



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Atención al sistema de
radiocomunicaciones TETRA de
una red de transporte público
masivo**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Marco Antonio Martínez Hernández

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Mario Alberto Hernández Flores



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado ATENCION AL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES TETRA DE UNA RED DE TRANSPORTE PUBLICO MASIVO que presenté para obtener el título de INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

MARCO ANTONIO MARTINEZ HERNANDEZ
Número de cuenta: 314227117

Agradecimientos

A **Dios** por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mi **familia** por el grande amor que me han dado y por el inmenso esfuerzo que realizaron para que yo pudiera formarme como ingeniero.

A mi asesor el **Maestro Mario Alberto Hernández Flores** por su esfuerzo, paciencia y tiempo al ayudarme, en todo momento, en la elaboración de este trabajo.

A los **miembros del jurado** que me brindaron su confianza y su valioso tiempo en la revisión de este escrito.

A mis **amigos** que me alentaron hasta en los momentos más difíciles. Sin ellos, yo no me hubiera sido posible concluir mi carrera.

A los **trabajadores del organismo y compañeros** que siempre me extendieron su mano y que compartieron conmigo sus conocimientos.

A la **UNAM** por abrirme sus puertas y brindarme todos los recursos necesarios para que yo pudiera formarme como ingeniero.

A la **Facultad de Ingeniería** donde realice mis estudios.

Contenido

1. Introducción	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Resumen	17
1.2.1. Impacto social	19
1.3. Planteamiento del Problema	20
1.4. Objetivos e Hipótesis	21
1.5. Metodología	21
1.6. Estructura del Informe	21
2. Marco Teórico	23
2.1. ¿Qué es TETRA?	23
2.2. Características de TETRA y Usos Alrededor del Mundo	25
2.3. Arquitectura de Red TETRA	26
2.3.1. Interfaces	29
2.4. Modos de Operación TETRA	30
2.4.1. Operación en Modo Troncal	30
2.5. Canal de Comunicación TETRA	32
2.5.1. Estructura de la trama TDMA	32
2.5.2. Codificación, Modulación, y Corrección de Errores	33
2.5.3. Seguridad de TETRA	34
2.5.4. Versión Dos de TETRA	34
3. Trabajos Ordinarios	37
3.1. Programación de Equipos y Modificación de Parámetros	38
3.1.1. Preliminares	38
3.1.2. Descripción de los Procesos	38
3.2. Mantenimiento Preventivo de los Sistemas BDA	42
3.2.1. Preliminares	42

3.2.2.	Descripción del Proceso	44
3.3.	Atención a Sistemas BTS	49
3.3.1.	Preliminares	49
3.3.2.	Descripción del Proceso	50
3.4.	Instalación o Retiro de Equipos Fijos	51
3.4.1.	Preliminares	51
3.4.2.	Descripción del Proceso	53
3.5.	Atención a Componentes de Equipos Embarcados	53
3.5.1.	Preliminares	53
3.5.2.	Descripción del Proceso	55
3.5.3.	Maqueta de la Cabina y Diagrama de Conexión	57
3.6.	Reparación de Radio Portátiles	57
3.6.1.	Preliminares	57
3.6.2.	Descripción del Proceso	59
4.	Trabajos Extraordinarios	61
4.1.	Revisión de Fibra Óptica en Túneles	61
4.1.1.	Preliminares	61
4.1.2.	Descripción del Proceso	62
4.2.	Instalación de un Sistema Embarcado Completo	63
4.2.1.	Preliminares	63
4.2.2.	Descripción del Proceso	63
4.3.	Sustitución de Micrófonos PTT a Equipos Fijos	65
4.3.1.	Preliminares	65
4.3.2.	Descripción del Proceso	65
4.4.	Supervisión del Estado de los Equipos de Radiocomunicaciones en las Estaciones de Isabel La Católica y Pino Suarez de Línea 1	66
4.4.1.	Preliminares	66
4.4.2.	Descripción del Proceso	67
4.5.	Retiro de Agua en Tuberías	67
4.5.1.	Aviso	67
4.5.2.	Descripción del Proceso	67
4.6.	Inventario de Equipo Embarcado Instalado	68
4.6.1.	Preliminares	68
4.6.2.	Descripción del Proceso	68
4.7.	Pruebas de Comunicación en Tramo Renovado de la Línea 1	69
4.7.1.	Preliminares	69

4.7.2. Descripción del Proceso	70
4.8. Revisión del Estado del BSC	70
4.8.1. Preliminares	70
4.8.2. Descripción del Proceso	71
4.9. Creación de una Lista de sistemas BTS que contienen Fuentes de Poder 419	71
4.9.1. Preliminares	71
4.9.2. Descripción del Proceso	71
4.10. Revisión y Llenado de Minutas de Trabajo Faltantes	72
4.10.1. Preliminares	72
4.10.2. Descripción del Proceso	72
5. Análisis de Resultados	73
6. Conclusiones Generales	77
6.1. Conclusiones de los Trabajos	77
6.2. Contribuciones a la Sociedad y a la Formación Profesional	79
6.2.1. Contribuciones a la sociedad	79
6.2.2. Contribuciones a la Formación Profesional	80

Lista de Figuras

1.1. Generación de puestos de trabajo en el 2023 registrados por el IMSS. Tomado de [6]	19
2.1. Logo del estándar TETRA.	24
2.2. Arquitectura típica de una red TETRA.	27
2.3. Representación gráfica de los modos de operación. Adaptado de [12]	31
2.4. Representación jerárquica de cada una de las tramas TDMA. Adaptado de [11]	32
3.1. Diagrama que ilustra el orden en que se encuentra el perfil, el grupo y la carpeta en el programa que se utiliza.	39
3.2. Diagrama simple de la posición de los elementos que componen al sistema BDA	44
3.3. Parte 1 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA	45
3.4. Parte 2 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA	46
3.5. Parte 3 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA	47
3.6. Parte 4 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA	48
3.7. Diagrama sencillo de la posición de los equipos que conforman al sistema BTS	52
3.8. Diagrama de elementos que componen a un radio fijo	54
3.9. Diagrama 3D simple de la estructura del CoCo	55
3.10. Diagrama simple de la estructura de un equipo embarcado	57

3.11. Modelo simple en 3D de los lugares asignados para cada uno de los elementos del equipo embarcado en la cabina de conducción del tren	58
3.12. Modelo en 3D de la posición del refuerzo para el botón SMD con la placa de metal protectora	60
3.13. Otro ángulo de visión del refuerzo colocado al botón PTT	60
4.1. Ubicación de la platina en la cabina del tren	69

Índice de tablas

1.1.	Cantidad de pasajeros transportados por cada medio de transporte disponible en la Ciudad de México en los meses de abril, mayo y junio (meses en que el autor contribuyó en los trabajos). Cifras tomadas de [7]	19
1.2.	Cantidad de pasajeros transportados por cada medio de transporte disponible en la Ciudad de México en los meses de julio, agosto y septiembre (meses en que el autor contribuyó en los trabajos). Cifras tomadas de [7]	20
6.1.	Número de trenes en circulación en el año 2023 en los 6 meses de prestación en el organismo. Cifras tomadas de [18]	80

Lista de Acrónimos

ACELP	<i>Adaptive Code Excited Linear Predictive</i>
BDA	<i>Bi-Directional Amplifier</i>
BS	<i>Base Station</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CoCo	<i>Consola de Comunicación</i>
CTS	<i>Conformance Test Specifications</i>
DMO	<i>Direct Mode Operation</i>
DQPSK	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
ICS	<i>Implementation Conformance Statement</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communication</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ISI	<i>Inter-System Interface</i>
ISSI	<i>Individual Short Subscriber Indentity</i>
MoU	<i>Memorandum of Understanding</i>
LIP	<i>Location Information Protocol</i>
MSC	<i>Mobile Switching Centers</i>
NMS	<i>Network Management System</i>
PCC	<i>Puesto de Control Central</i>
PDN	<i>Public Data Network</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PTT	<i>Push to talk</i>
RF	<i>Radio Frecuencia</i>
SMD	<i>Surface Mounted Device</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>

SwMI	<i>Switching Manager Infrastructure</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TETRA	<i>TErrestrial Trunked Radio</i>
TMD	<i>Tower Mounted Duplexer</i>
TMO	<i>Trunked Mode Operation</i>
TO&M	<i>Terminal for Maintenance and Operation</i>
TR	<i>Transceiver</i>
UPT	<i>Universal Personal Telecommunication</i>
UPS	<i>Uninterruptable Power Supply</i>
USB	<i>Universal Series Bus</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

Capítulo 1

Introducción

En este primer capítulo, para contextualizar la presente tesina, en primera instancia, se habla brevemente de los antecedentes sociales, políticos y económicos del sistema de transporte masivo mediante trenes eléctricos de la Ciudad de México (CDMX), en cuyas instalaciones se desarrolló el trabajo que el autor presenta, desde el inicio de su construcción, además de su importancia y la transformación que sufrió con el paso de los años. Asimismo, se trata acerca de la transición de la comunicación analógica a la comunicación digital empleada por el sistema de transporte, y los problemas y percances por los que ha pasado. También, se da un breve resumen de la estructura que tiene el área de ingeniería encargada de las comunicaciones en el organismo que administra el sistema de transporte, con el fin de que los apartados de Planteamiento del problema, de Objetivos e hipótesis y de Metodología se comprendan de mejor manera. Finalmente, se brinda información acerca del impacto social que el sistema de transporte masivo mediante trenes eléctricos se tuvo en la mitad del año 2023, que fue el año en que se realizaron los trabajos de mantenimiento en los que el autor del presente trabajo participó.

1.1. Antecedentes

Antes de la llegada del sistema de transporte masivo mediante trenes eléctricos en el Distrito Federal (hoy Ciudad de México) un 4 de septiembre de 1969, se veía muy difícil que esta obra se pusiera en marcha debido que la urbe tiene un subsuelo fangoso, actividad sísmica y susceptibilidad de inundación. Además de que el Regente del entonces Distrito Federal, Ernes-

to P. Uruchurtu se oponía a la obra propuesta por ICA (Ingenieros Civiles Asociados) en los años 50s y declaró que este sistema de transporte podría generar un crecimiento poblacional desenfrenado. Para 1966, Uruchurtu fue retirado de su cargo debido a otros conflictos por los que enfrentaba y lo sustituyó Alonso Corona del Rosa [1] y [2], quien estuvo presente en la ceremonia de inicio de construcción. El comportamiento poblacional que había descrito Uruchurtu, ya se ve reflejado en nuestros días.

Tras varios estudios, análisis y actos políticos, el proyecto fue aceptado y llevado a cabo. Para su realización requirió de muchos profesionistas de diferentes ramas, y de obreros, por lo que este proyecto fue un gran generador de empleos y, al momento de su conclusión y operación, el aspecto de la mancha urbana fue cambiando, con el paso del tiempo, hasta conocer lo que es hoy en día. Se presentaron cambios sociales y económicos hasta lograr resolver los problemas de tránsito que padecía la urbe de ese entonces [2], volviéndose así en el medio de transporte más utilizado en la ciudad.

Al inicio de la operación de este medio de transporte, los conductores de los trenes reportaban los fallos que se presentaban durante el día únicamente en las estaciones, utilizando teléfonos de magneto que se encontraban en la cabecera del apeadero. También, requerían saber si estaban autorizados para seguir con la marcha del tren, conocer el estado de las vías, o si tenían que establecer una marcha de seguridad. Todo esto necesitaba que el chofer del tren descendiera de la cabina [3], causando retrasos en la línea. Este sistema no permitía entablar comunicación en las interestaciones en tiempo real.

Debido a la obsolescencia y a la falta de repuestos en los dispositivos que conformaban al sistema de comunicaciones analógico, el organismo decidió adquirir un nuevo sistema de comunicaciones que resolviera los defectos que tenía el antiguo sistema. El diario Milenio reporta que un 20 de diciembre de 2013 el gobierno de la ciudad deseaba adquirir equipos y servicios de radiocomunicaciones digitales TETRA: *TErrestrial Trunked Radio*, a través de una licitación pública internacional y un contrato con el consorcio formado por las empresas Thales Communications & Security S.A.S, Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas S.A, y Thales de México S.A de C.V[4]. Fue el 23 de diciembre de ese mismo año, que se notificó al consorcio que dicha licitación le favorecía y se firmó el contrato. El costo de estos equipos oscilaba alrededor de 40 millones de euros, además de los gastos de mantenimiento

realizados por una empresa externa, la puesta de operación, la instalación, e IVA. Al inicio de operaciones de este medio de comunicación, los trabajadores se dieron cuenta que el sistema no era del todo eficiente, lo que originó un conflicto entre el organismo y el sindicato [4].

El sistema TETRA ha sufrido cambios y percances que no le han favorecido del todo, como el cambio de la aplicación Digimax a TETRAFLEX, con la que el organismo aseguraba una tasa de fiabilidad del 99 %, cuando en realidad es del 70 %, algo que es preocupante para un sistema que se encarga de salvaguardar a muchos usuarios diariamente [3]. Los daños que sufrió tras el incendio en una subestación eléctrica, el 9 de enero de 2021, más la pandemia de COVID-19, provocaron que muchos de los trabajadores que monitorean el flujo de trenes se aislaran y no asistieran a sus puestos de trabajo, haciendo que este medio de transporte se volviera bastante ineficiente en ese entonces. Además, se adjudicó al sistema TETRA la responsabilidad del choque en la Línea 3, en la estación Potrero, el 7 de enero de 2023 [5].

1.2. Resumen

El organismo que administra la red de transporte de pasajeros urbano mediante trenes eléctricos en la CDMX tiene un Área de Radiocomunicaciones que implementa el sistema TETRA, debido a la información crítica que se maneja en la operación del servicio y por los beneficios que tiene el uso de la radiocomunicación digital.

Al día de hoy, el sistema TETRA es operado por el Centro de Comando, Control, Computo, Comunicaciones y Contacto Ciudadano (C5), que permite entablar comunicación adentro y afuera del organismo que administra el sistema de transporte.

La Unidad Administrativa de la Coordinación de Desarrollo Tecnológico es la coordinación del organismo que administra la infraestructura TETRA, el Área de Radiocomunicaciones tiene la tarea de revisar las solicitudes de averías que llegan durante el día a la Unidad Administrativa, y supervisa las tareas de mantenimiento preventivas y de corrección que se hacen para, posteriormente, reportarlas a la unidad ya mencionada; y en el Área de Operación se encuentran trabajadores realizando diversas actividades, por ejemplo, el

monitoreo del estado de toda la red troncal, a través de ordenadores, la reparación de radios, la escucha de todos los canales de comunicación, a lo largo del día, con el propósito de conocer la calidad de las transmisiones, así como estar a la espera de atender fallas en las instalaciones de la red de transporte. Todo esto con el fin de que todas las coordinaciones y/o gerencias tengan un sistema de radiocomunicaciones seguro, confiable y eficiente durante la jornada laboral. También, en caso de que en alguna parte de la red de transporte se requiera atender una emergencia de cualquier índole, el sistema TETRA permite tener una comunicación rápida entre todo el personal de seguridad involucrado, debido a que el estándar prioriza las comunicaciones de emergencia.

La Mesa de Ayuda es un área auxiliar que, de igual forma, monitorea a los sistemas de radiocomunicaciones TETRA y la red troncal. Además, mantiene comunicación con el Área de Operación para reportarle alguna situación.

En el Puesto Central de Comunicación PCC se encuentran los reguladores que se encargan de monitorear el tráfico de los trenes de ciertas líneas y también ahí mismo se les brinda permisos a los trabajadores del organismo para el ingreso a locales donde se encuentran los equipos TETRA.

El monitoreo, inspección, reparación y mantenimiento a los equipos de radiocomunicaciones y a la red TETRA que el organismo posee, fueron las actividades que, comúnmente, se realizaron como parte de la carga de trabajo del autor.

El Área de Operación procura mantener la mejor cobertura de TETRA en la red de transporte a todas horas del día. Además, busca principalmente reducir la generación de desechos electrónicos, generar ahorros monetarios por concepto de adquisición de nuevos dispositivos de radio, ahorrar tiempo y esfuerzo, a través de la planeación de actividades y una mejora en la toma de decisiones, mediante el registro completo de todas las actividades que se realizaron por mes, a partir de datos fiables, procurando, en todo momento, involucrar a todas las partes y sus prioridades.

1.2.1. Impacto social

Este medio de transporte es el más utilizado en la Ciudad de México debido a que este estado es el mayor generador de empleos en comparación con el Estado de México, por lo que se encarga de transportar al día a la población de todo el valle de México hacia sus centros de trabajo [6].

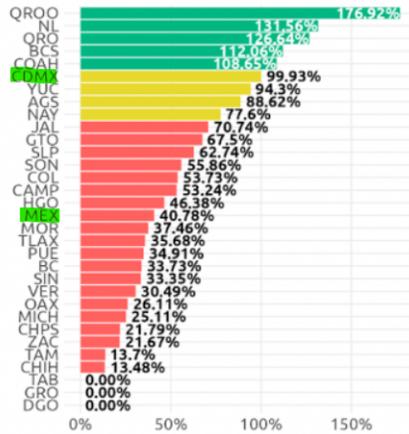


Figura 1.1: Generación de puestos de trabajo en el 2023 registrados por el IMSS. Tomado de [6]

Denominación	Abril	Mayo	Junio
Metro (Millones)	86.6	96.5	93.0
RTP (Millones)	9.5	11.2	11.4
Tren Ligero (Miles)	1,925	2,199	2,041
Metrobús (Miles)	31,812.4	35,355.6	36,478.9
Trolebús (Miles)	6,875	7,701	7,589
Cablebús (Datos absolutos)	3,306,959	3,770,923	3,423,308

Tabla 1.1: Cantidad de pasajeros transportados por cada medio de transporte disponible en la Ciudad de México en los meses de abril, mayo y junio (meses en que el autor contribuyó en los trabajos). Cifras tomadas de [7]

Finalmente, este medio de transporte masivo cubre casi todos los rincones de la ciudad, a diferencia de los otros medios de transporte existentes, y esto

Denominación	Julio	Agosto	Septiembre
Metro (Millones)	90.7	97.7	95.5
RTP (Millones)	10.2	10.9	10.6
Tren Ligero (Miles)	1,856	2,035	2,245
Metrobús (Miles)	34,605.2	37,287.3	37,797.3
Trolebús (Miles)	7,264	7,458	8,120
Cablebús (Datos absolutos)	3,045,166	2,477,950	3,623,400

Tabla 1.2: Cantidad de pasajeros transportados por cada medio de transporte disponible en la Ciudad de México en los meses de julio, agosto y septiembre (meses en que el autor contribuyó en los trabajos). Cifras tomadas de [7]

se puede reiterar con en base al Mapa de la Red brindada por el Gobierno de la Ciudad, a través de su sitio web. Además, respecto de su costo, este sistema de transporte es el más barato, si se compara con el precio en otros países [8].

1.3. Planteamiento del Problema

Aunque el sistema de comunicaciones TETRA ofrece varias ventajas de diseño y operación, mismas que se abordan, con detalle, en el Capítulo 2, para llevar a cabo los servicios de comunicación que el sistema de transporte por trenes eléctricos requiere, como parte de su operación permanente el sistema presenta fallos, que deben solventarse, y necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo, que deben aplicarse. Entre los problemas más comunes que se presentan en la operación continua del sistema están los siguientes:

- Pérdida de cobertura: ante esta situación, los conductores han optado utilizar la app de mensajería WhatsApp como alternativa para comunicarse con el Puesto de Control Central PCC.
- Fallo en los micrófonos y daños en su estructura.
- Interferencias en líneas que tienen correspondencia.
- Actualización necesaria de hardware y software.

- Las fuentes de alimentación de los sistemas BTS se encuentran dañados o requieren de un reemplazo. Además de la presencia de defectos a nivel hardware y software en el BSC.
- Hay tramos cortos donde la cobertura es inexistente.
- Fallo en la operación de la radio portátil o fija, o se presenta en mal estado.
- En sistemas embarcados, hay desperfectos debido a que los cables que se conectan a los terminales de los dispositivos que utilizan se han desoldado.
- Fibras ópticas en mal estado.

1.4. Objetivos e Hipótesis

Una adecuada gestión de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, en el sistema TETRA resulta fundamental para garantizar la continuidad y eficiencia del servicio de transporte público. Sin embargo, los problemas identificados previamente permiten sospechar que la falta de organización y planificación en dichas labores se encuentra directamente relacionada con la frecuencia de las fallas presentadas en el sistema. A ello se suma la obsolescencia de los equipos, factor determinante en la reducción del rendimiento y la confiabilidad de la red.

En este contexto, la presente tesina tiene como propósito evaluar la ejecución de los trabajos de mantenimiento y reparación del sistema TETRA, con el fin de determinar si se realizan de manera adecuada en cuanto a tiempos y procedimientos, y contribuir así a la eficiencia operativa del sistema mediante la documentación y descripción de las actividades llevadas a cabo —principalmente por el autor—, así como de los resultados obtenidos.

1.5. Metodología

1.6. Estructura del Informe

El resto de la tesina está conformada por los siguientes capítulos:

- Marco Teórico
- Trabajos Ordinarios
- Trabajos Extraordinarios
- Análisis de Resultados
- Conclusiones Generales

También, el documento incluye un índice de figuras y una lista de acrónimos para una mejor ubicación de la información de interés por parte del lector.

Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se describe, de forma general, el estándar TETRA, haciendo énfasis en la forma en que los fabricantes, los usuarios y los operadores de redes de todo el mundo implementan este estándar; sus versiones; la arquitectura de red, las interfaces y los modos de operación; las técnicas de codificación, de modulación y para corrección de errores que son parte de la misma; y finalmente, la seguridad en este sistema.

2.1. ¿Qué es TETRA?

TETRA son las siglas de *TErrestrial Trunked Radio* y es un estándar de radiocomunicaciones troncales digitales abierto que comenzó a desarrollarse en la década de los 80's por un grupo de fabricantes de radio europeos bajo el mando del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI, por sus siglas en inglés). Las radiocomunicaciones troncales permiten que los usuarios puedan compartir los canales de comunicación disponibles, a diferencia de los sistemas de radio convencionales, en los que cada grupo de usuarios tiene asignado un canal específico y para enviar su mensaje debe esperar que el canal del receptor este desocupado. Así, si un cierto usuario de cierto grupo desea comunicarse con un grupo distinto, éste debe cambiar de canal para que pueda emitir su mensaje y siempre estará disponible dicho canal.

El estándar TETRA está compuesto por una serie de normas aprobadas por este Instituto que satisfacen las necesidades de comunicaciones de

la industria y de los servicios de emergencia. Fue desarrollado a partir de la tecnología GSM y, así, tomó menos tiempo, y es que Whitehead [9] menciona que: “La lección de GSM es que la estandarización es la clave del éxito en el mercado. La estandarización aporta confianza al consumidor, producción de alto volumen y precios más bajos”.

Cuando el estándar salió a la luz, solamente abarcaba varias naciones de Europa, hasta que empezó a tener una tendencia global y, por lo tanto, a lo largo del tiempo las normas que lo conforman empezaron a sufrir modificaciones. Los usuarios, los fabricantes de radios, operadores de redes y desarrolladores de software, firmaron un Memorándum de Entendimiento (MoU, por sus siglas en inglés) con el fin de realizar de manera rápida y coherente la implementación de TETRA en todos los países que lo utilizan a partir de que dicho estándar debe brindar interoperabilidad¹. En la Figura 2.1 se muestra el logo de este estándar de radiocomunicaciones.



Figura 2.1: Logo del estándar TETRA.

Tomado de [12]

La primera versión del estándar, denominada TETRA *Release 1*, fue aprobada y adoptada en agosto de 1995, en la especificación ETS 300 391, donde se especifican 3 partes [11]:

1. Telecomunicaciones Personales Universales (UPT, por sus siglas en inglés).
2. Formularios de Declaración de Conformidad de Implementación (ICS, por sus siglas en inglés).
3. Especificaciones de Pruebas de Conformidad (CTS, por sus siglas en inglés).

¹Se puede utilizar equipos de otros fabricantes en el estándar.

Y, en diciembre de ese mismo año, ETSI aprobó y adoptó la interfaz aérea del estándar, que se describirá más adelante.

2.2. Características de TETRA y Usos Alrededor del Mundo

Es importante mencionar algunos casos en el que este sistema de radiocomunicaciones se ha implementado exitosamente en el mundo, y que se dieron en los sectores de seguridad, transporte y logística y minería, entre ellos [10]:

- Brasil, con su Policía Rodoviaria Federal.
- Dinamarca, con sus Agencias de Seguridad Pública.
- En Austria, se actualizaron las comunicaciones para los servicios de emergencia “Organizaciones de Luz Azul”.
- Implementación del estándar en el aeropuerto de Stuttgart y Badden-Airpark, en Alemania.
- Las empresas Rheinbahn y Via Verkehrsgesellschaft, que operan el transporte público alemán, retiraron los sistemas simulcast analógicos para sustituirlos por la tecnología TETRA en la región de Rhine-Ruhr, Alemania.
- La empresa Metro de Medellín Ltda., en Colombia, modernizó sus sistemas analógicos a TETRA, debido a que, la intercomunicación y la capacidad de datos no era posible con dichos equipos análogos.
- La empresa forestal Mininco, ubicada en Chile, actualizó sus equipos analógicos a digitales con el estándar para aumentar la eficiencia en seguridad y operatividad.

A continuación, se enlistan las principales características del sistema [11]:

- Transmisión digital de voz
- Cifrado de extremo a extremo en su interfaz aérea.
- Autenticación mutua.

- Soporta un número ilimitado de usuarios.
- Operación en dos modos: troncal y directo.
- Se recurre al Acceso Múltiple de División de Tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés) para el envío de datos y voz.
- Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura Diferencial $\pi/4$ -DQPSK, por sus siglas en inglés.
- Separación entre portadoras de 25 kHz.
- Entrada tardía de llamadas a un grupo.
- Activado y desactivado seguro de radios de forma remota.
- Teóricamente, TETRA puede operar de entre 100 y 1000 MHz².

2.3. Arquitectura de Red TETRA

Una red de TETRA consta de una o más Infraestructuras de Conmutación y Gestión (SwMI, por sus siglas en inglés), o también conocidos como Nodos que trabajan de forma conjunta con Estaciones de Radio, Interfaces y estaciones de línea (mejor conocidos como “Despachadores”).

Un SwMI consta de Estaciones Base (BS, por sus siglas en inglés) con una Antena Transceptora, Controladores de Estaciones Base (BSC, por sus siglas en inglés), Centros de Conmutación Móvil (MSC, por sus siglas en inglés) y un Sistema de Administración de Redes (NMS, por sus siglas en inglés). Los Nodos de TETRA se encargan de conmutar y transmitir información de voz, datos y de señalización³ entre estaciones de radio y *gateways*⁴ (puertas de enlace), hacia redes de telefonía y datos externas.

²En cada región o país, una autoridad regulatoria se encarga de asignar las bandas de frecuencia debido a la disponibilidad de dispositivos que operan a diferentes frecuencias.

³Son señales que se envían y reciben para que los datos enviados sean llevados a usuarios específicos y para la adecuada configuración del canal de comunicación.

⁴Son dispositivos que permiten la comunicación entre sistemas que utilizan otras tecnologías o protocolos

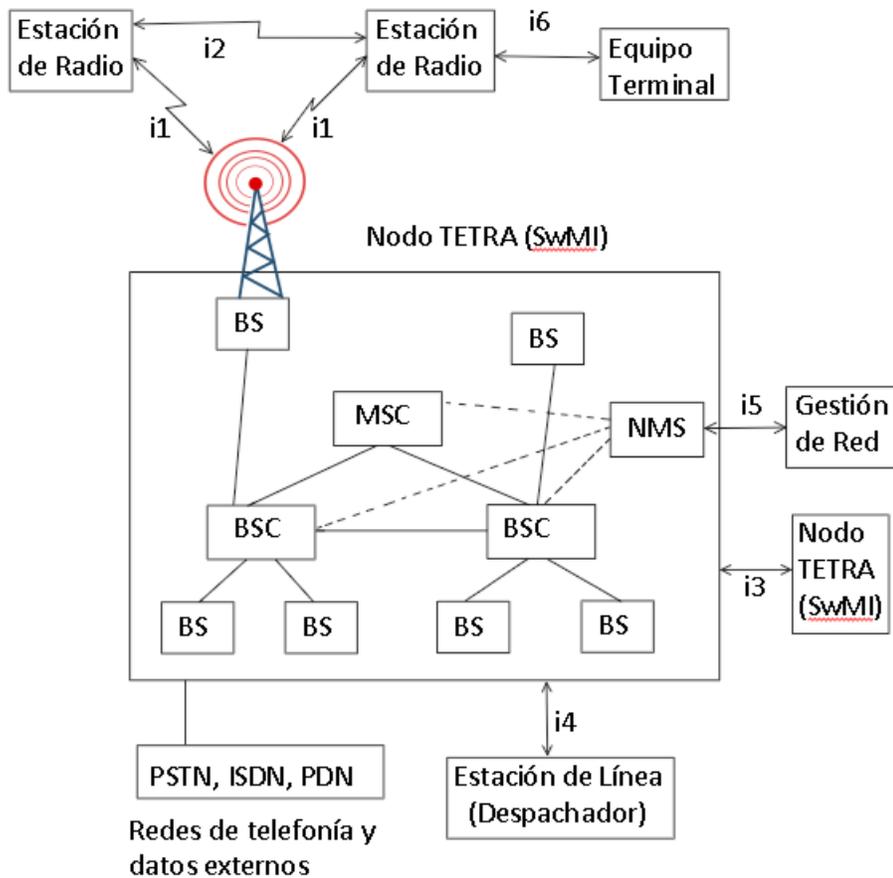


Figura 2.2: Arquitectura típica de una red TETRA.
Adaptado de [11]

También pueden soportar funciones de roaming⁵, administración de claves y autenticación [9]. La composición de la arquitectura típica de una red TETRA se presenta en la figura 2.2.

Una red completa de este sistema contiene una Estación Transceptora Base BTS y su Sistema Controlador Base BSC, Radios Portátiles, Radios de Transporte Móvil, Radios Fijos, Dispositivos para la Gestión de Estaciones Base, Radios de Estación Base Conmutadas, Escritorio de Despacho y una Terminal de Mantenimiento Técnico y de Operación (TO&M, por sus siglas

⁵Capacidad de un equipo de radiocomunicaciones de conectarse a una red distinta.

en inglés) [11], más las interfaces que se requieren y que se hablarán de ellas más adelante.

En [11] se establece que el papel de un Sistema Base Controladora BSC es el de dar acceso a los usuarios a redes de conexiones externas de telefonía y datos, y a otras redes TETRA, además de gestionar bases de datos, en otras palabras, se encarga de controlar al Sistema Transceptor Base BTS. Mientras que, una BTS tiene las tareas de brindar al usuario conexión a una celda de radio, conectar los radio a la red troncal, cifrar líneas de enlace, gestionar la energía de las estaciones base y de los canales de radio.

En una BTS se pueden encontrar los siguientes dispositivos:

- **BSC**, que ya fue explicado anteriormente.
- **Transciver (TR)**: Se encarga de la modulación/demodulación de las señales de radio.
- **Fuente de alimentación**: Convierte los 127 Volts en corriente alterna de la red eléctrica pública a 48, 14 y 26 Volts en corriente directa.
- **Combinador**: Combina las salidas de Tx de los sistemas TR a una sola salida.
- **TMD**: Es un duplexor que permite la conexión entre los puertos de entrada/salida de radiofrecuencia de la BTS y el sistema de antenas.
- **Router**: Permite que varios dispositivos puedan tener acceso a la misma conexión de internet y gestiona el tráfico de redes.

Un Radio Móvil es un radio que suele estar instalado en un vehículo. En el caso de un Radio Portátil, este se puede llevar a todas partes (siempre y cuando se tenga buena cobertura en la zona). Un Radio Embarcado es un sistema que brinda comunicaciones al piloto del tren. Por último, un Radio Fijo suele estar instalado en el interior de un edificio.

El Terminal de Mantenimiento Técnico y Operación TO&M se conecta directamente al BSC con el fin de monitorear el estado del sistema, detectar fallas, realizar tareas de monitorización, registrar el estado del tráfico en los canales y modificar parámetros [11]. Esto es posible mediante el Protocolo

Simple de Administración de Red (SNMP, por sus siglas en inglés) y mediante el Acceso por Escritorio Remoto.

2.3.1. Interfaces

Las interfaces que posee la red de TETRA, y que se muestran en la Figura 2.2, son las siguientes:

- **i1 Interfaz Aérea:** Permite la interoperabilidad de equipos y es en este punto donde se lleva a cabo el cifrado de extremo a extremo de la información que se envía.

- **i2 Interfaz de Modo Directo DMO:** Cuando alguna parte del sistema troncal se encuentra averiada, o la cobertura de radio no es buena, los radios pueden enlazarse sin utilizar a la red troncal, este caso, se dice que pasan a estar en Modo de Operación Directa (DMO). Asimismo, la radio puede operar en Modo de Operación Troncal (TMO), manteniendo una comunicación con la BS.

- **i3 Interfaz Intersistema (ISI):** Permite la interconexión a otros nodos TETRA.

- **i4 Interfaz de Estación de Línea (Despachador):** Con esta interfaz es posible que el despachador pueda administrar las llamadas de los grupos de usuarios que utilizan la red.

- **i5 Interfaz de Gestión de Red:** Esta interfaz da la capacidad de monitorear el estado del sistema.

- **i6 Interfaz de Equipo Terminal:** se utiliza para intercambiar datos entre una estación de radio y un equipo terminal (puede ser un computador personal) [15].

Adicionalmente, en la Figura 2.2, las Redes Externas de telefonía y datos, que se toman de ejemplo, son la Red Telefónica Pública Conmutada, la Red Digital de Servicios Integrados y la Red Pública de Datos (PSTN, ISDN y PDN, por sus siglas en inglés, respectivamente).

2.4. Modos de Operación TETRA

El estándar les permite a los radios operar de dos maneras distintas, que enseguida se describen, y se representan en la Figura 2.3:

Operación de Modo Directo

En este modo, los radios pueden comunicarse directamente sin necesitar de la red troncal. Los escenarios que contienen son [9]:

- **Escenario Básico:** Se realizan llamadas individuales, de grupo o de difusión.
- **Dual Watch:** Cuando un radio opera en modo directo, se monitorea el canal troncal y viceversa.
- **Modo Directo Administrado:** Aquí, la radio envía señales de autorización para el ingreso del usuario a la llamada del grupo.
- **Repetidor:** Puede soportar una o dos llamadas de diferentes frecuencias simultáneamente.
- **Puerta de Enlace:** Una radio enlaza a otras ya sea que operen en los modos DMO y TMO.
- **Repetidor Administrado:** Envía señales de autorización de para los escenarios de Repetidor y Puerta de Enlace.

2.4.1. Operación en Modo Troncal

En este caso, la radio utiliza el sistema troncal para realizar llamadas individuales, grupales o de difusión. Además, existen tres tipos de comunicación en este modo de operación [12]:

- **Full Duplex:** Los dos usuarios pueden hablar y escuchar al mismo tiempo.
- **Semi-Duplex:** Solo una parte del grupo puede hablar y, para ello, utilizan un botón *Push to talk* (PTT) para poder transmitir el mensaje de voz.

- **Simplex:** Se envían mensajes de difusión o de grupo.

Para evitar interferencias, los radios utilizan diferentes frecuencias con un cierto desplazamiento [12].

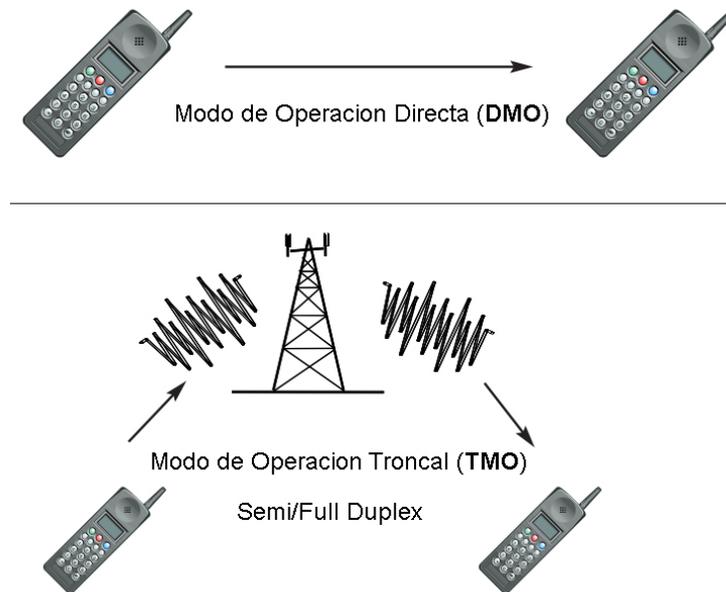


Figura 2.3: Representación gráfica de los modos de operación. Adaptado de [12]

En este modo se brinda el servicio de voz más datos (V+D), el cual consta en enviar la señal de voz y datos (mensajes) al mismo tiempo en un solo canal o conmutarlos de modo que uno se envíe primero seguido del otro. Por desgracia muchas de las tecnologías no soportan el envío mutuo de voz y datos, debido a colisiones en el canal de transmisión y, por lo tanto, se presenta un retraso en el envío de mensajes y llamadas.

2.5. Canal de Comunicación TETRA

2.5.1. Estructura de la trama TDMA

Para enviar de mensajes de voz y datos a través de TETRA, se seleccionó el método de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, por sus siglas en inglés), el cual está formado por una trama primaria dividida en 4 timeslots (canales, o intervalos de tiempo), que se intercalan en una sola portadora [9], con un ancho de banda de 25 kHz. La trama primaria tiene una duración de 56,67 ms y cada timeslot comprende 14,67 ms. En cada trama primaria se puede enviar un paquete de información con tamaño de 510 bits.

Una multitrama tiene 18 tramas primarias y esta tiene una duración de 1,02 s. La trama 18 sirve para transmitir la señalización. Sus 17 tramas restantes pueden ser usadas para la señalización. La hipertrama está formada por 60 tramas y dura 61,2 s. Se utiliza para el cifrado de la información a enviar [11].

En la Figura 2.4 se ilustra la relación jerárquica de la estructura de la trama.

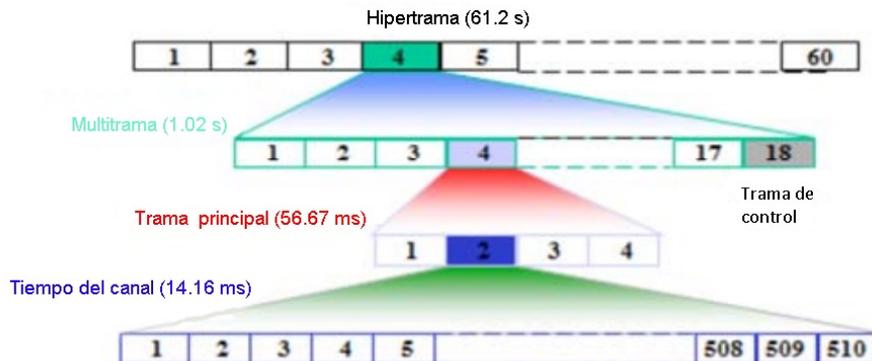


Figura 2.4: Representación jerárquica de cada una de las tramas TDMA. Adaptado de [11]

2.5.2. Codificación, Modulación, y Corrección de Errores

Cuando se desea enviar un mensaje de voz a través de una radio, la señal analógica primero debe ser digitalizada para después ser codificada mediante el uso del algoritmo de Predicción Lineal Excitada por Código Adaptativo (ACELP, por sus siglas en inglés), de tal modo que se garantice una excelente calidad de señal de voz. Después, la señal se modula utilizando la Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura Diferencial $\pi/4$ -DQPSK para que dicho mensaje no sufra de interferencias al momento de transmitirlo, y, finalmente, se amplifica.

Este tipo de modulación “cambia la fase” de la portadora de RF en pasos de $\pi/4$ o $3\pi/4$ dependiendo de los datos transmitidos. Con cada cambio de fase se transmite un símbolo que contiene dos bits” [12]. Además, esta modulación, es de carácter angular, por lo que requiere “hardware más caro e implica un mayor consumo y disipación de energía” [11]. Por eso, es necesario el canal de linealización, para que todos los radios se linealicen a la par

La elección de esta modulación según Dewey y Pequet:

... se basa en cuestiones de eficiencia de ancho de banda, problemas de coordinación del sistema, como el aislamiento de canales adyacentes requerido, la propagación del espectro, la capacidad de reutilización de frecuencia (generalmente el rendimiento bajo limitaciones de interferencia co-canal), la facilidad de fabricación y escenarios operativos previstos [15].

Pero, no solamente la información es modulada y codificada, también se controlan los errores de bits que suelen aparecer en el canal y, para ello, comúnmente se utilizan los siguientes códigos: Reed Muller Acortado, Códigos Cíclicos y Códigos Convolucionales Puntuados Compatibles (RCPC) [14].

Finalmente, TETRA puede corregir mensajes si fuese requerido y el nivel de corrección dependerá de la sensibilidad del contenido del mensaje que se está enviando.

2.5.3. Seguridad de TETRA

Las señales de voz y datos que suelen enviarse a través del estándar tienen ciertos mecanismos a modo de evitar que algún usuario ajeno al sistema logre filtrar los mensajes delicados de la organización, dichos mecanismos son los siguientes [15]:

- **Autenticación Multinivel:** los participantes suelen poseer un permiso para el acceso a la red.
- **Cifrado de la Interfaz Aérea:** oculta la información que se transmite a otros grupos. Se usa una dirección de alias para no hacer saber al resto de los participantes la ubicación del usuario.
- Las llamadas y los mensajes se cifran de extremo a extremo (ciertas personas que se están comunicando pueden recibir ciertos mensajes de voz o texto).
- El método de acceso TDMA evita la interferencia de la frecuencia mediante un salto de frecuencia.
- Se pueden activar o desactivar los radios participantes a través de la interfaz aérea.

2.5.4. Versión Dos de TETRA

En el año de 2002 ETSI, en conjunto con los usuarios desarrollan TETRA Release 2, que contiene mejoras con respecto a la versión 1, entre ellas [9] y [12]:

- Aumento en el rango de conexión de TMO.
- Uso de un códec adaptivo multipropósito.
- Códec de voz mejorado en base al trazado de líneas de excitación mezclado predictivo.
- Se introduce TEDS (*TETRA Enhanced Data Service*) para una transmisión de datos rápida.
- Aparición de la tarjeta SIM TETRA, alcanzando interoperabilidad y roaming entre GSM y TETRA 2.

- Transición de 3G a 4G, más compatibilidad de equipo de TETRA 2 con TETRA 1.
- Mejora en la celda de radio aire-tierra-aire.
- Se utiliza un Protocolo de Información de Ubicación (LIP) para servicios de geolocalización avanzados.

Finalmente, como cierre de este capítulo, y debido al contenido de esta tesis, es importante mencionar que el estándar TETRA no solamente se encuentra implementado para su uso en el sistema de transporte de pasajeros por trenes de la Ciudad de México y su Área Metropolitana, sino en sistemas de transporte similares de otras partes del mundo, por ejemplo, en Barcelona (Metro Barcelona), en Filipinas (Manila Light Rail Transit), en Doha (Metro Doha), en Estados Unidos de América (Caltrain), en Chile (Metro Santiago de Chile), en Turquía (Marmaray Istanbul), en Suiza (The Swiss Federal Railways SFR), entre otros [16]. Todos ellos operan con diferentes tecnologías y, por lo tanto, frecuencias de uso.

Capítulo 3

Trabajos Ordinarios

En este capítulo se describe el procedimiento de los trabajos denominadas “ordinarios” que se ejecutan comunmente en el Área de Operación. La estructura utilizada para la descripción de cada una de las tareas se conforma de dos apartados, primero, por uno titulado “preliminares”, que comprende las subtarefas obligatorias que se llevan a cabo antes del trabajo de mantenimiento preventivo o de corrección, o la mención de las condiciones que están involucradas en la realización de la tarea, y, después, se tiene el apartado de la descripción que detalla los procesos del trabajo, como tal. Cabe mencionar que esta estructura también se sigue en la descripción de las tareas denominadas “extraordinarias”, que se encuentran en el Capítulo 4 de este informe.

Esta estructura no está basada en algún protocolo del organismo, si no que fue definida por el autor para exponer su trabajo, de forma precisa y puntual. Asimismo, a modo de evidenciar los detalles de la metodología de los trabajos que se hacen.

3.1. Programación de Equipos y Modificación de Parámetros

3.1.1. Preliminares

Solicitud

La coordinación o gerencia que requiera solicitar una programación o modificación de parámetros en el radio tiene que enviar una Orden de Trabajo¹ firmada, ya sea por la coordinación o la gerencia, según sea el caso, hacia la Unidad Administrativa de la Coordinación de Desarrollo Tecnológico para su revisión, después esta Unidad Administrativa hace entrega de una copia del documento con un folio al Área de Radiocomunicación TETRA para que, finalmente, sea canalizado al Área de Operación.

Sitio de Trabajo

Área de Operación TETRA

Preparativos

Se procede a abrir el *software* brindado por el fabricante en la computadora perteneciente al organismo y se alista el cable especial que comunica al radio con la computadora, o se puede utilizar un cargador múltiple con seis compartimentos para cargar y programar hasta seis radios a la vez.

Requerimientos

Dominar satisfactoriamente el *software* que se usa para programar radios.

3.1.2. Descripción de los Procesos

Programación de Equipos Portátiles y Fijos

Un equipo portátil como lo dice su nombre es un radio que se puede llevar a todas partes y uno fijo es aquel que se encuentra ubicado en un solo lugar (por lo general, se encuentran en oficinas).

¹En otras palabras, un oficio de solicitud

Se debe dejar en claro que lo que se programa en el dispositivo es un perfil o un archivo de configuración del radio. Este archivo ya se encuentra programado y se encarga de bridar las características suficientes para que el radio TETRA pueda comunicarse con uno o varios grupos de personas, evitando que grupos ajenos interfieran con lo que se comunica en ese instante. Los perfiles se encuentran en grupos que no son más que, canales de comunicación. Finalmente, los grupos se encuentran en carpetas, y es ahí donde están divididos de acuerdo con las áreas de trabajo existentes. En la figura 3.1, se ilustra mejor el orden en que se encuentran los perfiles, los grupos y las carpetas.

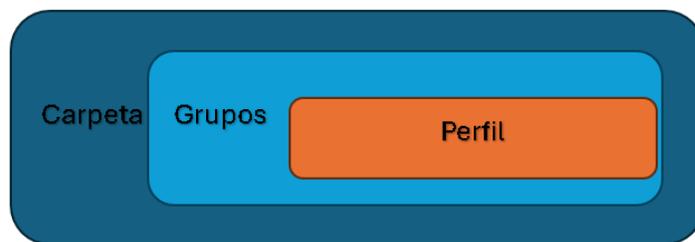


Figura 3.1: Diagrama que ilustra el orden en que se encuentra el perfil, el grupo y la carpeta en el programa que se utiliza.

Una vez descrita la jerarquía en que se encuentran ubicados el perfil, el grupo y la carpeta, se abordan los pasos a seguir para la programación de un radio portátil:

1. El programador debe recibir el oficio de trabajo elaborado por la coordinación solicitante con lo requerido para el radio. El usuario del radio asiste al Área de Operación con el documento y el radio.
2. Se coloca el radio en un cargador múltiple o se usa el cable especial para que se pueda comunicar con el computador y en el programa el dispositivo portátil debe estar en modo de programación.

Se debe tener cuidado en que las versiones del software y del radio sean compatibles para que la programación pueda realizarse de manera satisfactoria. En caso de que se programe un radio portátil con cable, se debe procurar que este tenga una carga en su batería mayor al 60% para que no se presenten interrupciones o errores en el proceso.

3. Se busca el perfil solicitado en el *software* navegando primero entre las carpetas, para, después, hacerlo entre los grupos.

También se debe tomar en cuenta que el perfil cambia en función del modelo del radio que se esté programando.

4. Una vez localizado el perfil, éste se le aplica al radio y se le indica al programa que lo desconecte de la computadora, una vez terminada la operación.
5. Por último, el radio entra en modo de solo carga y es en ese momento en que puede ser retirado del multicargador o desconectarlo del cable.
6. El programador hace entrega del equipo y el usuario del radio firma en la orden de trabajo que la programación fue hecha satisfactoriamente, al igual que el programador.

Programación de Equipos Embarcados

Un Equipo Embarcado es aquel que mantiene comunicado a la persona encargada de pilotar el tren en marcha con PCC. En este caso, el proceso de programación se realiza de la misma manera que para los equipos portátiles con la diferencia de que se requiere de una fuente múltiple regulada para energizar al equipo y de un cable especial, distinto al usado con los radios portátiles. Al término de la programación del perfil, se debe instalar el *software* del fabricante mediante una USB booteable sin desconectar la fuente de energía. Finalmente, la orden de trabajo debe ser firmada por el programador y el jefe del garaje o taller donde se encuentra el tren que se atendió.

Modificación de Parámetros en Equipos Portátiles, Fijos y Embarcados

■ Cambio del Parámetro ISSI

Es posible modificar el parámetro de Identidad Corta del Suscriptor Individual ISSI (del inglés, *Individual Short Subscriber Identity*) en equipos portátiles, embarcados o fijos. Este no es más que un número corto de identificación, similar a los números de celular personales, pero estos tienen 10 dígitos.

El procedimiento de cambio es el siguiente:

1. Leer el oficio de trabajo para saber qué ISSI se debe programar en el radio.
 2. El equipo se conecta al computador mediante cable o multicargador (para el caso de radios portátiles).
 3. En el programa se verifica si el radio ya ha sido detectado y se le indica que proceda a leerlo, más no que lo establezca en modo de programación. Se debe tomar en cuenta que el programa y el radio deben ser compatibles, por ello, se debe verificar esto primero.
 4. Una vez concluida la lectura, el programa despliega una ventana con carpetas y símbolos que contiene el radio, en esa misma ventana se debe dirigir e ingresar al apartado *Suscriber Unit Parameters* para después buscar el campo ISSI. Se modifica el parámetro dando doble clic sobre la casilla con el número de identificación que posee (si el radio es nuevo, saldrá el valor de 1000 por defecto) y se guardan los cambios presionando la tecla *ENTER*.
 5. Se escriben las modificaciones en la radio y elegimos la opción de “apagar radio” una vez concluida la operación.
 6. Se avisa a la Mesa de Ayuda sobre los cambios hechos al dispositivo y se debe esperar hasta que el radio pueda conectarse.
 7. En caso de que el radio no se pueda conectar a la red, se acude a Mesa de Ayuda para preguntar sobre el estatus del radio portátil.
 8. Si no se presentan problemas, el usuario solicitante y el programador deben firmar el orden de trabajo una vez concluida la tarea.
 9. En caso de ocurrir un error, entonces, esto quiere decir que la compatibilidad del programa y el radio NO es la correcta. Entonces, se busca el programa correcto en el computador del organismo y se realizan de nuevo los pasos 2 a 8.
- **Adición de Grupos** Esto solamente se puede realizar en equipos portátiles y fijos siempre verificando que la compatibilidad programa-radio es la adecuada. El procedimiento es el siguiente:
1. Conectar el radio en la computadora.
 2. En el programa se debe poner el radio en modo de programación.
 3. Buscar en el programa los grupos requeridos por la coordinación o gerencia y copiarlos en el radio.

4. Para su programación, se requiere agregarlos a una carpeta, ya sea creada por el programador, o una ya existente.
5. Finalmente, se escriben los cambios en el radio y se indica al programa que apague la radio una vez concluida la tarea.

■ Borrado de Grupos

De igual forma, esta tarea solamente se puede hacer con los equipos portátiles y fijos verificando la compatibilidad entre el radio y el programa.

1. Conectar el radio a la computadora.
2. El radio debe estar en modo de programación.
3. 4.3. Acceder a los grupos del radio en el apartado ubicado en la cinta del lado izquierdo del *software* denominado *Talkgroups* para desplegar sus opciones y después seleccionar la opción TMO *Talkgroup List* y es ahí donde se muestra la lista de grupos cargados en el radio.
4. La selección de grupos a suprimir se hace dando clic izquierdo en la casilla vacía que se encuentra a lado izquierdo del nombre del grupo de la lista. En ese momento en la casilla aparece una “paloma”, además el nombre y la fila del grupo quedan resaltados por un color distinto.
5. Presionar el botón *Supr.*
6. Se aplican los cambios y se desconecta el radio del computador.

3.2. Mantenimiento Preventivo de los Sistemas BDA

3.2.1. Preliminares

Un sistema BDA (del inglés, *Bi-Directional Amplifier*) se encarga de expandir el rango de cobertura brindada por la radio base ubicada en el sistema BTS en el lugar que se requiere. Más adelante se explicará que es un sistema BTS.

Planeación

Esta actividad contempla seis meses de trabajo y la organiza el Área de Radiocomunicación TETRA.

Sitio de Trabajo

Los trabajos se realizan en locales ubicados dentro de algunas estaciones que poseen este sistema. El acceso solamente es para el personal autorizado.

Preparativos

Los trabajadores del organismo y los prestadores del servicio social asignados para realizar el mantenimiento deben alistar desde el Área de Operación su vestimenta (botas dieléctricas, camisa de manga larga y pantalón), y la mochila donde se cargará con las herramientas de limpieza, desarmadores, un taladro, tabla con broche y una pluma azul para escribir las minutas de campo, así como linterna para la cabeza. Además, cada miembro del equipo debe traer siempre un radio portátil para poder realizar pruebas al finalizar la tarea.

Restricciones

No se le permitirá al equipo de trabajo realizar la tarea si no porta sus botas y su vestimenta adecuadas. En el caso de los hombres no se les permite usar bermudas, pants o shorts, con respecto a las mujeres, no se les permite usar licra, falda, mayón o pants.

Si las personas asignadas no llevan las vestimentas adecuadas, conllevan el riesgo de sufrir una descarga eléctrica a causa de otros dispositivos energizados que operan con corriente directa y alterna ubicados en el local donde, de igual forma, se ubican los equipos TETRA y, por lo tanto, se les restringe el acceso al sitio.

Solicitud de Entrada al Local

Una vez preparado el equipo de trabajo, se procede a trasladarse al sitio y, mientras tanto, en el camino, uno de los trabajadores del organismo llama a PCC mediante una llamada telefónica privada para solicitar acceso al local donde se encuentra el equipo TETRA que requiere ser atendido. Entonces,

PCC brinda un número de referencia y el apellido de quien autoriza la entrada al local para poder dar aviso al oficial de policía de la estación en turno.

3.2.2. Descripción del Proceso

Con base en un diagrama de flujo mostrado en las figuras 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se ilustra el proceso que se llevó a cabo para el mantenimiento de los sistemas BDA.

La manera en que se encuentran ordenados los dispositivos de este sistema se muestra en la figura 3.2.

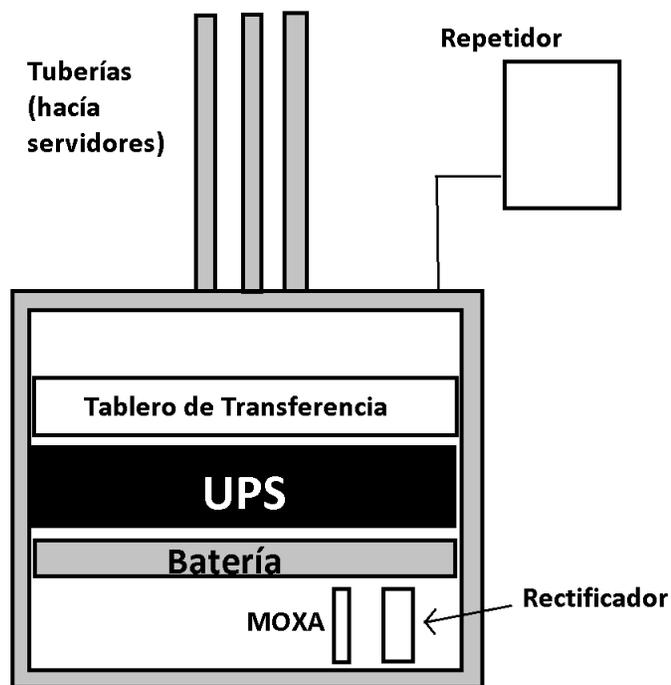


Figura 3.2: Diagrama simple de la posición de los elementos que componen al sistema BDA

Partes del Sistema BDA

Todos los componentes del BDA se encuentran en un gabinete metálico a excepción del repetidor y la función de cada uno se describe a continuación:

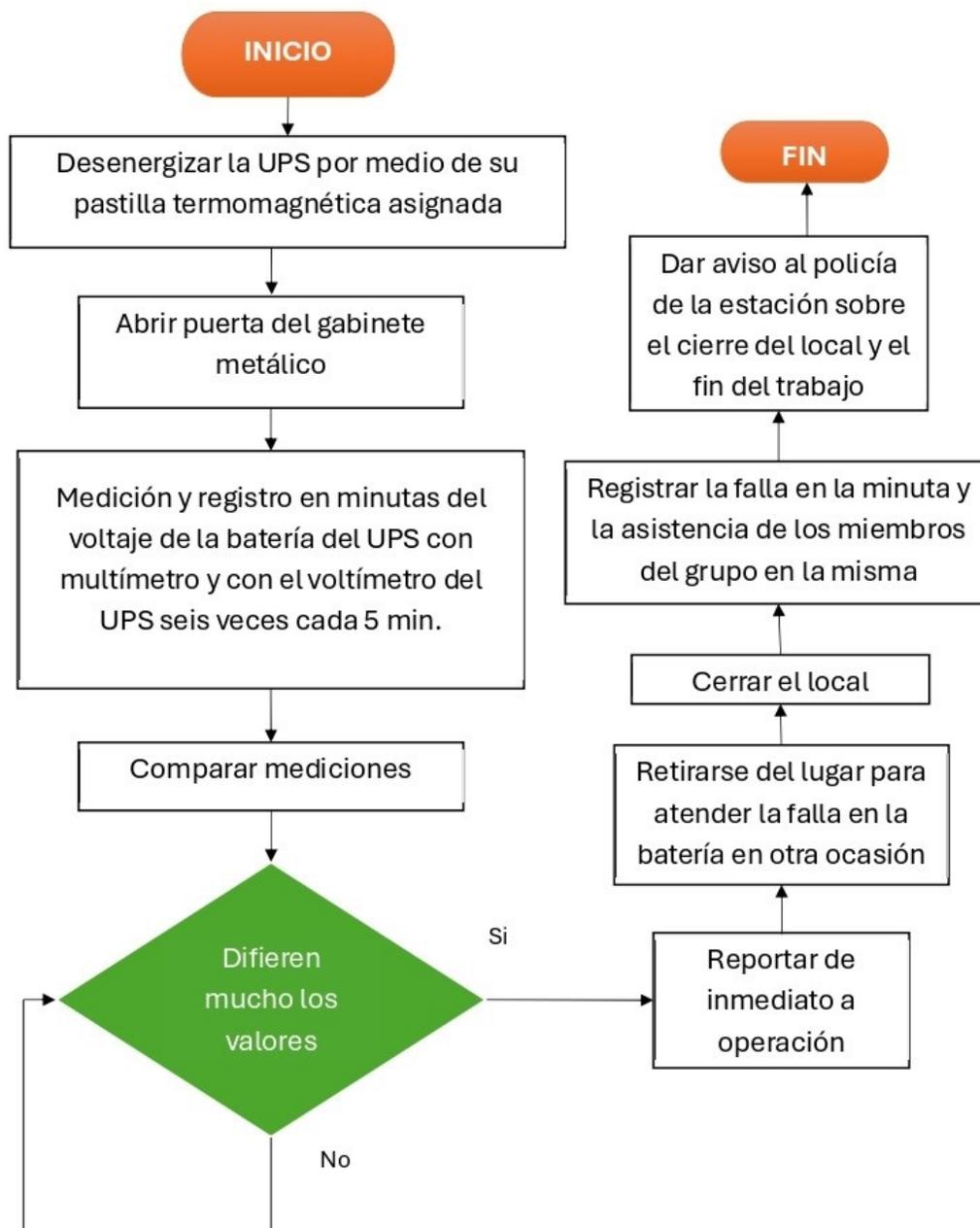


Figura 3.3: Parte 1 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA

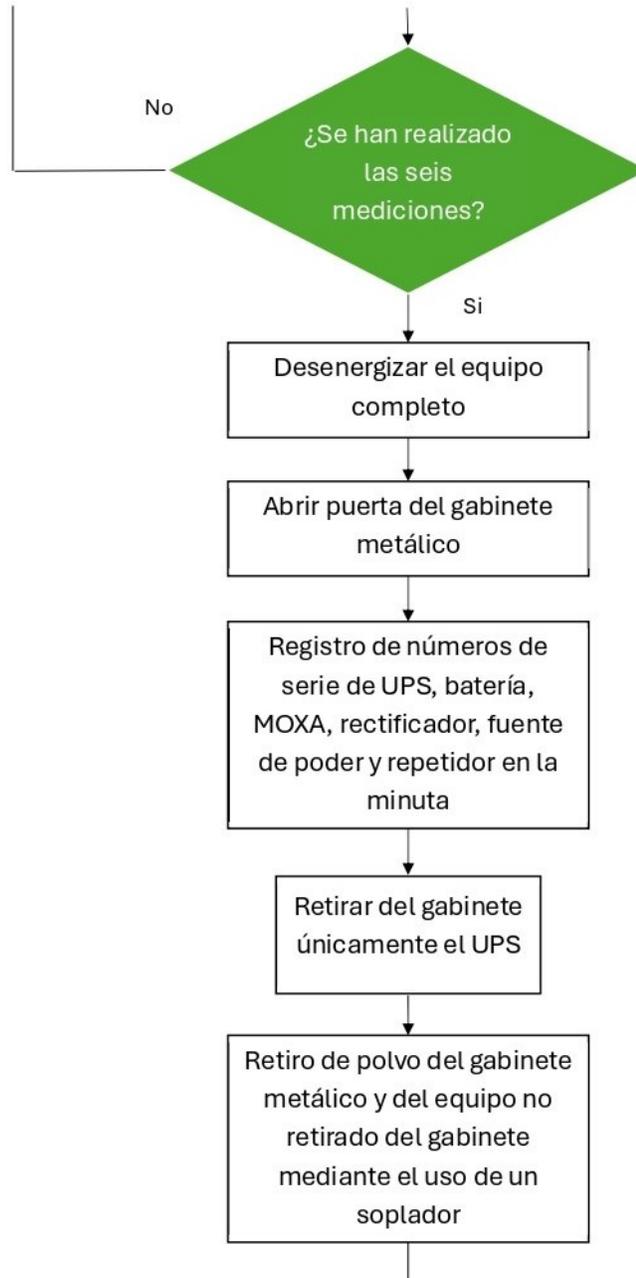


Figura 3.4: Parte 2 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA

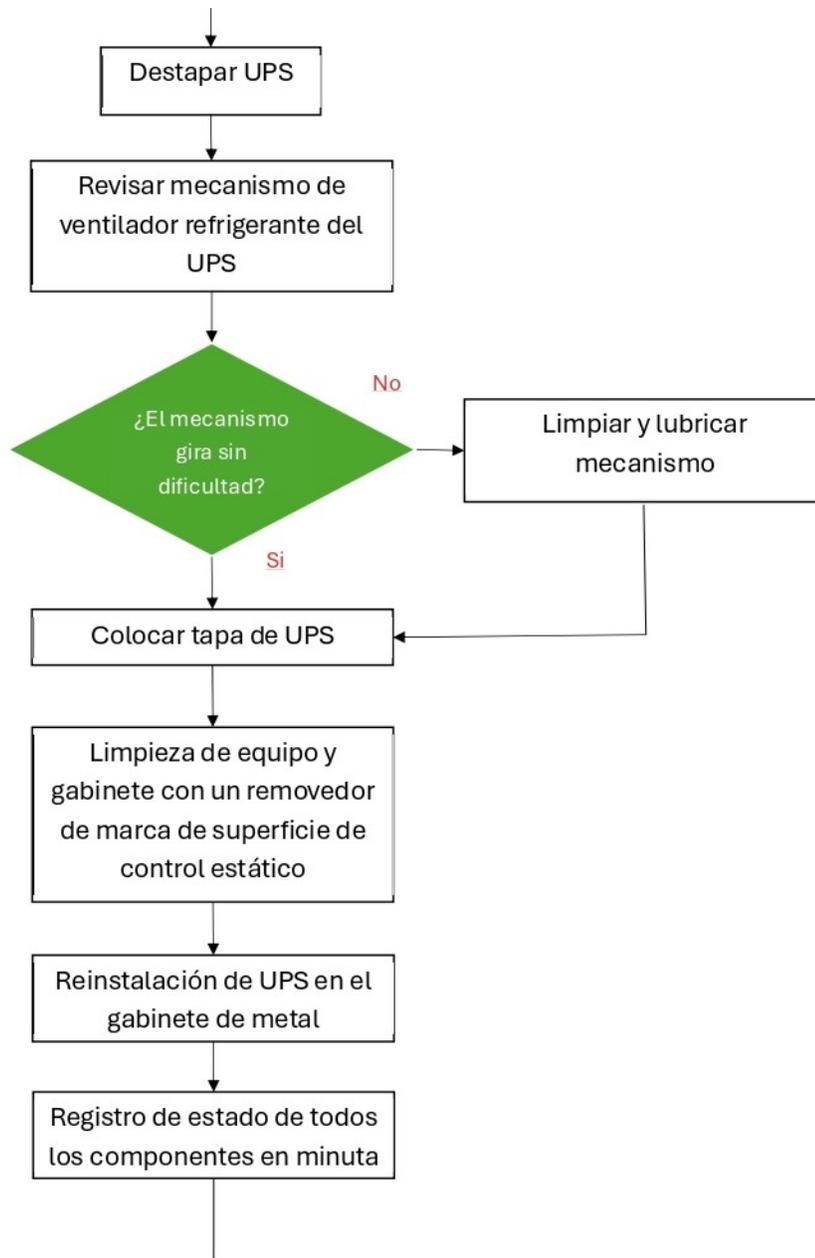


Figura 3.5: Parte 3 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA

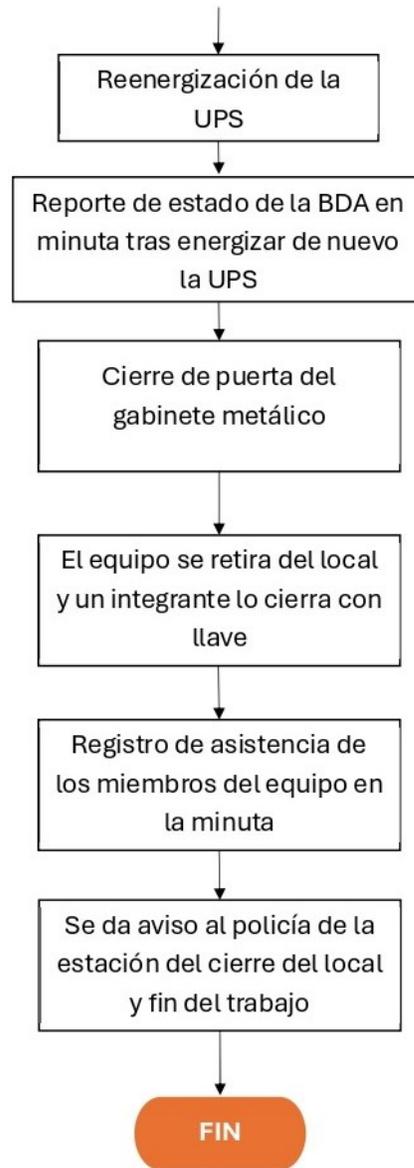


Figura 3.6: Parte 4 del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento a sistemas BDA

- **Sistema UPS:** Brinda energía de respaldo al sistema BDA en el momento de que la red eléctrica pública deja de operar.

- **Batería:** almacena energía para después brindarla a la UPS cuando entra en operación.
- **Repetidor:** expande la cobertura en el lugar.
- **Tablero de Transferencia:** conmuta las fuentes de energía eléctrica de la red pública y la UPS.
- **Rectificador:** rectifica la energía eléctrica en alterna proveniente de la red pública para cargar la batería.
- **MOXA:** es capaz de interrumpir la comunicación hacia los servidores que enlazan a otros BDA o BTS.
- Las tuberías ayudan a guiar cables que comunican a el repetidor hacia el servidor instalado en un rack.

3.3. Atención a Sistemas BTS

3.3.1. Preliminares

Un sistema BTS se encarga de brindar cobertura a los radios TETRA en el lugar.

Detección

De igual forma, mediante el uso del SNMP, el jefe del Área de Operación o Mesa de Ayuda se encarga de visualizar alarmas en estado menor, mayor o crítico que emite el sistema. Si algún componente del BTS presenta problemas, en el protocolo se emitirá una luz roja.

Preparativos

Se ingresa de forma remota desde el Área de Operación utilizando una dirección IP que posee para determinar si es necesario ir al sitio. Si se requiere dirigirse al lugar, el equipo de trabajo se alista de igual forma como se describió en el punto anterior con la excepción de que ahora en la mochila se debe cargar también con repuestos del o de los dispositivos dañados.

Lugar de Trabajo

La atención a sistemas BTS se hace, de igual manera, en los locales en caso de ser necesario. En estos lugares no se encuentran los sistemas BDA, sino que se están, la BTS y su UPS, y ambos, se ubican por separado en dos gabinetes metálicos.

Restricciones

Las restricciones son las mismas que las se describen en la sección 3.2

Riesgos

Del mismo modo, los riesgos que se corren son los mismos que se describen en la sección 3.2.

Solicitud de Acceso al Local

La manera en que una coordinación solicitante envía una orden de trabajo a operación es la misma que se describe en la sección 3.2.

3.3.2. Descripción del Proceso

Retiro de Componentes Defectuosos

1. Una vez en el sitio, se conecta a la BSC con ayuda de una laptop de forma remota mediante conexión WAN para dar de baja servicios y apagar a la radio base. Esto únicamente lo hace el personal autorizado del organismo.
2. Se retira el equipo en estado defectuoso.
3. Si la falla se da en la TR, no es necesario dar de baja los servicios que posee. Se puede ingresar a ellos mediante el acceso remoto con una laptop para utilizar la aplicación OM, instalada en el BSC, para poder desactivar estos equipos y permitir así su reemplazo
4. En la minuta se registran los dispositivos retirados y las personas que realizaron el trabajo.

5. Una vez terminado el trabajo, el equipo cierra el local y da aviso al policía de la estación del cierre.

Actualización de Licencia

Se puede actualizar la licencia del BSC de manera remota, en caso de que no sea esto posible, también se puede hacer estando en el local con una laptop. En ambos casos es necesario reportar lo hecho y observado en una minuta de campo.

Inserción de Compact Flash y Dongle

Se desactiva la radio base para retirar el dispositivo del gabinete e insertar el *Compact Flash*² y el *Dongle*³. Al finalizar, lo hecho y observado se registra en una minuta de campo.

En la figura 3.7 se muestra un esquema que muestra la posición de cada uno de los componentes del BTS con los que se trabajó con mayor frecuencia. Se puede observar que todos los componentes se encuentran en un gabinete metálico, y la funcionalidad de cada uno ya fue descrita en el Capítulo 2.

3.4. Instalación o Retiro de Equipos Fijos

3.4.1. Preliminares

Recibo de Solicitud

El jefe del Área de Operación de TETRA recibe una orden de trabajo de instalación o retiro de equipo fijo, revisada por el Área Radiocomunicación TETRA, y recibida por la Unidad Administrativa, elaborada por la coordinación solicitante.

Preparativos

El equipo de trabajo viste de camisa de manga larga y porta sus botas dieléctricas. Además, equipan una mochila con desarmadores, minuta de

²Unidad de almacenamiento donde se encuentra el sistema operativo del BSC

³Unidad donde se encuentra la licencia del BSC

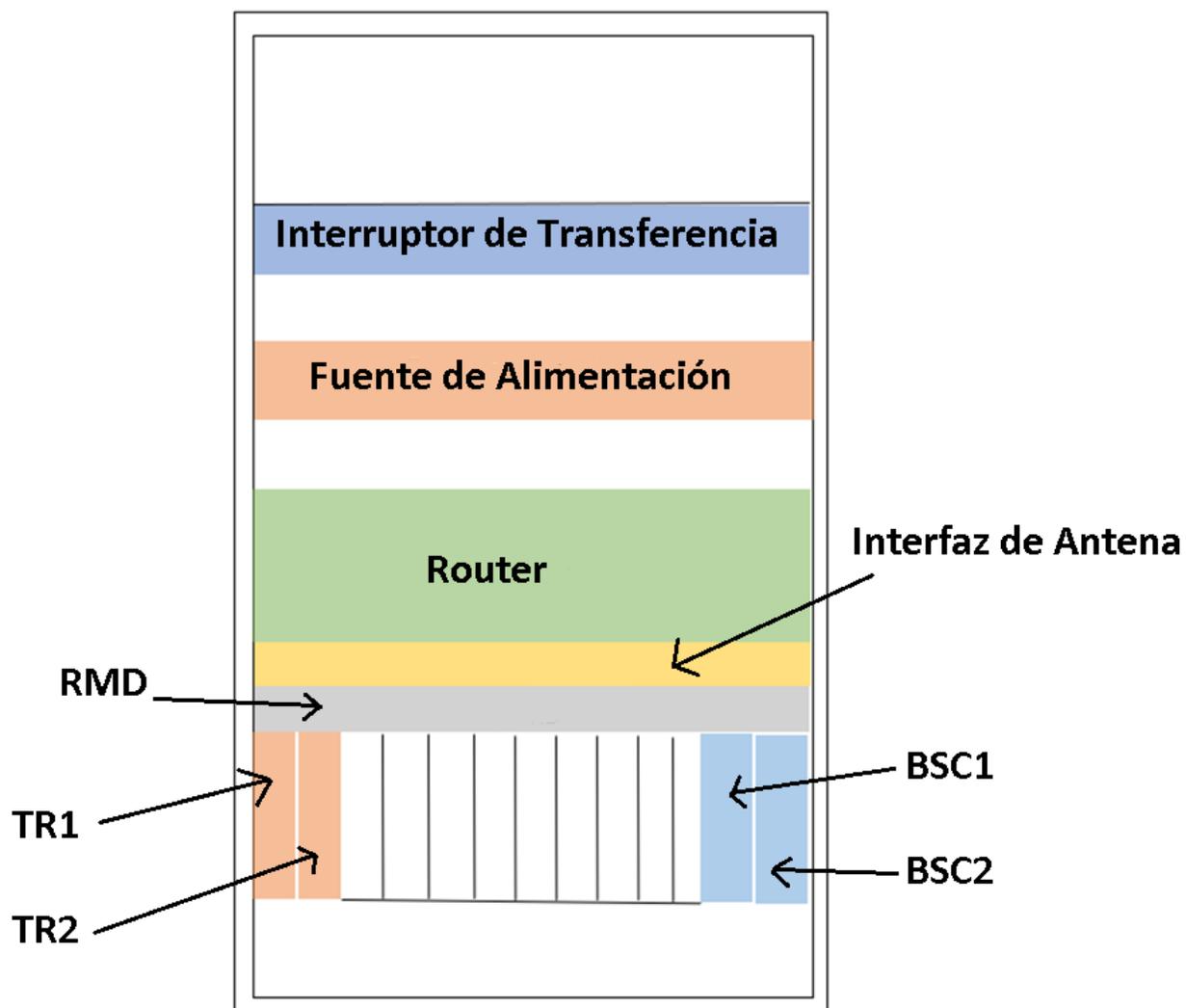


Figura 3.7: Diagrama sencillo de la posición de los equipos que conforman al sistema BTS

campo, pluma azul, tabla para escribir con broche y el radio fijo, previamente armado, en caso de que se solicite una instalación. En caso de un retiro, únicamente se deja un espacio en la mochila para cargar el radio y se equipa con desarmadores.

Todos los integrantes del equipo cargan un radio portátil para realizar pruebas en caso de que se instale un equipo fijo.

Riesgos

Descarga eléctrica en corriente alterna.

Sitio de Trabajo

Oficinas del jefe de estación u oficinas exteriores⁴.

3.4.2. Descripción del Proceso

Se instala el equipo fijo previamente armado en el Área de Operación en el escritorio del solicitante procurando que esté cerca de una toma de corriente alterna. En caso de un retiro, se apaga y desenchufa el radio de la corriente alterna, y se desarma completamente de la estructura metálica que lo forma, procurando no perder piezas, tornillos o tuercas. El jefe del área o de la estación firma en la minuta de campo tras finalizar el trabajo.

En la Figura 3.8, se muestra un diagrama que clarifica de manera simple la posición de los componentes que forman al equipo fijo.

3.5. Atención a Componentes de Equipos Embarcados

3.5.1. Preliminares

Recibo de Solicitud

Personal de garaje reportan un tren con averías en el sistema embarcado a Mesa de Ayuda para que puedan generar un folio de atención a la Unidad Administrativa para ser revisada por el Área de Radiocomunicación TETRA y finalmente canalizado al Área de Operación.

⁴Afuera de la estación del sistema de transporte de pasajeros

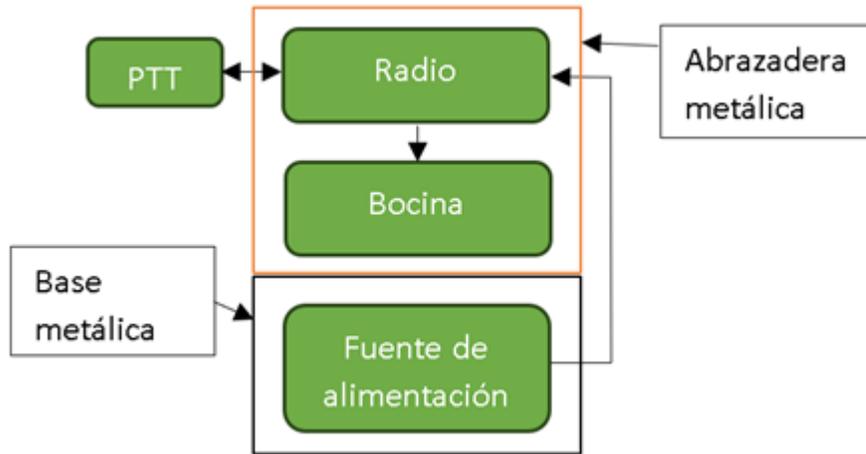


Figura 3.8: Diagrama de elementos que componen a un radio fijo

Preparativos

El equipo de trabajo asignado porta sus botas dieléctricas, pantalón de mezclilla y camisa de manga larga, también cada uno de ellos lleva consigo un radio portátil en caso de que se requiera hacer pruebas al final.

Se prepara una mochila con herramientas, repuestos de tornillos y tuercas, minutas de campo, pluma azul y los componentes reemplazo del equipo embarcado.

Riesgos

Descarga eléctrica de 750 Volts en corriente directa por contacto con la barra guía.

Lugar de Atnección

Garaje o talleres de alguna línea del sistema de transporte de pasajeros mediante trenes eléctricos.

3.5.2. Descripción del Proceso

Consola de Comunicación (CoCo)

Algunos problemas en este dispositivo se dan en el cambio de su velocidad de transmisión sin motivo aparente, o el dispositivo se encuentra totalmente averiado, o, a veces, en los conectores del CoCo hay terminales ubicadas dentro de conectores, que permiten comunicarse con la radio y la bocina, y que se encuentran desoldadas, por lo que, es necesario desarmar los conectores y soldar otra vez esas terminales.

Para reparar o reemplazar el CoCo se requiere quitar el acrílico sujeto con tornillos a la base. Esta medida es con el fin de que el operador no presione alguno de los botones que tiene, a modo de evitar que estropee el dispositivo, únicamente puede controlar el cambio de perfiles mediante el uso de una perilla de volumen.

En la figura 3.9 se muestra la posición en que van la mica protectora y la consola para ser sujetadas con tornillos al compartimiento, ya que este último sirve de base. La superficie plana inferior es el tablero de control de la cabina.

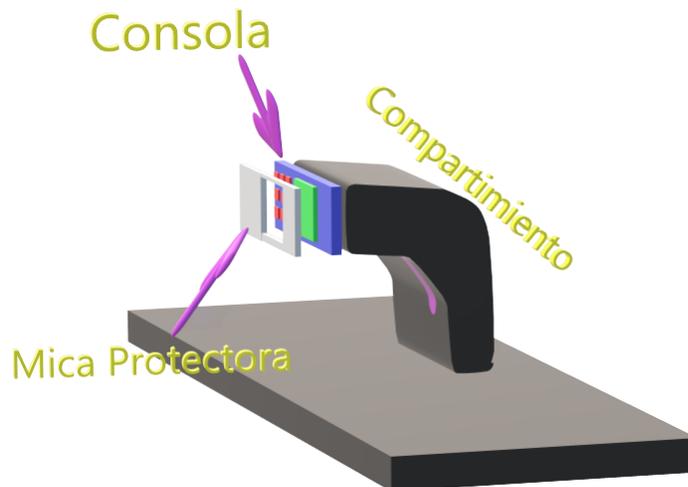


Figura 3.9: Diagrama 3D simple de la estructura del CoCo

Radio Embarcado

Los problemas presentados en el radio se dan debido a una mala conexión, terminales desoldadas o porque su vida útil ha llegado a su fin.

Para realizar la corrección o el mantenimiento preventivo es necesario utilizar una escalera, ya que el radio se ubica en el compartimiento de la parte superior izquierda de la cabina (vease la figura 3.11).

Micrófono PTT

Los trabajos de mantenimiento que se hacen con los micrófonos PTT son los siguientes:

- Retiro de PTT dañado y sustitución de esta.
- Retiro de basura de su manguera de plástico guía y revisión del estado del cable.
- Revisión de la pequeña estructura metálica que salvaguarda la conexión PTT-CoCo que se encuentra ubicado en el interior del tablero de control del tren.

Bocina

En este caso, la bocina tiene una mala conexión con la consola. Entonces, se accede al compartimiento superior central con ayuda de una escalera para revisar los terminales de la bocina o los cables para determinar si éste es la causa del fallo, de no ser así, entonces se tiene un problema en el CoCo y, por consiguiente, se agenda la reparación para otra ocasión, provocando que esté en fuera de servicio por más tiempo.

Final del Trabajo

Al finalizar la tarea, los miembros del equipo reportan en la minuta la falla y la solución dada y se apunta la asistencia de cada persona.

3.5.3. Maqueta de la Cabina y Diagrama de Conexión

En las figuras 3.10 y 3.11 se muestran dos diagramas: uno en 2D que ilustra las conexiones entre los elementos del sistema, y otro en 3D que muestra la posición de dichos elementos en la cabina del tren.

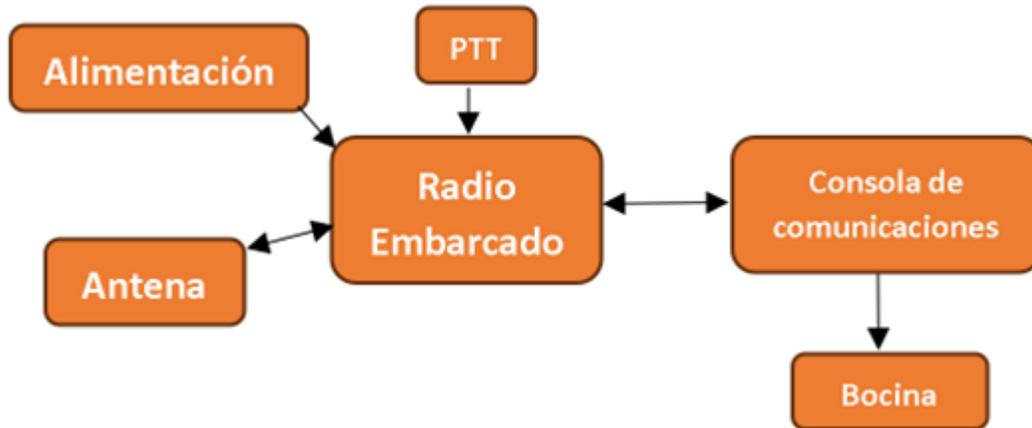


Figura 3.10: Diagrama simple de la estructura de un equipo embarcado

3.6. Reparación de Radio Portátiles

3.6.1. Preliminares

Recibo de Solicitud

El proceso para que una gerencia o coordinación solicite la reparación de radios es el mismo que se redactó en el punto 3.1.

Lugar de atención

Área de Operación TETRA.

Preparativos

En una mesa asignada se preparan los instrumentos y repuestos requeridos, se pone a calentar un cautín de 30 Watts a la par de que se enciende un

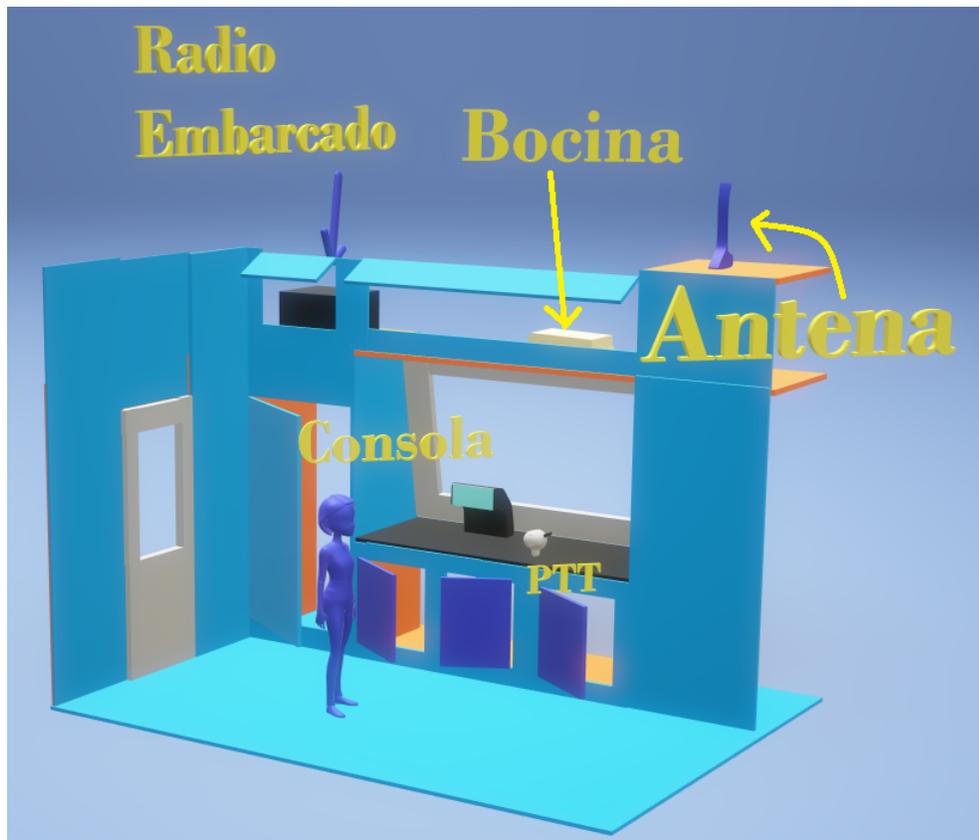


Figura 3.11: Modelo simple en 3D de los lugares asignados para cada uno de los elementos del equipo embarcado en la cabina de conducción del tren

extractor de humo (en caso de que se requiera), y se prenden las lámparas de la mesa.⁵

3.6.2. Descripción del Proceso

Una vez lista la mesa, con ayuda de desarmadores, se desmonta el radio completo hasta obtener el circuito de la misma en caso de que el fallo se de internamente.

Los fallos más comunes que se encuentran en los radios son los siguientes:

1. Fallo de botón PTT.
2. Daño de antena.
3. Falta de audio debido a la bobina de ferrita o la bocina.
4. Dispositivo sin señal.
5. La pantalla no muestra información alguna.
6. Batería dañada.
7. Falta de clip en la carcasa.

Las soluciones a los problemas, en el orden mencionado anteriormente, son :

1. Sustitución del botón táctil SMD y se refuerza mecánicamente utilizando la placa de metal que tiene el circuito del radio que se encarga de salvaguardar a su circuitería más delicada y palillos metálicos. Estos últimos se sueldan a la placa con soldadura de estaño/plomo con el caudín y se colocan de tal manera que el botón tenga un respaldo detrás de él y no se estropee. En la figura 3.12 se ilustra cómo es que queda instalado el refuerzo.
2. Sustitución de la antena averiada por uno nuevo.
3. Se hace un puente con cable o soldadura entre las terminales donde estaba la bobina de ferrita dañada, o se sustituye la bocina averiada por uno nuevo.

⁵Debido a que la circuitería de los radios es muy frágil y pequeña.

4. El equipo se da de baja.
5. El equipo se da de baja.
6. Se reemplaza por uno nuevo.
7. Se pone un nuevo clip en la carcasa.

A continuación, se muestra cómo es que se suelda el refuerzo mecánico para el botón SMD.

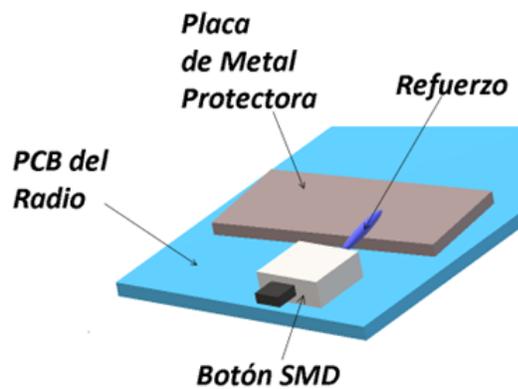


Figura 3.12: Modelo en 3D de la posición del refuerzo para el botón SMD con la placa de metal protectora

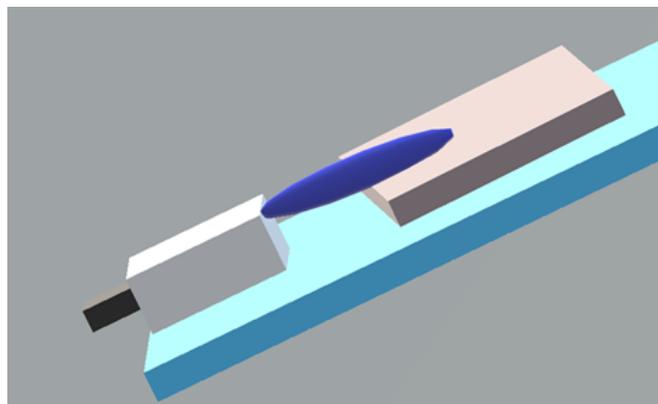


Figura 3.13: Otro ángulo de visión del refuerzo colocado al botón PTT

Capítulo 4

Trabajos Extraordinarios

En este apartado se describe el procedimiento de los trabajos “extraordinarios”, los cuales corresponden a labores requeridas que se presentan fuera de lo habitual y que se ejecutan solo una o dos veces.

La estructura que se usa para la descripción de estas tareas es la misma que se usó con anterioridad.

4.1. Revisión de Fibra Óptica en Túneles

4.1.1. Preliminares

Aviso

La coordinación encargada de vías y túneles autoriza la operación para revisar el estado de las fibras ópticas en túneles. Los tramos recorridos en los que se llevaron a cabo los trabajos se mencionan en el siguiente punto.

Lugar de Atención

Túneles de los tramos Gómez Farías-Boulevard Puerto Aéreo y Zaragoza-Pantitlán en remodelación.

Preparativos

El personal asignado para realizar esta tarea debe llevar puesto casco, botas dieléctricas, pantalón, camisa de manga larga y chaleco reflejante.

Además, debe llevar un radio portátil por cada integrante del equipo, una linterna de mano, y para la cabeza, y un móvil para toma de fotografías.

Restricciones

No se permite el acceso a túneles a personas que no cuentan con la vestimenta que se indica en el punto anterior.

Se permite el acceso a prestadores de servicio social únicamente acompañados de algún trabajador autorizado por el organismo.

Riesgos

Descarga eléctrica por parte de dispositivos que ahí se encuentran encendidos.

4.1.2. Descripción del Proceso

Se recorren los tramos de vía y túneles ya mencionados con el fin de detectar fibra óptica dañada o “puenteada” con cable coaxial, teniendo cuidado de no tropezar con los durmientes o las barras guía al cambiar de vía.

La primera ocasión únicamente personal del Área de Operación descendió a vías, mientras que, para la segunda se formó un equipo de trabajo con personal de SEMOVI. Esta secretaría se encargó no solo de verificar la estructura de TETRA, sino también el estado y avance de los trabajos de remodelación del primer tramo de la Línea 1. Al finalizar el recorrido, todo lo observado se reporta de inmediato de manera verbal a la coordinadora y al jefe del área.

4.2. Instalación de un Sistema Embarcado Completo

4.2.1. Preliminares

Recibo de Solicitud

Personal de garaje reporta a Mesa de Ayuda que un tren renovado está listo para que personal de TETRA pueda instalar un sistema embarcado completo. El reporte se da a través de un folio de atención para después canalizar este reporte al Área de Operación.

Sitio de Trabajo

Taller mayor de Zaragoza en Línea 1.

Preparativos

El equipo de trabajo asignado porta sus botas dieléctricas, pantalón de mezclilla, camisa de manga larga.

Se prepara una mochila con herramientas, repuestos de tornillos y tuercas, minutas de campo, pluma azul, linternas para la cabeza y los componentes del equipo embarcado a instalar. También se debe llevar un radio portátil por cada integrante del equipo.

Riesgos

Peligro de descarga eléctrica por contacto con la barra guía de 750 Volts en corriente directa.

4.2.2. Descripción del Proceso

Tras una renovación de un tren en talleres de Línea 1, se procedió a instalar un equipo embarcado completo. Usando como guía las figuras 3.10 y 3.11, del capítulo anterior, el proceso fue el siguiente:

1. Corte de energía a la parte del sistema de comunicaciones de la cabina, esto con el fin de evitar provocar algún corto circuito o descarga eléctrica sobre personal de TETRA.

2. Apertura de los compartimientos del radio, de la consola y de las puertas que dan acceso a la parte de atrás de las paredes de la cabina donde se encuentra la circuitería del tren, que es ajena al sistema TETRA.
3. Instalación de los cables que:
 - Energizan al radio embarcado; y
 - Mantienen comunicación entre antena-radio y consola-bocina.

Cada uno de estos cables son dirigidos hacia los compartimientos donde van instalados los componentes que conforman al sistema embarcado con ayuda de una guía, debido a que en el interior del tablero de control es muy difícil maniobrar, dada la gran cantidad de circuitos que hay ahí.

Para el caso del micrófono PTT no es necesario instalar cable que lo comunique con el radio, ya que este dispositivo ya cuenta con su cable y conector.

4. Organización, amarre y sujeción de cables con la ayuda de “cinchos” y bases sujetadoras con base pegante en las paredes internas de la cabina.
5. Instalación del radio embarcado y de la consola, además se conecta la antena ya puesta previamente en la cabina al radio y la bocina al CoCo.
6. Instalación del micrófono PTT del conductor verificando que el tubo que guía su cable se encuentre limpio, en caso contrario se realiza la limpieza al instante.
7. Reenergización de los sistemas TETRA.
8. Revisión del estado del sistema mediante pruebas de comunicación, esto es, se realizan preguntas a Mesa de Ayuda a través del radio embarcado sobre el estado del mensaje de voz que personal de TETRA les está enviando en ese momento y viceversa.
9. Si Mesa de Ayuda reporta que el mensaje de voz no es claro, se procede entonces a revisar los componentes cables y conexiones.
10. En caso de algún fallo, por parte de uno, o varios componentes, se requiere aplazar la instalación hasta traer los respectivos reemplazos.
11. Todo lo observado se registra en minuta al finalizar los trabajos.

4.3. Sustitución de Micrófonos PTT a Equipos Fijos

4.3.1. Preliminares

Solicitud

El jefe de la coordinación o de la estación envía un oficio de trabajo a la Unidad Administrativa para ser canalizado al Área de Operación para atender a un PTT averiado.

Sitio de Trabajo

El equipo de trabajo compuesto por mínimo dos personas se visten con camisa de manga larga y calzan con botas dieléctricas y cargan consigo su radio portátil.

En una mochila, se guarda un micrófono PTT nuevo, bocina nueva, radio nuevo, herramientas, minuta de campo, el oficio de trabajo, pluma azul y tabla con broche para escribir.

Riesgos

Descarga eléctrica en corriente alterna.

4.3.2. Descripción del Proceso

Una vez en el sitio, se revisa el estado del PTT realizando pruebas de comunicación a Mesa de Ayuda. Si el área notifica que el audio no es comprensible, las causas posibles pueden ser una mala conexión del PTT al radio, que el PTT no sirve, o que el radio está averiado.

Si el problema se da en el PTT, éste se reconecta al radio y se vuelven a hacer pruebas, si el problema persiste, entonces se sustituye por uno nuevo. Si el radio es la causa, entonces, de igual forma, se sustituye quitando el viejo equipo de la estructura de metal que lo sostiene (véase la Figura 3.8) para reemplazarlo por uno nuevo hasta lograr una buena calidad del mensaje de voz al realizar pruebas.

Todo lo hecho y observado se registra en la minuta de campo. El equipo anota su asistencia en la minuta. El solicitante y una persona del equipo firman la minuta.

4.4. Supervisión del Estado de los Equipos de Radiocomunicaciones en las Estaciones de Isabel La Católica y Pino Suarez de Línea 1

4.4.1. Preliminares

Aviso

La coordinación encargada del tramo en renovación de Línea 1 avisa al Área de Operación que requiere revisar algunos dispositivos y conexiones de radiocomunicaciones en ambas estaciones.

Sitio de Trabajo

Estaciones Isabel La Católica y Pino Suarez.

Preparativos

Dos personas visten con camisa de manga larga, chaleco reflejante, casco y linterna. Además, llevan su radio portátil.

En una mochila se preparan minutas de campo, una tabla para escribir con broche, pluma azul, plano de la estación donde se ubican los dispositivos y un teléfono móvil para tomar fotografías.

Riesgos

Caída de objetos sobre la cabeza.

4.4.2. Descripción del Proceso

En un recorrido de supervisión que llevó a cabo el personal del organismo, en conjunto con otras empresas de radiocomunicaciones internacionales, se revisan los estados de las antenas, conexiones y conectores, splitters y sistemas BDA, en las estaciones Pino Suarez e Isabel la Católica, que se encontraban cerrados por trabajos de renovación. Todo lo observado se registró en sus correspondientes minutas de campo del metro y de las empresas participantes y en fotografías.

4.5. Retiro de Agua en Tuberías

Sitio de Trabajo

Edificios exteriores de la estación Revolución.

4.5.1. Aviso

El edificio administrativo reporta a la Unidad Administrativa sobre una filtración en las tuberías de la infraestructura TETRA para que Mesa de Ayuda pueda atender el problema.

Preparativos

El equipo de trabajo seleccionado lleva en una mochila un soplador, extensiones eléctricas, juegos de desarmadores, minutas de campo, pluma y tabla con broche. Además, todos visten con la ropa y calzado adecuado.

Riesgos

- Caída de objetos en la cabeza.
- Descarga eléctrica en corriente alterna.

4.5.2. Descripción del Proceso

Una vez dentro del edificio, se retiró agua de las tuberías que conectan a la antena y el sistema BSC con ayuda de un soplador, esto con el fin de que

los cables que ahí se encuentran no se degraden con el riesgo de que causen algún fallo en el sistema.

4.6. Inventario de Equipo Embarcado Instalado

4.6.1. Preliminares

Lugar de Trabajo

Talleres de la estación terminal Cd. Azteca.

Aviso

Personal del taller solicita a la Unidad Administrativa que el Área de Operación realice el inventario de todos los componentes de equipo embarcado de seis trenes que se encontrarían en el lugar y que habían sido rehabilitados.

Preparativos

El equipo de trabajo asigando, porta solamente con las minutas de campo, pluma azul y una tabla con broche sin olvidar su vestimenta y calzado adecuado.

Riesgos

Peligro de descarga eléctrica por contacto con la barra guía a $750VDC$.

4.6.2. Descripción del Proceso

En los talleres de la estación Terminal Cd. Azteca se verificó en las dos cabinas de seis trenes renovados si se tenían los siguientes equipos de comunicación: bocina, radio embarcado, platina (equivalente a la consola de comunicación CoCo), altavoz, micrófono PTT, baliza¹ (ésta se encuentra en la parte de abajo del tren) y antena. La platina es el único dispositivo que

¹La baliza tiene la tarea de indicar a PCC la ubicación en tiempo real del tren que se encuentra circulando en la línea.



Figura 4.1: Ubicación de la platina en la cabina del tren

tiene una diferente ubicación, en comparación con el CoCo tradicional (Ver Figura 3.9), y que se ilustra en la figura 4.1.

Lo observado se registró en la minuta correspondiente para su posterior envío al jefe del Área de Radiocomunicaciones y a la coordinación de talleres de esta estación.

4.7. Pruebas de Comunicación en Tramo Renovado de la Línea 1

4.7.1. Preliminares

Solicitud

Personal a cargo de la renovación de Línea 1, solicita a el Área Operación realizar pruebas de comunicación en el primer tramo en renovación, en ambas vías, a bordo de trenes en movimiento.

Sitio de Trabajo

Estaciones en renovación: Pantitlán, Zaragoza, Gómez Farias, Boulevard Pto. Aéreo, Balbuena, Moctezuma, San Lázaro, Candelaria, Merced, Pino Suarez, Isabel La Católica; además de los túneles.

Preparativos

Un grupo de trabajadores del organismo se prepara vistiendo camisa de manga larga, chaleco reflejante y casco, calzando botas dieléctricas y llevando consigo un radio portátil, minuta de trabajo, pluma azul y una tabla para escribir con broche. Por otro lado, en el Área de Operación, varios prestadores de servicio social toman un radio y elaboran formatos para registrar las observaciones durante las pruebas.

4.7.2. Descripción del Proceso

Las pruebas consistieron en que los equipos formados realizaran conteos ascendentes hasta 8 o hasta 10, y realizaran preguntas en ese momento sobre la calidad de la llamada que se estaba emitiendo. Las pruebas concluyen cuando trabajadores de TETRA recorrieron en ambas vías el tramo bajo remodelación. Estos dos grupos de trabajo reportan las observaciones para que, posteriormente, se entreguen los escritos al jefe del Área de Operación.

4.8. Revisión del Estado del BSC

4.8.1. Preliminares

Lugar de Trabajo

Área de Operación.

Preparativos

Se alista una hoja de excel listo para llenar con los BSC existentes en la red.

Requisitos

Saber ingresar a un equipo mediante la herramienta de acceso a escritorio remoto.

4.8.2. Descripción del Proceso

Mediante el acceso por escritorio remoto utilizando el computador del organismo desde el Área de Operación, se ingresa al sistema operativo de la BSC 1 y BSC 2 para verificar y registrar si la licencia del sistema operativo se encuentra vigente o se requiere de una actualización de esta.

4.9. Creación de una Lista de sistemas BTS que contienen Fuentes de Poder 419

4.9.1. Preliminares

Lugar de Trabajo

Área de Operación

Requisitos

Saber utilizar SNMP.

4.9.2. Descripción del Proceso

Con el uso del SNMP se verifica a distancia desde el área ya mencionada qué sistemas BTS poseen fuentes de poder del modelo 419. Se accede a través del interruptor de transferencia con interfaz humano-máquina. La distinción se da mediante la apariencia de la ventana de acceso al interruptor.

4.10. Revisión y Llenado de Minutas de Trabajo Faltantes

4.10.1. Preliminares

Lugar de Trabajo

Área de Operación

Requisitos

Tener el listado de los reportes faltantes.

4.10.2. Descripción del Proceso

Se completaron números de serie, fecha y nombre del trabajador en las minutas de trabajo incompletas en el Área de operación, esto con el fin de tener completo el registro de actividades mensuales.

Capítulo 5

Análisis de Resultados

En este capítulo, se sintetizan y examinan los principales resultados que el autor obtuvo mediante la realización de las actividades que se describieron en los dos capítulos previos.

En la mayoría de los casos no se presentó fallo alguno en el proceso de programación y de cambio de parámetros en los radios debido a que siempre se verificaba la compatibilidad entre radio y programa. Además, en las computadoras pertenecientes al organismo se encontraban varios programas con diferentes versiones abarcando a todos los radios que se utilizaban. El fin de programar radios es el de reconfigurar de nuevo el equipo debido a los descuidos o al mal uso del radio por parte del usuario, y el de cambiar parámetros es para poner a operar por primera vez un radio nuevo, o cambiar el número de identificación de un radio, debido a que otro ya tiene ese mismo número.

Con el fin de reducir la generación de desechos electrónicos, la mayoría de los radios que se repararon, se desarmaron para realizar alguna modificación al circuito (en la parte que tiene una mayor accesibilidad), para reemplazar algún componente averiado, o simplemente no se requirió desmontar el equipo, solamente se necesitaba reemplazar componentes externos, como un clip o la antena. Pocos radios no pudieron volver a operar por la razón de que el fallo se encontraba en la circuitería más delicada, el software del radio presentaba fallos, o algunos componentes, como la pantalla, al ser reemplazados por componentes nuevos, el radio ya no operaba de manera adecuada.

Con el fin de mantener una buena cobertura en todo momento en los sitios donde se requiere, como parte del mantenimiento a los sistemas BDA, en todas las estaciones que la poseen, se realizó la limpieza del gabinete, que contiene al sistema, y de los dispositivos que lo componen, principalmente los elementos del sistema UPS.

Para garantizar una buena cobertura en el lugar durante el día, muchos de los sistemas BTS que presentaron algún fallo fueron solucionados ese mismo día, y pocos en otro día, o durante la madrugada. Los dispositivos que mayormente requerían ser cambiados fueron del tipo BSC, TR y Router. Se actualizaron las licencias a todos los equipos de la red que así lo requerían asistiendo al local con ayuda de una laptop. Se presentó un solo caso donde un BSC requirió de la instalación de un Dongle y un Compact Flash y de igual forma, se necesitó asistir al sitio donde se encuentra el BTS con el BSC en cuestión para la instalación de estos dos componentes.

Con el fin de que todos los sistemas BTS no interrumpan su operación durante la jornada laboral, se ingresó al sistema operativo de los sistemas BSC mediante el acceso por escrito remoto desde el Área de Operación para verificar que sus licencias se encontraban actualizadas. Por fortuna, todos los BSC que fueron inspeccionados no requirieron de actualización alguna.

Se presentó un mayor número de casos de retiro de equipos fijos, en comparación con los casos de instalación. Se retiraron estos equipos porque la coordinación o el jefe de estación ya no los requería, o se necesitaba moverlos a otro sitio. En el caso de la instalación, se dio debido a la remodelación de las oficinas de los jefes de estación en Línea 1, o para reemplazar a otro radio que se encontraba dañado totalmente.

Con el propósito de completar la renovación de un tren se instaló satisfactoriamente un sistema embarcado teniendo cuidado de guiar los cables en las partes internas de la cabina y realizando buenas conexiones, además de verificar que la bocina y la antena se encontraran en buen estado, instalando de forma correcta el radio y la CoCo, cerrando de manera adecuada a cada uno de los accesos a la parte trasera de las paredes de la cabina. Se verificó la calidad del audio y de los mensajes que se enviaron mediante pruebas de comunicación con el uso de un radio portátil y recurriendo a Mesa de Ayuda.

Para que un tren saliera rápido del taller, dada una falla en el equipo

embarcado, se procedía a revisar las conexiones del sistema completo, debido a que se detectó que en la minoría de casos estaban mal hechas. También, se reconfiguraba la CoCo ya que su velocidad de transmisión se había cambiado, por razones desconocidas, y muy pocos fueron reemplazados porque ya no eran capaces de emitir un mensaje.

Ante el proceso de remodelación del primer tramo de la Línea 1, se inspeccionó el estado de la fibra óptica que comunica a todos los nodos TETRA de dicha línea y se encontró fibra cortada y trozos que fueron cortados para después unirlos con cable coaxial. De inmediato se reportó al Área de Radiocomunicaciones TETRA lo observado para que se pudieran llevar a cabo las acciones requeridas.

Con fines de inspección y reporte a las autoridades correspondientes, se verificó el estado de los equipos en las estaciones en renovación Pino Suarez e Isabel La Católica donde se observó deterioro y maltrato. Algunas conexiones de los sistemas que se encontraban ahí estaban defectuosas o mal hechas y faltaban algunos dispositivos por instalar. Muy pocos equipos se encontraban en buen estado.

Al verificar el nuevo sistema de radiocomunicaciones instalado a lo largo del primer tramo en renovación de la Línea 1 se detectaron fallos en los radios portátiles, mientras que el sistema troncal, como tal, no presentaba anomalía alguna.

Dada la necesidad de verificar cuales sistemas BTS de la red completa faltan de instalar la fuente de poder con interfaz humano-máquina, se recurre al computador del organismo para entrar al UPS mediante el acceso al escritorio remoto para realizar la verificación. Afortunadamente, la mayoría de las BTS ya contaban con esta fuente de poder actualizada.

Personal del Área de Operación detectó que varios reportes faltaban en el archivo para su posterior envío al Área de Radiocomunicaciones TETRA para su análisis, por lo tanto, los trabajadores se encargan de completar en caso de ser necesario los registros faltantes, conforme a las tareas que se les fueron asignados en ese momento.

Capítulo 6

Conclusiones Generales

En este último capítulo se presentan las conclusiones generales que se derivaron a partir de las actividades que se ejecutan en las instalaciones del organismo que administra la red de transporte de pasajeros urbano mediante trenes eléctricos de la Ciudad de México y el Área Metropolitana, y de la descripción de éstas en este documento. Cabe mencionar que el autor de este trabajo fue un elemento importante dentro del equipo de trabajo que ejecutó las acciones y validó los resultados de las mismas, durante su periodo de estadía en el organismo.

Particularmente, con base en los objetivos y la hipótesis, que se presentaron en el Capítulo 1, primero se resaltan las principales conclusiones que se derivan de la realización de los trabajos, tanto ordinarios, como extraordinarios. Después, se destacan las principales contribuciones que las actividades que se realizaron tienen sobre la sociedad en general, y sobre la formación profesional del autor de esta tesina.

6.1. Conclusiones de los Trabajos

Entre las conclusiones que se pueden resaltar a partir de los trabajos tanto ordinarios, como extraordinarios, están:

Muchos de los fallos en los equipos fijos, o portátiles, de TETRA se deben a que el usuario no sabe utilizar el equipo o porque no lo cuida lo suficiente.

En las reparaciones de los equipos portátiles siempre se utilizan refacciones originales. Además, esta práctica contribuye a la reducción de basura electrónica y de costos de adquisición de nuevos equipos.

Al terminar de atender fallas en los equipos de radiocomunicaciones, siempre se debe realizar pruebas de comunicación con Mesa de Ayuda para verificar si lo que se hizo dio resultado.

La sustitución de componentes en sistemas BTS se debe a que su tiempo de vida ha terminado. Todo el tiempo se vigila el estado de los sistemas BTS y BDA porque el primero brinda la cobertura en el área y el segunda la amplifica.

El mantenimiento a equipos alarga su vida útil.

En los sistemas embarcados se notó que el operador del tren no cuida adecuadamente el PTT, además de que la operación mecánica del tren degrada las conexiones entre los dispositivos del equipo y/o desconfigura el CoCo.

El agua se filtra en tuberías a causa de un pobre aislamiento entre el interior del tubo y el ambiente.

Los jumpers fibra óptica-coaxial-fibra óptica en la red troncal no son eficaces, ya que reducen la energía de la señal de los mensajes.

En resumen, se evidencia que muchas de las personas que portan un equipo de radio no cuentan con el conocimiento necesario para operarlo y conservarlo adecuadamente. El personal del área se encuentra supervisando constantemente el estado del sistema a lo largo del día, y, en caso de presentarse alguna falla, ésta es atendida de manera inmediata o se programa su corrección, procurando que se resuelva en el menor tiempo posible. En ciertos casos, dichas labores se llevan a cabo durante la noche por parte del personal adscrito al organismo. Los dispositivos que presentan fallas y cuya reparación resultan inviables, debido a su bajo potencial de recuperación, son reemplazados, ya que han alcanzado el final de su vida útil.

Cabe destacar que, en términos generales, la organización del personal suele ser adecuada.

Cada una de las labores realizadas dentro del organismo requiere, en primer lugar, la autorización de la Coordinación. Posteriormente, se deben adoptar las medidas de seguridad correspondientes para ejecutar la tarea. El trabajo debe realizarse conforme a las indicaciones del personal responsable y, finalmente, se debe verificar el estado del dispositivo intervenido, con el fin de confirmar que esté funcionando correctamente.

Por último, durante el periodo en que se llevaron a cabo los trabajos, se logró beneficiar a cerca de 500 millones de usuarios [17] mediante la rehabilitación de 19 trenes, además de la supervisión a todas horas del sistema por parte del organismo para garantizar fluidez y seguridad al viajero, y la participación en la inspección del sistema de radiocomunicaciones en el primer tramo en renovación de la Línea 1. Asimismo, se trabajó intensamente para asegurar que el personal de las distintas áreas del organismo contara con comunicaciones de voz claras y sin interrupciones, preservando la confidencialidad de la información sensible transmitida a través del sistema y evitando que ésta pudiera ser escuchada desde equipos ajenos al organismo. En algunos casos, también se ofrecieron recomendaciones a los usuarios de los radios con el propósito de optimizar el uso y manejo adecuado de estos dispositivos durante su jornada laboral.

6.2. Contribuciones a la Sociedad y a la Formación Profesional

6.2.1. Contribuciones a la sociedad

Con los trabajos que se realizaron en la infraestructura de radiocomunicaciones, específicamente en el sistema TETRA, se contribuyó a mejorar la seguridad, confiabilidad y rapidez en el servicio de transporte que presta el organismo, además de garantizar la disponibilidad de un medio para que, en caso de que se presente un accidente en las instalaciones de este servicio de transporte, el personal dedicado y capacitado para proveer apoyo de socorro pueda dar una respuesta inmediata.

En el periodo en el que se ejecutaron las tareas, se buscó beneficiar a 537,

016, 225 pasajeros que utilizan este medio de transporte, sin tomar en cuenta la Línea 12 [17].

El área se encargó de instalar dos equipos embarcados a dos trenes y realizo el inventario de este sistema a seis ferrocarriles eléctricos más con el propósito de restauración a fin de prolongar su tiempo de vida útil. Estos trabajos se ven reflejados en los meses de mayo a junio en los que se aumenta el número de trenes en circulación conforme a la siguiente tabla [18].

Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
217.0	221.0	235.0	235.0	235.0	240.0

Tabla 6.1: Número de trenes en circulación en el año 2023 en los 6 meses de prestación en el organismo. Cifras tomadas de [18]

6.2.2. Contribuciones a la Formación Profesional

Con los trabajos de mantenimiento que se realizaron, el autor de esta tesina pudo obtener los siguientes beneficios, en diversos aspectos de su formación profesional:

1. El uso de la tecnología vigente debe estar acompañado con la responsabilidad frente a la protección del medio ambiente, debido a que, como humanidad, ya nos estamos enfrentando a retos derivados del calentamiento global.
2. Al momento de realizar trabajos de campo, se debe atender a todas las medidas de seguridad, prepararse con todo lo necesario y, además, siempre se deben seguir las indicaciones de los altos mandos.
3. El uso de la tecnología actual es clave para la creación o actualización de estándares de comunicación, en beneficio de las necesidades de la población.
4. En cada proyecto en el que se esté laborando, siempre se debe usar de manera adecuada los recursos disponibles, ya que son limitados.

5. El trabajar en otras áreas de ingeniería, u otros campos de aplicación, brinda la oportunidad de ser multidisciplinario y de enriquecerse aún más profesionalmente.
6. Se fortalece el proceso de resolución de problemas, la habilidad del trabajo en equipo y la planeación de actividades.
7. Se conoce y aprende sobre el uso de equipo de radiocomunicaciones con uso de redes troncales.
8. Se adquiere la habilidad de reparar circuitos miniaturizados.
9. Aumenta la posibilidad de obtener un mejor empleo y de crear nuevos vínculos personales.

Referencias

- [1] Gobierno de México. “AGN recuerda la inauguración del Metro, vía el Nacional”.2016. Accedido el: 5 de abril de 2025. [En línea]. <https://www.gob.mx/agn/articulos/agn-recuerda-la-inauguracion-del-metro-via-el-nacional>
- [2] Metro CDMX, “Hace 52 años inicio la construcción de la Red del Metro”, 2019. Accedido el: 5 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.metro.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/hace-52-anos-inicio-la-construccion-de-la-red-del-metro>
- [3] L. Gómez, “México. Metro CDMX, con el sistema de comunicación más moderno”, Rieles Multimedia. Accedido el: 5 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.rieles.com/front/mexico-metro-cdmx-con-el-sistema-de-comunicacion-mas-moderno/>
- [4] I. Navarro, “Falla costoso sistema de comunicación del Metro,” Milenio, 26 de noviembre de 2017. Accedido el: 5 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.milenio.com/estados/falla-costoso-sistema-de-comunicacion-del-metro>
- [5] D. Soto, “Choque en Línea 3: ¿Qué es el sistema TETRA, señalado por la tragedia en el Metro de CDMX,” Radio Fórmula, 9 de enero de 2023. Accedido el: 7 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/FB4PAR>
- [6] México, ¿Cómo Vamos?, “Semáforo de empleo formal cierra 2023 en rojo,” México, ¿Cómo Vamos?, 16 de enero de 2024. Accedido el: 10 de abril de 2025 [En línea]. Disponible en: <https://mexicocomovamos.mx/publicaciones/2024/01/semaforo-de-empleo-formal-cierra-2023-en-rojo/>

- [7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. “Transporte de pasajeros”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Accedido el 28 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.inegi.org.mx/temas/transporteurb/#informacion_general
- [8] N+, “Metro de CDMX, uno de los Más Baratos del Mundo,” N+, 25 de enero de 2023. Accedido el: 10 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.nmas.com.mx/nmas-media/programas/en-todo-caso-fernanda-caso/videos/metro-cdmx-uno-los-mas-baratos-mundo/>
- [9] P. Whitehead, “The other communications revolution [TETRA standard]”, in IEE Review, vol. 42, no. 4, pp. 167-170, 18 July 1996, doi: 10.1049/ir:19960414.
- [10] Motorola. ‘Casos de éxito TETRA’. Motorola Solutions LA-TAM. Accedido el: 28 de Marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.motorolasolutions.com/es_xl/products/tetra/tetra-customer-stories.html.
- [11] M. S. Svrzić and P. Jovanoski, “Description of the TETRA 1 technology and standard for modern digital trunking systems of functional mobile radio communications,” *Vojnotehnički Glasnik*, vol. 69, no. 3, pp. 687–726, Jan. 2021, doi: 10.5937/vojtehg69-30858.
- [12] A. Grolman y P. Hasan (2001). TETRA Introduction Pocket Guide (1st ed.) [Online]. Available: https://www.angelfire.com/folk/johnrhett/TETRA_introduction.pdf
- [13] R. Dewey, R. Sfez, E. Pequet, P. Makowski and S. Raes, “Design of the TETRA mobile radio air interface protocol,” 1991 Sixth International Conference on Mobile and Personal Communications, Brighton, UK, 1993, pp. 38-43.
- [14] F. Gutierrez and A. Valdovinos, “Performance of channel coding techniques for the digital mobile radio system TETRA (Trans European Trunked Radio),” 1997 IEEE 47th Vehicular Technology Conference. Technology in Motion, Phoenix, AZ, USA, 1997, pp. 480-484 vol.2, doi: 10.1109/VETEC.1997.600373.

- [15] K. Mehboob, I. M. Umair and M. S. Ahmed, "TETRA Technology: A Modern Private Cellular System," 2005 Student Conference on Engineering Sciences and Technology, Karachi, Pakistan, 2005, pp. 1-5, doi: 10.1109/SCONEST.2005.4382900.
- [16] ErvoCom. "Referencias". ErvoCom. [Accedido el: 14 de abril de 2025] [En línea]. Disponible en: <https://www.ervocom.ch/en/module/references>
- [17] Gobierno de la Ciudad de México. "Afluencia de estación por línea". Metro CDMX. Accedido el 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://metro.cdmx.gob.mx/operacion/mas-informacion/afluencia-de-estacion-por-linea>
- [18] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), "México en Cifras – Tabulados", INEGI. Accedido el 28 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Tabulados>.

Índice alfabético

- Compact Flash, 49
- Baliza, 66
- Bi-directional
 - Amplifier, 40
- Carpetas, 37
- Dongle, 49
- Equipo
 - Embarcado, 38
 - Portátil, 36
- Gateways, 24
- Grupos, 37
- Identidad
 - Corta
 - del Suscriptor, 38
- Interoperabilidad, 22
- Memorándum
 - de Entendimiento, 22
- Modulación
 - por Desplazamiento, 31
- Nodos, 24
- Perfil, 37
- Platina, 66
- Predicción
 - Lineal
 - Excitada, 31
- Radio
 - Base, 40
 - Embarcado, 26
 - Fijo, 26
 - Móvil, 26
 - Portátil, 26
- Radiocomunicaciones
 - Troncales, 21
- Roaming, 25
- Señalización, 24
- Sistema
 - Base
 - Controladora, 26
 - Transceptor
 - Base, 26
- Terminal
 - de Mantenimeinto, 26