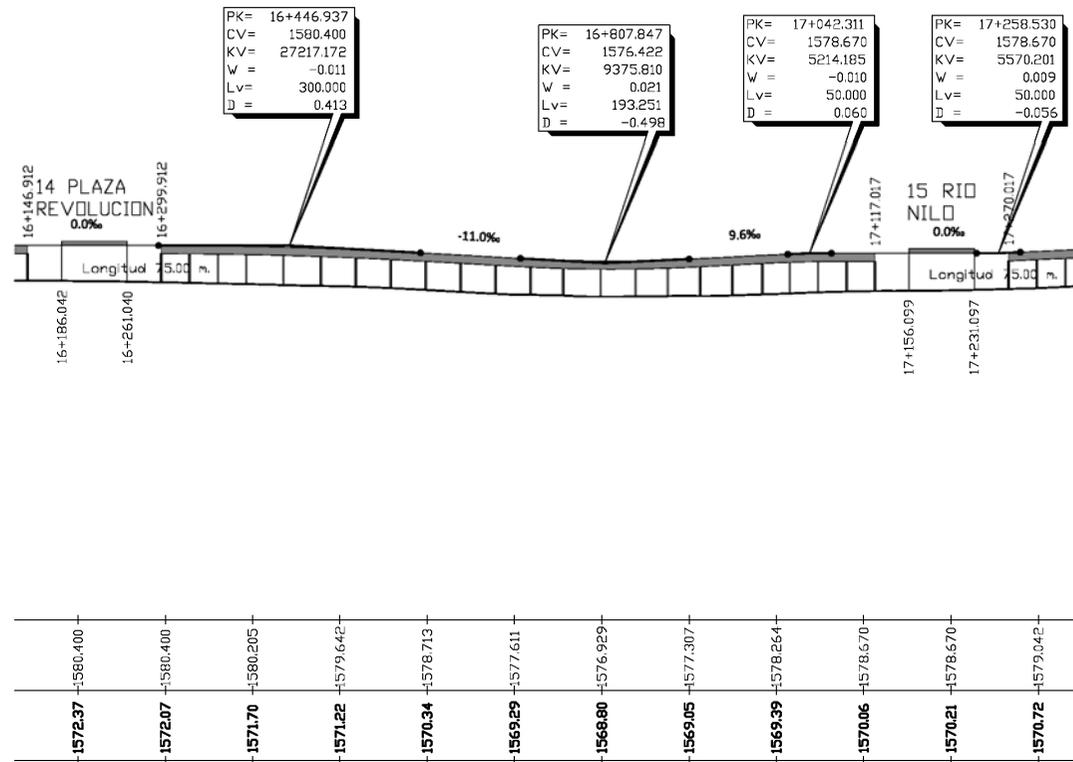
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

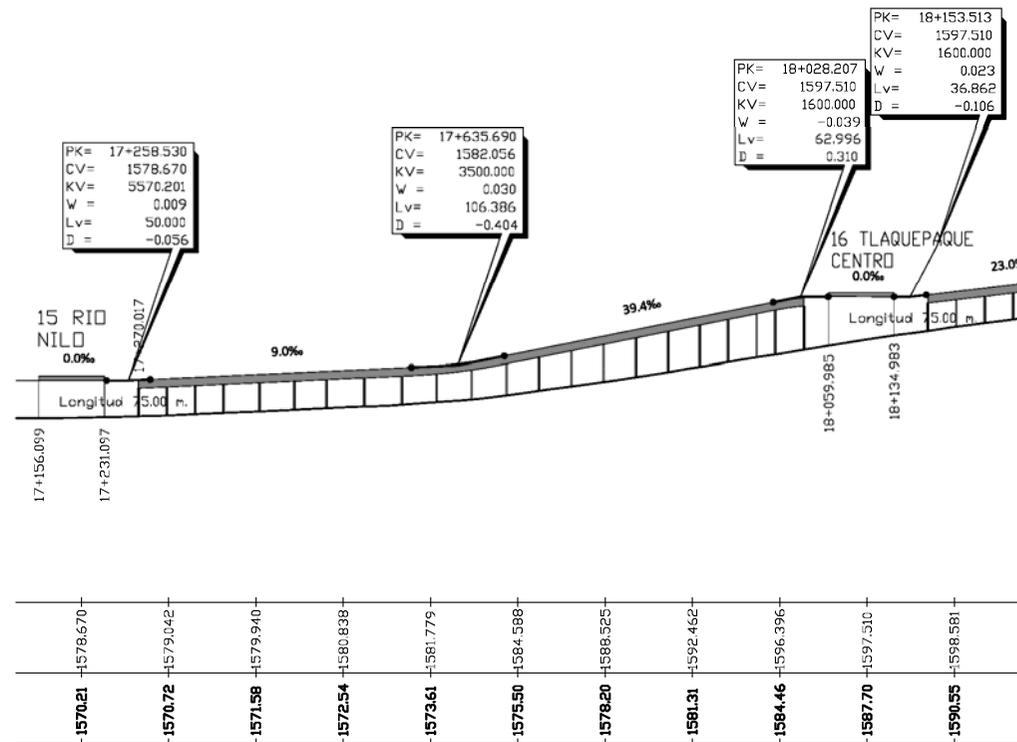


DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica


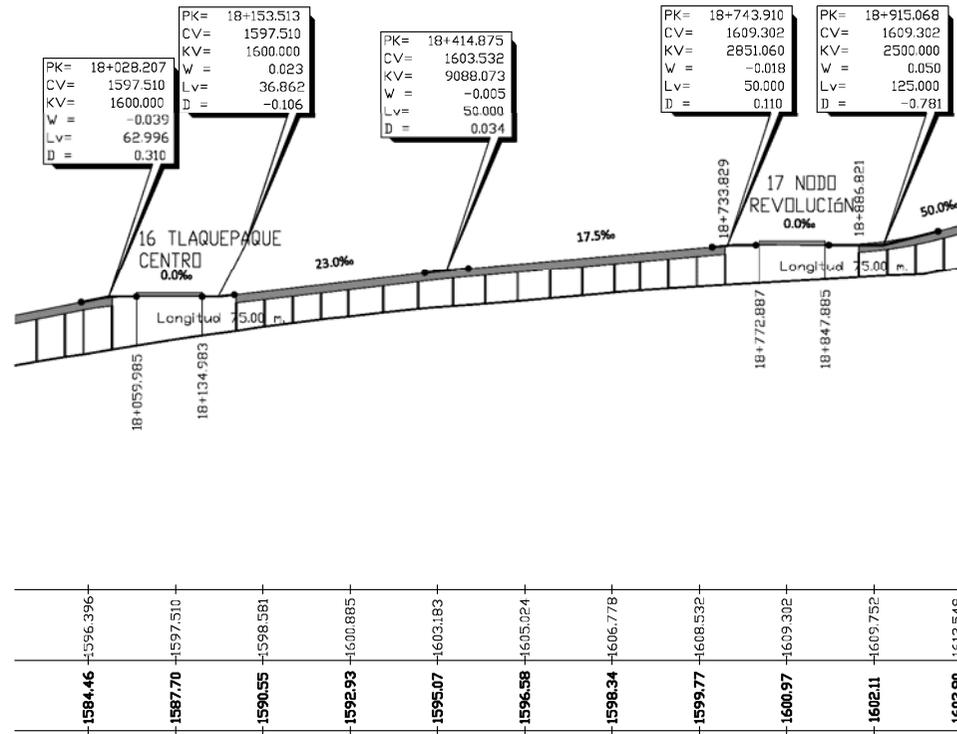
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica


DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

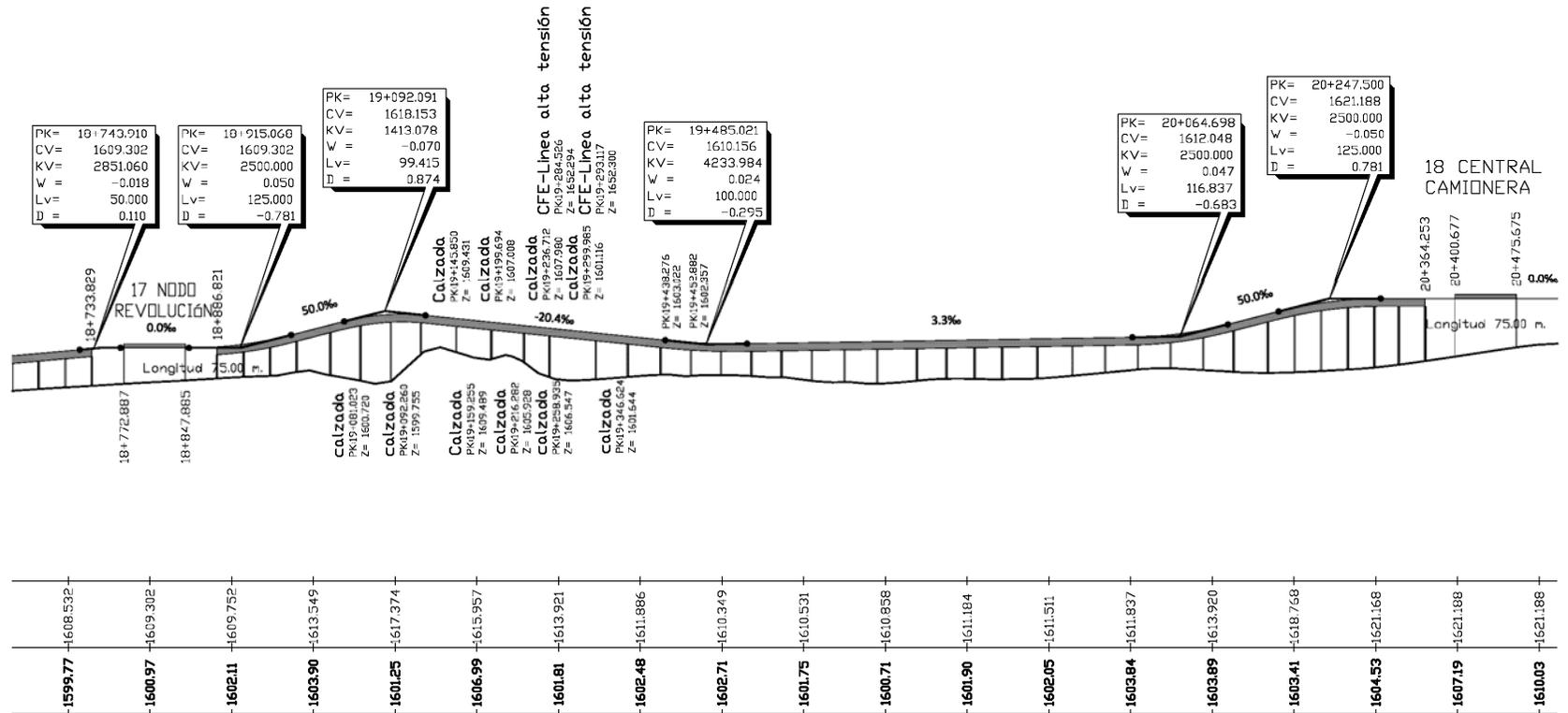


DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica


DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



APÉNDICE 2. BALANCE DE POTENCIA Y ESQUEMA PRELIMINAR DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPAMIENTO PARA EL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA

1.1. SIMBOLOGÍA APLICADA

Para poder entender los esquemas de diseño y distribución preliminar de equipos de la red de radiocomunicaciones TETRA sobre la que se ha calculado el balance de potencias de la Línea, en este apartado se hace una breve explicación de los diferentes elementos, simbologías y nomenclaturas utilizados.

Transceptor TETRA



Estación base TETRA (410-430 MHz TBS), con indicación de n^o de orden de la fuente (F1). El color de fondo de cada TBS marca la propagación de su señal RF de modo que se pueda identificar con el mismo color el margen de potencia disponible de esta TBS en cada punto analizado (cada 3 estaciones se repite el color utilizado siguiendo la secuencia verde - marrón - amarillo).

Antenas exteriores



Antena directiva outdoor tipo panel: Ganancia de 9.5 dBd, ancho de haz 37° en Plano E y de 68° en Plano H.

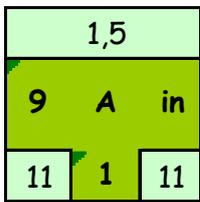
Antenas interiores



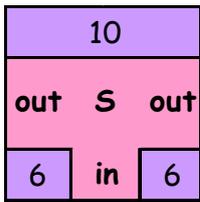
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

Antena indoor omnidireccional para falso techo: Ganancia de 0 dBd, ancho de haz 360 ° en Plano E y de 180° en E (90° a 270°).

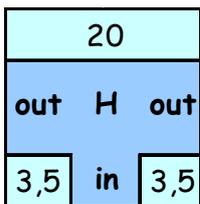
Elementos pasivos para la distribución de señal



Elemento Acoplador Asimétrico. Los números representan la atenuación teórica en dBs entre entradas y salidas (1,5 dB entre "in" y "9" y 11,5 dB entre el resto de puentes).



Elemento Acoplador Simétrico. Los números representan la atenuación teórica en dB s entre entradas y salidas (6 dB entre "in" y "out" y 10 dB entre "outs").



Elemento Repartidor Híbrido. Los números representan la atenuación teórica en dB s entre entradas y salidas (3,5 dB entre "in" y "out" y 20 dB entre "outs").



Carga de 50 ohmios.

= 0,5

Bloqueo de continua. El número representa las pérdidas de inserción teóricas (en dB).

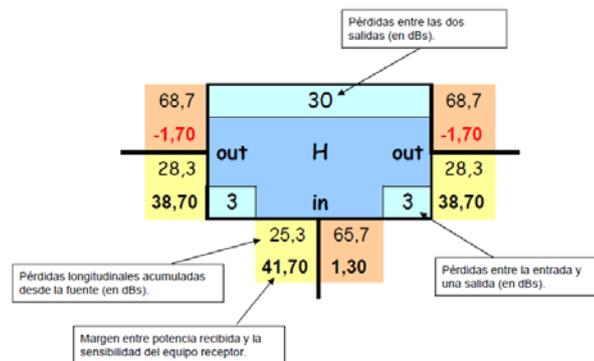
Cableado

Cable Radiante 1 ¼”: Pérdidas relacionadas con el acoplamiento de 59 dB. Pérdidas relacionadas con la inserción de 0.021 dB/m.

Cable Radiante ½”: Pérdidas relacionadas con el acoplamiento de 66 dB. Pérdidas relacionadas con la inserción de 0.057 dB/m.

Cable coaxial ½”: Pérdidas relacionadas con la inserción de 0.047 dB/m.

Para la caracterización de los márgenes entre la potencia recibida y la sensibilidad del equipo receptor, así como las pérdidas en diferentes puntos del equipo, se ha optado por seguir la siguiente distribución:





SENERMEX Ingeniería y Sistemas SA de



Consultoría en Tránsito y Transportes SC

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

A continuación se presentan los esquemas correspondientes al balance de potencia calculado. Los esquemas se muestran a nivel de tramo para facilitar la comprensión de los cálculos realizados y para poder visualizar mejor los resultados obtenidos.



SENERMEX Ingeniería y Sistemas SA de

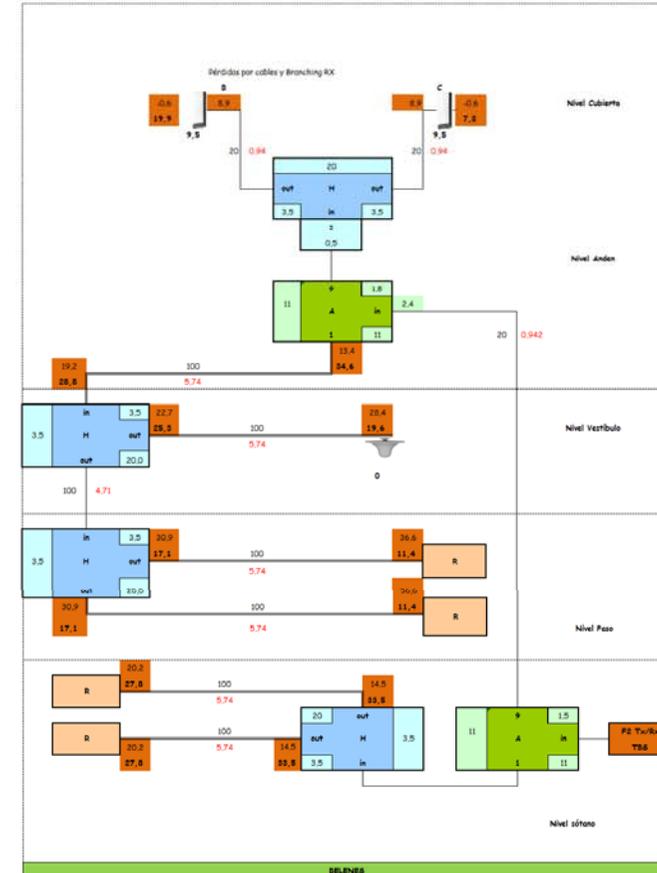
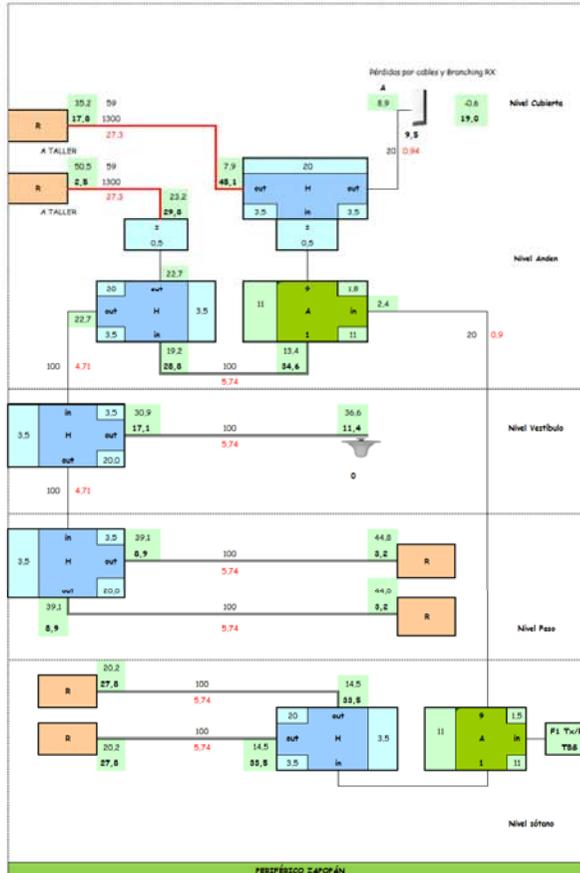


Consultoría en Tránsito y Transportes SC

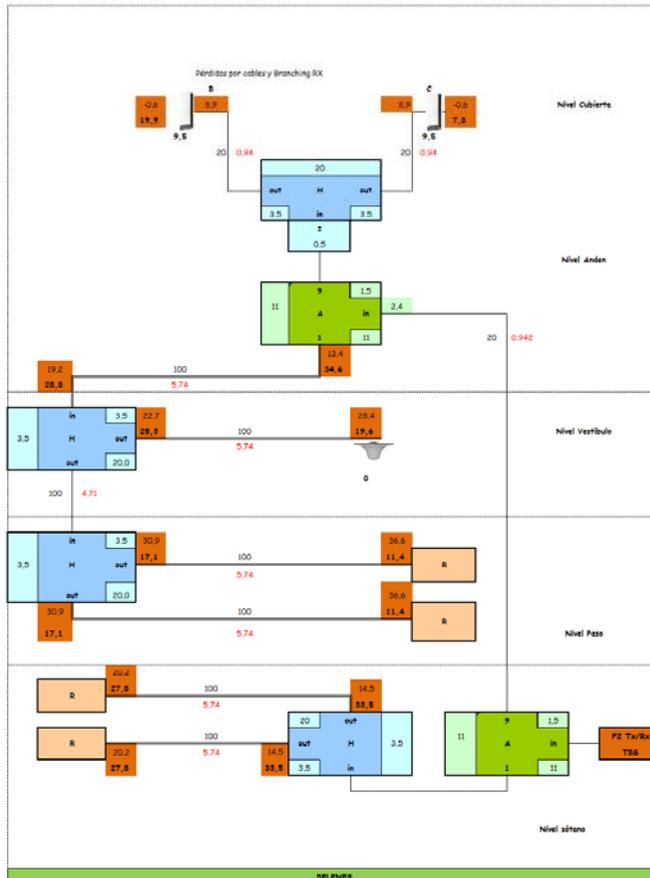
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica

1.2. BALANCE DE POTENCIA Y ESQUEMA PRELIMINAR DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPAMIENTO PARA EL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA

DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

D= 1549 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

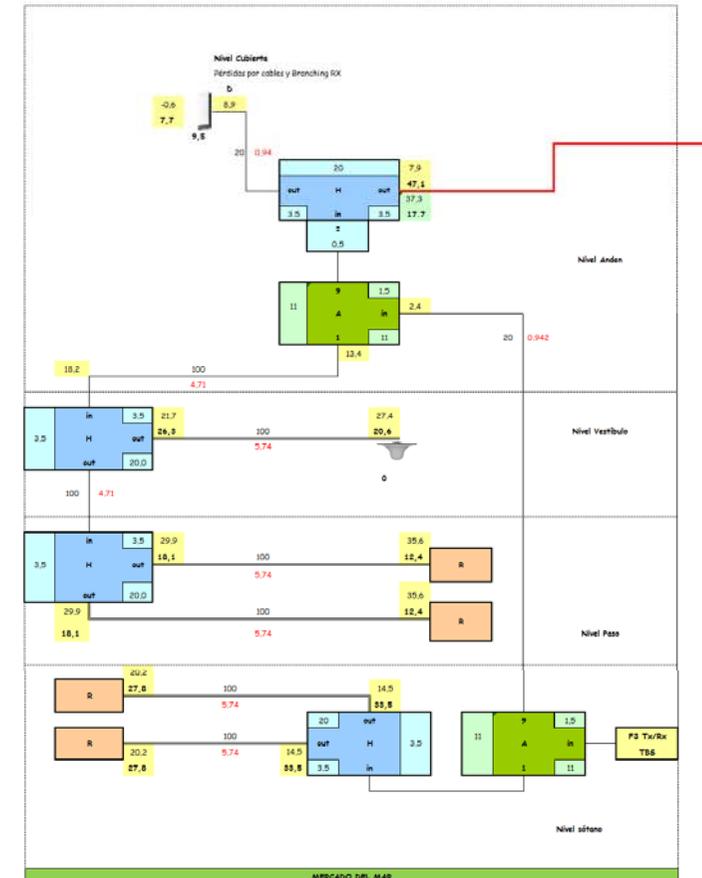
Sensibilidad estática Rx (TBS):	-117 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

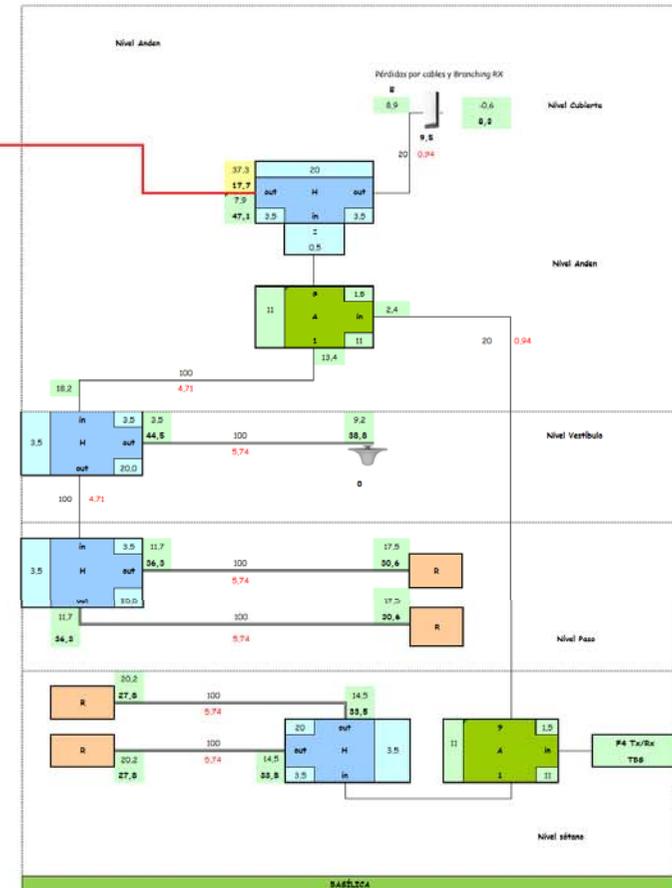
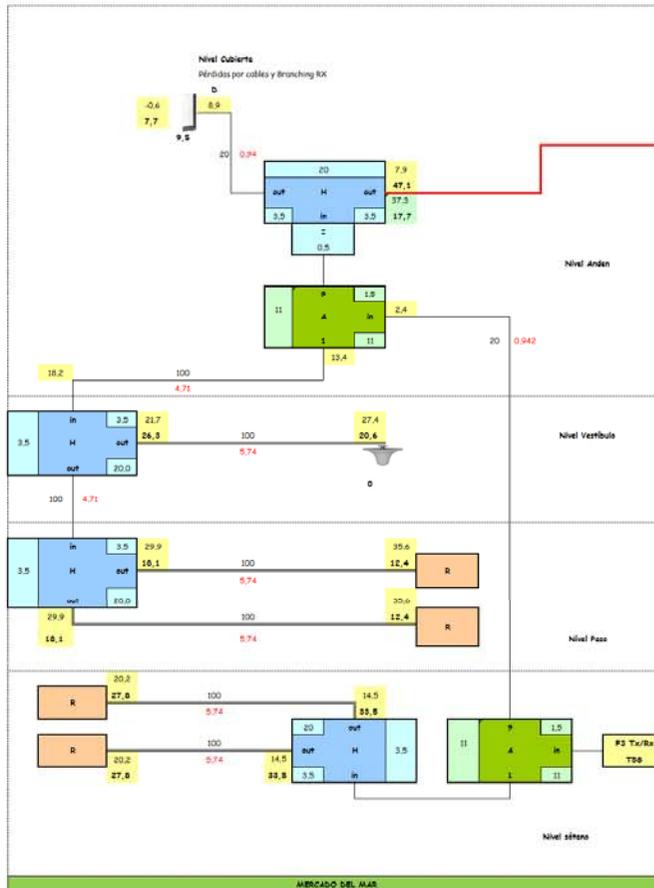
	C Margen Rx	D Margen Rx
Pérdidas por cables y Branching RX:	8,9 dB	8,3 dB
Frecuencia considerada (MHz):	430 MHz	430 MHz
Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande):	9,89 dB	10,78 dB
Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA):	115,3 dB	114,9 dB

Antenas:

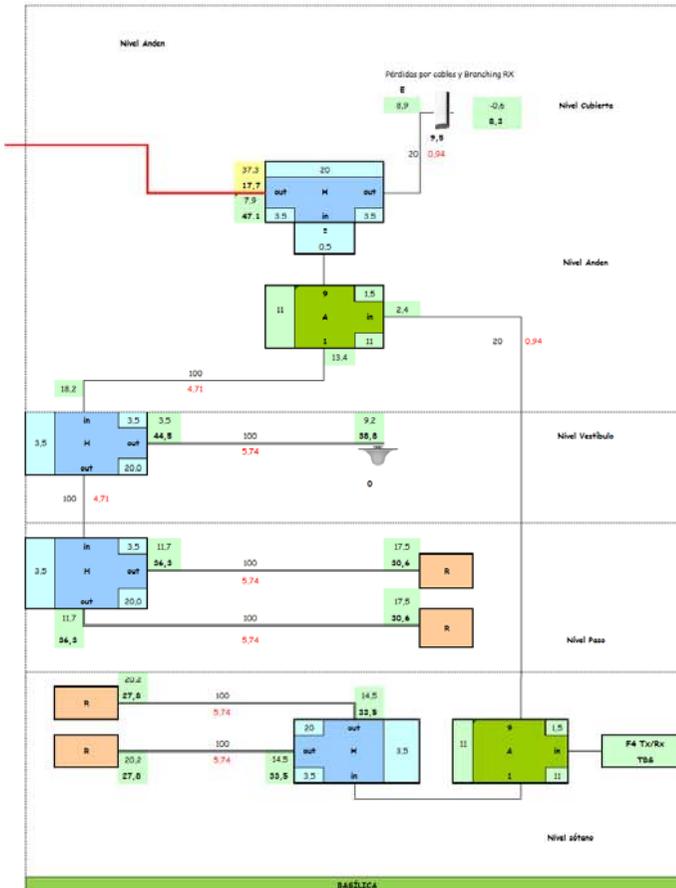
Ganancia Antena terminal Tx (dBi):	-2 dB	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBi):	9,5 dB	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	12,15 m	14,08 m
Altura Total TBS Rx	27,83 m	25,9 m
(antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id. m
Altura Viaducto Tx:	9,65 m	11,58 m
Altura Viaducto Rx:	11,58 m	9,65 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

D= 1341 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

Sensibilidad estática Rx (TBS):	-119 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

Pérdidas por cables y branching RX:

Frecuencia considerada (MHz):

E	F
Margen Rx	Margen Rx
8,9 dB	8,9 dB
430 MHz	430 MHz

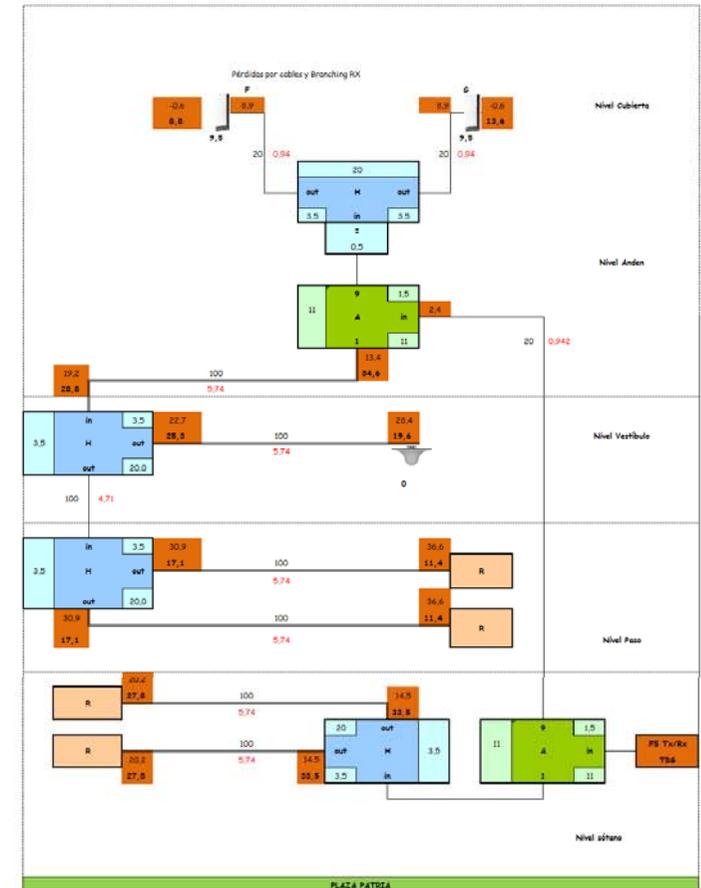
Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande):

Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA):

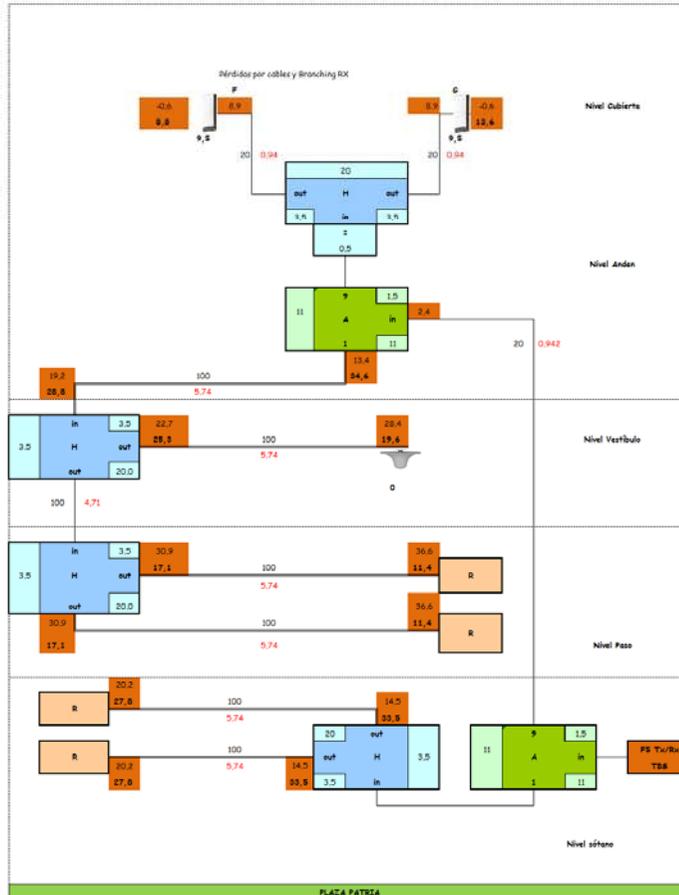
9,04 dB	10,08 dB
114,1 dB	113,8 dB

Antenas:

Ganancia Antena terminal Tx (dBi):	-2 dBi	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBi):	9,5 dBi	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	10,53 m	12,56 m
Altura Total TBS Rx	26,31 m	24,28 m
(antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id. m
Altura Viaducto Tx:	8,03 m	10,06 m
Altura Viaducto Rx:	10,06 m	8,03 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

D= 1148 m

Potencia Tx Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

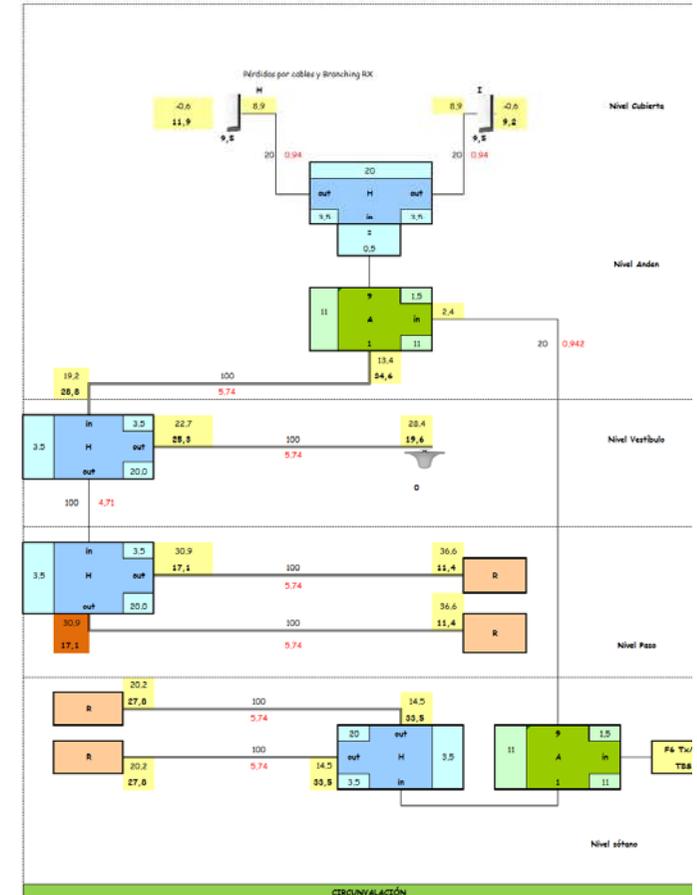
Sensibilidad estática Rx (TBS):	-119 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

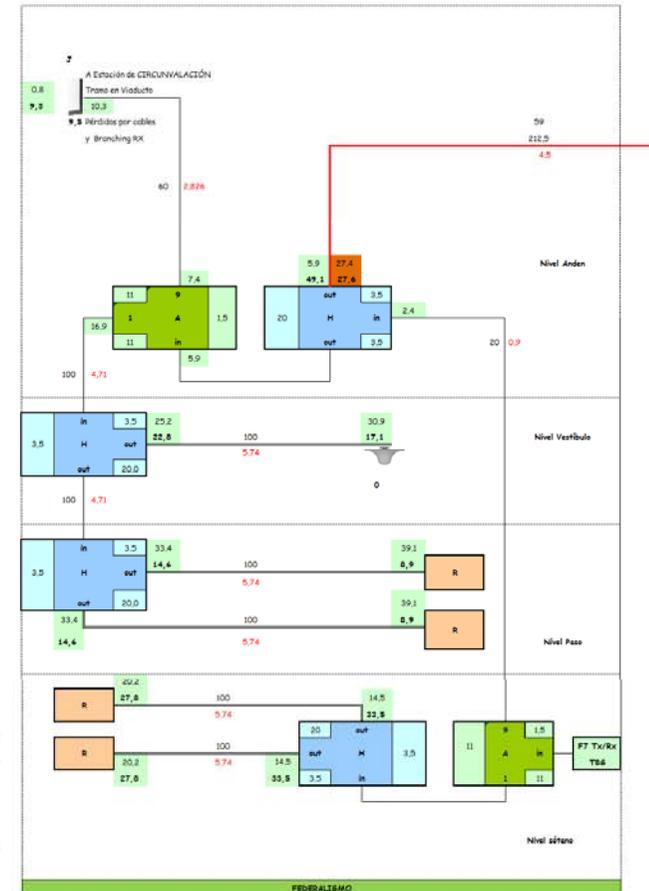
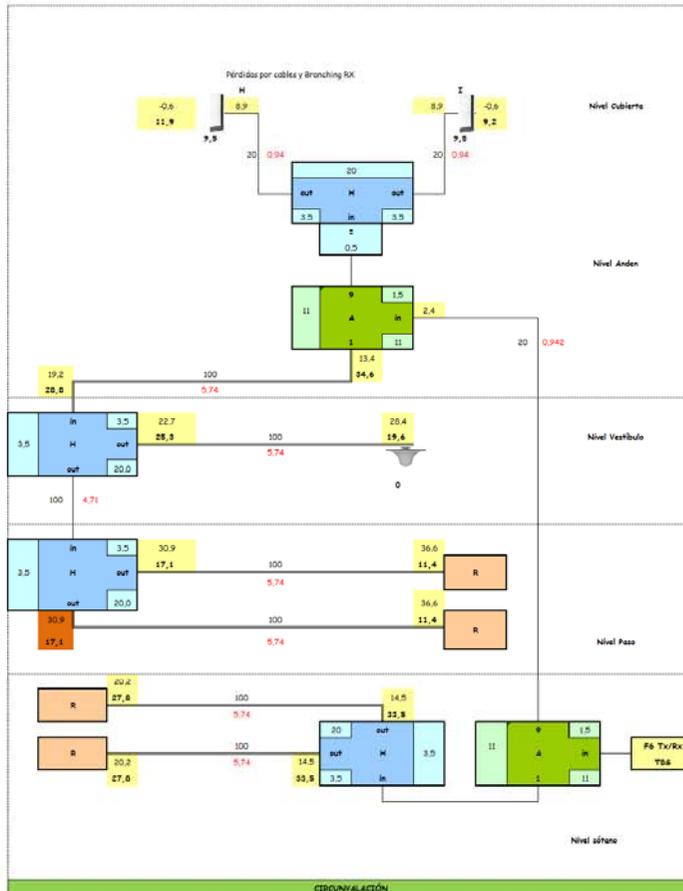
	0	H
Margen Rx	8,9 dB	8,9 dB
Pérdidas por cables y Branching RX:	8,9 dB	8,9 dB
Frecuencia considerada (MHz):	430 MHz	430 MHz
Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande):	12,41 dB	9,04 dB
Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA):	109,0 dB	110,7 dB

Antenas:

Ganancia Antena terminal Tx (dBS):	-2 dB	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBS):	9,5 dB	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	18,215 m	10,53 m
Altura Total TBS Rx (antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)	24,28 m	31,965 m
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id. m
Altura Viaducto Tx:	15,715 m	8,03 m
Altura Viaducto Rx:	8,03 m	15,715 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



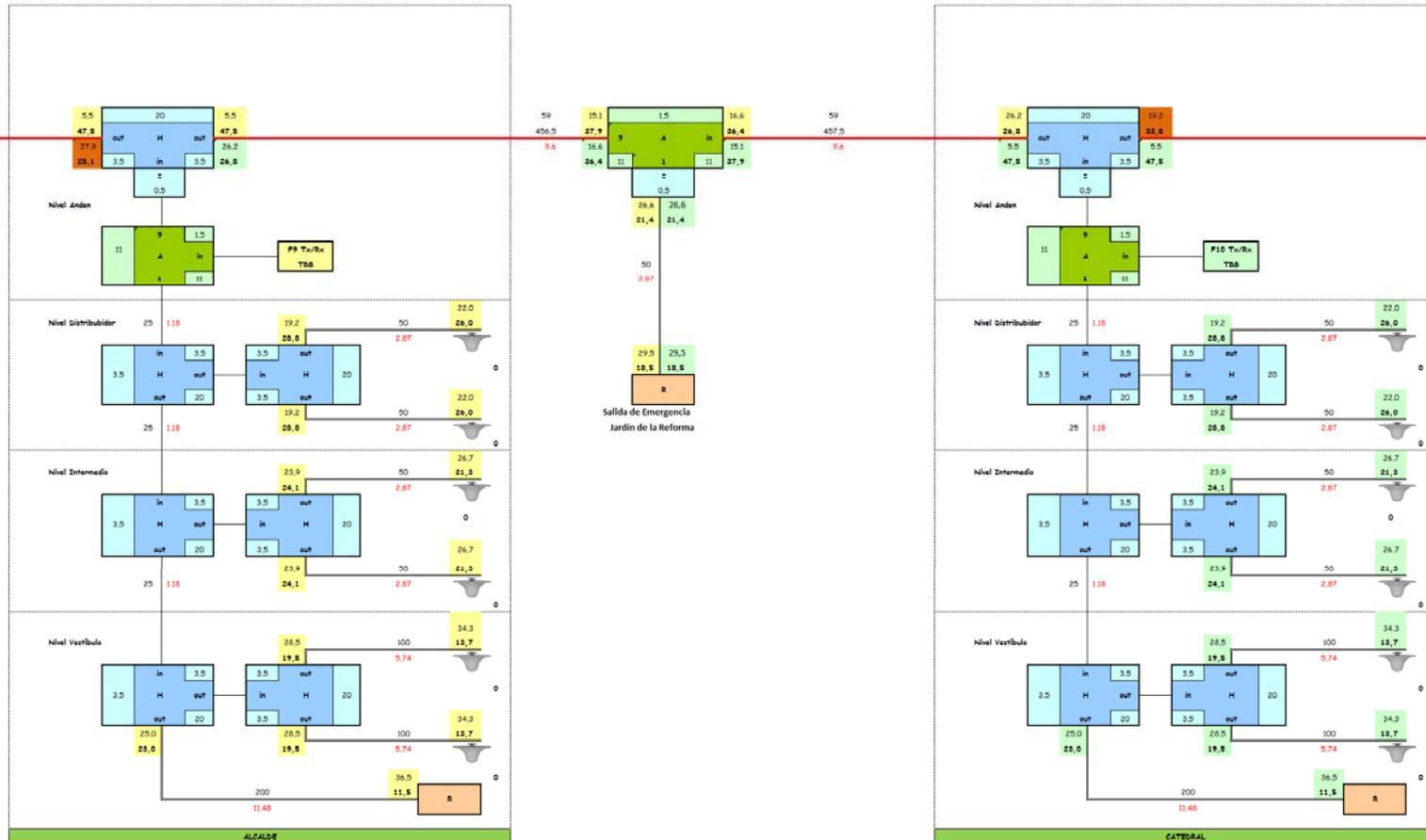
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



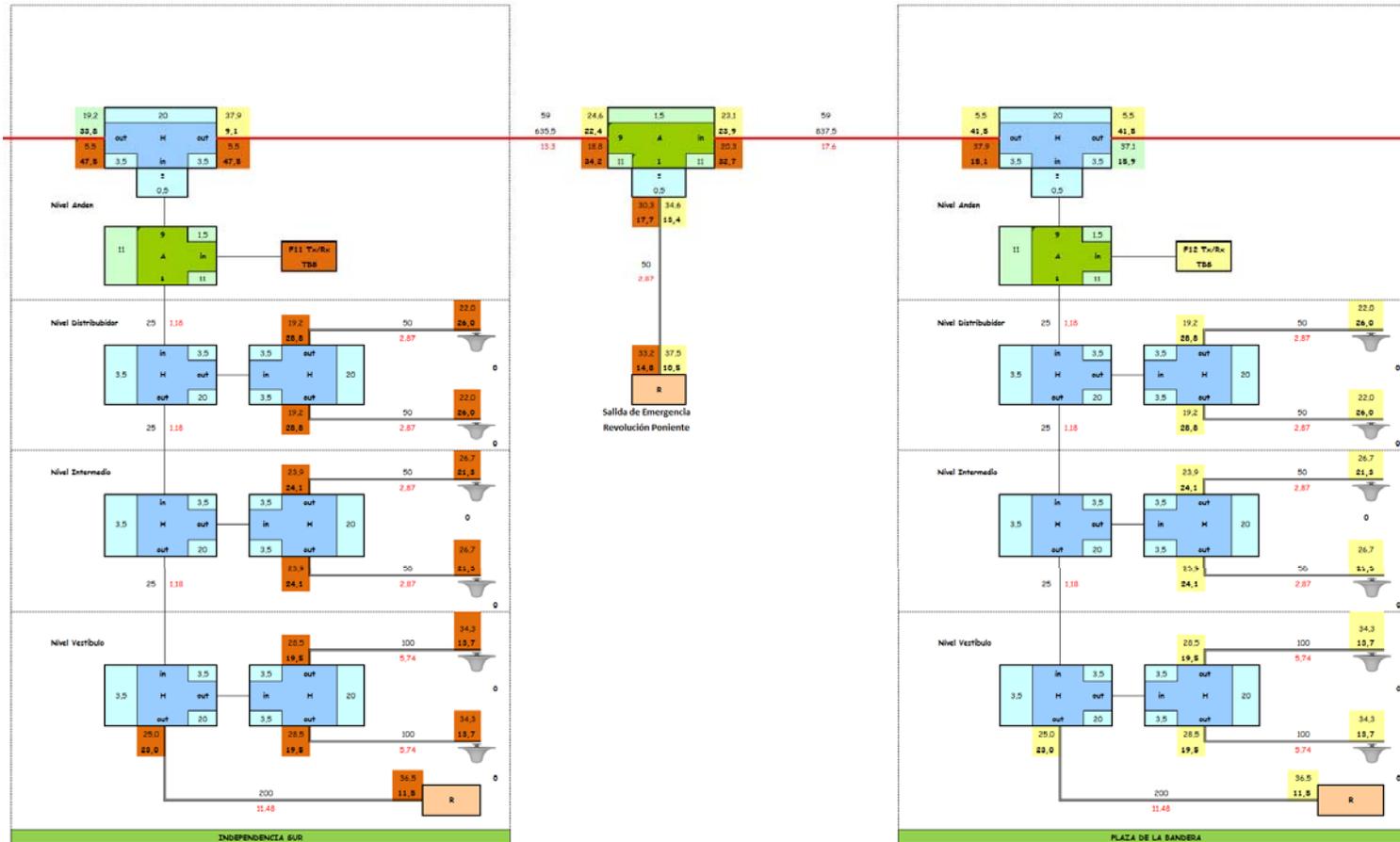
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



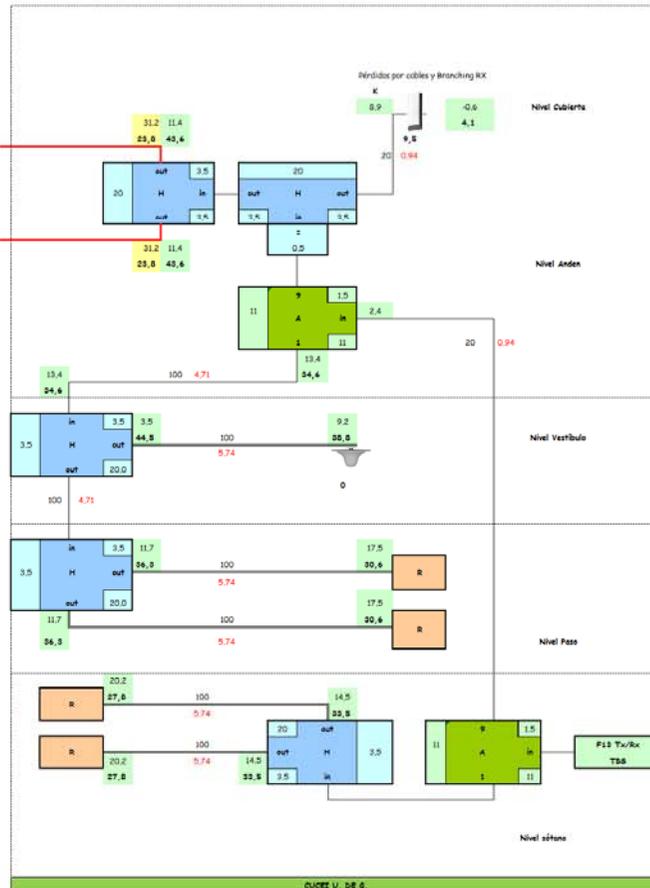
DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interesación

Di: 1727 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

 Sensibilidad estática Rx (TBS): -119 dBm
 Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh: 9 dB
 Sensibilidad dinámica Rx (TBS): -110 dBm
 Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura: 8 dB
 Sensibilidad dinámica efectiva en superficie: -102 dBm
 Penetración en tren: 8 dB

Pérdidas Variables:

 Pérdidas por cables y Branching RX:
 Frecuencia considerada (MHz):

K	L
Margen Rx	Margen Rx
8,9 dB	8,9 dB
430 MHz	430 MHz

Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande):

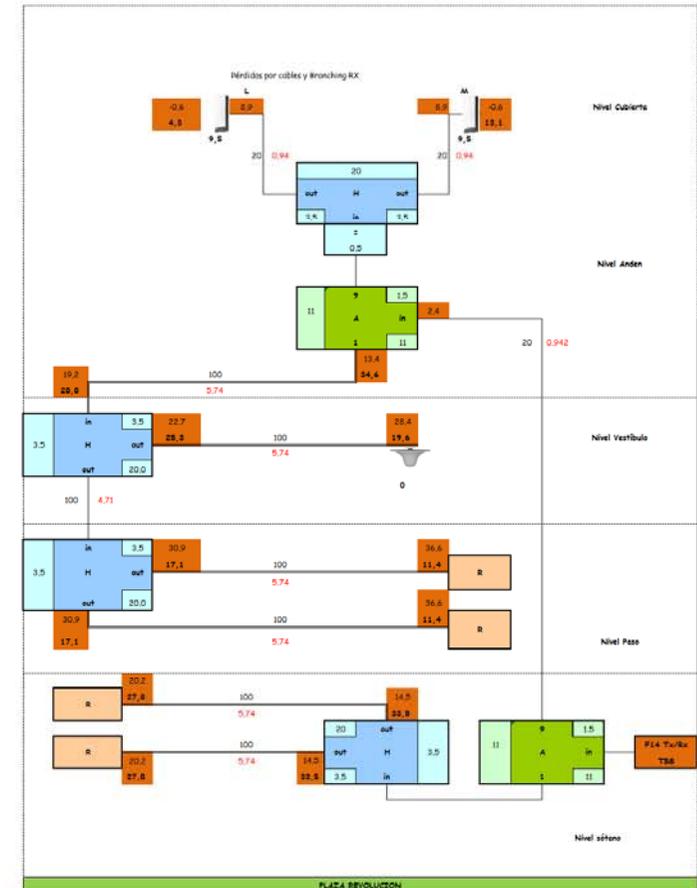
9,06 dB	9,43 dB
---------	---------

Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA):

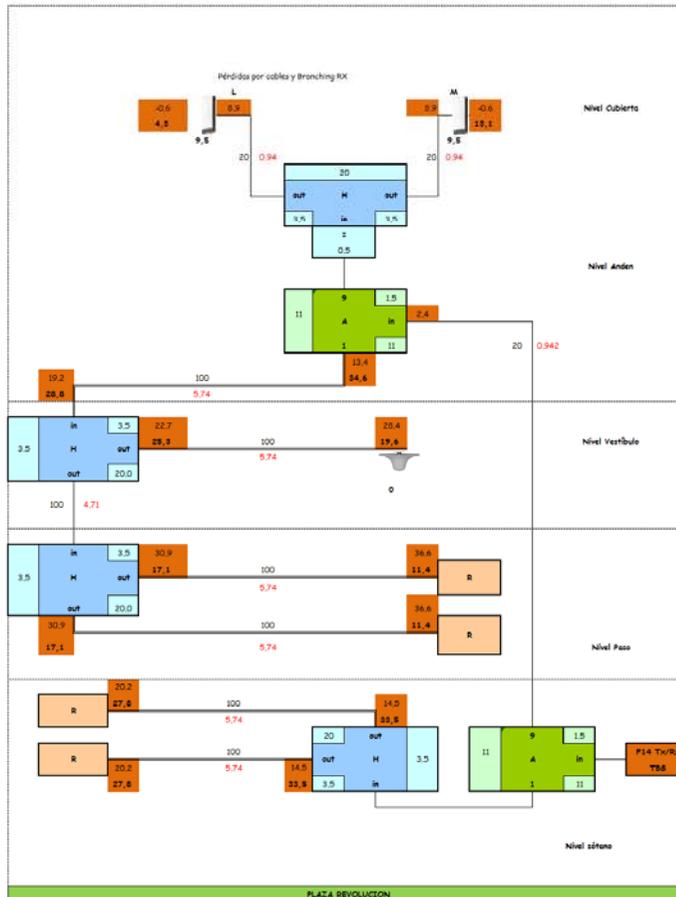
118,5 dB	118,4 dB
----------	----------

Antenas:

Ganancia Antena terminal Tx (dBd):	-2 dB	nd.
Ganancia Antena TBS Rx (dBd):	9,5 dB	nd.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	10,57 m	11,255 m
Altura Total TBS Rx:	25,005 m	24,32 m
(antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	nd m
Altura Viaducto Tx:	8,07 m	8,755 m
Altura Viaducto Rx:	8,755 m	8,07 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

Di = 570 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

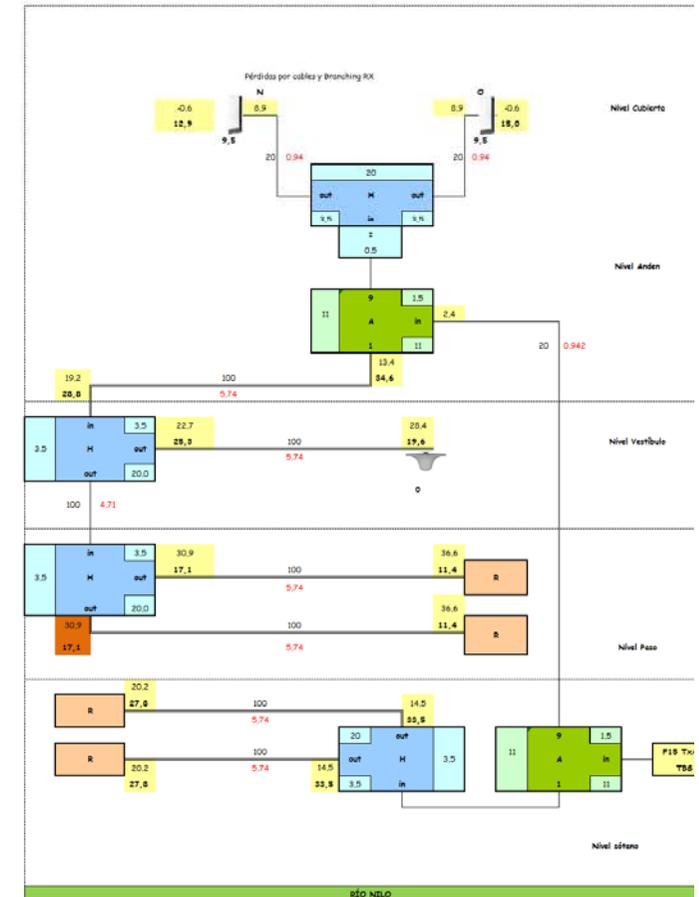
Sensibilidad estática Rx (TBS):	-119 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

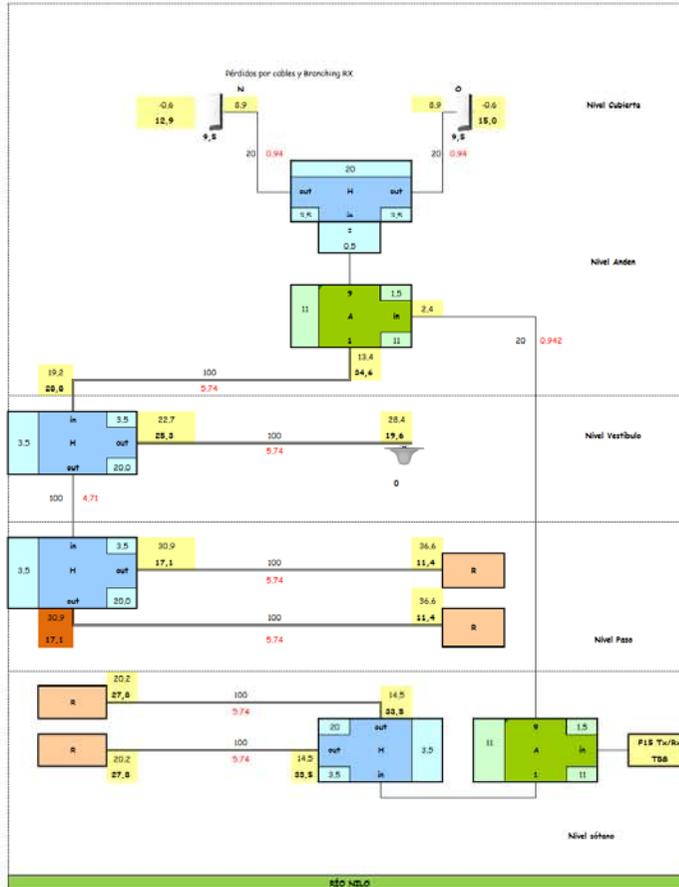
	M	N
Pérdidas por cables y branching RX:	8.5 dB	8.5 dB
Frecuencia considerada (MHz):	430 MHz	430 MHz
Factor de Corrección [modelo HATA ciudad grande]:	9.25 dB	9.06 dB
Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA):	109.6 dB	109.7 dB

Antenas:

Ganancia Antena terminal Tx (dBi):	-2 dB	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBi):	9.5 dB	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	10,917 m	10,57 m
Altura Total TBS Rx	24,32 m	24,667 m
(antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id. m
Altura Viaducto Tx:	8,417 m	8,07 m
Altura Viaducto Rx:	8,07 m	8,417 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

D= 904 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

Sensibilidad estática Rx (TBS):	-119 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

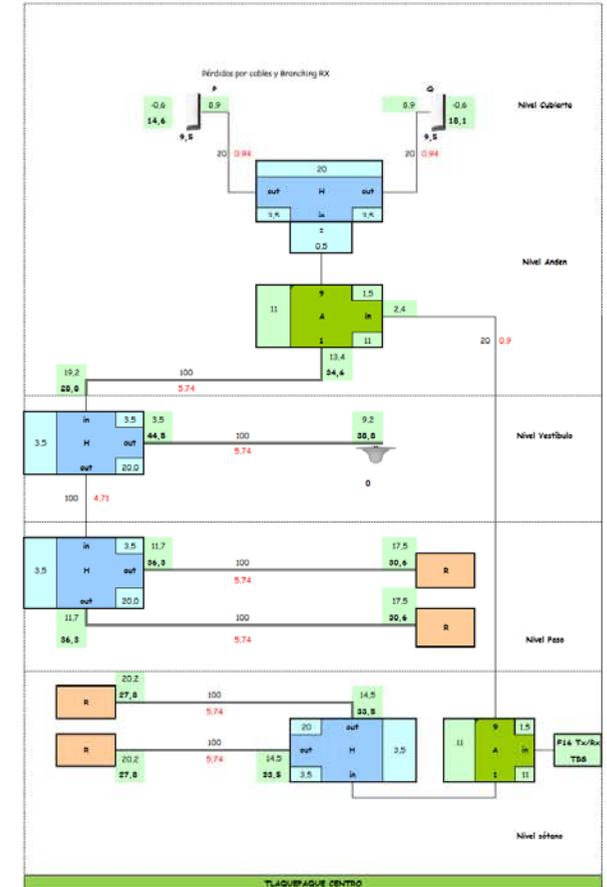
	Q	P
Pérdidas por cables y Branching RX :	Margen Rx 6,9 dB	Margen Rx 0,0 dB
Frecuencia considerada (MHz):	430 MHz	430 MHz

Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande): 9,99 dB, 9,25 dB

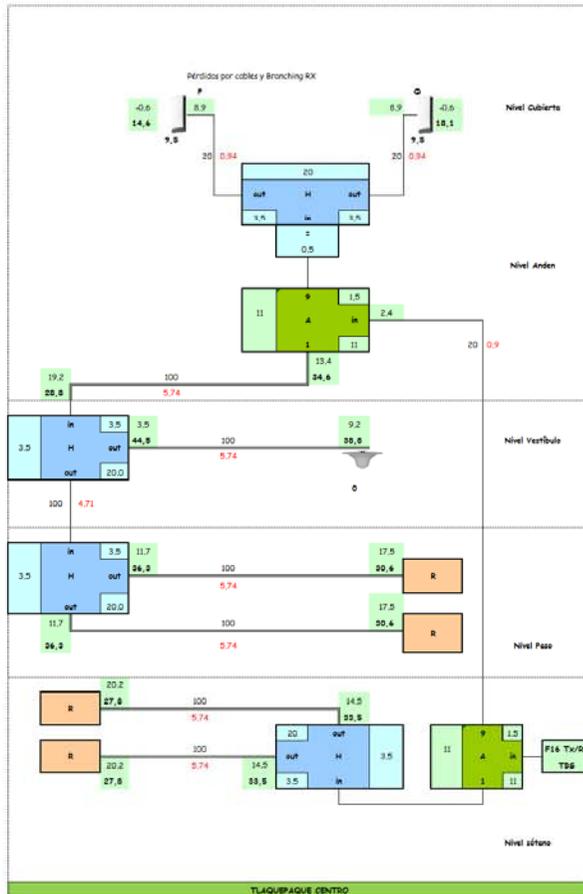
Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA): 107,6 dB, 108,0 dB

Antenas:

Ganancia Antena terminal 1x (0990):	-2 dB	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBd):	9,5 dB	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	12,364 m	10,917 m
Altura Total TBS Rx:	24,867 m	26,114 m
[antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto]		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id. m
Altura Viaducto Tx:	9,864 m	8,417 m
Altura Viaducto Rx:	8,417 m	9,864 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

D= 713 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

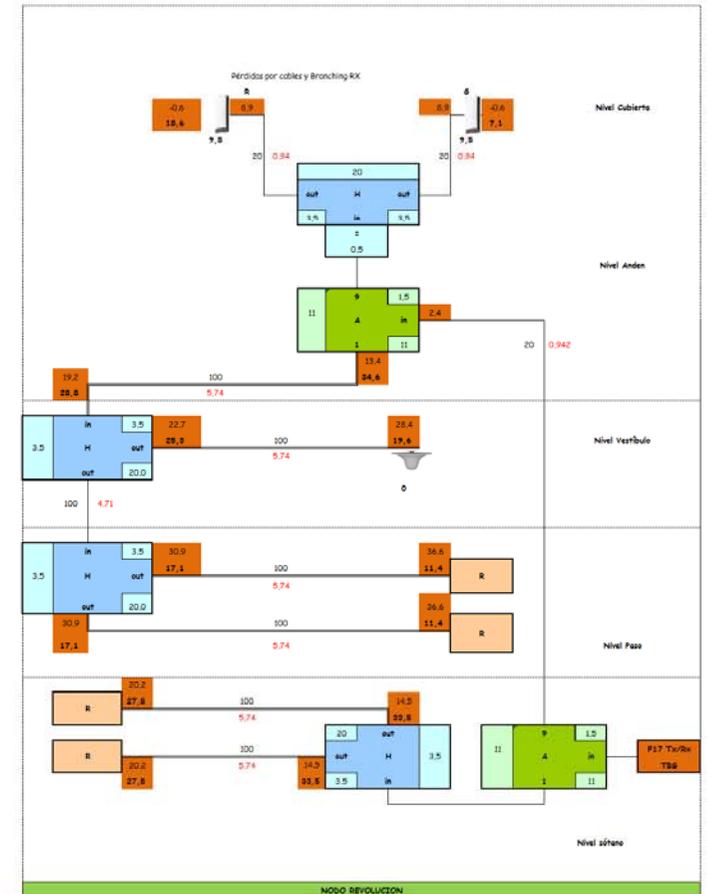
Sensibilidad estática Rx (TBS):	-119 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

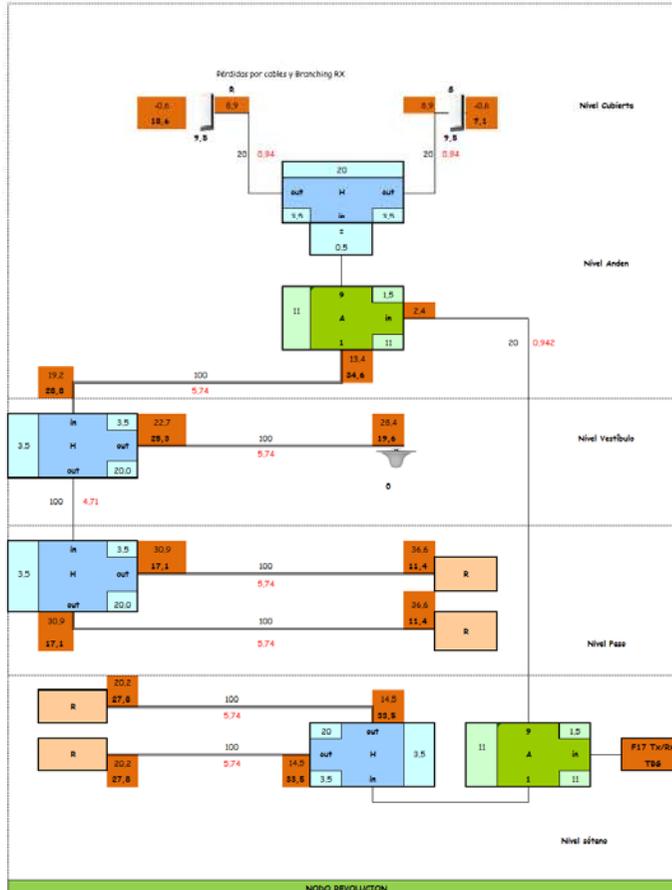
	Q	R
Margen Rx	8,9 dB	8,9 dB
Pérdidas por cables y Branching RX:		
Frecuencia considerada (MHz):	430 MHz	430 MHz
Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande):	9,09 dB	9,99 dB
Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA):	104,5 dB	104,0 dB

Antenas:

Ganancia Antena terminal Tx (dBd):	-2 dB	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBd):	9,5 dB	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	10,627 m	12,164 m
Altura Total TBS Rx:	26,114 m	24,377 m
(antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id. m
Altura Viaducto Tx:	8,127 m	9,864 m
Altura Viaducto Rx:	9,864 m	8,127 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB



DGTFM2112-ME-B00-TCRAD-00100 Estudio de Cobertura Radioeléctrica



Caracterización del Enlace Radio (Uplink)

Tramo Interestación

D= 1627 m

Potencia TX Terminal portátil 1w: 30 dBm

Pérdidas Fijas:

Sensibilidad estática Rx (TBS):	-119 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Rayleigh:	9 dB
Sensibilidad dinámica Rx (TBS):	-110 dBm
Margen Desvanecimientos de tipo Lognormal cobertura:	8 dB
Sensibilidad dinámica efectiva en superficie:	-102 dBm
Penetración en tren:	8 dB

Pérdidas Variables:

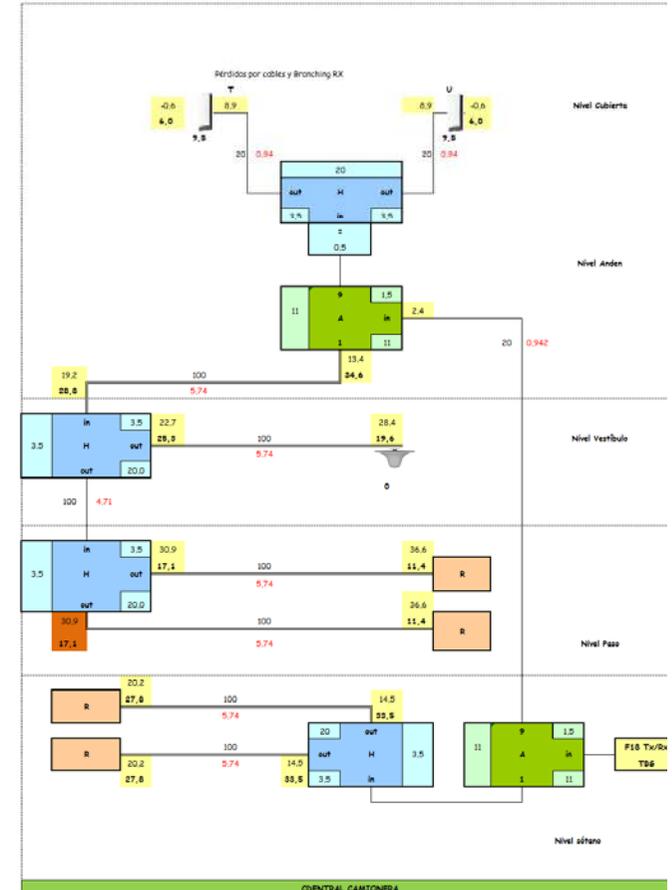
S	T
Margen Rx	Margen Rx
8,9 dB	8,9 dB
Frecuencia considerada (MHz):	430 MHz / 430 MHz

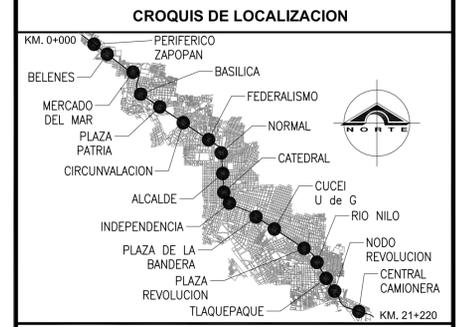
Factor de Corrección (modelo HATA ciudad grande): 11,31 dB / 9,09 dB

Pérdidas x Propagación espacio libre (modelo HATA): 115,5 dB / 116,6 dB

Antenas:

Ganancia Antena terminal Tx (dBi):	-2 dB	id.
Ganancia Antena TBS Rx (dBi):	9,5 dB	id.
Altura Total terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	15,318 m	10,627 m
Altura Total TBS Rx:	24,377 m	29,068 m
(antena en mástil sobre cubierta estación sobre viaducto)		
Altura terminal Tx (cabeza usuario embarcado):	2,5 m	id.
Altura Viaducto Tx:	12,818 m	8,127 m
Altura Viaducto Rx:	8,127 m	12,818 m
Altura cubierta de estación Rx (respecto viaducto):	14,25 m	14,25 m
Altura mástil Rx:	2 m	2 m
Ganancia por Diversidad en Rx:	0 dB	0 dB





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

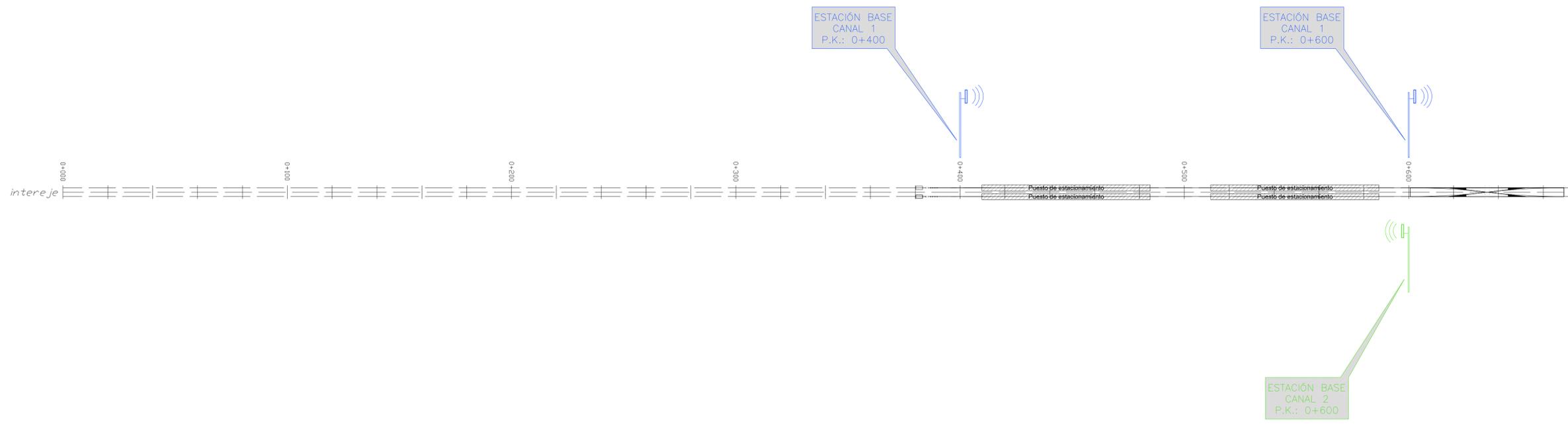
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

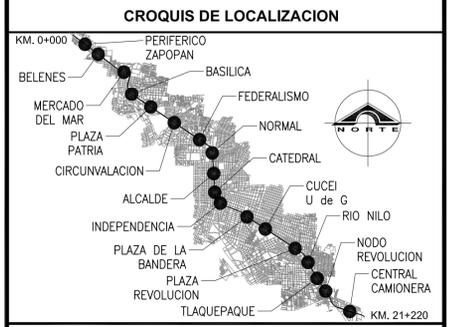
PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTERPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:	



1



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

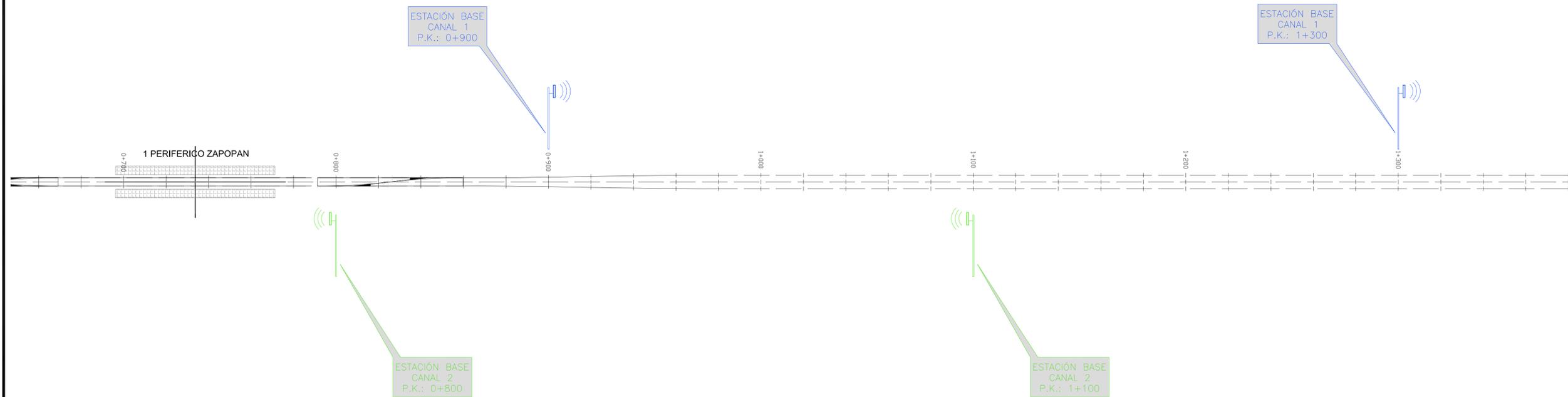
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



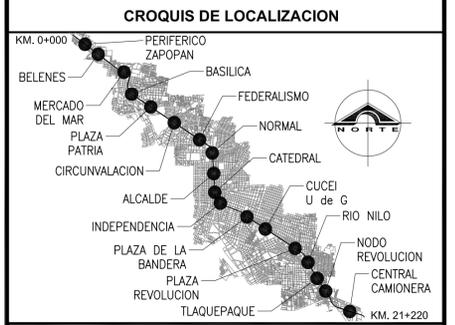
PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:



2



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

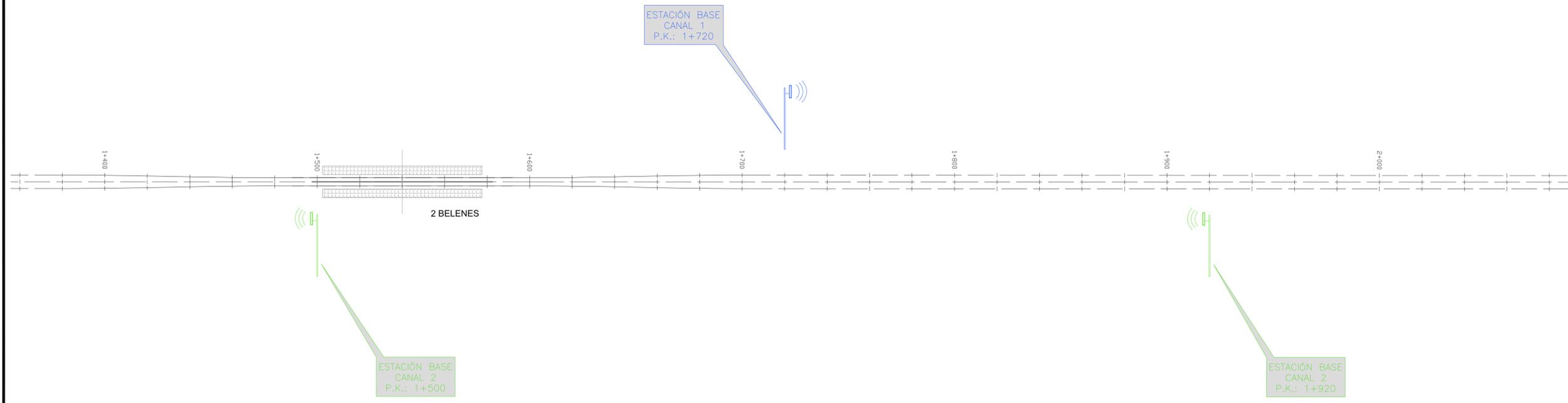
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



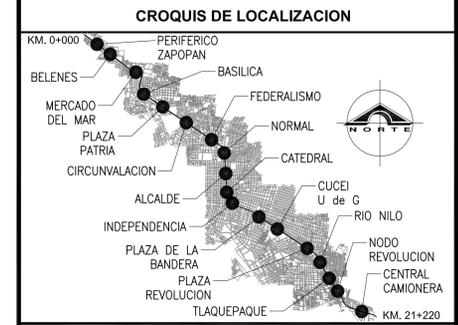
PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:	
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:



3



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

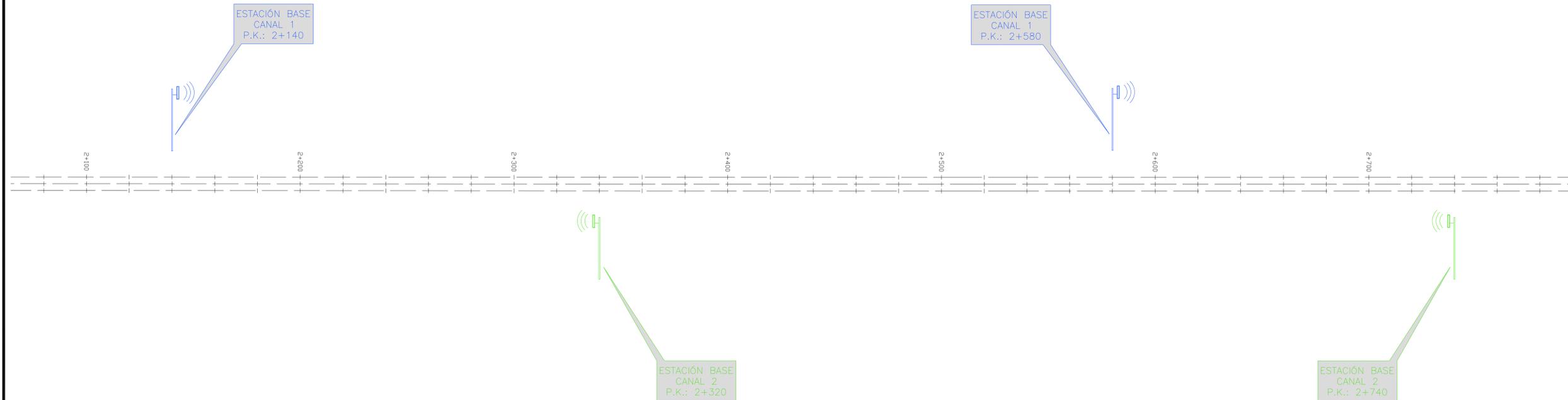


PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESQ.	
ACOT.	

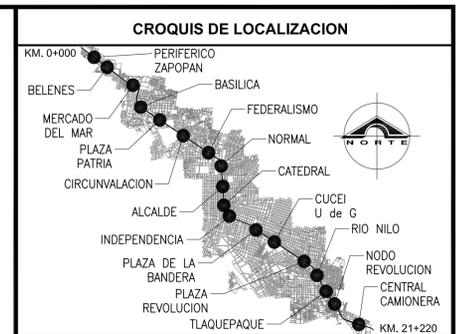
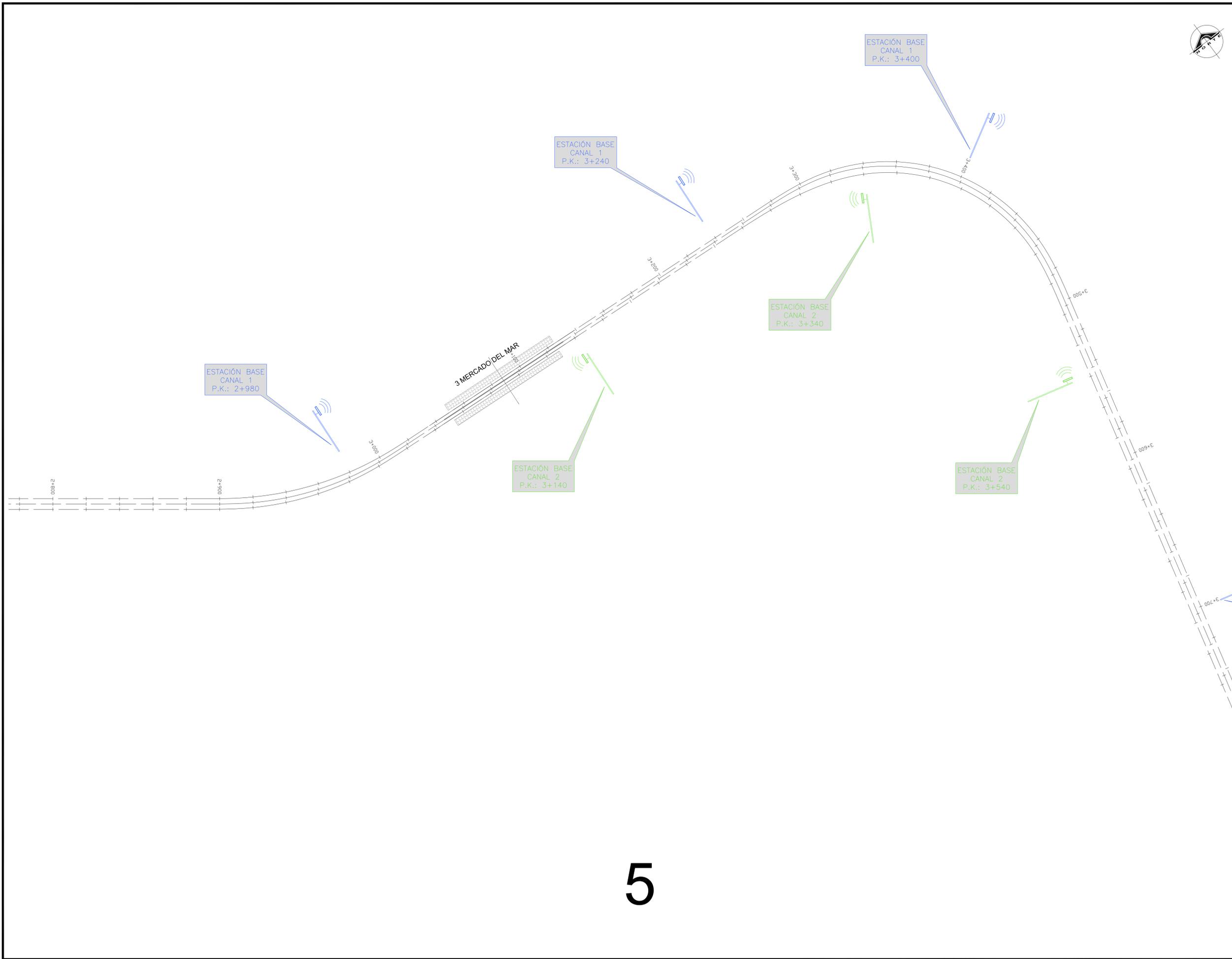
ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	



4



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO:

REALIZO:

REVISO:

AUTORIZO:

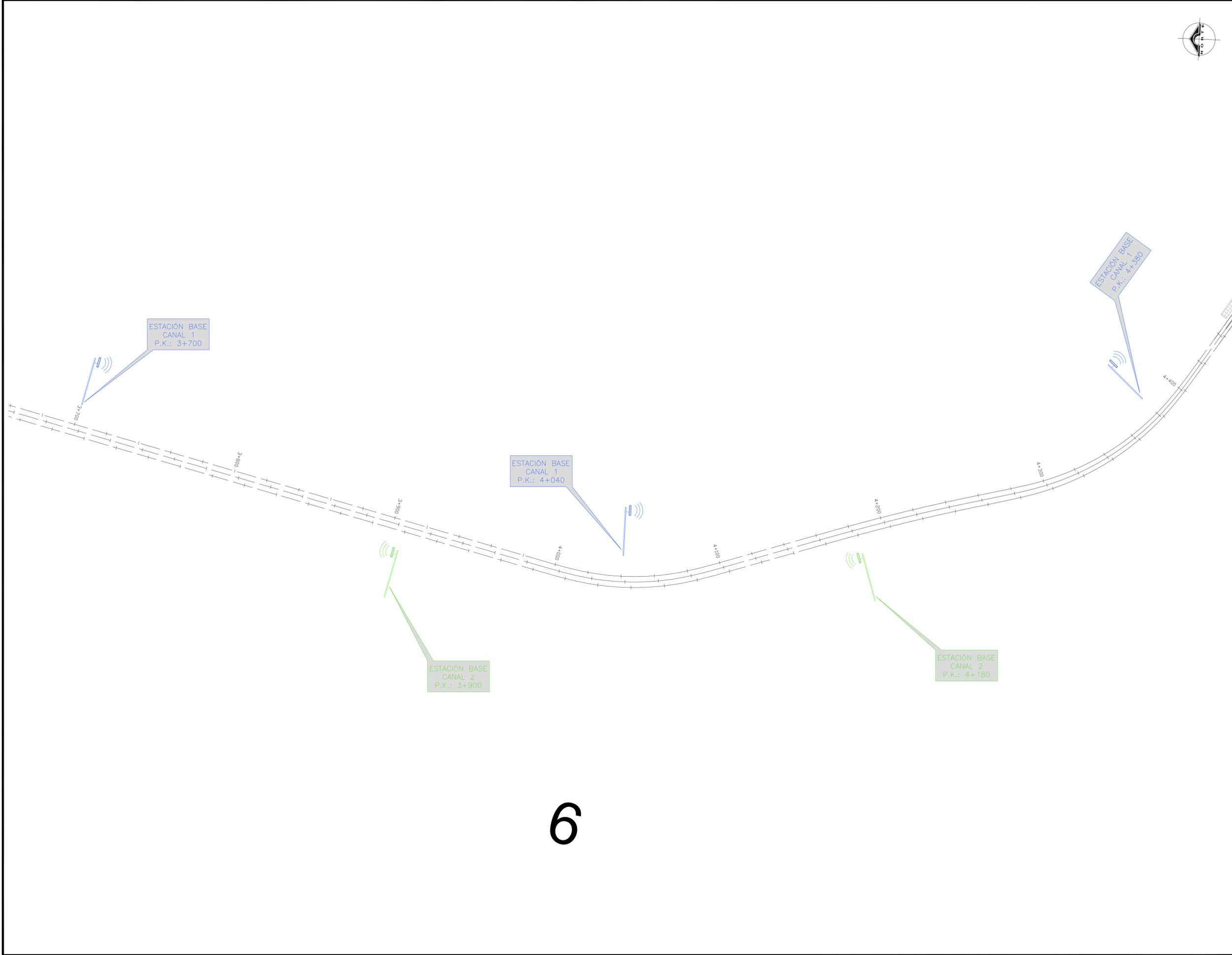
ESQ. ADOT.

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

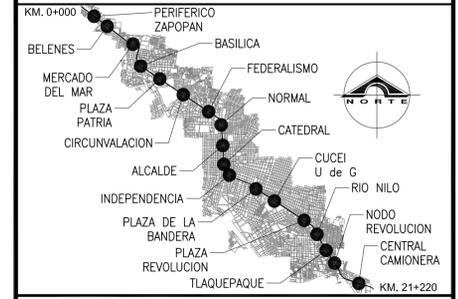
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:

5



6

CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO

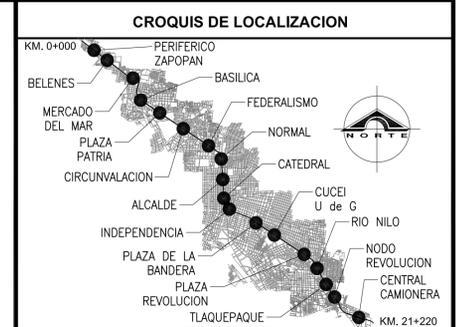
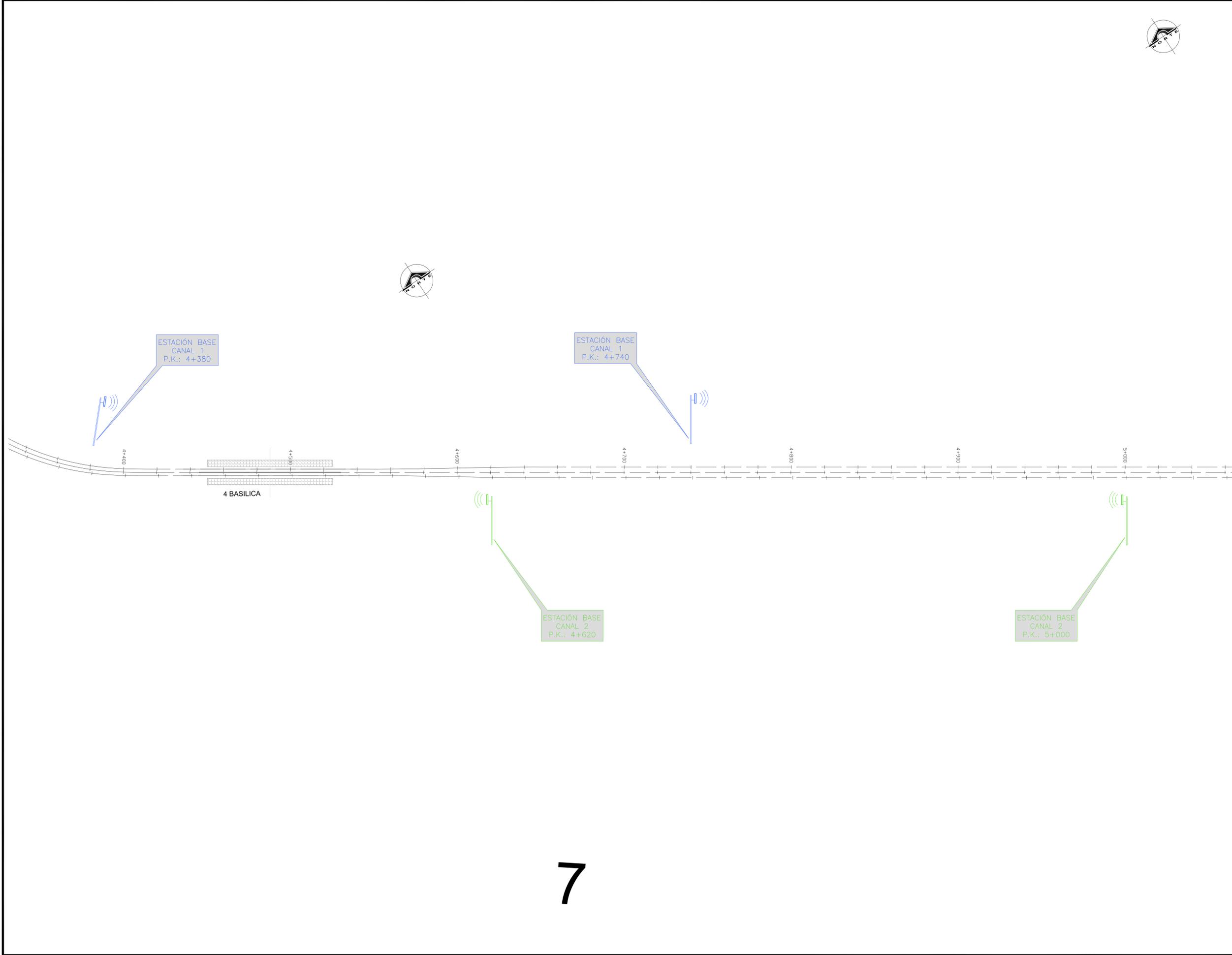


DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACIÓN ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PÉREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	

TITULO DEL PLANO:	
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

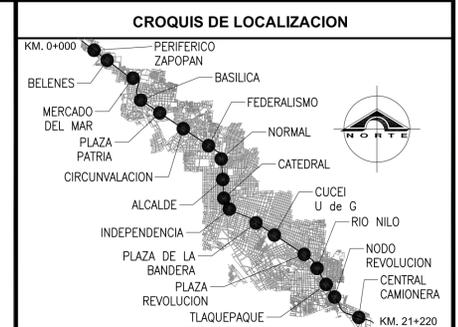
PROYECTO: ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTERPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

REALIZADO: REVISADO: AUTORIZADO: ESCRITO: ACOPIADO:

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:	

7



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

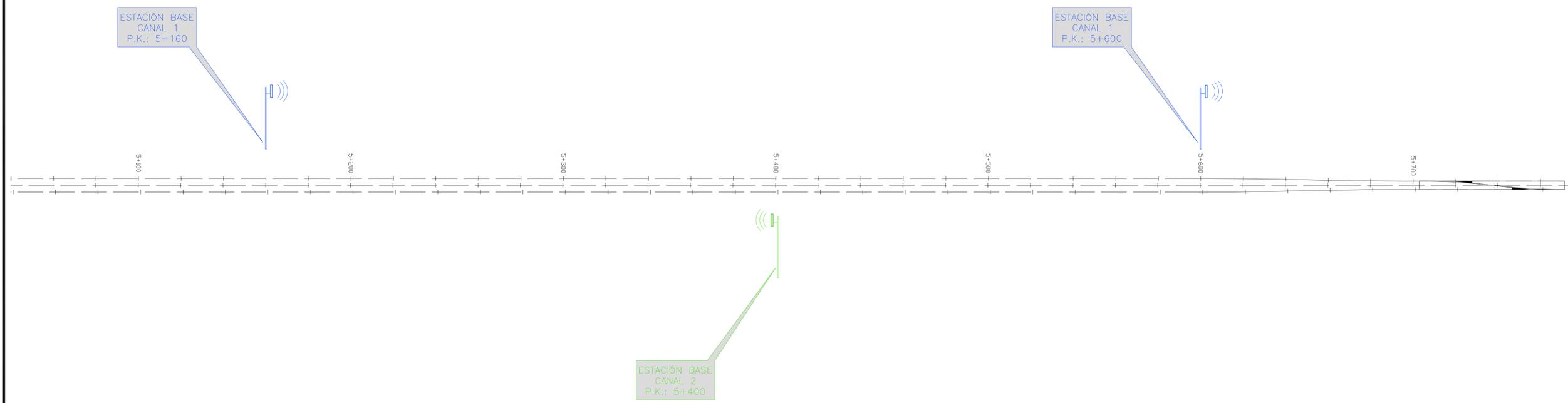
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	ACOT.

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

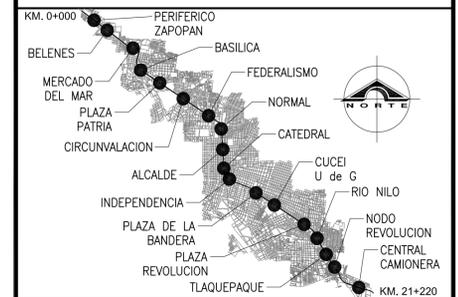
TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	





CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



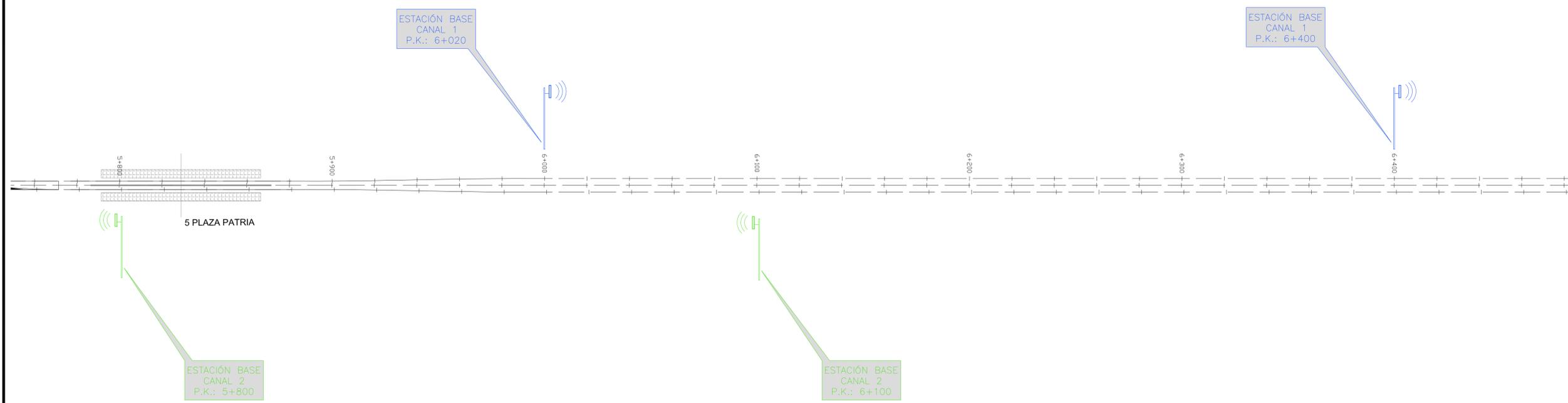
DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

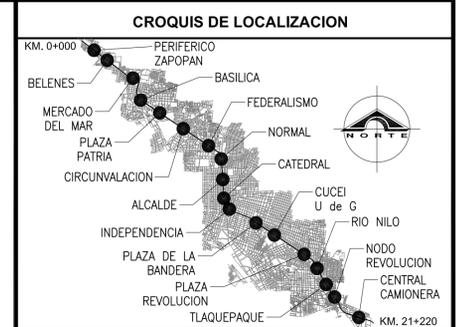
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN, RELACIONADOS CON EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

TITULO DEL PLANO:		
LUGAR:	CONTRATO:	
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12	
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

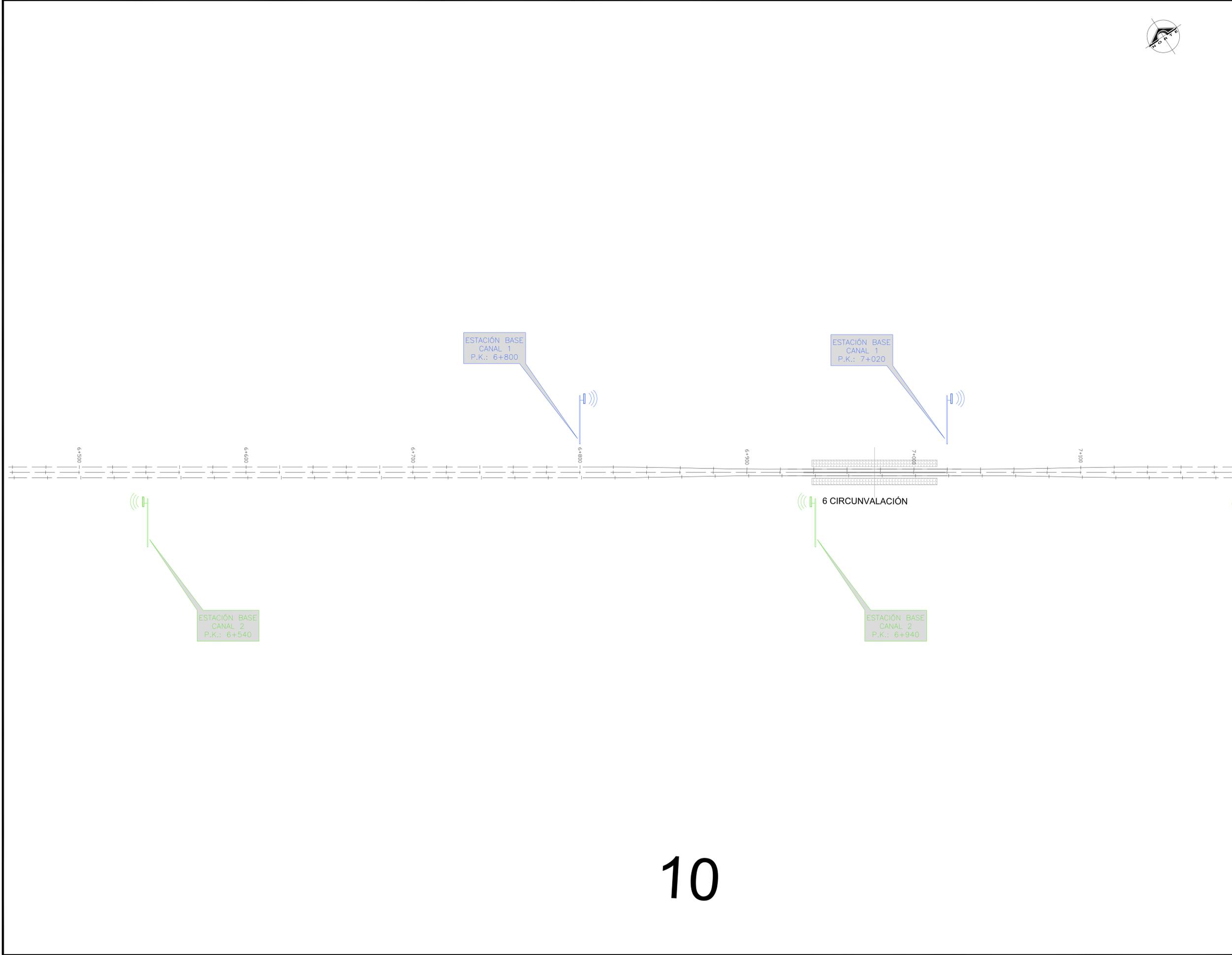
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

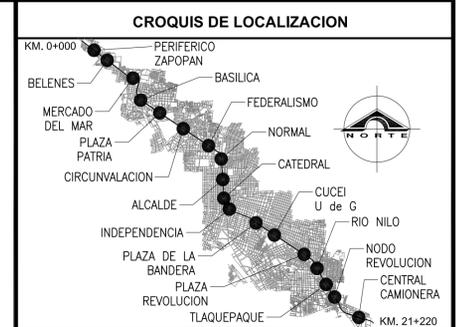
PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

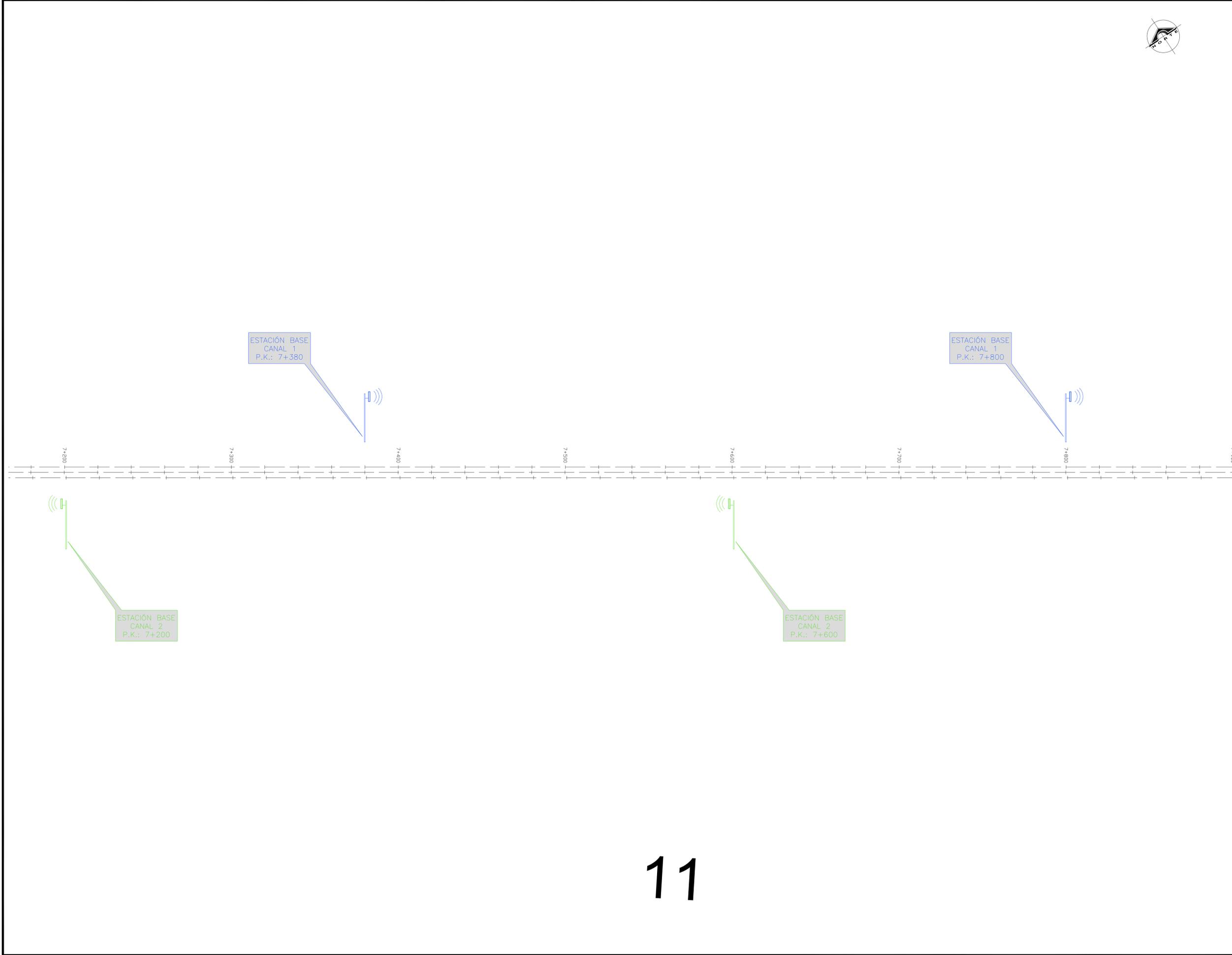
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

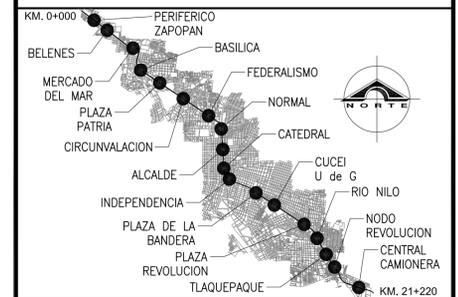
TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	





CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO

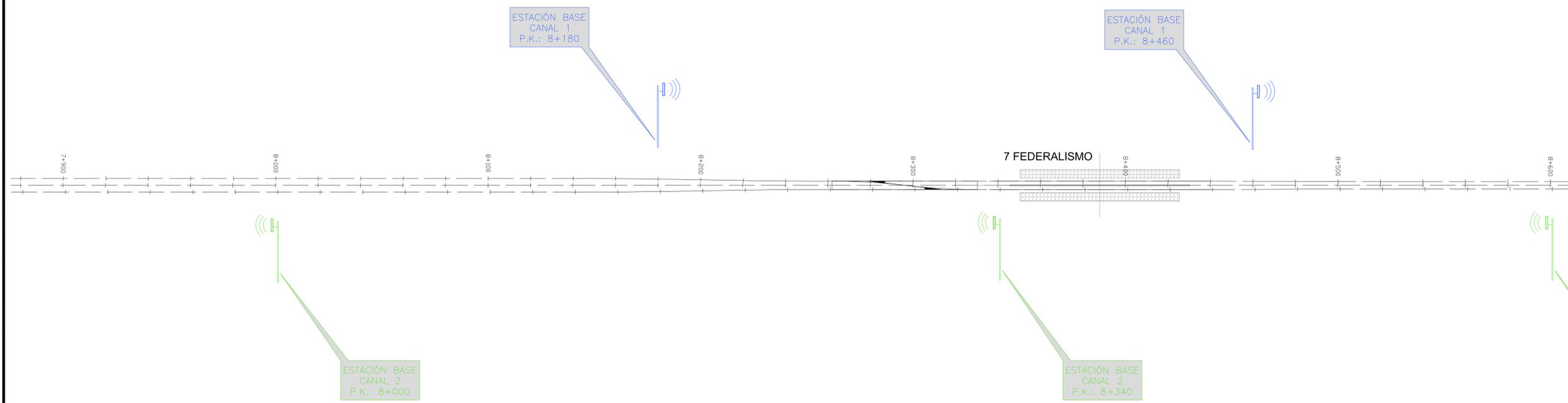


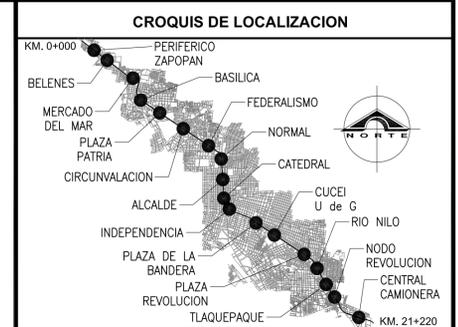
DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTERPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	

TITULO DEL PLANO:		
LUGAR:	CONTRATO:	
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12	
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

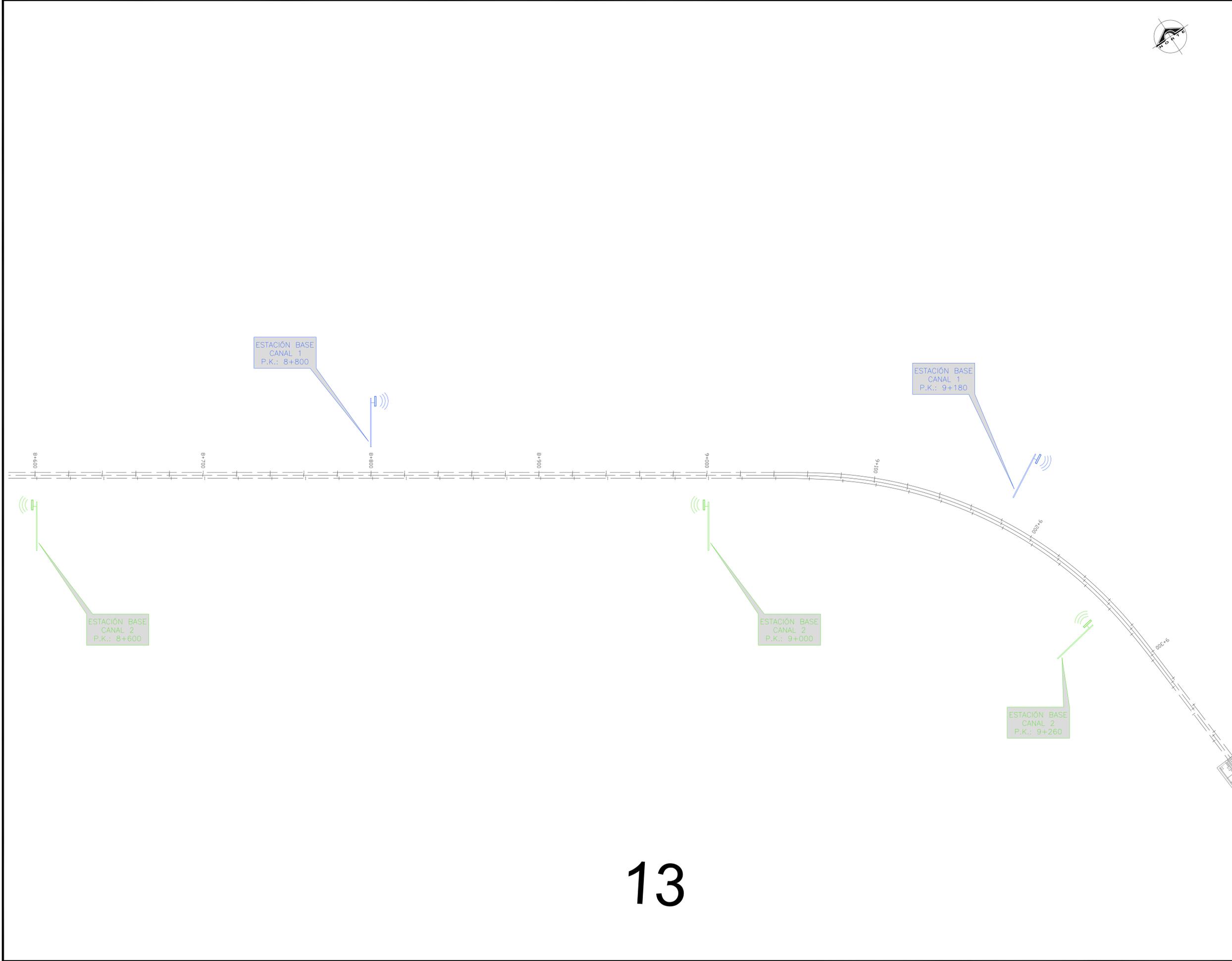
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

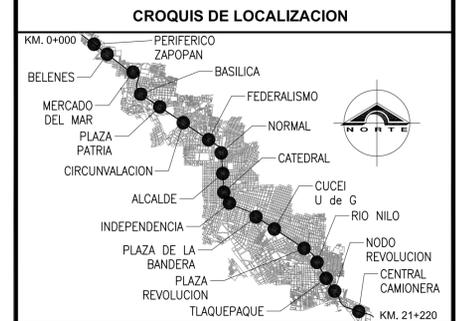
PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

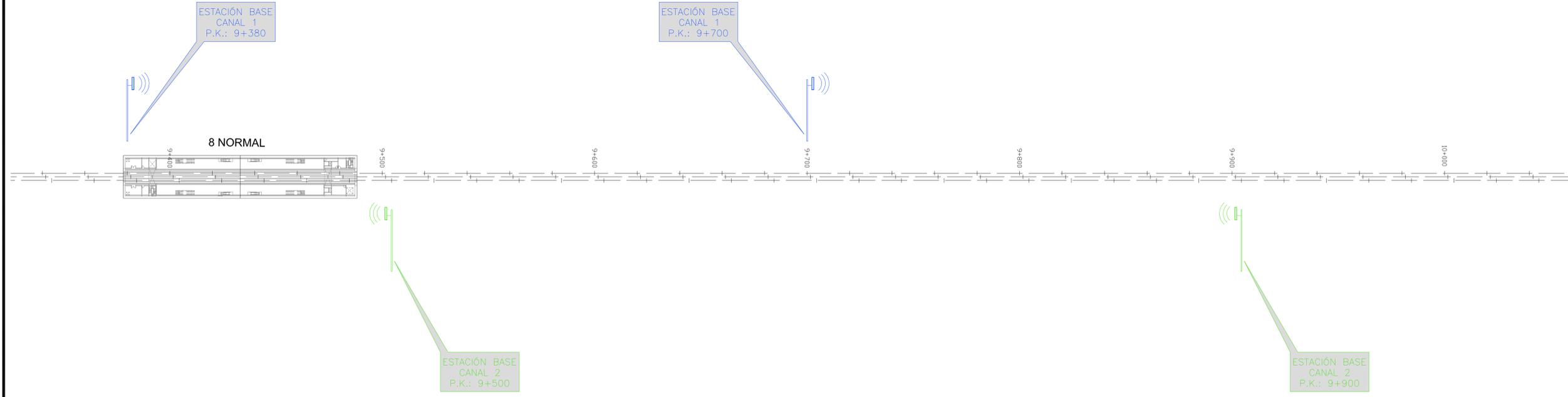
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

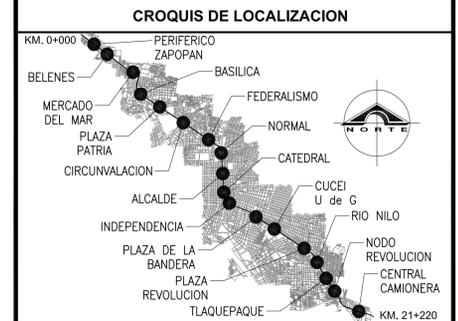
PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



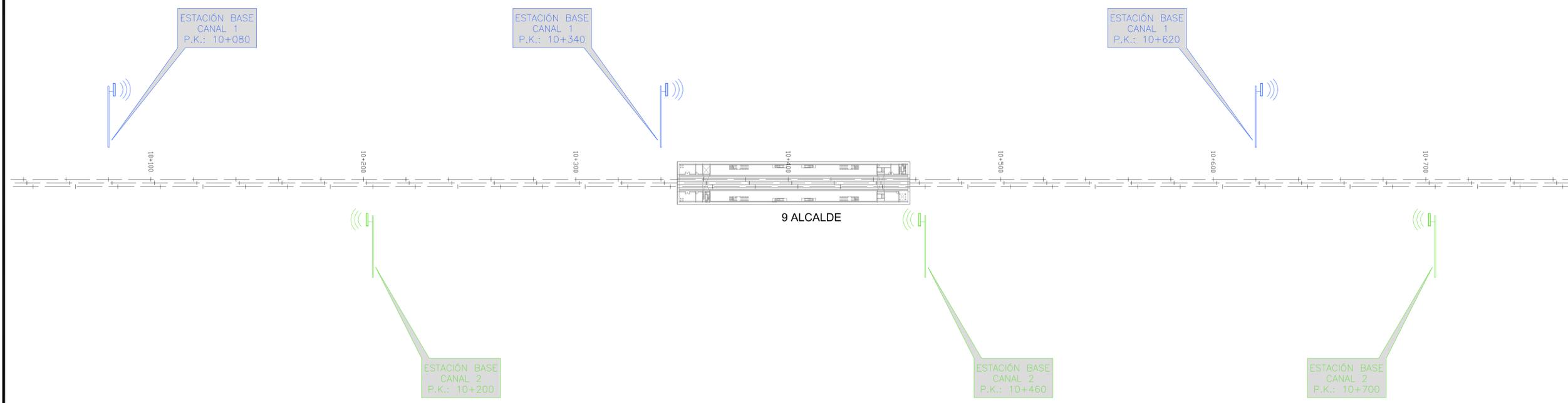
DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

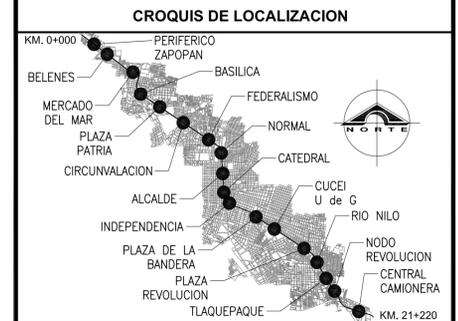
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	
ACOT.	

TITULO DEL PLANO:		
LUGAR:	CONTRATO:	
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12	
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:



15



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESG.	
ACOT.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	

ESTACIÓN BASE
CANAL 1
P.K.: 10+900



ESTACIÓN BASE
CANAL 1
P.K.: 11+260



10 CATEDRAL



ESTACIÓN BASE
CANAL 2
P.K.: 11+080

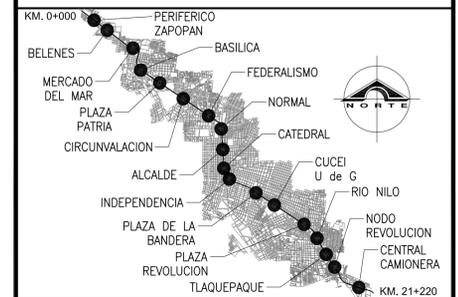


ESTACIÓN BASE
CANAL 2
P.K.: 11+380

16



CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

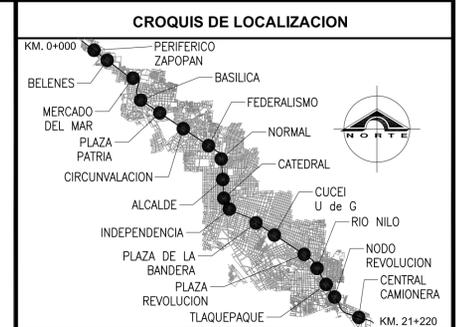


PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:	
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

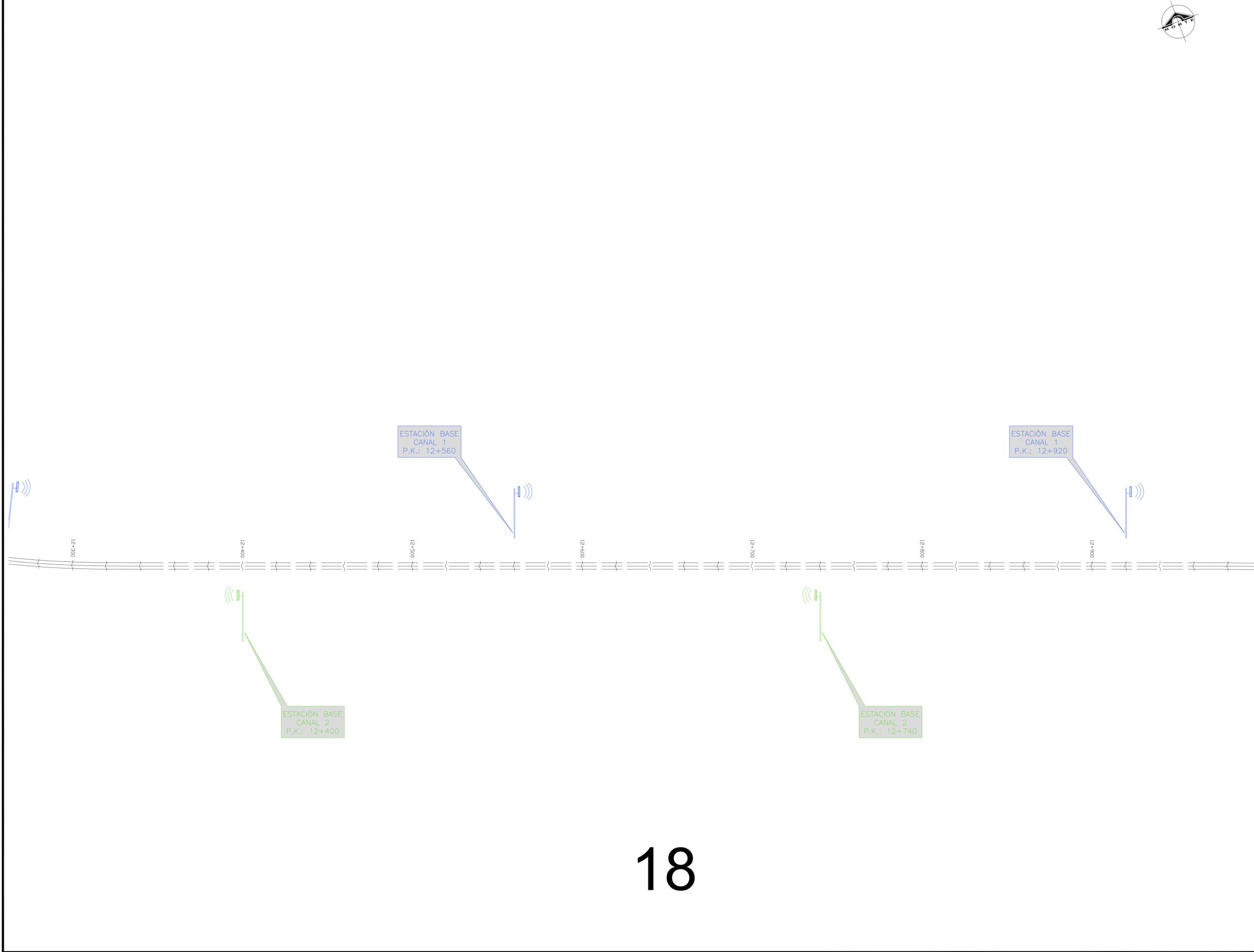
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

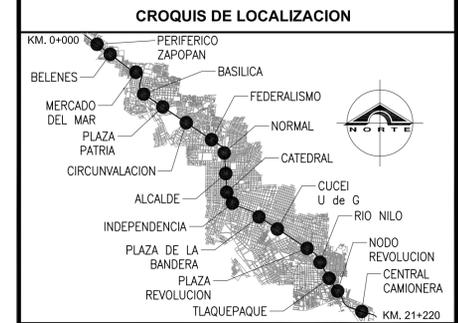
PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MEXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



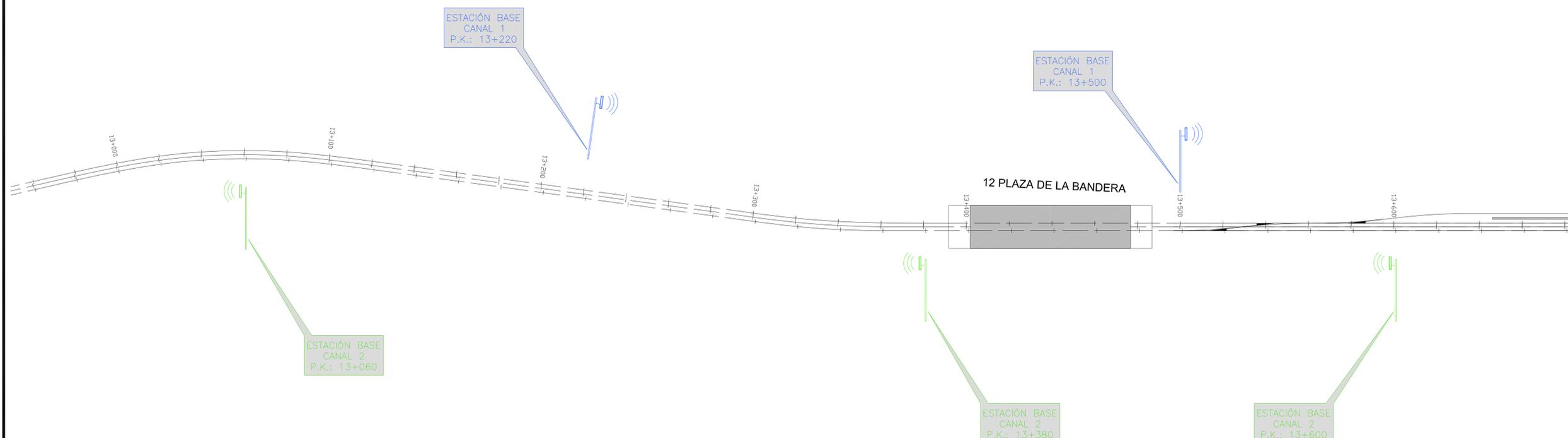
DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

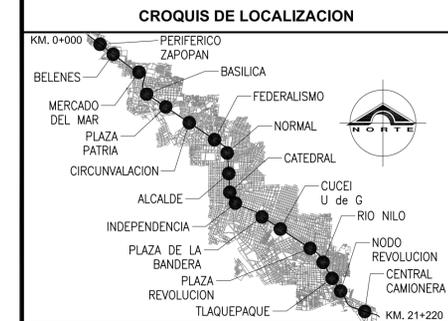
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG. ADOPT.	

TITULO DEL PLANO:		
LUGAR:	CONTRATO:	FECHA:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12	
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

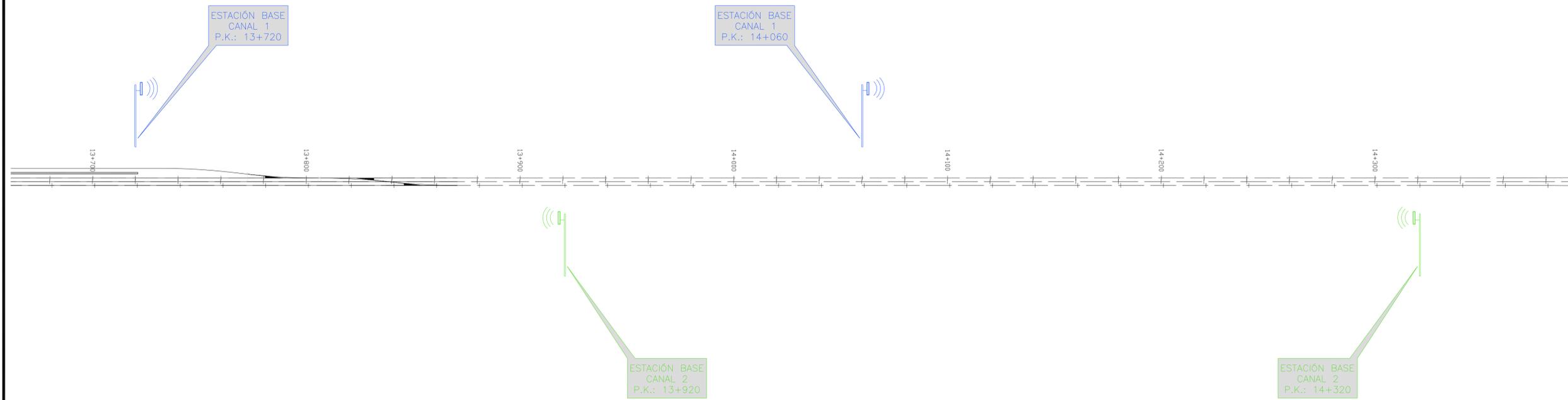
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOFAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	

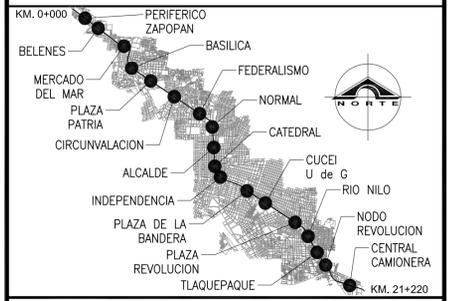
TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:	





CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DAPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

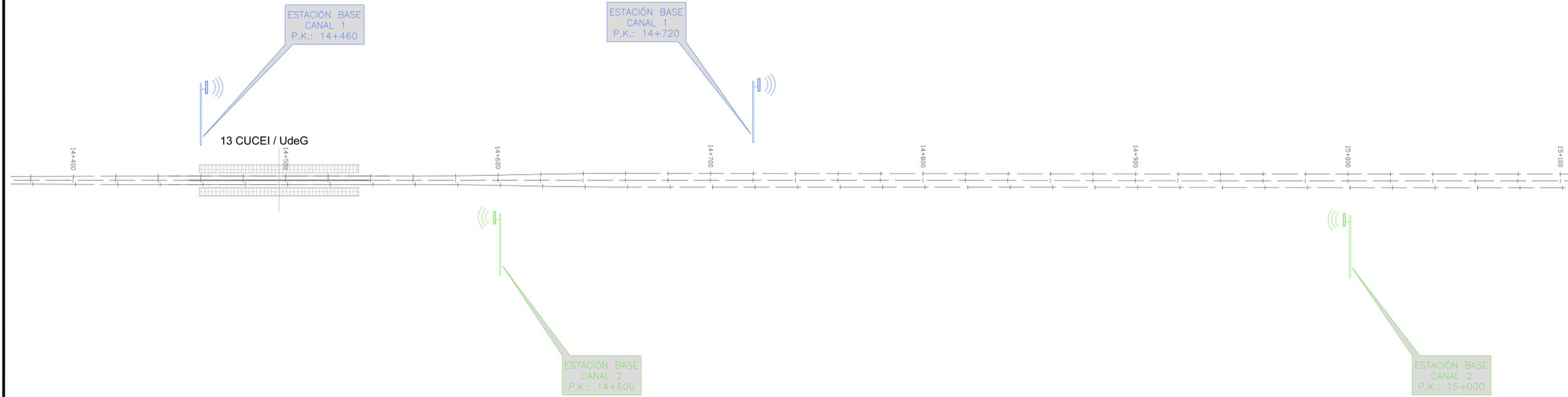
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

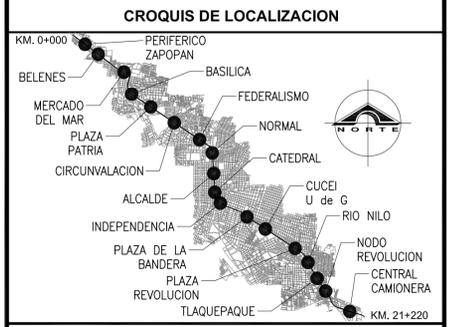


PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	
ACOT.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:	
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MEXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DAPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

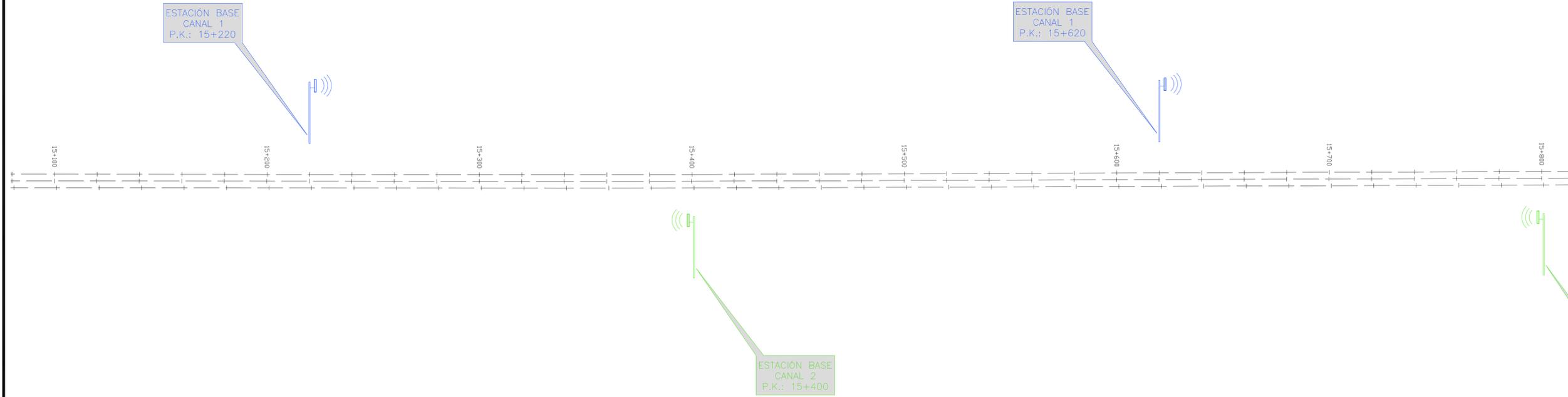
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

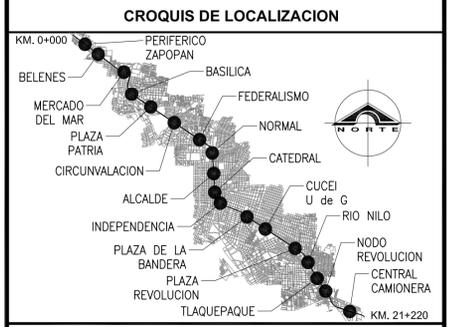
PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	



22



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

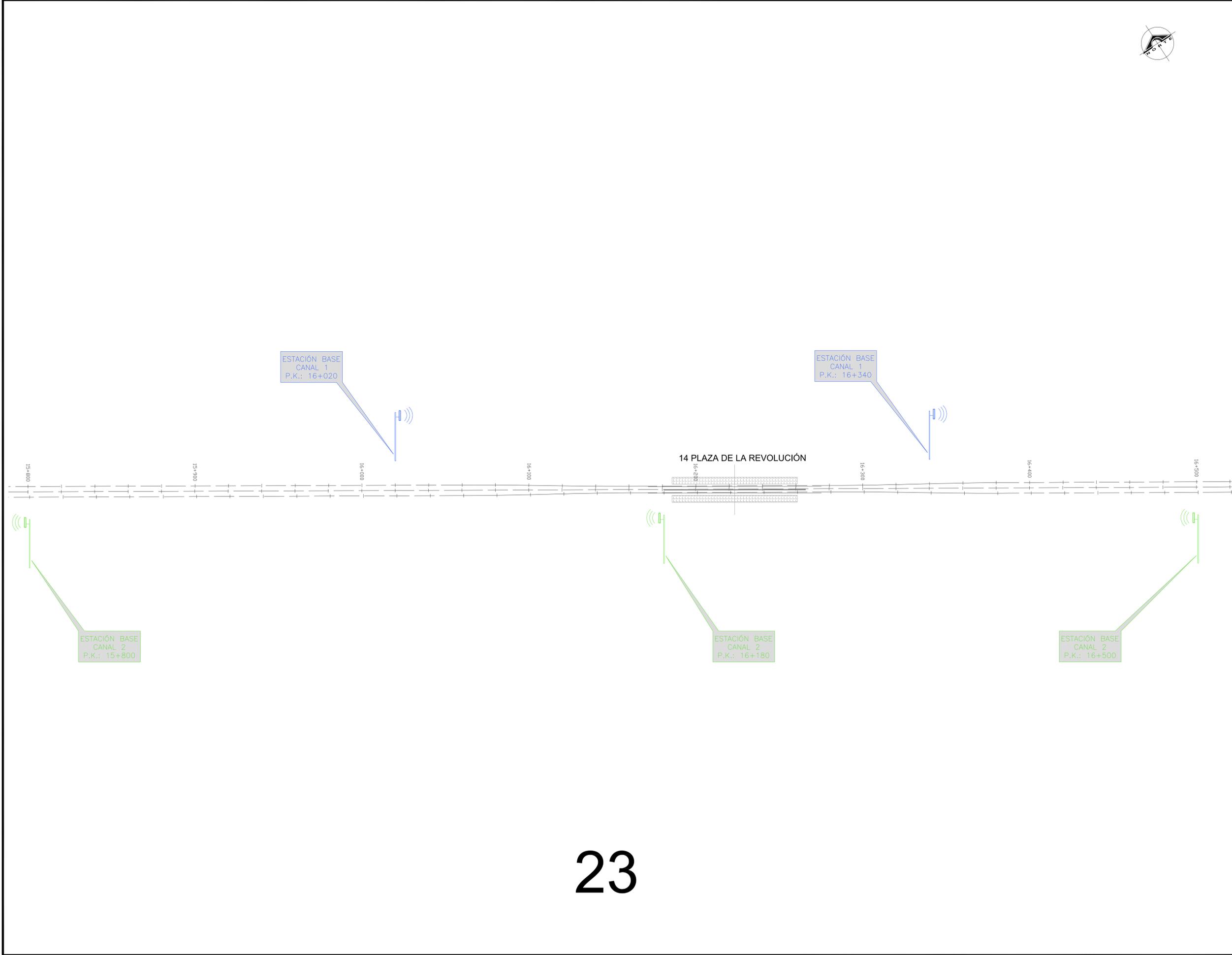
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

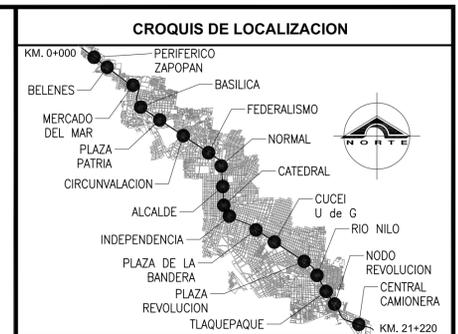
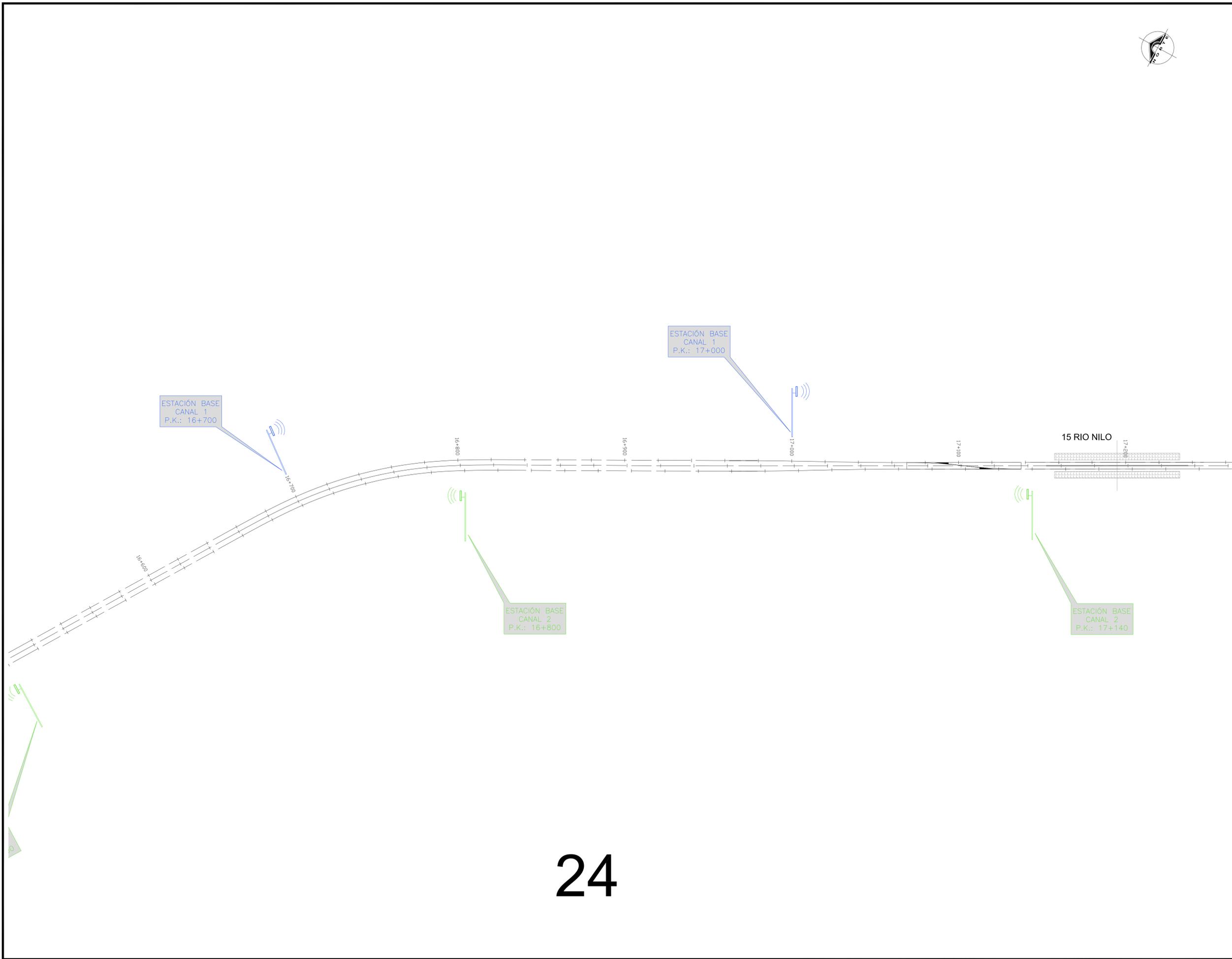


PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESQ.	
ACOT.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:	
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

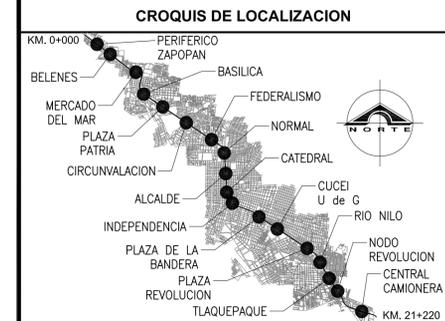
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTERPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

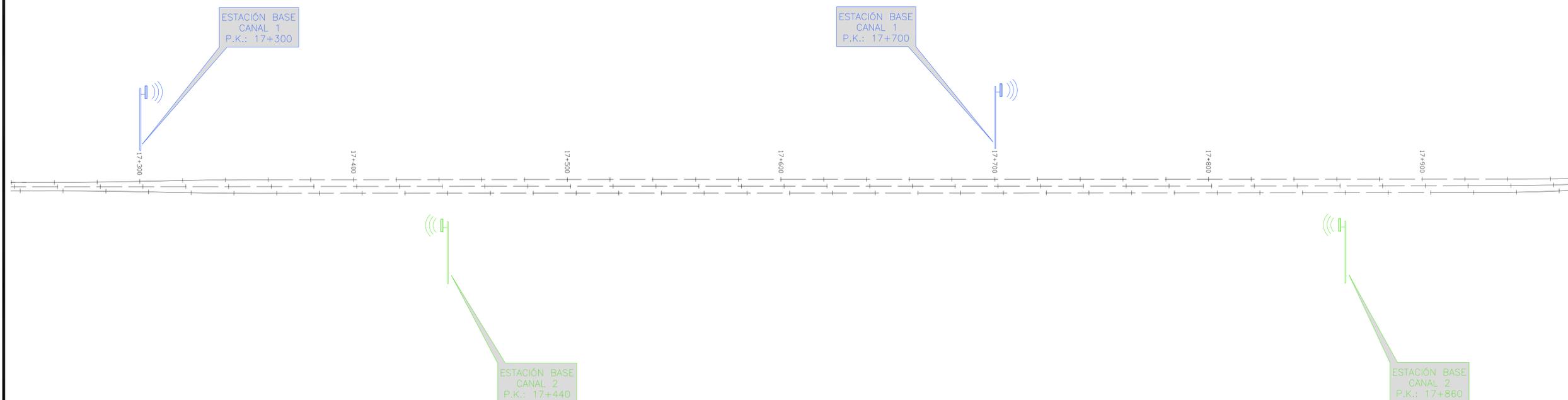
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN
 REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESG.	

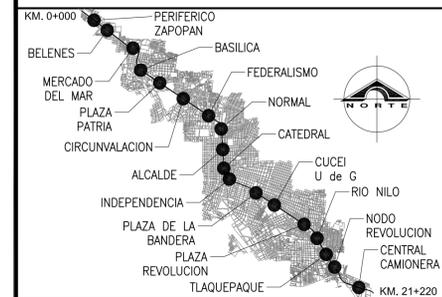
ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:	
LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:





CROQUIS DE LOCALIZACION



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

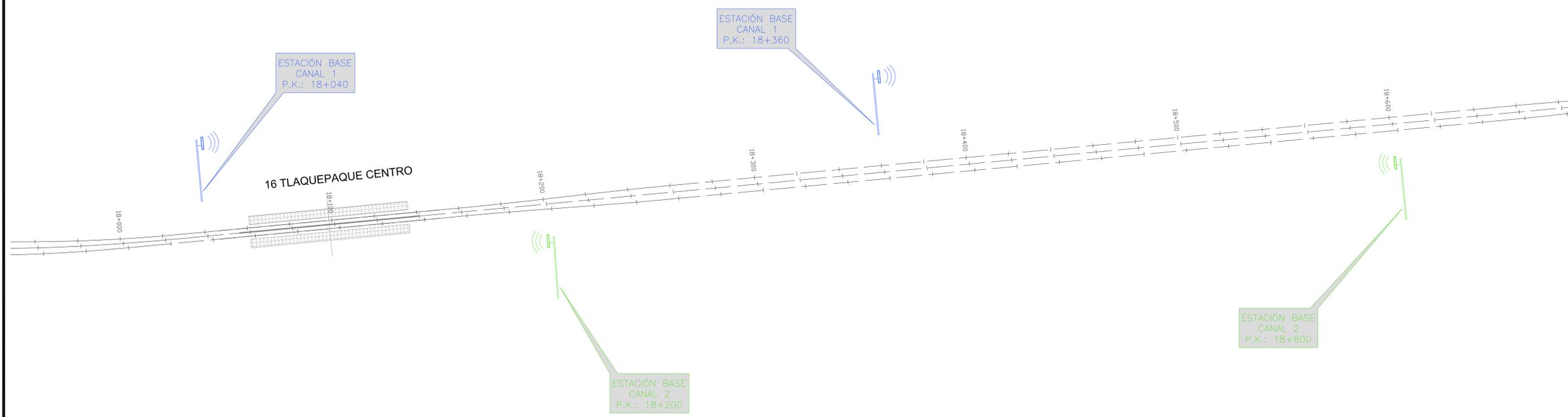
APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

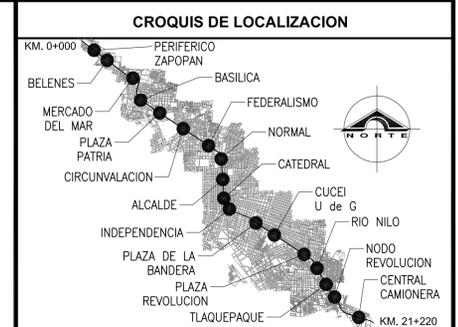
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE



PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ. <input type="checkbox"/> ADOPT. <input type="checkbox"/>	

TITULO DEL PLANO:		
LUGAR:	CONTRATO:	
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12	
CLAVE PLANO:	FECHA:	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO

DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ

JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

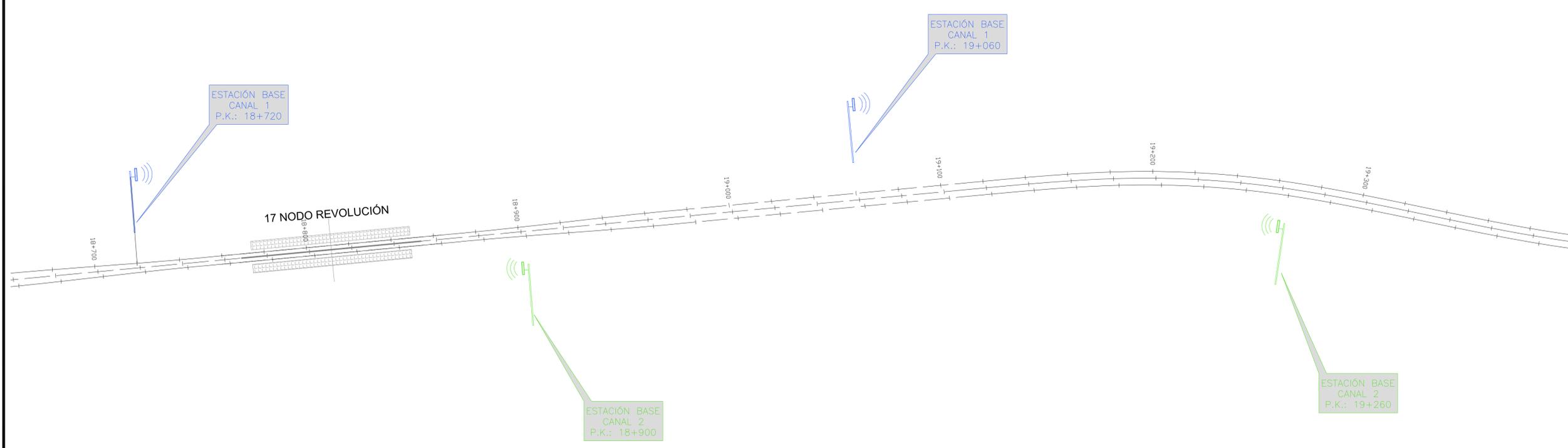
REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

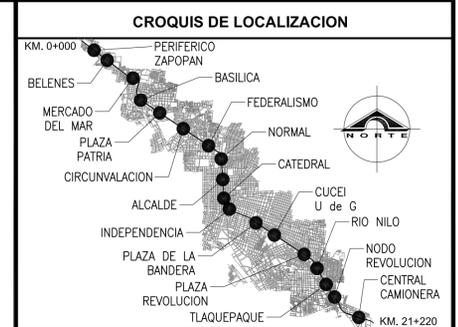
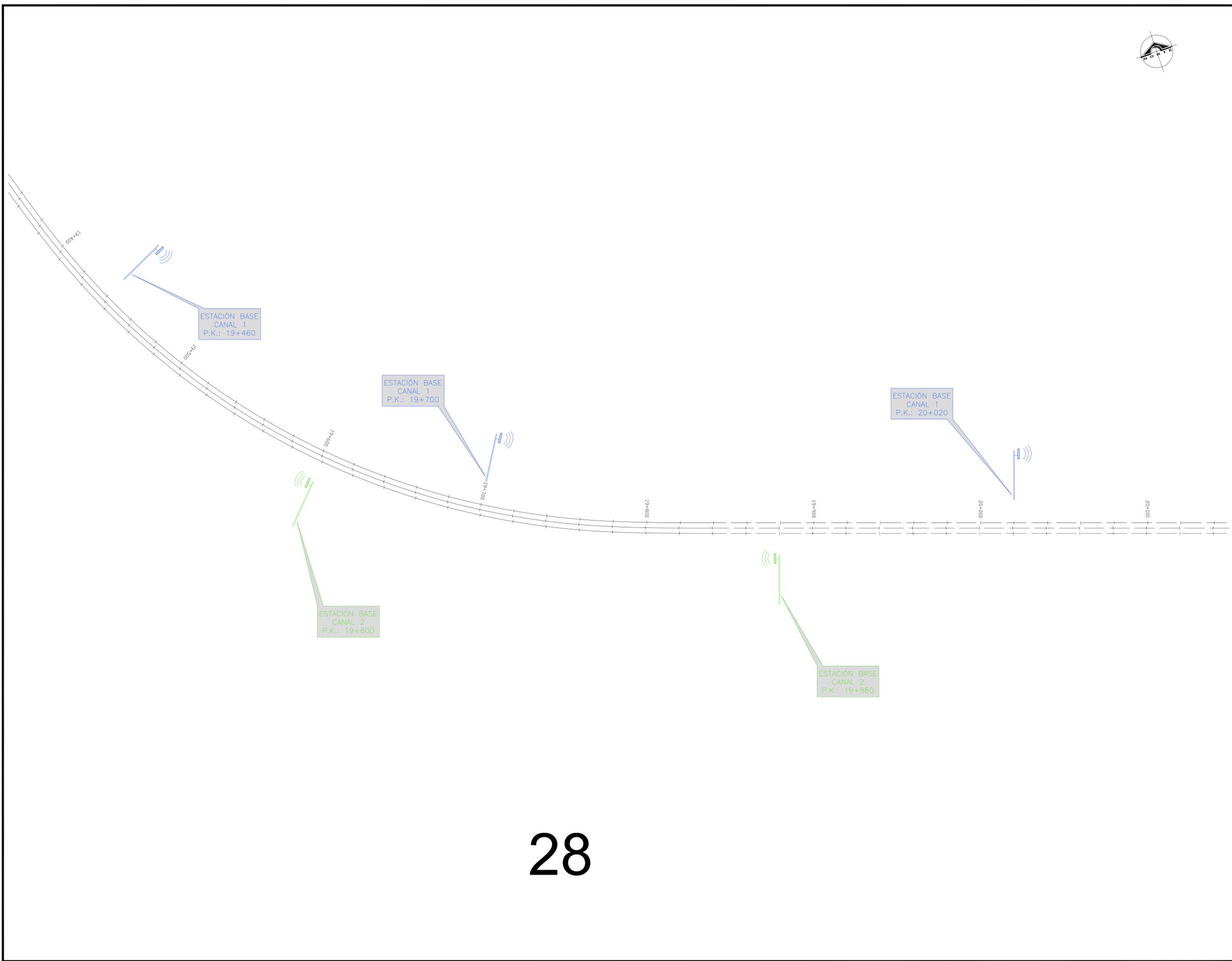
PROYECTO	
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESQ.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVICIO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:





NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES			
MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DAPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

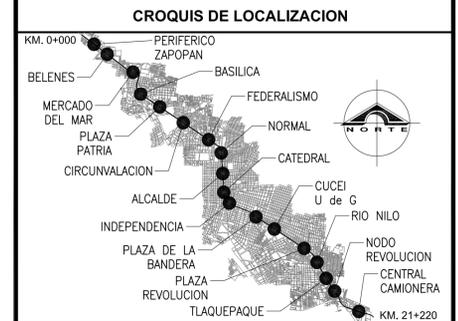
PROYECTO	
REALIZADO	
REVISADO	
AUTORIZADO	
ESG.	

ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	CONTRATO:	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:		FECHA:	
		REV:	

28



NOTAS DE PLANO

SIMBOLOGIA

REVISIONES

MOD.	DESCRIPCION	FECHA	APROBO



DIRECTOR GENERAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO Y MULTIMODAL
LIC. PABLO SUAREZ COELLO
 DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE REGULACION ECONOMICA
LIC. ROBERTO CHICO PEREZ
 JEFE DE DEPARTAMENTO DE FINANZAS Y FIDEICOMISOS DE PROYECTOS FERROVIARIOS
LIC. CECILIA LOAIZA CISNEROS

APODERADO ESPECIAL SENERMEX.
ING. CESAR QUEVEDO GALVAN

REPRESENTANTE LEGAL TRANSCONSULT
ING. JORGE RAUL RUIZ NAKAZONE

PROYECTO	ESTUDIOS DE PRE-INVERSION, RELACIONADOS CON EL ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA FINANCIERA LEGAL Y AMBIENTAL, ANALISIS COSTO - BENEFICIO, ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SERVIDO DE TRANSPORTE MASIVO DE PASAJEROS EN LA MODALIDAD DE TREN LIGERO ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ZAPOPAN, GUADALAJARA Y TLAQUEPAQUE, JALISCO
REALIZO	
REVISO	
AUTORIZO	
ESG.	

TITULO DEL PLANO:

LUGAR:	CONTRATO:
GUADALAJARA JALISCO MÉXICO	DGTFM - 21 - 12
CLAVE PLANO:	FECHA:
	REV:

