

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**



TESIS

**“SERVICIO DE DATOS TETRA MEJORADO TEDS EN MODO
TRONCALIZADO PARA LAS COMUNICACIONES CRÍTICAS EN
LA RED ASISTENCIAL DE HOSPITALES PÚBLICOS EN LA
CIUDAD DE AREQUIPA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. JOEL SAMUEL HUAYTA RAMOS

TACNA – PERÚ

2022

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TESIS:

**“SERVICIO DE DATOS TETRA MEJORADO TEDS EN MODO
TRONCALIZADO PARA LAS COMUNICACIONES CRÍTICAS
EN LA RED ASISTENCIAL DE HOSPITALES PÚBLICOS EN
LA CIUDAD DE AREQUIPA”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de noviembre de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA

SECRETARIO : Mag. ALEX JUAN YANQUI CONSTANCIO

VOCAL : Mtro. HERACLIO HENRY GOMEZ DEL CARPIO

ASESOR : Mag. MARÍA ELENA VILDOSO ZAMBRANO

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Joel Samuel Huayta Ramos, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70453191 declaro bajo juramento que:

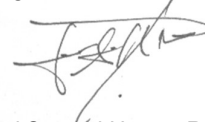
1. Soy autor de la tesis titulada: “*Servicio de datos TETRA mejorado TEDS en modo troncalizado para las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa*” la misma que presento para optar el *Título Profesional de Ingeniero Electrónico*
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

En consecuencia, me hago responsable frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera Manual del plan e informe de investigación 107 ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 18 de noviembre del 2022



Joel Samuel Huayta Ramos

DNI: 70453191

DEDICATORIA

Agradezco a Dios y mis padres que fueron la base de mi formación e ideales, supieron guiarme, así como tolerarme, me motivaron a salir siempre adelante a cumplir mis metas y a enfrentarme a la vida siempre con la frente en alto. Por tanto, lo dedico a las dos cosas más importantes de mi vida a mi Familia y a la Ciencia.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

A la Universidad Privada de Tacna

Y al destino, por el simple hecho de existir y haber tenido la oportunidad de estudiar, de aprender, y de alcanzar mis objetivos.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del Problema	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Justificación e Importancia	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Hipótesis	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del estudio	7
2.1.1. Antecedentes Nacionales	7
2.1.2. Antecedentes Internacionales	9
2.2. Bases Teóricas	10
2.2.1. Bandas del Espectro Radioeléctrico	10
2.2.2. Servicio de Datos en Modo Troncalizado	12

2.2.3. Sistema TETRA.....	12
2.2.4. Estructura de la red TETRA.....	13
2.2.5. Servicio de Datos TETRA mejorado TEDS en Modo Troncalizado.....	15
2.2.6. Comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales.....	22
2.3. Definición de Términos.....	22
2.3.1. Radiocomunicaciones	22
2.3.2. Servicio móvil terrestre	23
2.3.3. Sistema troncalizado	23
2.3.4. TETRA	23
2.3.5. TEDS	23
2.3.6. Comunicaciones críticas.....	23
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	24
3.1. Tipo y Nivel de la Investigación	24
3.2. Ámbito de Estudio	24
3.3. Operacionalización de Variables	24
3.3.1. Variable Independiente.....	24
3.3.2. Variable dependiente	25
3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos	26
3.5. Procesamiento y Análisis de los Datos	27
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	28
4.1. Comparación de equipos basados en TETRA (TEDS)	28
4.2. Localización de las estaciones base y repetidores	44
4.3. Simulación Radio Mobile	57
4.4. Simulación en Planning Tool de Xirio	75
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	78
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las bandas UHF, VHF y VF.....	11
Tabla 2. Asignación de bits para el códec ACELP TETRA.....	17
Tabla 3 Operacionalización de variables.	25
Tabla 4. Cuadro comparativo de la potencia de transmisión de las opciones de EB.	28
Tabla 5. Cuadro comparativo de la recepción de las opciones de EB.....	29
Tabla 6. Cuadro comparativo de la sensibilidad de las opciones de EB.....	29
Tabla 7. Cuadro comparativo de los datos de alta velocidad de las opciones de EB.	30
Tabla 8. Cuadro comparativo de la transmisión de las opciones de EB.....	31
Tabla 9. Cuadro comparativo de la temperatura de funcionamiento de las opciones de EB.....	31
Tabla 10. Cuadro comparativo de las dimensiones de las opciones de EB.....	32
Tabla 11. Cuadro comparativo del peso de las opciones de EB.	32
Tabla 12. Matriz de priorización para elegir la mejor opción de EB.....	33
Tabla 13. Cuadro comparativo de las especificaciones RF de los TM.	34
Tabla 14. Cuadro comparativo de las especificaciones GPS de los TM.....	34
Tabla 15. Cuadro comparativo de las especificaciones eléctricas de los TM.	35
Tabla 16. Cuadro comparativo de la interfaz pantalla de usuario de los TM.	36
Tabla 17. Cuadro comparativo del servicio de datos de los TM.	36
Tabla 18. Cuadro comparativo de los servicios de voz de los TM.....	37
Tabla 19. Cuadro comparativo del servicio de puerta de enlace de los TM.....	38
Tabla 20. Cuadro comparativo de los servicios de seguridad de los TM.....	38
Tabla 21. Matriz de priorización para elegir la mejor opción de TM.	39
Tabla 22. Cuadro comparativo de conectividad de los TP.	40
Tabla 23. Cuadro comparativo de las especificaciones generales de los TP.	40
Tabla 24. Cuadro comparativo del audio de los TP.....	41
Tabla 25. Cuadro comparativo de las especificaciones ambientales de los TP.....	42
Tabla 26. Cuadro comparativo de la interfaz de usuario de los TP.	42
Tabla 27. Cuadro comparativo de las especificaciones RF de los TP.....	43
Tabla 28. Cuadro comparativo de los servicios de seguridad de los TP.	44
Tabla 29. Matriz de priorización para elegir la mejor opción de TP.....	44

Tabla 30. Coordenadas geográficas y distancias en Km de los Distritos que conforman el área metropolitana de la ciudad de Arequipa.	47
Tabla 31. Altitud y números de habitantes de los Distritos que conforman el área metropolitana de la ciudad de Arequipa.	52
Tabla 32. Distribución de la red asistencial de hospitales públicos de la ciudad de Arequipa.	53
Tabla 33. Tipología de los usuarios y requerimientos para las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	55
Tabla 34. Valores promedios del servicio de llamadas en las comunicaciones críticas propuesto para la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la Red TETRA.....	13
Figura 2 Estructura del número de identificación de usuario TSI	15
Figura 3 PMI TETRA mejorado TDES	18
Figura 4 TETRA mejorado TDES.....	19
Figura 5 Modelo de Funcionamiento DMO.....	21
Figura 6 Cifrado de flujo mediante operación XOR TETRA mejorado TDES.	22
Figura 7 Modelo anglosajón de atención en comunicaciones críticas.	22
Figura 8 Ciudad de Arequipa con detalle del área metropolitana	46
Figura 9 Vista aérea del Área Metropolitana de la ciudad de Arequipa	53
Figura 10 Vista aérea de la Distribución de la red asistencial de hospitales públicos de la ciudad de Arequipa.	54
Figura 11 Ciudad de Arequipa con detalle del área metropolitana	54
Figura 12 Dimensionamiento del servicio de llamadas para las comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	56
Figura 13 Distribución del tiempo promedio de la gestión del servicio de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	57
Figura 14 Creación de unidades en simulación Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	58
Figura 15 Parámetros y topología simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	59
Figura 16 Configuración del sistema TETRA (TDES) en simulación Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	61
Figura 17 Unidades Máster y Esclavo de la red TETRA (TDES) simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.	62
Figura 18 Resultados de la prueba de enlace TETRA (TDES) EB a TM Misti, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	63
Figura 19 Resultados de la prueba de enlace TETRA (TDES) EB a TM Honorio, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	64

Figura 20 Resultados de la prueba de enlace TETRA (TDES) EB a TM Municipalidad, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	65
Figura 21 Resultados de la prueba de enlace TETRA (TDES) EB a TM Yanahuara, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	66
Figura 22 Cobertura detallada de las EB y TM de la red TETRA (TDES), simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	69
Figura 23 Cobertura de la red TETRA (TDES), simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	70
Figura 24 Horizonte visible TM Misti a una altitud de 2521,2 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa.....	71
Figura 25 Horizonte visible TM Honorio a una altitud de 2329.30 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	72
Figura 26 Horizonte visible TM Municipalidad a una altitud de 2371.5 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	73
Figura 27 Horizonte visible TM Yanahuara a una altitud de 2371.6 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa	74
Figura 28 Selección de método de cálculo Okumura-Hata	75
Figura 29 Cobertura de la Estación Base en vista de Relieve por el programa Planning Tool.	76
Figura 30 Cobertura de la Estación Base en vista Satelital por el programa Planning Tool	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	85
Anexo 2. EB Hytera DIB-R5.....	87
Anexo 3. EB Motorola DIMETRA MTS2.....	88
Anexo 4. TM Serie Motorola MTM5000	89
Anexo 5. TP Serie Motorola MXP600	89
Anexo 6. EB Hytera DIB R5.....	90
Anexo 7. TM serie Hytera	91
Anexo 8. TP serie Hytera.....	92

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar un sistema de radiocomunicaciones mediante el estándar de servicio de datos TETRA (Terrestrial Trunked Radio) del tipo TEDS (TETRA Enhanced Data Service) para mejorar el manejo de las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa. La metodología utilizada se basó en una investigación de tipo explicativa para simular la implementación en la red asistencial de comunicaciones críticas conformada por 9 ambulancias y 4 establecimientos de salud. Los resultados obtenidos indicaron que el enlace y cobertura de la red TETRA TEDS se expande hasta 50 KM teniendo un alcance adecuado en los 19 distritos que conforman el área metropolitana de Arequipa. Se concluyó que la implementación de un diseño TETRA TEDS en las comunicaciones críticas es viable.

Palabras claves: comunicaciones críticas, TETRA TEDS, red asistencial.

ABSTRACT

The objective of this study was to design a radio communications system using the TETRA (Terrestrial Trunked Radio) data service standard TEDS (TETRA Enhanced Data Service) to improve the management of critical communications in the healthcare network of public hospitals in the city of Arequipa. The methodology used was based on an explanatory research to simulate the implementation of critical communications in the healthcare network of 9 ambulances and 4 health facilities. The results obtained indicated that the link and coverage of the TETRA network TEDS expands up to 50 KM, having an adequate reach in the 19 districts that make up the metropolitan area of Arequipa. It was concluded that the implementation of a TETRA TEDS design in critical communications is feasible.

Key words: critical communications, TETRA TEDS, health care network.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es el diseño de un sistema de radiocomunicaciones mediante el estándar de servicio de datos TETRA TEDS para mejorar el manejo de las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa. Esta propuesta se justificó por la necesidad de mejorar las comunicaciones ya existentes, que trabajan en las frecuencias VF (Very Frequency) y HF (High Frequency) optimizando su calidad de voz e incorporando las ventajas de la frecuencia UHF (Ultra High Frequency) para la transmisión de datos, específicamente, en las ambulancias y paramédicos que prestan servicio a llamadas de emergencias en la red asistencial pública de la ciudad de Arequipa, por medio del sistema TETRA TEDS.

Además, la existencia de casos de éxito en las implementaciones realizadas por el Gobierno Nacional desde el año 2012 materializadas en una infraestructura de comunicaciones más robusta para la misión crítica de la Policía Nacional y otros servicios de emergencia, con soluciones híbridas MMC (Mobile Country Code) y LTE (Long Term Evolution) para la transmisión de video; y posteriormente, con la adopción de TETRA en las líneas 1 y 2 del metro de Lima modernizando las estructuras de radiocomunicaciones previamente instaladas, impulsan su aprovechamiento y estimulan la proyección de estudios como el presente, sobre todo, ante las expectativas próximas en los avances del uso de la tecnología 5G. Por lo tanto, la investigación seleccionada fue de tipo explicativa. De este modo fue posible cumplir con el objetivo de comparar las tecnologías disponibles en el mercado nacional para EB (Estación Base), TP (Terminal Portátil) y TM (Terminal Móvil), a través de los diversos parámetros que permitieron realizar pruebas de localización para cubrir los 19 distritos que conforman el área metropolitana de Arequipa simulando la operatividad del enlace y propagación por medio del uso del software Radio Mobile y PlanningTool de Xirio.

El informe se estructuró en cinco capítulos. En el primero, se planteó y formuló el problema, se fijaron los objetivos e hipótesis y se justificó la investigación. En el segundo, se fundamenta teóricamente la investigación en el marco de los antecedentes, bases teóricas y definición de términos. En el tercero, se contextualiza metodológicamente indicando el tipo y nivel de investigación, la población y/o muestra de estudio, la operacionalización de las variables y las técnicas e instrumentos para la recolección de datos. En el cuarto, se muestran los resultados obtenidos. En el quinto, se realizó la discusión de los resultados. Finalmente se

establecieron las conclusiones, se presentaron las recomendaciones e incluyeron las referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Para brindar el servicio de urgencia médica pre hospitalaria que amerita el transporte del paciente al centro de salud, el Departamento de Arequipa cuenta con sistemas de radiocomunicación; la red de ambulancias, conformada por 17 unidades, utiliza las bandas de HF (High Frequency) y VHF (Very High Frequency). Específicamente, en la ciudad de Arequipa hay nueve móviles tipo ambulancias, cuatro de ellas tienen instalados sistemas de radiocomunicación que operan con banda HF y dos con VHF.

La frecuencia HF permite establecer comunicaciones con el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN). En tanto, la señal VHF se emplea para las comunicaciones con la estación base del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) del Gobierno Regional de Arequipa, otras provincias del Departamento de Arequipa y, en el caso de las ambulancias, con los servicios de urgencia de los hospitales públicos que conforman la red asistencial de la ciudad de Arequipa.

La banda VHF es muy eficiente para espacios al aire libre, no obstante, presenta limitaciones al enfrentarse con obstáculos; es decir, al encontrarse con edificaciones, montañas, piedras, árboles, vehículos en movimiento, entre otros; la señal sufre interferencias desmejorando su calidad de transmisión; además, dentro del recinto hospitalario las comunicaciones con el personal médico no son eficientes porque se degrada la señal VHF al tener que traspasar elementos constructivos como la madera, el acero y el hormigón.

Tal situación genera dos escenarios, en el primero dificulta la comunicación entre los paramédicos que realizan el traslado del paciente en ambulancia y el personal médico de urgencia que se encuentra dentro de los hospitales, quienes deben emitir instrucciones y hacer seguimiento del paciente, en especial para aquellos que necesitan cuidados agudos y su condición médica puede cambiar considerablemente durante el traslado; en el segundo se genera una repuesta hospitalaria tardía, al menos se necesitan de 16 a 19 llamadas para notificar a todo el personal necesario del servicio de urgencia hospitalario sobre la llegada de un paciente, a razón de un minuto por llamada, se traduce en un intervalo de 16 a 19 minutos aproximadamente para contactar con médicos, enfermeras, analistas de laboratorio, quirófanos, salas de rayos X y similares.

Por lo tanto, partiendo de las variables calidad de voz, condiciones difíciles y

seguridad/criptación, se planteó determinar cuán fiables serán las comunicaciones críticas entre paramédicos y conductores de las ambulancias y personal de los servicios de urgencia que se encuentran dentro de los hospitales públicos de implementarse el estándar de servicio de datos TETRA TEDS.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo el Servicio de Datos TETRA Mejorado TEDS en modo Troncalizado para las Comunicaciones Críticas en la Red Asistencial de Hospitales Públicos en la Ciudad de Arequipa optimizará la calidad de voz, las condiciones difíciles y la seguridad en la red asistencial de hospitales públicos para comunicaciones críticas en la ciudad de Arequipa?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo influye el análisis comparativo de equipos disponibles basados en el estándar de servicio de datos TETRA TEDS para cumplir con los umbrales de calidad de voz códec ACELP y el nivel adecuado de sensibilidad para las terminales móviles en las comunicaciones críticas?
- b. ¿Cómo definir la localización de las estaciones base y repetidores mediante el estándar de servicio de datos TETRA TEDS de acuerdo a los parámetros deseados para una cobertura eficiente?
- c. ¿Cómo contribuirán los softwares Radio Mobile y PlanningTool en las simulaciones para el cálculo del balance de enlaces, el método de propagación de pérdidas y la planificación radioeléctrica de un sistema basado en el estándar de servicio de datos TETRA TEDS?

1.3. Justificación e Importancia

El modelo de comunicaciones de la red asistencial de hospitales públicos en Arequipa se fundamentó en las directrices de los planes desarrollados por el Gobierno Nacional en materia sanitaria, si bien incorporan un sistema de radiocomunicaciones que facilita las comunicaciones críticas en caso de emergencias y urgencias por medio de la implementación de las frecuencias VF y VHF, se consideró que estas pueden optimizarse con la introducción del estándar de servicio de datos TETRA (TEDS) en modo troncalizado banda UHF porque

contribuirá a mejorar la fiabilidad y estabilidad de las comunicaciones críticas, desde el personal en ambulancias hacia el personal que se encuentra dentro de los espacios hospitalarios de sala de urgencia, favoreciendo la efectividad de las respuestas médicas que asegura la atención oportuna y supervisada del paciente.

Por otro lado, al comprobarse la fiabilidad del estándar de servicio de datos TETRA (TEDS) en modo troncalizado banda UHF se demostró que los tiempos de respuesta para comunicarse con todo el equipo médico disminuirán, este ahorro de tiempo impactará positivamente en la productividad y satisfacción laboral. Finalmente, desde el punto de vista científico, es relevante porque permitió conocer cuán fiable es el estándar de servicio de datos TETRA (TEDS) en modo troncalizado para las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos, desde la perspectiva de la calidad de voz, las condiciones difíciles soportadas y la seguridad/criptación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de Servicio de Datos TETRA Mejorado TEDS en modo Troncalizado para las Comunicaciones Críticas en la Red Asistencial de Hospitales Públicos en la Ciudad de Arequipa

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Realizar un estudio comparativo de equipos basados en el estándar de servicio de datos TETRA TEDS para obtener una adecuada calidad de voz y un óptimo nivel de sensibilidad para los terminales móviles en las comunicaciones críticas.
- b. Analizar y ubicar la localización de las estaciones base y repetidores mediante el estándar de servicio de datos TETRA TEDS de acuerdo a los parámetros deseados para una cobertura eficiente.
- c. Determinar una óptima operatividad mediante la simulación para el cálculo del balance de enlaces, el método de propagación de pérdidas y la planificación radioeléctrica mediante el software Radio Mobile y Planning Tool.

1.5. Hipótesis

El diseño de un sistema de radiocomunicaciones mediante el servicio de datos TETRA TEDS mejorará la calidad de voz, las condiciones difíciles y la seguridad en la red asistencial de hospitales públicos para comunicaciones críticas.

- a. Si se analizan y estudian comparativamente diferentes equipos con el estándar de servicio de datos TETRA TEDS se podrá obtener una adecuada calidad de voz y un mejor nivel en la sensibilidad de los terminales móviles en las comunicaciones críticas.
- b. Si se realiza un estudio de localización de las estaciones bases y repetidores se mediante el estándar de servicio de datos TETRA TEDS se obtendrán los puntos estratégicos de la red a proponer.
- c. Si se utilizan los softwares de simulación Radio Mobile y Planningtool se podrá determinar la operatividad de los enlaces y la planificación radioeléctrica para el adecuado funcionamiento del sistema de radiocomunicaciones mediante el estándar de servicio de datos TETRA TEDS.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Fernández (2019), realizó la implementación de cuatro sites TETRA interconectados con fibra óptica y enlaces microondas, con las mediciones obtenidas pudo comprobar la mejora de la intensidad de la señal al pasar de la banda VHF a UHF: de -90 dBm a -63 dBm (campamento uno), de -95 dBm a -62 dBm (campamento dos), de -93 dBm a -65 dBm (campamento tres) y de -97 dBm a -62 dBm (campamento cuatro); también observa mejoras en los parámetros de señal en los derechos de vías: de -112 dBm a -77 dBm (campamento uno), de -117 dBm a -76 dBm (campamento dos), de <-120 dBm a -78 dBm (campamento tres) y de <-120 dBm a -71 dBm (campamento cuatro).

Por otro lado, Guevara (2017), en su estudio realiza la simulación con el sistema Radio Mobile para implementar cuatro sites de un sistema TETRA en la ciudad de Arequipa, configuradas con la irradiación omnidireccional, frecuencia 395 MHz para transmisión y 386 MHz para recepción y radio enlace de 15 GHz; además su propuesta abarcó la integración con el sistema analógico por medio de un gateway.

Fernández e Hiroshi, (2019) en su tesis “Diseño e implementación de un sistema troncalizado tetra, en apoyo a las comunicaciones de Repsol”. Indica: En el lote 57 En el Lote 57 de Repsol, la comunicación inalámbrica es muy deficiente y en ciertas áreas, la cobertura es nula. Sin embargo, el personal que labora en estas áreas necesita mantenerse comunicado, ya sea por temas laborales o ante cualquier caso de emergencia. La falta total de cobertura y comunicación se presenta en los caminos que unen los campamentos, llamados también derecho de vía, en donde cada cierto tiempo se realizan trabajos rutinarios; originando que el personal que labora en dichas áreas se quede sin comunicación el tiempo que dura su jornada. El sistema de comunicación troncalizado implementado, brinda las funcionalidades adecuadas para cubrir con la necesidad de comunicarse entre el personal en zonas de difícil acceso; por ello, en este sistema es importante mantener la calidad y seguridad de las conversaciones, primordialmente cuando se presentan casos de emergencias.

Melgarejo (2019). En su tesis “Propuesta de implementación de un sistema integrado para alertar incidentes al serenazgo del Cercado de Lima”. Resume que:

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar una propuesta de implementación de un sistema integrado para alertar incidentes al Serenazgo del Cercado de Lima, que contribuirá al mejoramiento de registro de incidentes que realiza el ciudadano al serenazgo y ayudará a tener una mejor calidad de vida, usando el aplicativo móvil como ayuda para la solución del incidente. Para ello, se propondrá un alcance de nueve módulos: módulo de reportes de incidentes, módulo de registro de usuario, módulo de login, módulo de administración, módulo de visualización de incidentes, módulo de dashboard, módulo de seguimiento de incidentes, módulo de mantenimiento de incidentes y módulo de reportería, que tiene como finalidad obtener un sistema integrado de los registros de incidentes que reporta el ciudadano por medio del aplicativo móvil, en el cual estará operativo las veinticuatro horas del día y de manera automática se obtiene la ubicación del incidente, y éste reporte será recepcionado por el Centro de control de Operaciones, el cual trabaja en equipo con el Serenazgo del Cercado de Lima, y con la Policía Nacional del Perú, teniendo como resultado, atender todos los incidentes reportados, tener un mejor tiempo de llegada por parte del serenazgo y/o la PNP al lugar de los hechos, tener evidencias para generar denuncias y tener una mejor calidad de vida en el distrito.

Herrera (2016) en su tesis “Sistema integrado de radiocomunicación tetra para gestión de emergencias ante la seguridad ciudadana”. Indica que: Últimamente venimos percibiendo como uno de los principales problemas el gran crecimiento de la inseguridad ciudadana dentro de Lima Metropolitana y Callao. Debido a ello, este trabajo de tesis se ha realizado con fines de plantear una propuesta de integración a un sistema de radiocomunicación troncalizado que usa la tecnología TETRA, una red implementada para reducir las incidencias delincuenciales y los problemas que la genera. Este proyecto de tesis está desarrollado mediante seis capítulos, los cuales cada uno irán indicando desde un inicio: La Presentación del Problema, basándose en reportes y estadísticas de la inseguridad ciudadana dentro de Lima Metropolitana y Callao y a la vez mencionaremos las hipótesis y los objetivos generales de esta tesis. Posteriormente, se mencionarán los conceptos teóricos en acorde al proyecto, información sobre el Estado del arte y el cómo se ha realizado la selección de tecnologías para dar una eficiente solución al problema mencionado. Luego, se explicará minuciosamente el diseño y arquitectura que se implementará dentro de nuestra solución y la integración por parte de las entidades hacia la misma. Después de mencionar los detalles de la implementación, indicaremos las pruebas realizadas en los diversos escenarios para así validar el buen funcionamiento de lo planteado, indicando los análisis de riesgo posibles y el cómo minimizarlos. Luego, mostraremos

el plan de negocios que demuestre el costo-beneficio para la entidad mediante un análisis de mercado y un análisis de soluciones bien planteado. Para terminar, mostraremos nuestras conclusiones demostrando así nuestra hipótesis planteada.

Por su parte, Luna (2016), orientó su trabajo a la integración del sistema de comunicaciones TETRA entre la Policía Nacional del Perú y las Entidades del Estado, los cálculos de tráfico con el modelo Erlang arrojan 57,22 m por terminal, remitiéndose a las estadísticas aportadas por el Ministerio del Interior señala que luego de la implementación de TETRA los tiempos de respuesta a las incidencias delictivas disminuyeron, pasaron de 45-60 minutos a 10-25 minutos esto es una mejora del 15%, e incrementando la cantidad de llamadas efectivas a través de la Central 105 (911), pasando del 37% al 85% y en cantidad de llamadas de 8 mil a 35 mil en tan solo un año.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Lozano (2017), España. Realizo una investigación que pretende planificar un sistema de radiocomunicaciones basado en TETRA formado por una estación base y diversos terminales móviles y portátiles distribuidos en una zona geográfica que captan información de unos sensores.

Medina (2019), España. De su tesis "Estudio, planificación e implantación de emisoras TETRA en Quart de Poblet, utilizando la red COMDES de la Generalitat Valenciana, con la integración de servicios municipales". Indica que: Este tipo de comunicaciones requieren de unas características como robustez y seguridad que sólo la tecnología TETRA ofrece. Por ello la red COMDES, que es la red de Red de Comunicaciones Móviles Digitales de Emergencia y Seguridad de la Generalitat Valenciana, está basada en la tecnología TETRA. Este proyecto tiene como objetivo la modernización del sistema de comunicaciones del Ayuntamiento de Quart de Poblet, especialmente de la Policía Local, mediante su integración en la red COMDES. Para conseguirlo se elaborará un proyecto de despliegue de red según los parámetros de diseño establecidos por la red COMDES, mediante la ubicación de una estación base en el municipio. Por último, veremos hacia dónde se encamina este tipo de redes en el futuro.

Rodríguez (2013), España. Realizo una implementación Hardware de un sistema de comunicación basado en el estándar TETRA utilizando una única antena transmisora y receptora, sistema SISO (Single Input - Single Output) y MIMO.

Areitio (2017), España. Desarrolla un artículo sobre los componentes que conforman TETRA así como sus interacciones y por tanto los posibles puntos de vulnerabilidad de cara a valorar los riesgos en ciberseguridad-privacidad. TETRA

puede contemplarse desde diversas perspectivas, como tecnología de red privada para voz y datos digital.

Catalano (2007), Venezuela. En su “Diseño de una Red Radio Móvil Operacional Troncalizado Digital Tetra en el Área Metropolitana Para Pdvsa”. Indica lo siguiente: El presente trabajo de pasantía resume cada una de las fases del proceso de diseño de una red de radio móvil troncalizado digital con tecnología TETRA, para prestar servicios a usuarios de PDVSA-Centro en la Gran Caracas y sus zonas aledañas. Esta red sustituirá el sistema móvil operacional convencional que actualmente posee la empresa, prestando servicio en todas las áreas operacionales y administrativas de PDVSA en la región metropolitana.

Partiendo de la revisión documental de los sistemas que emplean la tecnología TETRA y del levantamiento de información relevante para el proyecto, se logró concretar una propuesta completa y técnicamente viable conforme al espectro radioeléctrico disponible, incluyendo infraestructura perteneciente a la corporación. De este modo PDVSA tiene en sus manos una propuesta concreta para realizar la migración del sistema analógico convencional al nuevo sistema digital TETRA, quedando a su juicio implementar la migración a través de un proceso de licitación tomando como base los resultados presentados en este trabajo.

Finalmente, Salazar (2014), efectuó el diseño y estudio de la ampliación de la red TETRA para la zona transfronteriza de los Pirineos; un factor clave para realizar los cálculos fue considerar las características geográficas de la zona donde se ubicarían las tres estaciones bases, para ello, con el programa Radio Mobile realiza la simulación radioeléctrica con diferentes grados de azimut (desde 110° a 140°) y de elevación (desde -10° a 10°); obteniendo resultados aceptables a 120° azimut y 10° de elevación. Su propuesta recomienda instalar dos antenas de panel Kathrein 80010253 con redundancia espacial y mejora de 3dB en recepción en cada una de las estaciones, para el radioenlace el equipo iPasolink 200 conformado por una antena de VHLP2-15-3WH/A Andrew, una Unidad Radio Outdoor (ODU) y una Unidad Radio Indoor (IDU), y brindar la alimentación eléctrica con grupo electrógeno y placas solares en dos estaciones.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Bandas del Espectro Radioeléctrico

Considerando el alcance de esta investigación, de las nueve bandas que conforman el espectro radioeléctrico utilizadas para telecomunicaciones, según Huidobro Moya y Luque Ordoñez (2014), en la tabla 1 se resumen las características

principales de las bandas de High Frequency (HF), Very High Frequency (VHF) y Ultra High Frequency (UHF).

Tabla 1

Características de las bandas UHF, VHF y VF

Banda	Símbolo	Frecuencia	Nomenclatura	Longitud de onda	Principales servicios
7	HF	3 MHz ≤ 30 MHz	Decamétrica	10 m ≤ 100 m	- Radioaficionados - Radiodifusión - Móvil terrestre - Móvil aeronáutico - Fijo terrestre
8	VHF	30 MHz ≤ 300 MHz	Métrica	1 m ≤ 10 m	- Móvil terrestre - Radiodifusión - Móvil aeronáutico - Radioaficionados - Fijo terrestre
9	UHF	300 MHz ≤ 3000 MHz	Decimétrica	10 cm ≤ 1 m	- Fijo terrestre - Móvil terrestre - Radiodifusión - Fijo satelital

Nota. Adaptado de *Comunicaciones por radio. Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones* (pp. 180-181), por Huidobro Moya y Luque Ordoñez, 2014, Grupo Editorial RA-MA.

Específicamente, en el Perú, de acuerdo con la información suministrada por el MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018) las bandas asignadas para las comunicaciones críticas son las siguientes:

- a. Las bandas VF 3,5 MHz, 7,0 MHz, 10,1 MHz, 14,0 MHz, 18,068 MHz, 21,0 MHz, 24,89 MHz y la VHF 144 MHz en casos de catástrofes naturales para el servicio de radioaficionados.
- b. La banda VHF 156,525 MHz de uso exclusivo para la llamada selectiva digital con fines de socorro, seguridad y llamada en el servicio móvil marítimo en ondas métricas.
- c. La banda VHF 156,8 MHz se emplea para la llamada internacional de socorro, seguridad y llamada del servicio móvil marítimo radiotelefónico en ondas métricas.
- d. La banda VHF 121,5 MHz es la frecuencia aeronáutica de emergencia y, de necesitarse, la frecuencia de 123,1 MHz es la frecuencia aeronáutica auxiliar, para fines de socorro y seguridad.
- e. La banda UHF 380 a 400 MHz es utilizada para fines de seguridad pública.
- f. La banda UHF 1645,5 a 1646,5 MHz por el servicio móvil por satélite tierra-espacio y para enlaces entre satélites, está limitado a las comunicaciones de socorro y seguridad.

2.2.2. Servicio de Datos en Modo Troncalizado

El servicio de datos en modo troncalizado se refiere al servicio de comunicaciones en grupo cerrado de usuarios denominado trunking donde los usuarios son independientes de las frecuencias asignadas pudiendo transmitir por el canal que se encuentre disponible (Luz, 2015); este servicio es una red privada que emplea la técnica de multiacceso para compartir las frecuencias disponibles de modo que, por ejemplo, un servicio de urgencia médica pueda comunicarse con los paramétricos de una ambulancia en tiempo real, a un bajo costo y gran calidad si es de tecnología digital. (Moya y Pastor, 2006). Este tipo de servicio de datos no requiere conectarse a la red telefónica pública; no obstante, puede realizarse, es ofrecido por TETRA, el cual se explica a continuación.

2.2.3. Sistema TETRA

El sistema TETRA es creado por ETSI (European Telecommunications Standards Institute) para las redes PAMR (Public Access Mobile Radio, según las siglas en español Redes Móviles Privadas de Acceso Público) que tiene como objetivo las redes de emergencia públicos y servicios de seguridad. TETRA (Terrestrial Trunked Radio) tiene como propuesta crear. En 1989 la ETSI planteo crear un estándar que mejore los sistemas de seguridad de esa época. A la par estaba empezando a funcionar a finales de los 80's el sistema GSM (Global System for Mobile communications). En principios de los 90's se concluyó la definición del estándar. A pesar de que el GSM que es un sistema de comunicaciones móviles y TETRA son diferentes, tienen bastantes similitudes porque son de origen Europeo. Dentro de las similitudes se pueden nombrar: tienen tramas TDMA (Time Division Multiple Access), codificación convolucional con entrelazado, control de potencia, división celular, ajuste temporizado, etc.

TETRA que es un PAMR al ser de segunda generación su transmisión de voz es digitalizada. Tiene las siguientes prestaciones:

- Comunicación dúplex de datos y de voz, o semidúplex de voz en el mismo equipo con datos a la vez.
- Aplicaciones de fax, transmisión de video y fax
- Señal de voz con calidad elevada a diferencia de los sistemas analógicos.
- Seguridad
- Flexibilidad de configuraciones desde un sistema local hasta el ámbito regional, nacional e internacional.
- Alta velocidad de datos.

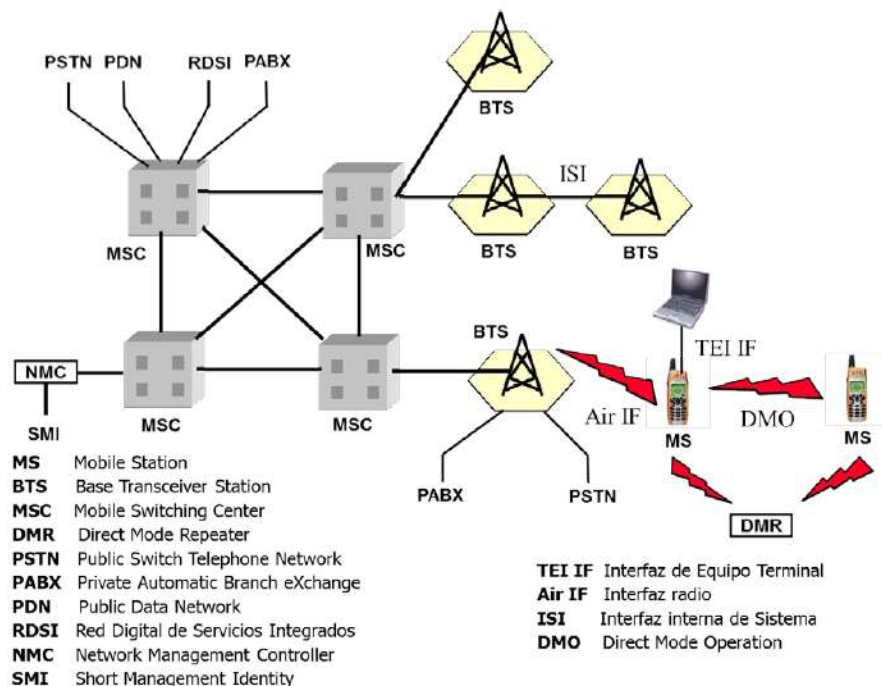
- Conexión con las redes externas PSTN o la RDSI
- Optimización de la transmisión de datos por paquete

2.2.4. Estructura de la red TETRA

Generalmente la estructura de una red PMR es sencilla, no tiene una jerarquía de niveles en que el de mayor nivel tenga más inteligencia que el de los niveles inferiores. Una PMR por lo general tiene el mismo nivel jerárquico todos sus componentes. A menos que se requiera que la PMR tenga más servicios y bastante número de móviles en el sistema como ocurre en los sistemas públicos PAMR, en ese caso se crea más jerarquía para mejorar el tráfico de los dispositivos de la red pero nunca alcanzan el grado de división jerárquica de los sistemas móviles como el GSM o UMTS. En el caso del sistema TETRA es similar al sistema GSM, pero no alcanza el grado de división jerárquica de un sistema de comunicaciones móviles como se puede ver en la Figura 1:

Figura 1

Estructura de la Red TETRA.



Nota. Tomado de Sistema de Comunicaciones Móviles (p.85) por Juan Pascual, 2014.

Las entidades que conforman la estructura de una red TETRA son:

- **BTS:** son estaciones bases. que a diferencia del GSM las BTS pueden conectarse a redes externas como el PSTN o a una PABX. Además, las BTS en el sistema TETRA se pueden interconectar cosa que en el GSM no pueden debido a la cantidad reducidas de usuarios en comparación con el sistema móvil GSM. Al estar interconectados sube el nivel de rebutes de la red y evita fallos y errores ya que si una llamada no puede ir por el MSC entonces lo podrá hacer por otra BTS. Las BTS se agrupan en zonas que pueden dar cabida hasta 100 BTS. Dos BTS pueden comunicarse por medio de la interfaz ISI.
- **MSC:** se encargan del enrutamiento y conmutación de llamadas que a comparación con la GSM es más sencilla porque el MSC en TERA se puede conectar en malla y controlan directamente a las otras BTS. Puede ser conectado con la Red Pública de Teléfonos (PSTN), redes de datos como la PDN o RDSI. La MSC puede conectarse con una PABX que es una central para gestionar llamadas internas de la red.
- **MS:** son estaciones móviles que son similares a las del GSM, pero a diferencia que pueden comunicarse entre ellas sin pasar por la BTS usando el modo Directo (DMO, "Direct mode Operation"). Usan la interfaz de radio AIR IF empleado por la MS para comunicarse con la BTS o también se le puede conectar un quipo terminal (TEI) a la red TETRA. La interfaz TEI IF es usada en la comunicación entre la MS y el TEI.
- **NMC:** es centro de gestión o administración de la red TETRA.
- **DMR:** es un equipo repetidor usado para comunicarse entre MS. Este modo de comunicación se le denomina modo "DMO Repeater".
- **SMI:** almacena la identidad de los usuarios de la red TETRA o también se le denomina como SwMI ("Switching and Management Infrastructure").

La red Tetra permite 3 modalidades de dar servicio:

1. **Modo V+D (Voz + Datos):** Es un modo similar al sistema GSM. La diferencia es que puede comunicarse en dúplex, semidúplex o simplex. Este modo también es llamado TMO (Operación en modo Troncal). El servicio de datos pes por medio de conmutación de circuitos donde pueden estar cifradas o no. Aunque no se cifra la comunicación, los bits de información son transmitidas de forma aleatoria de modo que se incrementa la dificultad de interceptación y decodificación de los bits no cifrados.
2. **Modo DMO:** es denominado Operación en modo directo que es propio de

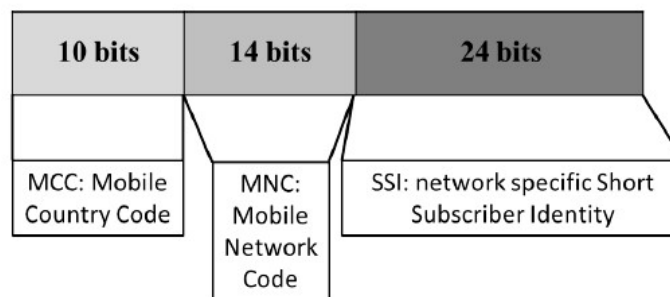
una red PAMR. Es una comunicación directa entre MS sin necesidad que paso por la estación base (modo “back-to-back”). Además, se puede emplear una estación repetidora DMR siendo fija o instalada en un vehículo aumentando el alcance de la red como se vio en la Figura 1. La comunicación en este modo no es full dúplex.

3. Modo PDO: usa conmutación de paquete de datos optimizados (“Packet Data Optimized”). Los servicios que puede entregar son: mensajería, correo electrónico, localización y también gestión de tráfico de vehículos. Este modo transmite los datos con una mayor velocidad en comparación con la conmutación de circuitos.

Un usuario de la red TETRA está identificado de forma única por lo menos con un TSI (TETRA Subscriber Identity). Compuesto por 48 bits y está dividido en 3 campos, el primero es para el SSI (Short Subscriber Identity) que se utiliza para identificar al usuario en la red TETRA, el segundo campo del código del país MCC (Mobile Country Code) y el ultimo el código de la red del equipo móvil MNC (Mobile Network Code). En la Figura 2 se muestra la distribución de los campos de un usuario TSI.

Figura 2

Estructura del número de identificación de usuario TSI.



Nota. Tomado de Sistema de Comunicaciones Móviles (p. 87) por Juan Pascual, 2014.

2.2.5. Servicio de Datos TETRA mejorado TEDS en Modo Troncalizado

TETRA Release 2 incorpora cuatro nuevas características. la extensión de rango de Trunked Mode Operation (TMO, en español Operación en Modo Troncal), el códec de voz de Velocidad Múltiple Adaptativa (AMR), el códec de voz Predictivo

de Excitación Mixta y Mejorado (MELPe) y el Servicio de Datos Mejorado de TETRA (TEDS). Esta evolución ha renovado el estándar TETRA permitiendo configurar llamadas grupales rápidas de área amplia llamadas grupales, operar en Direct Mode Operation (DMO, en español Modo Directo) establecer comunicaciones sucesivas entre terminales de radio, cifrado de voz de alto nivel, servicio de llamadas de emergencia que se recibe aun si el canal está ocupado (TCCA, 2020a).

Tales mejoras ocurren derivan de la operación en bandas UHF desde los 300 MHz hasta los 900 MHz generando un aumento de ancho de banda para transmisión de videos, voz e imágenes en tiempo real, con bajas resoluciones, sin exponerse a picos de demandas y perdida del servicio en momentos críticos como sucede con las redes 2.5G o 3G., además incluye nuevos canales de tráfico a la interfaz con una mejor tasa de transferencia lo que lo hace mucho más rápido, admitiendo una velocidad de hasta 130-150 kbits/s (Moya 2014). En Perú están disponibles los equipos con tecnología TETRA TEDS de los fabricantes Hytera y Motorola Solutions.

2.2.5.1. Calidad de voz en TETRA mejorado TEDS.

La mejora de TEDS incorpora dos nuevos códecs de voz, el primero AMR el cual funciona en el modo de solo 4,75 kbits/s, en el modo de interfaz aérea, éste se ha deshabilitado hasta que el mercado demuestre una demanda satisfactoria en el futuro; el segundo MELPe, códec estandarizado por la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) continua en pruebas hasta lograr superar el retraso de voz que genera en enlaces de extremo a extremo (TCCA, 2020a).

En este contexto, se establece que el códec de voz TETRA se basa en el modelo de codificación CELP (Code-Excited Linear Predictive), según lo señalado por la ETSI (2005); CELP utiliza un primer filtro de predicción a largo plazo o filtro de tono que tiene como objetivo modelar la pseudo-periodicidad en la señal de voz y, el segundo, es un filtro de predicción a corto plazo que modela el espectro envolvente de voz. Para ello, emplea una técnica de análisis por síntesis para determinar el libro de códigos de tono y los parámetros de excitación de voz y, la técnica Algebraica CELP (ACELP) donde se usan libros de códigos de innovación de tonos especiales que tienen una estructura algebraica con ventajas en términos de almacenamiento, complejidad de búsqueda y solidez.

En el códec ACELP, se manejarán tramas de voz de 30 ms. Se requiere que los parámetros de predicción a corto plazo se calculen y transmitan en cada trama de voz. La trama de voz se dividirá en 4 subtramas de 7,5 ms (60 muestras). Los parámetros del libro de códigos de tono y algebraicos también deben transmitirse en cada subtrama. En la Tabla 2 se muestra la asignación de bits para el códec ACELP,

en total se producirán 137 bits para cada trama de 30 ms, lo que dará como resultado una velocidad de bits de 4 567 bit/s.

Tabla 2

Asignación de bits para el códec ACELP TETRA.

PARAMETRO	1ra trama	2da trama	3ra trama	4ta trama	Total x Trama
Filtro a largo plazo (LP filter)					26
Retardo de tono (pitch delay)	8	5	5	5	23
Códec ACELP	16	16	16	16	64
VQ 2 de ganancia	6	6	6	6	24
Total					137

Nota. Tomado de *ETSI EN 300 395-2 V1.3.1* (p. 12), por ETSI, 2005, European Standard.

En condiciones típicas de desvanecimiento urbano con retardos por trayectos múltiples no superiores a 5 μ s, los umbrales de calidad para la voz que utiliza el códec ACELP de velocidad completa con modulación se alcanzan con un valor de interferencia cocanal de 19 dB y un nivel de sensibilidad de referencia dinámica de -106 dBm para BS y -103 dBm para equipos móviles (ETSI, 2006).

En cuanto a las medidas y métricas aplicables a las redes TETRA para permitir que los efectos asociados con la calidad de la voz sean aceptables deben considerarse todas las pérdidas acústicas, físicas, eléctricas y de codificación inherentes a la conexión entre los abonados asumiendo una conexión perfecta sin errores de transmisión digital; generalmente, se especifica y mide entre el MRP (Mouth Reference Point, en español es Punto de Referencia Boca) humana o artificial, el ERP (Ear Reference Point, en español significa Punto de Referencia del Oído) del oyente, IMP (Intermediate Monitoring Point, en español significa Punto de Monitoreo Intermedio) en términos de índices de sonoridad y MOS (Mean Opinion Score, en español significa Puntuación Media de Opinión) sobre la calidad de funcionamiento del sistema de transmisión o ecos habla/oyente (ETSI, 2006).

Con respecto al MOS las recomendaciones para efectuar las pruebas emitidas por ETSI (2006) son las siguientes:

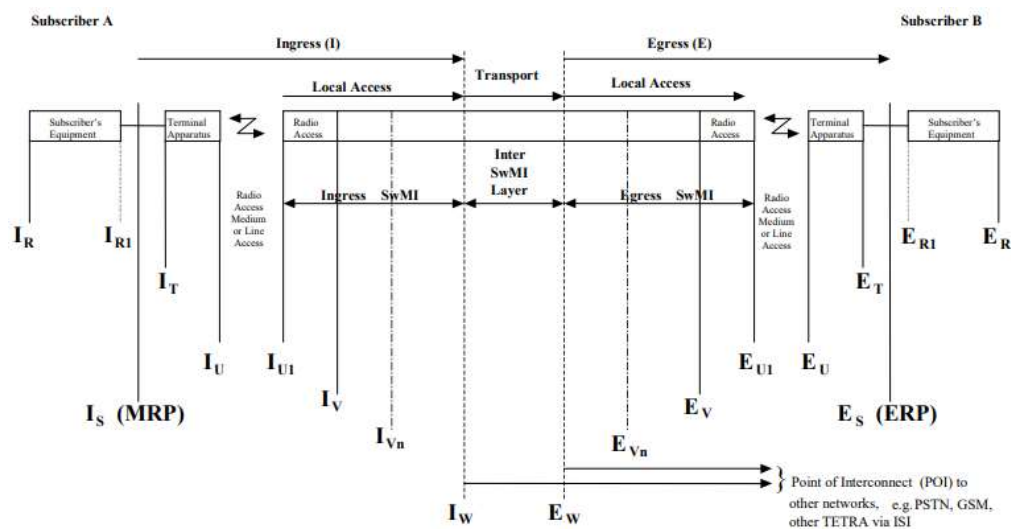
- a. Control de eco acústico y medición de TCL (Terminal Coupling Loss, en español significa Atenuación Por Acoplamiento De Terminal); en el caso de un terminal fijo el estar suspendido al aire libre hace que el acoplamiento del microteléfono no sea afectado. En el caso de un terminal móvil, los auriculares se montan en el HATS (Head and Torso Simulator, significando en español Simulador de Cabeza y Torso), las pruebas se realizan en condiciones ambientales de uso real en una habitación tipo oficina, el nivel

- de ruido ambiental debe ser inferior a -64 dBPa; la atenuación desde la entrada del punto de referencia hasta la salida del punto de referencia se mide, antes de la prueba real, con una secuencia de entrenamiento que consta de 10 s de voz artificial masculina y 10 s de voz artificial femenina.
- Control de eco acústico en un terminal móvil; debe instalarse en una habitación tipo oficina, en el caso de un terminal móvil montado en un vehículo debe probarse en un vehículo o en un simulador; el nivel de ruido ambiental debe ser inferior a -70 dBPa; la atenuación desde la entrada del punto de referencia hasta la salida del punto de referencia se mide utilizando, antes de la prueba real, una secuencia de entrenamiento que consta de 10 s de voz artificial masculina y 10 s de voz artificial femenina.
 - Valor de la pérdida de acoplamiento del terminal para el control del eco en el hablante (talker eco), dado que TETRA tiene un tiempo de transmisión unidireccional grande, superior a 300 ms, entonces el valor del índice de sonoridad del eco del hablante (TEL_R) debe ser grande (56 dB o más) para un 1% de insatisfacción del cliente; para terminales TETRA con control de volumen, el valor de la TCL_w (Terminal Coupling Loss weighted, en español significa Atenuación por acoplamiento de Terminal Ponderada) debe ser superior a 46 dB al volumen máximo.

Finalmente, los PMI (Punto de Monitoreo Intermedio) definidos por TETRA se muestran en la Figura 3.

Figura 3

PMI TETRA mejorado TEDS



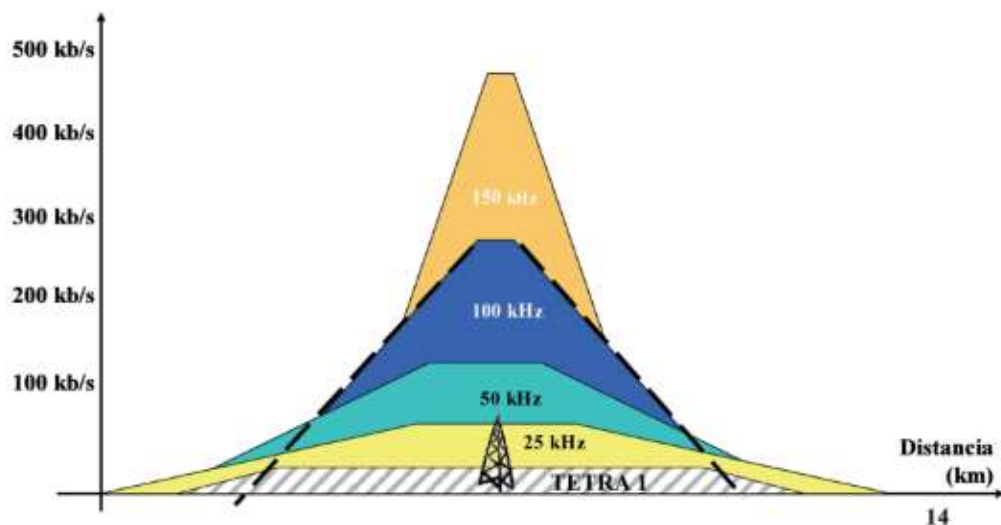
Nota. Tomado de ETSI TS 100 392-16 V1.2.1 (2006-09) (p. 12), por ETSI, 2006, European Standard.

2.2.5.2. Condiciones difíciles soportadas en TETRA mejorado TEDS.

Lo primero que destaca de la tecnología TETRA es su adecuación para ser implementado en redes PMR dentro de los sectores de seguridad pública, transporte, utilidades, gobierno, militar, redes PAMR, comercio e Industria, petróleo y gas (TCCA, The Critical Communication Association, 2020b). Todos estos escenarios suponen ambientes agresivos y desafiantes, donde ocurre una gran movilidad, con grandes extensiones de cobertura y con altas exigencias en materia de seguridad/criptación. Lo anterior, llevo a extender la mejora TEDS a un alcance de 58 km, en comunicaciones aire-tierra-aire al operar en la red TMO principal. Las ráfagas se modifican y TMO se amplía hasta 83 km; con velocidades de bits de usuario de 10 a 500 kbits/s. Los anchos de banda de canal de radiofrecuencia admitidos en TEDS son (figura 4): 25 kHz, 50 kHz, 100 kHz y 150 kHz (TCCA, 2020a), siendo factible utilizar las mismas estaciones infraestructura, sin modificar las antenas.

Figura 4

TETRA mejorado TEDS.



Nota. Tomado de *Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE* (p. 38), por J.M. Huidobro Moya, 2014, Grupo Editorial RA-MA.

Por otra parte, de acuerdo con TCCA (2020a), TEDS soporta los siguientes

esquemas de modulación:

- a. $\pi/4$ DQPSK para canales de control comunes TETRA V+D y TEDS;
- b. $\pi/8$ D8PSK para migraciones tempranas que requieren un aumento modesto de la velocidad;
- c. 4 QAM para enlaces eficientes en el borde de la cobertura;
- d. 16 QAM para velocidades moderadas, y;
- e. 64 QAM para altas velocidades.

La suma de todos estos factores es evidencia de la robustez de TETRA para operar en condiciones difíciles.

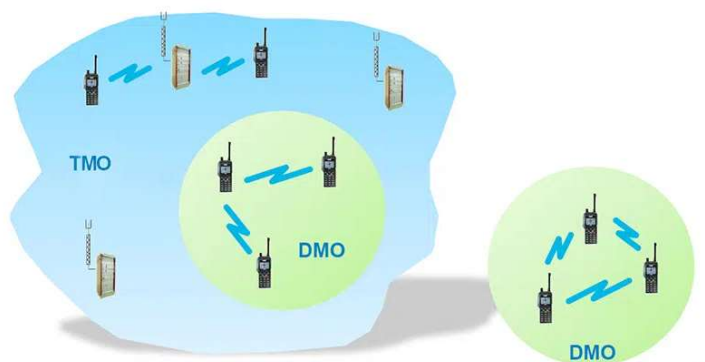
2.2.5.3. Operación en Modo Directo (DMO)

En las comunicaciones de radio, frente al Trunked Mode Operation, TMO, que son las transmisiones que se realizan a través de una infraestructura de red TETRA, el DMO, Direct Mode Operation, describe la capacidad que tienen los terminales de radio TETRA para poder comunicarse entre ellos operando de manera independiente a la red, como si fueran unos sencillos walkie-talkies.

Este modo puede ser útil en escenarios que, aun estando dentro del área de cobertura de la red, tienen un carácter tan localizado que no existe la necesidad de utilizar la red global para mantener la conversación.

Asimismo, también puede ser empleado en determinadas situaciones de trabajo, accidentes o circunstancias de carácter puntual. Por ejemplo, durante una persecución dos coches patrulla salen de la zona de cobertura y entre ambas unidades se mantiene esa necesidad de permanecer en contacto. El modo directo es el que permitirá que ambas unidades puedan seguir intercambiando información.

El uso más frecuente del DMO es para crear una extensión de la red permitiendo las comunicaciones en aquellas zonas donde no hay cobertura. A través de gateways, los usuarios de DMO pueden mantener el contacto con los de TMO. De esta forma, las radios se convierten en una especie de mini estación base que puede dar servicio a otras que se encuentren fuera de la red, mejorando de este modo las capacidades de comunicación y la cobertura del sistema.

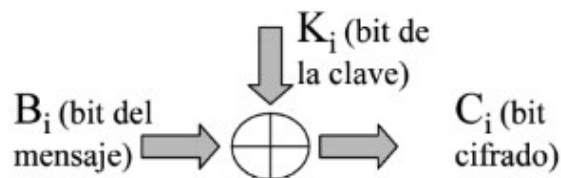
Figura 5*Modelo de Funcionamiento DMO.***2.2.5.4. Seguridad/Encriptación en TETRA (TEDS).**

De acuerdo con el reporte emitido por ETSI (2016), además de la seguridad de extremo a extremo incluida desde la versión TETRA 1 aplicable entre los usuarios finales para proteger la voz y los datos del usuario, TETRA TEDS incluye seguridad en el enlace entre MS (Mobile Station) y BS (Base Station) de la interfaz aérea utilizada para asegurar la señalización y el tráfico de voz, incluidos los datos de los usuarios y sus identidades; para proteger la red de ataques o mal uso por parte de usuarios no autorizados, recomienda configurar ambas para optimizar el nivel de protección. Dicha seguridad de la interfaz aérea acepta los TEA (Tiny Encryption Algorithm, que en español significa Algoritmos Diminutos de Cifrado) TEA1, TEA2, TEA3 y TEA4. Para el uso comercial general y de seguridad pública fuera de Europa admite TEA1, TEA3 para seguridad pública u organizaciones militares y TEA4 para seguridad pública de muy poco uso.

Estos algoritmos son implementados por medio del mecanismo de encriptación en flujo, bit a bit (figura 6), al respecto Vieites (2014), indicó que para crear una clave a partir de una secuencia pseudoaleatoria emitida por un Generador de Secuencia de Claves (KSG) donde se sustituye cada bit de información por cada bit de la secuencia por medio de la operación XOR (XoRed). TETRA TEDS utiliza este cifrado porque no crea errores adicionales, aspecto muy importante en el caso de la voz y la transmisión en tiempo real, cuya calidad no debe degradarse al ser recibida, tan solo la información se cifra/descifra sin tener que esperar se complete.

Figura 6

Cifrado de flujo mediante operación XOR TETRA mejorado TEDS



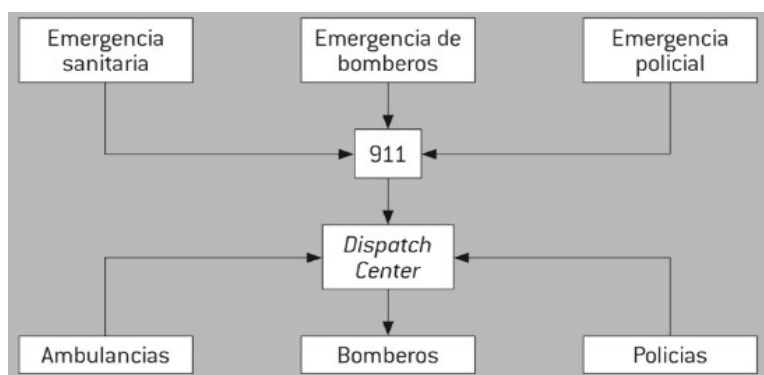
Nota. Tomado de *Sistemas seguros de acceso y transferencia de datos* (p. 24), por Á. Gómez Vieites, 2014, Grupo Editorial RA-MA.

2.2.6. Comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales

El establecimiento de un canal de comunicación adecuado es de vital importancia para salvar vidas; por lo tanto, el control de las comunicaciones críticas en la red asistencial es clave para asegurar la disponibilidad y calidad del servicio, así como la gestión operativa y coste. De acuerdo con López (2018), uno de los sistemas más utilizados a nivel mundial, en relación al despacho de llamadas, es el modelo anglosajón (figura 7), bajo este esquema se recibe una llamada de urgencia, se recogen los datos y localización del paciente, se realizan preguntas basadas en síntomas para proceder al envío del recurso, en este caso, específico la ambulancia.

Figura 7

Modelo anglosajón de atención de llamadas en comunicaciones críticas



Nota. Tomado de *Modelos de actuación ante múltiples víctimas* (p. 57), por López Ballesteros, 2018, Ediciones Paraninfo, S.A.

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Radiocomunicaciones

Es toda telecomunicación transmitida a través de ondas radioeléctricas

expresadas en hertzios (Moya & Ordoñez, 2014).

2.3.2. Servicio móvil terrestre

Es el servicio de radiocomunicación móvil que enlaza estaciones móviles terrestres entre sí o entre estaciones bases (Moya & Ordoñez, 2014).

2.3.3. Sistema troncalizado

Es la mejora del uso de los canales radioeléctricos disponibles para la red de grupos cerrados de usuarios PMR, permitiendo una mayor eficiencia con el uso de menos frecuencias (Técnicas Competitivas, 2018).

2.3.4. TETRA

Radio Terrestre Troncalizada (TETRA, Terrestrial Trunked Radio). Es un estándar del sistema móvil digital de radio especializados que unifica las diferentes opciones de interfaces de radio digital para las comunicaciones críticas grupales en pro de la mejora de los servicios de urgencia (Técnicas Competitivas, 2018).

2.3.5. TEDS

Servicio de Datos Mejorado de TETRA (TEDS, TETRA Enhanced Data Services). Es la evolución del estándar TETRA con avances en la tecnología de Procesador de Señal Digital (DSP) y los estándares de transmisión multiportador que emplean la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) optimizado para velocidades de datos de banda ancha, cobertura de área amplia y eficiencia del espectro proporcionando soporte para transmisión de video en vivo entre los servicios de emergencia y las salas de control (Motorola Solutions, 2016).

2.3.6. Comunicaciones críticas

Son aquellas que se originan en situaciones donde se encuentra en peligro la vida de las personas y, en el contexto de las ciudades inteligentes, son aquellas que permiten gestionar las urgencias integrando los diferentes actores involucrados en el sistema de emergencias por medio de redes de misión crítica (Hytera Communications Corporation Limited, 2019).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Nivel de la Investigación

De acuerdo a la naturaleza de los objetivos el Tipo de investigación es Aplicativa, explicativa y según el grado de profundidad el nivel de investigación comprensiva, al respecto Toro y Parra (2006), indicaron que “la comprensión es aprehensión y síntesis y la explicación es análisis y dividir en sus partes” (p. 96). En este sentido, la explicación permitió descubrir y describir las causas de los problemas observados en las comunicaciones críticas de los servicios asistenciales de urgencia en hospitales públicos para poder interpretar la fiabilidad de un servicio de datos TETRA (TEDS).

3.2. Ámbito de Estudio

Esta investigación se realizó en la provincia de Arequipa perteneciente al Departamento Arequipa de Perú, siendo de interés la red asistencial de hospitales públicos que se encuentran adscritos al Ministerio de Salud (MINSA) las cuales tienen asignados ambulancias, por lo tanto, se tomó el total de ambulancias disponibles, así como, aquellas que son de la Municipalidad. En razón de lo anterior, se tiene un total de 9 ambulancias y 4 establecimientos de salud, de acuerdo con la siguiente distribución:

- 4 ambulancias en el Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza Distrito Arequipa.
- 2 ambulancias de Seguridad Ciudadana de la Municipalidad.
- 1 ambulancia en el Hospital Goyeneche Distrito Arequipa.
- 1 ambulancia en el Centro de Salud Edificadores Misti Distrito Alto Selva Alegre.
- 1 ambulancia en el Centro de Salud Yanahuara Distrito Yanahuara.

3.3. Operacionalización de Variables

3.3.1. Variable Independiente

Comunicaciones críticas; es el proceso en el que todas las partes involucradas en la atención de urgencia están notificadas y conocen la criticidad del caso de un paciente que está siendo trasladado en ambulancia hacia un centro de salud (Emergency Nurses Association, 2020).

3.3.2. Variable dependiente

Servicio de datos TETRA (TEDS); sistema digital de radio móvil troncalizado para los servicios asistenciales de urgencia en hospitales públicos que necesitan fiabilidad en las comunicaciones críticas (Barroeta & Boada, 2011).

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Servicio de datos TETRA (TEDS)	Sistema digital de radio móvil troncalizado para los servicios asistenciales de urgencia en hospitales públicos que necesitan fiabilidad en las comunicaciones críticas (Barroeta Urquiza & Boada Bravo, 2011).	Tecnología a usar	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de voz códec ACELP - Análisis de Cobertura. - Diseño de la Estación Base.
Comunicaciones críticas	Es el proceso en el que todas las partes involucradas en la atención de urgencia están notificadas y conocen la criticidad del caso de un paciente que está siendo trasladado en ambulancia hacia un centro de salud (Emergency Nurses Association, 2020).	Estaciones Base y Terminales de Radio	<ul style="list-style-type: none"> - Localización de las Estaciones Base y Repetidores - Ancho de canal - Frecuencia de trabajo - Potencia de transmisión - Sensibilidad de recepción - Tasa de transmisión

Nota. Elaboración propia.

3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

Los equipos propuestos por el tesista que fueron comparados para medir la variable calidad de voz son de los fabricantes Hytera y Motorola, los cuales están presentes en el Perú.

Fabricante Hytera:

- Estación base DIB-R5.
- Radio móvil MT680 Plus S para vehículos de misión crítica.
- Radio portátil PTC680.

Fabricante Motorola:

- Estación base DIMETRA MTS2.
- Radio móvil MTM5200 para vehículos de misión crítica.
- Radio portátil MXP600.

También de ellos se extrajeron otros parámetros (potencia, sensibilidad, ganancias de antenas, altura de antenas, pérdidas) los cuales se utilizaron para efectuar los cálculos en las simulaciones de enlace con el software Radio Mobile y de cobertura con la herramienta de planificación radioeléctrica Planningtool disponible en el sitio web Xirio Online. Para los cálculos de distancias y cartografía se usó el servidor de mapas Google Maps.

Para cumplir con la propuesta de diseño de un sistema de radiocomunicaciones mediante el estándar de servicio de datos TETRA (TEDS) en modo troncalizado banda UHF para las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la provincia de Arequipa, el procedimiento fue el siguiente:

1. Se eligieron los equipos TETRA (TEDS) más adecuados para cumplir con los umbrales de calidad de voz códec ACELP con alcance de velocidad modulada considerando un valor de interferencia límite de 19 dB y un nivel de sensibilidad de referencia dinámica de -106 dBm para BS y -103 dBm para terminales móviles por medio de un análisis comparativo de los equipos disponibles.
2. Se definió la localización de las Estaciones Base (EB) y Repetidoras (RP) a partir del análisis de las coordenadas geográficas y distancias hacia cada uno de los 29 Distritos que conforman la provincia de Arequipa, tomando como requerimiento de cobertura una zona geográfica conformada por un total de 10.430,12 km² y otros parámetros: altitud, topografía, habitantes y características de la red asistencial de hospitales públicos (establecimientos de salud y ambulancias); sin obviar los parámetros de calidad de voz definidos

en el punto anterior.

3. Se realizaron estudios utilizando programas de simulación informáticos para detallar el balance de enlace, el método de propagación de las pérdidas de propagación y cobertura radioeléctrica indicando los niveles estimados y las características básicas de transmisión/recepción.

3.5. Procesamiento y Análisis de los Datos.

Para el cálculo de la cobertura se seleccionó el método Okumura-Hata modulado que permitió trabajar en la frecuencia 150 MHz a 2 GHz, se basó en las pérdidas de difracción a partir de la cartografía de alta resolución del entorno urbano de la provincia de Arequipa perteneciente al Departamento Arequipa de Perú. Por otro lado, para los cálculos del enlace y la propagación se emplea el modelo Longley-Rice por su adaptación a entornos irregulares o accidentados como la topografía de sierra de la ciudad de Arequipa, trabaja en frecuencias entre los 20 MHz y 40 GHz, y abarca longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

Por otro lado, para establecer la comparación de los equipos TETRA los datos obtenidos de las hojas de especificaciones sirvieron para construir una matriz de priorización a partir de los siguientes parámetros:

- a. Para las EB los factores fueron potencia de transmisión, recepción, sensibilidad, datos de alta velocidad, transmisión, temperatura de funcionamiento, dimensiones, peso.
- b. Para los terminales móviles los criterios fueron especificaciones RF (Radio Frecuencia), especificaciones GPS (Global Positioning System), especificaciones eléctricas, interfaz pantalla de usuario, servicio de datos, servicios de voz, servicios de puerta de enlace y servicio de seguridad.
- c. Para los terminales portátiles los indicadores fueron conectividad, especificaciones generales, audio, especificaciones ambientales, interfaz de usuario, especificaciones RF y servicio de seguridad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Comparación de equipos basados en TETRA (TEDS)

Para seleccionar los mejores equipos basados en el estándar de servicio de datos TETRA (TEDS), con una adecuada calidad de voz y un óptimo nivel de sensibilidad en la red asistencial de hospitales públicos para comunicaciones críticas, se compararon las opciones comerciales de EB Hytera DIB-R5 (Anexo 9.4) y Motorola Dimetra MTS2 (Anexo 9.5); los criterios utilizados fueron la potencia de transmisión, recepción, sensibilidad, datos de alta velocidad, transmisión, temperatura de funcionamiento, dimensiones y peso.

Con respecto a la potencia de transmisión la eficiencia de Hytera DIB-R5 es de 25W 44 dBm con modulación $\pi/4$ -DQPSK y 10W 40 dBm con modulación QAM; en tanto, Motorola Dimetra MTS2 opera a 10W con combinación de TX, 25W con dos antenas de TX sin ventiladores y a 40W sin combinación de TX, por lo tanto, como se aprecia en la tabla 4, Motorola Dimetra MTS2 tiene mucha más potencia.

Tabla 4

Cuadro comparativo de la potencia de transmisión de las opciones de EB

POTENCIA DE TRANSMISION	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		0,1	0,1	0,02
Dimetra MTS2	5		5	0,98
TOTAL			5,1	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menos potencia de transmisión* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menos potencia de transmisión* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares potencias de transmisión*.

2,5: La opción de fila tiene *más potencia de transmisión* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucha más potencia de transmisión* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

En relación a la recepción, tanto Hytera DIB-R5 como Motorola Dimetra MTS2 permiten hasta 3 receptores por portadora: un conector de antena para TX/RX y dos conectores de antena para RX, en total tres conectores independientes, el puntaje del criterio se observa en la tabla 5.

Tabla 5

Cuadro comparativo de la recepción de las opciones de EB

RECEPCIÓN	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		1	1	0,50
Dimetra MTS2	1		1	0,50
TOTAL			2	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menos recepción* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menos recepción* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *igual o similar recepción*.

2,5: La opción de fila tiene *más recepción* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucha más recepción* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

Sobre la sensibilidad, Hytera DIB-R5 alcanza los 119 dBm estática (BER 4%), 113 dBm dinámica (TU50 [TCH 7.2, BER 4%]), 110 dBm dinámica (clase B), 108 dBm dinámica (clase A) con PI/4DQPSK; mientras que Motorola Dimetra MTS2 a 350-470 MHz tiene 120.5 dBm típico (estática en BER 4%) y 114.0 dBm típico (desvanecido en BER 4%) y a 806-870 MHz 120 dBm típico (estática en BER 4%) y 113.5 dBm típico (desvanecido en BER 4%). Por consiguiente, Motorola Dimetra MTS2 tiene más sensibilidad que Hytera DIB-R5, el puntaje del criterio se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6

Cuadro comparativo de la sensibilidad de las opciones de EB.

SENSIBILIDAD	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		0,2	0,2	0,07
Dimetra MTS2	2,5		2,5	0,93
TOTAL			2,7	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menos sensibilidad* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menos sensibilidad* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *igual o similar sensibilidad*.

2,5: La opción de fila tiene *más sensibilidad* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucha más sensibilidad* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

Sobre los datos de alta velocidad, tanto Hytera DIB-R5 como Motorola

Dimetra MTS2 operan en bandas UHF; no obstante, Hytera DIB-R5 lo hace en cuatro rangos de 380 a 430 MHz (Rx/Tx), 450 a 470 MHz (Rx/Tx), 806 a 825 MHz (Rx) y 851 – 870 MHz (Tx); mientras que Motorola Dimetra MTS2 ofrece dos rangos, uno de 350 MHz a 470 MHz y de 806 a 870 MHz. Entonces, se determinó que Hytera DIB-R5 tiene una mayor cobertura de datos de alta velocidad trabajando hasta 150 KHz RF de ancho de banda de radio para servicios TETRA TEDS, el puntaje del criterio se muestra en la tabla 7.

Tabla 7

Cuadro comparativo de los datos de alta velocidad de las opciones de EB

DATOS DE ALTA VELOCIDAD	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		0,2	0,2	0,07
Dimetra MTS2	2,5		2,5	0,93
TOTAL			2,7	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menos datos de alta velocidad* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menos datos de alta velocidad* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares datos de alta velocidad*.

2,5: La opción de fila tiene *más datos de alta velocidad* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *muchos más datos de alta velocidad* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

Sin embargo, en Hytera DIB-R5 se realiza a través de conexión a la red IP o E1 (opcional) permitiendo operar bajo los esquemas de modulación TETRA 1/PSK o TEDS/QAM; en tanto, Motorola Dimetra MTS2 ofrece la conexión Ethernet, X21 o E1 fraccionada, señalización de etiquetas de varios protocolos (MPLS), dos puertos Ethernet o dos puertos E1 con multiplexor integrado para protección de bucles o redundancia (hasta 10 estaciones base se pueden conectar en bucle), compatibilidad con transmisión por satélite trabajando con esquemas de modulación TEDS/QAM. Por consiguiente, se estableció que Motorola Dimetra MTS2 tiene una mayor cantidad de salidas para transmitir datos, pero, Hytera DIB-R5 ofrece mejores opciones para programar el transceptor, el puntaje del criterio se aprecia en la tabla 8.

Tabla 8

Cuadro comparativo de la transmisión de las opciones de EB

TRANSMISIÓN	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		2,5	2,5	0,93
Dimetra MTS2	0,2		0,2	0,07
TOTAL			2,7	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menos transmisión* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menos transmisión* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *igual o similar transmisión*.

2,5: La opción de fila tiene *más transmisión* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucha más transmisión* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

Hytera DIB-R5 soporta un rango de temperatura de - 30 °C a +55 °C en situaciones donde la calefacción o el aire acondicionado no son las más adecuadas; por su parte, Motorola Dimetra MTS2 también opera a -30°C a +55°C dispersando el calor sin ventiladores, en sitios inaccesibles y áreas rurales donde el mantenimiento es costoso y difícil a 10W; además, se mantiene completamente operativo hasta los +60°C con ventiladores de bajo nivel de ruido a 25W y 40W. Entonces la configuración de Motorola Dimetra MTS2 es más eficiente, el puntaje se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9

Cuadro comparativo de la temperatura de funcionamiento de las opciones de EB

TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		0,1	0,1	0,02
Dimetra MTS2	5		5	0,98
TOTAL			5,1	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menor temperatura de funcionamiento* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menor temperatura de funcionamiento* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares temperaturas de funcionamiento*.

2,5: La opción de fila tiene *mayor temperatura de funcionamiento* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayor temperatura de funcionamiento* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

La EB Hytera DIB-R5 mide 600mm (alto) x 1200mm (profundidad) x 600mm (ancho); mientras que Motorola Dimetra MTS2 610mm (alto) x 480mm (profundidad) x 450mm (ancho). Por consiguiente, se determinó que Motorola Dimetra MTS2 es más alta pero menos profunda y ancha, el puntaje se presenta en la tabla 10.

Tabla 10

Cuadro comparativo de las dimensiones de las opciones de EB

DIMENSIONES	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		0,2	0,2	0,07
Dimetra MTS2	2,5		2,5	0,93
TOTAL			2,7	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menor dimensión* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menor dimensión* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *igual o similar dimensión*.

2,5: La opción de fila tiene *mayor dimensión* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho más dimensión* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

La EB Hytera DIB-R5 tiene tres modelos y el peso depende de ello: compacta de 60 a 80 Kg y advanced con un máximo de 161 kg aproximadamente. Mientras que, el armario de Motorola Dimetra MTS2 con embalaje puede llegar a pesar hasta 64 kg aproximadamente para portabilidad. En consecuencia, se determinó que Motorola Dimetra MTS2 es la solución de menor peso en su diseño, como se aprecia en el puntaje asignado en la tabla 11.

Tabla 11

Cuadro comparativo del peso de las opciones de EB

PESO	DIB-R5	Dimetra MTS2	Total	PESO RELATIVO
DIB-R5		2,5	2,5	0,93
Dimetra MTS2	0,2		0,2	0,07
TOTAL			2,7	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menor peso* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menor peso* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *igual o similar peso*.

2,5: La opción de fila tiene *mayor peso* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *muchos más peso* que el de la columna.

Nota. Adaptado de ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series, por Hytera, 2016 y Estación Base Tetra Dimetra MTS2, por Motorola Solutions, 2019.

Consolidando las calificaciones de cada uno de los criterios el resultado de la priorización, presentado en la tabla 12, arrojó que la mejor opción de EB es de Motorola Dimetra MTS2, con una diferencia de 0.39 puntos porcentuales de Hytera DIB-R5.

Tabla 12

Matriz de priorización para elegir la mejor opción de EB

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total	Peso ponderado definido
DIB-R5	0,0027	0,0687	0,0146	0,0148	0,1140	0,0020	0,0008	0,0869	0,30	0,30
Dimetra MTS2	0,1347	0,0687	0,1822	0,1853	0,0091	0,0985	0,0101	0,0069	0,70	0,70
	Total								1,00	1,00

C1 = Potencia de Transmisión
 C2 = Recepción
 C3 = Sensibilidad
 C4 = Datos de Alta Velocidad
 C5 = Transmisión
 C6 = Temperatura de funcionamiento
 C7 = Dimensiones
 C8 = Peso

Nota. Resumen los pesos relativos de cada indicador para obtener el peso ponderado definido total.

Dado que el equipo seleccionado fue el Motorola Dimetra MTS2 se evaluaron, a continuación, los terminales móviles para vehículos de misión crítica compatibles con esta solución: Radio móvil Motorola MTM5200, MTM5400 y MTM5500; los criterios utilizados fueron las especificaciones RF, especificaciones GPS, especificaciones eléctricas, interfaz pantalla de usuario, servicio de datos, servicios de voz, servicios de puerta de enlace y servicio de seguridad.

Sobre las especificaciones RF, los TM MTM5200 y MTM5400 operan en las bandas de frecuencia 350–390 MHz, 380-430 MHz, 410-470, 806–870 MHz, en tanto el MTM5500 no toma la banda 350-380 MHz; por otro lado, los tres tienen soporte para TETRA (TDES) operando con una potencia RF de transmisor de 3W con un ancho de banda de 25 KHz y una separación transmisión/recepción de 10 MHz, Clase 3; también aceptan TETRA 1 operando en los TM MTM5400 y MTM5500 a una potencia RF de transmisión de 10W, Clase 2 y el MTM5200 a 3W; asimismo la sensibilidad estática de receptor mínima -114, típica -116 y dinámica mínima -105, típica -107; finalmente, en cuanto al control de potencia RF ofrece seis niveles de pasos de 5 dBm, empezando en 15 dBm y terminando en 40 dBm. En síntesis, se determinó que los TM MTM5200 y MTM5400 son los que tienen mayores

especificación RF, el puntaje obtenido se puede apreciar en la tabla 13.

Tabla 13

Cuadro comparativo de las especificaciones RF de los TM

ESPECIFICACIONES RF	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	2,5	3,5	0,47
MTM5400	1		2,5	3,5	0,47
MTM5500	0,2	0,2		0,4	0,05
Total				7,4	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores especificaciones de RF* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores especificaciones de RF* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares especificaciones de RF*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores especificaciones de RF* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores especificaciones de RF* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000 por Motorola Solutions, 2015.*

En cuanto a las especificaciones GPS, según el puntaje obtenido que se presenta en la tabla 14, los tres TM evaluados ofrecen las mismas ventajas: enlace a 12 satélites simultáneos, modo de funcionamiento autónomo o asistido, antena GPS con suministro de 5V 25 mA, con sensibilidad de captación autónoma de -143 dBm / -173 dBW y sensibilidad de seguimiento de -159 dBm / -189 dBW, con una precisión de < 5 m (50% probable) < 10 m (95% probable), TTFF (Arranque en Caliente Autónomo) < 1s, TTFF (Arranque Tibio Autónomo) < 36s, TTFF (Arranque en FRÍO - Autónomo) < 36s y Protocolo de Información de Ubicación ETSI (LIP) Motorola LRRP.

Tabla 14

Cuadro comparativo de las especificaciones GPS de los TM

Especificaciones GPS	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	1	2	0,33
MTM5400	1		1	2	0,33
MTM5500	1	1		2	0,33
Total				6	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores especificaciones de GPS* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores especificaciones de GPS* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares especificaciones de GPS*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores especificaciones de GPS* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores especificaciones de GPS* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000 por Motorola*

Solutions, 2015.

Con respecto a las especificaciones eléctricas los tres TM operan en un rango de tensión de 10,8 a 15,6 V CC consumiendo corriente N/A (3W únicamente) Tx TEDS 3W de 2,3; con host USB agrega 0,5 A y en estado Inactivo / Rx / Tx 3W 0,5 / 1,0 / 9 (TX 2,2A Pico); sin embargo, los TM MTM5200 y MTM5400 son los únicos que trabajan en estado Inactivo / Rx / Tx 10W a 0,5 / 1,0 / 1,2 (TX 3,4A Pico) y el consumo Tx en 4 Ranuras múltiples PD 5,6W en el MTM5200 es a 3W y en los otros dos equipos a 2,7 W. de acuerdo con lo anterior, y según el puntaje obtenido que se presenta en la tabla 15, los TM MTM5200 y MTM5400 son más eficientes eléctricamente.

Tabla 15

Cuadro comparativo de las especificaciones eléctricas de los TM

Especificaciones eléctricas	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		0,2	0,2	0,4	0,05
MTM5400	2,5		1	3,5	0,47
MTM5500	2,5	1		3,5	0,47
	Total			7,4	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores especificaciones eléctricas* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores especificaciones eléctricas* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares especificaciones eléctricas*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores especificaciones eléctricas* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores especificaciones eléctricas* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000* por Motorola Solutions, 2015.

En relación con la interfaz pantalla de usuario los tres equipos tienen pantalla de 2,8" tipo VGA Transflexiva TFT de 640x480 píxeles, 65.000 colores con Luz de fondo variable; configurable por usuario, caracteres estándar y modo zoom (90 píxeles, altura: 4,5 mm), teclado numérico retroiluminado integral de 12 teclas, con opción de bloqueo de teclado, botón de emergencia con luz de fondo, LED tricolor, tonos de notificación configurables, idioma programable por usuario vía carácter ISO 8859-1, almacena hasta 1000 contactos, números por contacto, máximo 2000 entradas; repuesta rápida de llamada privada a llamada grupal por botón de un toque, administra los mensajes tipo celular, soporta hasta 20 listas de mensajes de texto, 100 listas de estado, 100 listas de código/país, 40 listas de escaneo con 20 grupos, hora universal, bloqueo de teclado. En resumen, los TM MTM5200, MTM5400 y

MTM5500 aportan las mismas ventajas en cuanto a experiencia de usuario (facilidad y uso).

Tabla 16

Cuadro comparativo de la interfaz pantalla de usuario de los TM

Interfaz Pantalla de Usuario	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	1	2	0,33
MTM5400	1		1	2	0,33
MTM5500	1	1		2	0,33
	Total			6	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores características en la interfaz pantalla de usuario* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores características en la interfaz pantalla de usuario* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares características en la interfaz pantalla de usuario*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores características en la interfaz pantalla de usuario* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores características en la interfaz pantalla de usuario* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000* por Motorola Solutions, 2015.

Sobre el servicio de datos, los tres equipos son compatibles TDES con canales QAM de 25 kHz y 50 kHz y modos de codificación/modulación 4-QAM R1/2, 16-QAM R1/2, 64-QAM R1/2, y 64-QAM R2/3; admiten TETRA (TEDS) actualizando el software con anchos de canal de 25 kHz y 50 kHz, y velocidades de datos prácticas de hasta 80kbit/s. entonces, se determinó, según los puntajes que se muestran en la tabla 17, que los TM MTM5200, MTM5400 y MTM5500 tienen los mismos beneficios.

Tabla 17

Cuadro comparativo del servicio de datos de los TM

Servicio de Datos	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	1	2	0,33
MTM5400	1		1	2	0,33
MTM5500	1	1		2	0,33
	Total			6	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores características de servicios de datos* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores características de servicios de datos* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares características de servicios de datos*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores características de servicios de datos* que el de la columna.
 5: La opción de fila tiene *mucho mayores características de servicios de datos* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000* por Motorola Solutions, 2015.

Sobre la tecnología de servicio de voz, el puntaje que se observa en la tabla 18, indica que los TM MTM5200, MTM5400 y MTM5500 tienen las mismas prestaciones en modo troncalizado llamada grupal entrada tardía, mapeo TMO/DMO; llamada privada half/full dúplex; telefonía PABX, PSTN y MSISDN full dúplex; hasta 2047 grupos en Asignación Dinámica de Números de Grupo (DGNA) destacando las funciones de llamadas de emergencia táctica, no táctica, individual half/full dúplex, inteligente, Hot Mic con temporizadores configurables para apertura automática de micrófono, ubicación GPS, dirección y alarma. Soportan hasta 1000 contactos en la agenda telefónica con un límite de 6 números por entrada, 40 listas de 20 grupos de conversación.

Tabla 18

Cuadro comparativo de los servicios de voz de los TM

Servicio de Voz	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	1	2	0,33
MTM5400	1		1	2	0,33
MTM5500	1	1		2	0,33
	Total			6	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores características de servicios de voz* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores características de servicios de voz* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares características de servicios de voz*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores características de servicios de voz* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores características de servicios de voz* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000* por Motorola Solutions, 2015.

En relación con la tecnología de servicios de puerta de enlace, según el puntaje de la tabla 19, los TM MTM5200, MTM5400 y MTM5500 tienen las mismas características, proporcionan un gateway para establecer comunicaciones en entornos DMO/TMO para llamadas de voz y grupales en ambos sentidos, detección y administración automática de gateway, gestión inteligente de llamadas punto a

punto y mensajes SDS mientras funciona como gateway, enrutamiento configurable de mensajes SDS hacia la consola o PEI, mensajería SDS de DMO a TMO, incluido GPS, o de TMO a DMO y llamada preferencial conectando equipos en cualquier dirección.

Tabla 19

Cuadro comparativo del servicio de puerta de enlace de los TM

Servicio de Puerta de Enlace	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	1	2	0,33
MTM5400	1		1	2	0,33
MTM5500	1	1		2	0,33
	Total			6	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores características de servicios de puerta de enlace* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores características de servicios de puerta de enlace* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares características de servicios de puerta de enlace*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores características de servicios de puerta de enlace* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores características de servicios de puerta de enlace* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000* por Motorola Solutions, 2015.

En relación a la tecnología de los servicios de seguridad, según el puntaje de la tabla 20, los TM MTM5200, MTM5400 y MTM5500 tienen las mismas especificaciones, algoritmos de encriptación de interfaz de aire TEA1 y TEA3; clases de segura 1 (clear), 2 (SCK) y 3G; encriptación punta a punta mejorada con OTAR basado en Módulo Criptográfico Universal (UCM) y SIM, acceso por código PIN/PUK y autenticación de usuario de datos por paquetes.

Tabla 20

Cuadro comparativo de los servicios de seguridad de los TM

Servicio de Seguridad	MTM5200	MTM5400	MTM5500	Total	Peso relativo
MTM5200		1	1	2	0,33
MTM5400	1		1	2	0,33
MTM5500	1	1		2	0,33
	Total			6	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores características de servicios de seguridad* que el

de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores características de servicios de seguridad* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares características de servicios de seguridad*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores características de servicios de seguridad* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores características de servicios de seguridad* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000* por Motorola Solutions, 2015.

Resumiendo, las valoraciones de cada uno de los criterios, como se puede observar en la tabla 21, el equipo MTM5400 es la mejor opción de TM, con una diferencia de 0.03 puntos porcentuales de MTM5200 y 0.07 de MTM5500.

Tabla 21

Matriz de priorización para elegir la mejor opción de TM

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Total	Peso ponderado definido
MTM5200	0,0641	0,0452	0,0034	0,0172	0,0497	0,0497	0,0565	0,0492	0,33	0,34
MTM5400	0,0641	0,0452	0,0295	0,0172	0,0497	0,0497	0,0565	0,0492	0,36	0,36
MTM5500	0,0073	0,0452	0,0208	0,0172	0,0497	0,0497	0,0565	0,0492	0,30	0,30
	Total								0,99	1,00
C1 = Especificaciones de RF; C2 = Especificaciones de GPS; C3 = Especificaciones eléctricas; C4 = Interfaz de pantalla de usuario; C5 = Servicios de datos; C6 = Servicios de voz; C7 = Servicios de puerta de enlace; C8 = Servicios de seguridad										

Por último, se valoraron tres opciones de terminales portátiles compatibles con la solución Motorola Dimetra MTS2: Motorola MXP600, MTP6650 y MTP3550; los criterios utilizados fueron conectividad, especificaciones generales, audio, especificaciones ambientales, interfaz de usuario, especificaciones RF y servicio de seguridad.

En cuanto a la conectividad, el equipo MXP600 soporta Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac de 2.4 GHz a 5 GHz y Bluetooth versiones 5.0, 4.2, 4.1, 4.0, 2.1 + Tasa mejorada de Datos (EDR, Enhanced Data Rate). En tanto el MTP6650 tiene funcionalidad Wi-Fi y Bluetooth 4.0; el MTP3550 solo incluye Bluetooth. Por lo tanto, se determinó que el MXP600 es el equipo que ofrece la mejor conectividad, según el puntaje que se presenta en la tabla 22.

Tabla 22*Cuadro comparativo de conectividad de los TP*

Conectividad	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		5	5	10	0,78
MTP6650	0,1		2,5	2,6	0,20
MTP3550	0,1	0,2		0,3	0,02
	Total			12,9	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menor conectividad* que el de la columna.0,2: La opción de fila tiene *menor conectividad* que el de la columna.1: Las dos opciones tienen *igual o similar conectividad*.2,5: La opción de fila tiene *mayor conectividad* que el de la columna.5: La opción de fila tiene *mucho mayor conectividad* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

El equipo MXP600 es menos alto y profundo (120 mm x 25 mm con batería IMPRES2 = 1900 mAh y 30 mm con batería IMPRES2 \geq de 2900 mAh) que los terminales MTP6650 (132 mm x 34 mm) y MTP3550 (124 mm x 33.5 mm); el dispositivo menos ancho es el MTP3550 (53 mm); sin embargo, la MXP600 pesa menos (200 gr con batería, sin antena y 212 gr si las tiene instaladas) que las otras opciones y, además, utiliza baterías con la tecnología IMPRES2 de 1900 mAh a 3400 mAh lo cual le da una mayor durabilidad a diferencia de la soportada por los equipos MTP6650 y MTP3550 cuya batería mínima es de 1650 mAh y máxima es de 2150mAh. Se determinó que el TP MXP600 tiene especificaciones generales que superan, en mucho, a los equipos MTP6650 y MTP3550, según puntaje obtenido y presentando en la tabla 23.

Tabla 23*Cuadro comparativo de las especificaciones generales de los TP*

Especificaciones Generales	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		5	2,5	7,5	0,71
MTP6650	0,1		0,2	0,3	0,03
MTP3550	0,2	2,5		2,7	0,26
	Total			10,5	1,07

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *más inferiores especificaciones generales* que el de la columna.0,2: La opción de fila tiene *inferiores especificaciones generales* que el de la columna.1: Las dos opciones tienen *iguales o similares especificaciones generales*.2,5: La opción de fila tiene *superiores especificaciones generales* que el de la columna.5: La opción de fila tiene *más superiores especificaciones generales* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

El equipo MTP3550 tiene una potencia de audio de 2 Wrms con pico de 4 W vía radio y accesorios como los auriculares inalámbricos con conexión Bluetooth 2.1 de alcance máximo 10 metros o el sistema de comunicación de casco Savox HC-1, ambos ideales para comunicaciones en entornos hostiles o ruidosos y misiones críticas. En tanto el MXP600 tiene una potencia máxima de 2.2 Wrms y el MTP6650 de 2 Wrms. Es importante destacar que todos los equipos utilizan accesorios de conexión inalámbrica y comparten el volumen de ajuste automático el cual se activa en aquellos casos que se habla en voz baja o en dirección opuesta al micrófono. Por lo tanto, se determinó que el MTP3550 es el equipo que ofrece el mejor audio, según el puntaje que se presenta en la tabla 24.

Tabla 24

Cuadro comparativo del audio de los TP

Audio	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		2,5	0,2	2,7	0,26
MTP6650	0,2		0,1	0,3	0,03
MTP3550	2,5	5		7,5	0,71
	Total			10,5	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mayor inferioridad de audio* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *inferior audio* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similar audio*.

2,5: La opción de fila tiene *superior audio* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mayor superioridad de audio* que el de la columna

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

El equipo MXP600 funciona en un rango mayor de temperatura (-30 °C a +70 °C) y es mucho más robusto contra la entrada de polvo y agua incorporando los estándares IP65, IP66, IP67 los cuales se incluyen en los terminales MTP6650 y MTP3550, pero maximiza su resistencia con el estándar IP68 el cual le permite estar sumergido a una profundidad de dos metros en un tiempo de dos horas; en cuanto a resistencia a la humedad, golpes, caídas, vibraciones y temperatura de almacenamiento tienen especificaciones iguales o similares. Se determinó que el TP

MXP600 tiene especificaciones ambientales que superan, en mucho, a los equipos MTP6650 y MTP3550, el puntaje se muestra en la tabla 25.

Tabla 25

Cuadro comparativo de las especificaciones ambientales de los TP

Especificaciones Ambientales	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		5	5	10	0,82
MTP6650	0,1		1	1,1	0,09
MTP3550	0,1	1		1,1	0,09
	Total			12,2	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *más inferiores especificaciones ambientales* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *inferiores especificaciones ambientales* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares especificaciones ambientales*.

2,5: La opción de fila tiene *superiores especificaciones ambientales* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *más superiores especificaciones ambientales* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

Si bien todos los TP soportan listas de estados de hasta 400 mensajes, 100 códigos/país, hora universal, hasta 1000 contactos y 40 listas de búsquedas de hasta 20 grupos; la principal diferencia se encuentra en el diseño de su pantalla: el MXP600 tiene una pantalla transreflectiva de 2.4" giratoria, en tanto, el MTP6650 cuenta con una pantalla OVGA rebatible y el MTP3550 con una pantalla transreflectiva de 2.4" rebatible; además destaca el MTP6650 por incorporar los sensores de acelerómetro y luz ambiental pese a que su capacidad de mensajes de textos en bandejas es 10 de entrada y 20 de salida, en este aspecto las otras dos opciones le superan permitiendo 20 de entrada/salida.. Se determinó, como se puede observar en la tabla 26, que el TP MXP600 tiene una interfaz de usuario superior con mejores prestaciones que las ofrecidas por los equipos MTP6650 y MTP3550.

Tabla 26

Cuadro comparativo de la interfaz de usuario de los TP.

Interfaz de Usuario	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		2,5	2,5	5	0,68
MTP6650	0,2		1	1,2	0,16
MTP3550	0,2	1		1,2	0,16
	Total			7,4	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *más inferior interfaz de usuario* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *inferior interfaz de usuario* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *igual o similar interfaz de usuario*.

2,5: La opción de fila tiene *superior interfaz de usuario* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *más superior interfaz de usuario* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

El equipo MTP3550, además de la banda de frecuencia de 350-470 MHz, incluye la banda 800 MHz con una sensibilidad estática de recepción de -114 dBm (mín.); -116 dBm (típica) y dinámica de -105 dBm (mín.); -107 dBm (típica), pero no tiene soporte para la potencia de clase 3 en la RF del transmisor; las demás características son iguales en los 3 modelos: receptor de clase A y B, con una sensibilidad estática de recepción en la banda 350-470 MHz de -116 dBm (mín.); -118 dBm (típica) y dinámica de -107 dBm (mín.); -109 dBm (típica). Entonces, se estableció que el MTP3550 es más robusto en cuanto a las especificaciones RF. El puntaje se presenta en la tabla 27.

Tabla 27.

Cuadro comparativo de las especificaciones RF de los TP

Especificaciones RF	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		1	0,2	1,2	0,16
MTP6650	1		0,2	1,2	0,16
MTP3550	2,5	2,5		5	0,68
Total				7,4	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menores especificaciones de RF* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menores especificaciones de RF* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares especificaciones de RF*.

2,5: La opción de fila tiene *mayores especificaciones de RF* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *mucho mayores especificaciones de RF* que el de la columna.

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

Todos los equipos tienen cifrado de interfaz aire con algoritmos TEA1, TEA2 y TEA3; cifrado de extremo AES128 o AES256 para voz y datos cortos compatibles con OTAK; desactivación temporal de aturdimiento; desactivación permanente bajo el estándar ETSI o restaurable por el cliente V2; sin embargo el equipo MXP600 además de los protocolos de seguridad Clase 1 (abierto), Clase 2 (SCK) y Clase 3

(DCK/CCK, OTAR-CCK, OTAR-SCK) incluye el Clase 3G (GCK, OTAR-GCK), en consecuencia, se considera que este es el TP con mejores servicios de seguridad. El puntaje se muestra en la tabla 28.

Tabla 28

Cuadro comparativo de los servicios de seguridad de los TP

Servicios de Seguridad	MXP600	MTP6650	MTP3550	Total	Peso relativo
MXP600		2,5	2,5	5	0,68
MTP6650	0,2		1	1,2	0,16
MTP3550	0,2	1		1,2	0,16
Total				7,4	1,00

Ponderación:

0,1: La opción de fila tiene *mucho menos servicios de seguridad* que el de la columna.

0,2: La opción de fila tiene *menos servicios de seguridad* que el de la columna.

1: Las dos opciones tienen *iguales o similares servicios de seguridad*.

2,5: La opción de fila tiene *más servicios de seguridad de RF* que el de la columna.

5: La opción de fila tiene *muchos más servicios de seguridad* que el de la columna

Nota. Adaptado de *Hoja de Especificaciones MXP600* por Motorola Solutions, 2020; *Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650* por Motorola Solutions, 2017 y *Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000* por Motorola Solutions, 2015a.

Resumiendo, las valoraciones de cada uno de los criterios, como se puede observar en la tabla 29, el equipo MXP600 es la mejor opción de TP, con una diferencia de 0.36 puntos porcentuales de MTP6650 y 0.12 de MTP3550.

Tabla 29

Matriz de priorización para elegir la mejor opción de TP

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Total	Peso ponderado definido
MXP600	0,1582	0,0219	0,0525	0,0251	0,0666	0,0386	0,1310	0,49	0,49
MTP6650	0,0411	0,0009	0,0058	0,0028	0,0160	0,0386	0,0314	0,14	0,14
MTP3550	0,0047	0,0079	0,1458	0,0028	0,0160	0,1609	0,0314	0,37	0,37
Total								1,00	1,00

C1 = Conectividad; C2 = Especificaciones generales; C3 = Audio; C4 = Especificaciones ambientales; C5 = Interfaz de usuario; C6 = Especificaciones RF; C7 = Servicios de seguridad

4.2. Localización de las estaciones base y repetidores mediante el estándar TETRA (TEDS)

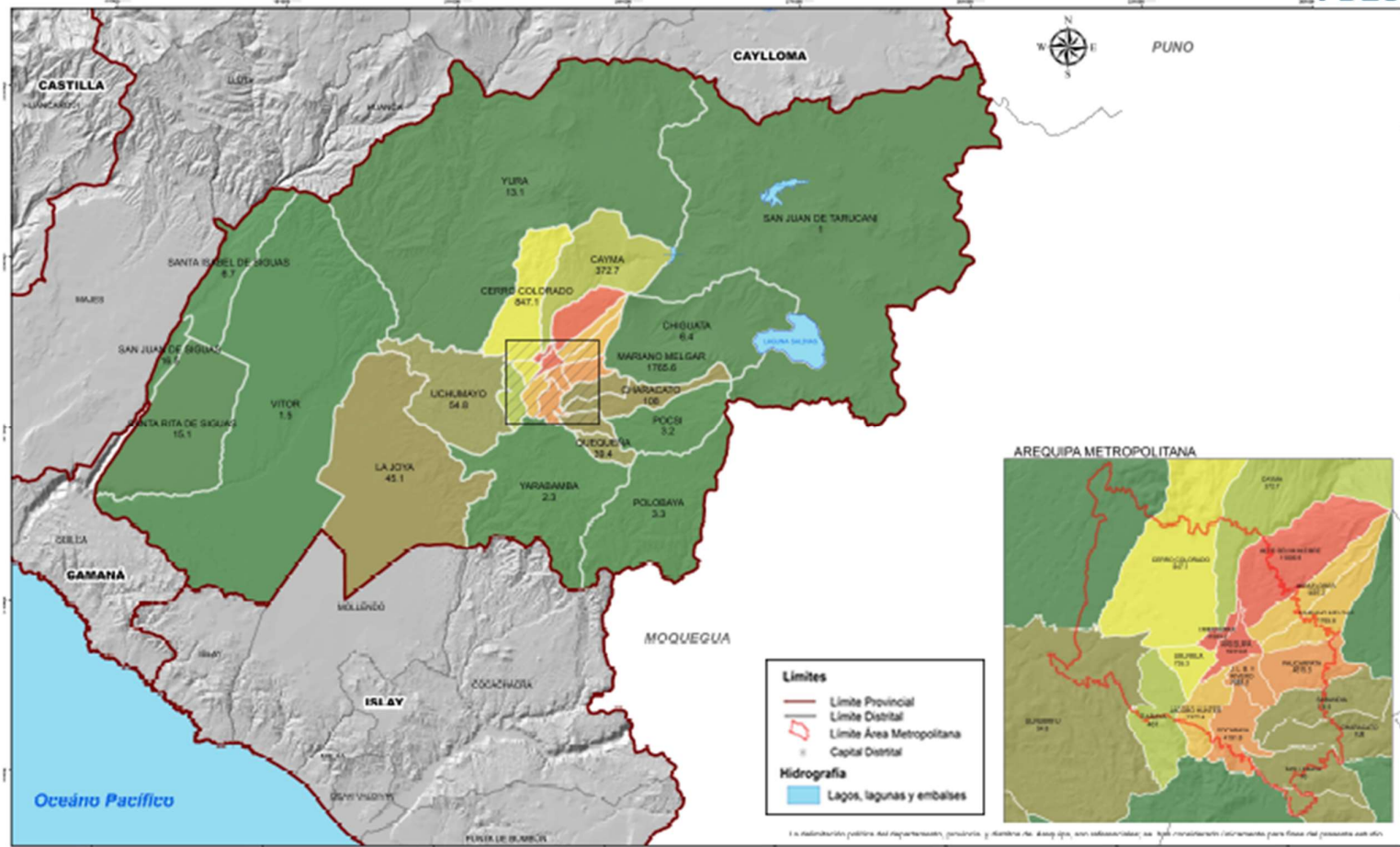
La ciudad de Arequipa es la capital de la Provincia de Arequipa, una de las ocho provincias que conforman el Departamento de Arequipa, su extensión territorial abarca 9,689.06 Km² (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2020). Políticamente la

componen 29 Distritos: Arequipa, Alto Selva Alegre, Cayma, Cerro Colorado, Characato, Chiguata, Jacobo Hunter, La Joya, José Luis Bustamante y Rivero, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya, Paucarpata, Pocsi, Polobaya, Quequeña, Sabandía, Sachaca, San Juan de Sigwas, San Juan de Tarucani, Santa Isabel de Sigwas, Santa Rita de Sigwas, Socabaya, Tiabaya, Uchumayo, Vítor, Yanahuara, Yarabamba y Yura (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2016). La división político-territorial de la ciudad de Arequipa se puede observar en la Figura 8.

Sin embargo, para efectos de este estudio son de interés aquellos Distritos que conforman el área metropolitana, en total 19, que se encuentran definidos en el Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016- 2025, los cuales incluyen las “áreas urbanas conurbadas, áreas agrícolas urbanas y el entorno geográfico inmediato sobre el que se localizarán las futuras áreas de expansión urbana” (Instituto Municipal de Planeamiento, 2016, p. 16). Utilizando el servidor de aplicaciones de mapas Google Maps, se realizó la medición de distancias, tomando como punto inicial el Hospital III Goyeneche, ubicado en la Avenida Goyeneche de la ciudad de Arequipa, lugar donde se ubicará la EB por disponer de la infraestructura para su instalación, se incluyen las coordenadas geográficas de cada locación, construyendo las relaciones en la tabla 30.

Figura 8

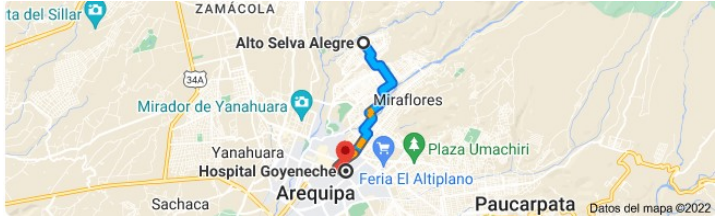


Ciudad de Arequipa con detalle del área metropolitana



Nota. Tomado de *Plan de Desarrollo Local Concertado* (p.1), por Lazo, 2016, Municipalidad Provincial de Arequipa 2016-2021.

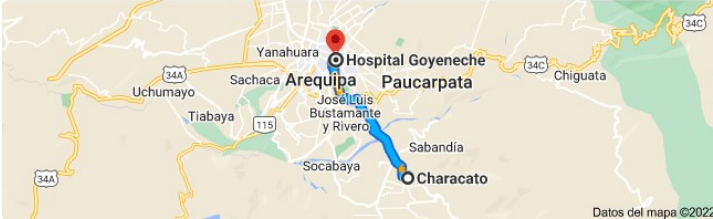
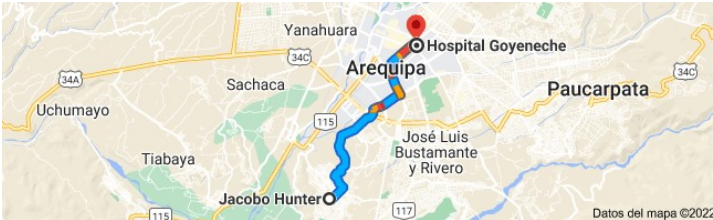

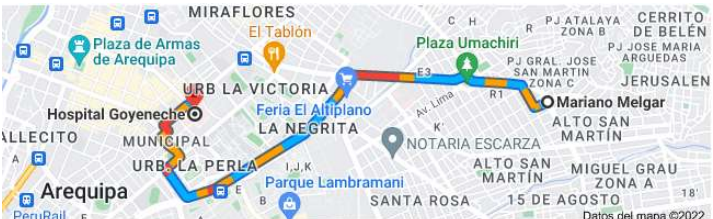
Tabla 30

Coordenadas geográficas y distancias en Km de los Distritos que conforman el área metropolitana de la ciudad de Arequipa

N°	DISTRITOS	COORDENADAS	DISTANCIAS	MAPA
1	ALTO SELVA ALEGRE	-16.363843084337297 -71.52236194175116	6.9 Km	
2	AREQUIPA	-16.40225028300998 -71.52711995540731		<p>Punto de Referencia (Hospital III Goyeneche)</p>
3	CAYMA	-16.342421312484593 -71.54292907721542	9.7 Km	
4	CERRO COLORADO	-16.34240965319078 -71.58170891384307	15.3 Km	

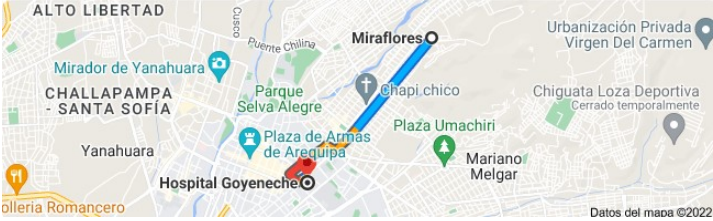



(continúa)

Tabla 30 (continuación)

5	CHARACATO	-16.47319790677852 -71.48229323318922	13.5 Km	
6	JACOBO HUNTER	-16.447712850903812 -71.55498398049674	8.2 Km	
7	JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	-16.434158701671087 -71.52184186321249	5.4 Km	
8	MARIANO MELGAR	-16.408600577848375 -71.54170800538827	4.7 Km	


(continúa)

Tabla 30 (continuación)

9	MIRAFLORES	-16.395463599815717 -71.52414286916745	4.0 Km	
10	MOLLEBAYA	-16.506573816990112 -71.47224135419432	19.3 Km	
11	PAUCARPATA	-16.41555169900632 -71.47123407426086	10.0 Km	
12	QUEQUEÑA	-16.558817304796452 -71.44983625805727	24.0 Km	




(continúa)

Tabla 30 (continuación)

13	SABANDÍA	-16.45481011400844 -71.46534134002196	12.4 Km	
14	SACHACA	-16.41417288140901, - 71.57800273073148	7.7 Km	
15	SOCABAYA	-16.466134225229222, - 71.5311090677327	10.7 Km	
16	TIABAYA	-16.435968702270983, - 71.60542569109461	11.4 Km	

(continúa)

Tabla 30 (continuación)

17	UCHUMAYO	-16.421533387161148, - 71.63441528442219	16.9 Km	
18	YANAHUARA	-16.397822461875787, - 71.55746077936213	5.8 Km	
19	YURA	-16.37037659602522, - 71.56077391362943	22.5 Km	

Nota. Datos tomando de la consulta en página interactiva Google Maps, 2022.

La ciudad de Arequipa se divide de acuerdo a su altitud en tres zonas: alta a 2.810 msnm, media 2.041 msnm y baja 2.328 msnm (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2020). En líneas generales, según el censo efectuado el año 2017 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), concentraba 1.080.635 habitantes, de los cuales 91.8% se encontraban en el área urbana y, el 8.21% restante, en el sector rural. En la tabla 31, se presenta la altitud y números de habitantes distribuidos en cada Distrito metropolitano.

Tabla 31

Altitud y números de habitantes de los Distritos que conforman el área metropolitana de la ciudad de Arequipa

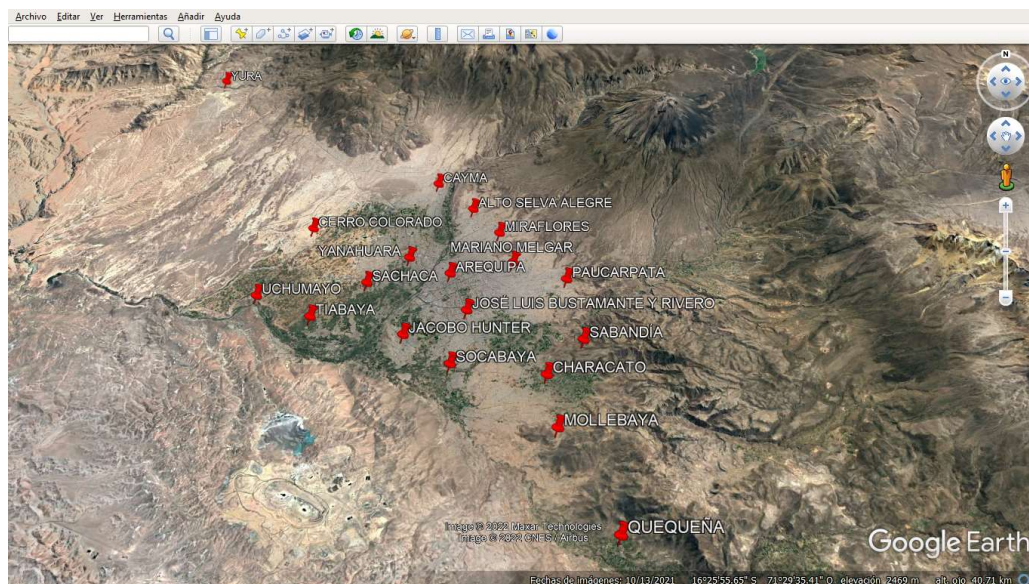
N°	DISTRITOS	ALTITUD	HABITANTES
1	ALTO SELVA ALEGRE	2.500 msnm	85.870
2	AREQUIPA	2.335 msnm	55.437
3	CAYMA	2.403 msnm	91.935
4	CERRO COLORADO	2.406 msnm	197.954
5	CHARACATO	2.420 msnm	12.949
6	JACOBO HUNTER	2.250 msnm	50.164
7	JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO	2.310 msnm	81.829
8	MARIANO MELGAR	2.385 msnm	59.918
9	MIRAFLORES	2.430 msnm	60.589
10	MOLLEBAYA	2.483 msnm	4.756
11	PAUCARPATA	2.405 msnm	131.346
12	QUEQUEÑA	2.550 msnm	4.784
13	SABANDÍA	2.390 msnm	4.368
14	SACHACA	2.240 msnm	24.225
15	SOCABAYA	2.300 msnm	75.351
16	TIABAYA	2.178 msnm	16.191
17	UCHUMAYO	1.950 msnm	14.054
18	YANAHUARA	2.390 msnm	1.314
19	YURA	2.590 msnm	33.346

Nota. Los datos de altitud fueron tomados del *Buscador Google*, 2022 y los de población de *Arequipa: resultados definitivos*, Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018.

En la figura 9 se puede observar la vista aérea del área Metropolitana de la ciudad de Arequipa:

Figura 9

Vista aérea del Área Metropolitana de la ciudad de Arequipa



En cuanto a las características de la red asistencial de hospitales públicos (establecimientos de salud y ambulancias) de la ciudad de Arequipa, en la tabla 32 se muestra su distribución y en la figura 11 la localización de los establecimientos de salud e instituciones.

Tabla 32

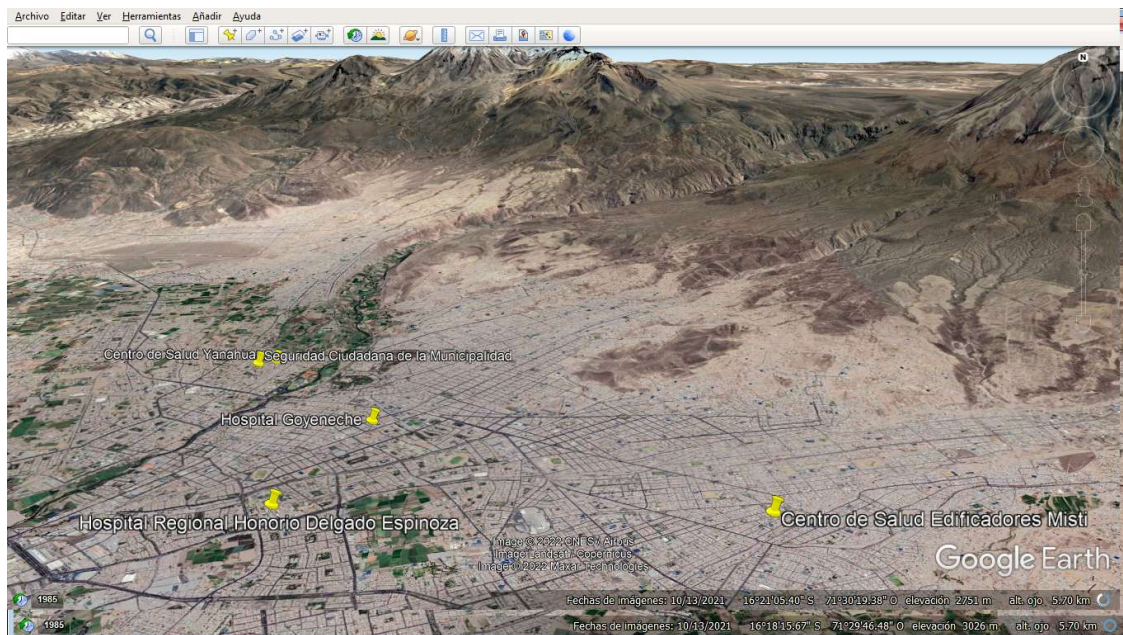
Distribución de la red asistencial de hospitales públicos de la ciudad de Arequipa

N°	DISTRITO	ESTABLECIMIENTOS DE SALUD / INSTITUCIONES	AMBULANCIAS
1	ALTO SELVA ALEGRE	Centro de Salud Edificadores Misti Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza	1 4
2	AREQUIPA	Hospital III Goyeneche Seguridad Ciudadana de la Municipalidad	1 2
3	YANAHUARA	Centro de Salud Yanahuara	1
Total			9

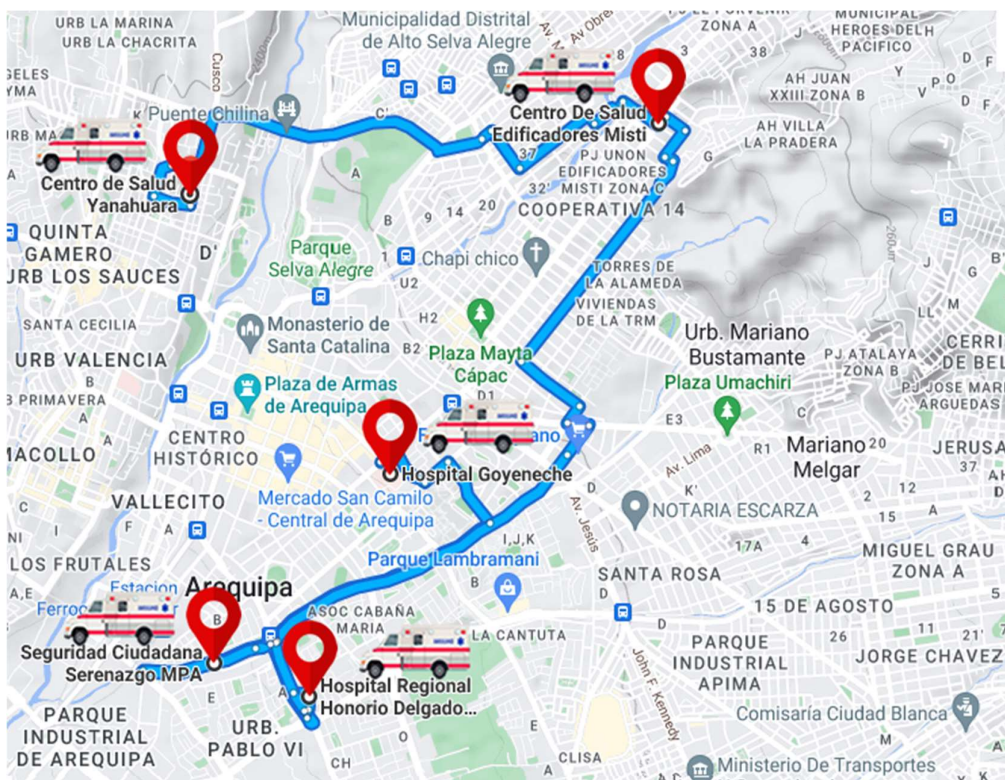
A Continuación, en la figura 10 se muestra la vista aérea de la Distribución de la red asistencial de hospitales públicos de la ciudad de Arequipa.

Figura 10

Vista aérea de la ubicación de los establecimientos de salud de la red asistencial de hospitales públicos de la ciudad de Arequipa

**Figura 11**

Ciudad de Arequipa con detalle del área metropolitana.



Nota. Adaptado de Google Maps, 2022.

Considerando esta distribución, se determinó la cantidad de usuarios, en total 18. Además, se tiene en cuenta que este sistema está orientado a las comunicaciones críticas, por lo tanto, el modo de trabajo será de 24 horas, en consecuencia, su disponibilidad de cobertura debe ser total. En la tabla 33 se presentan el detalle de los requerimientos de voz y datos, distribuidos del siguiente modo:

- Grupo 1: Cobertura total (9 usuarios de terminales móviles ambulancias)
- Grupo 2: Cobertura total (9 usuarios de terminales portátiles paramédicos)

Tabla 33

Tipología de los usuarios y requerimientos para las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

Grupo	Llamadas de voz		Envío de Datos		
	Llamadas grupo (duración 20 s) en 1 hora	Llamadas privadas (duración 45 s) por usuario	Mensaje de estado	Mensajes cortos (promedio 75 bytes)	Mensajes libres / tamaño promedio
1	3	2	60	65	5 / 5 Kbyte
2	3	1	105	315	10 / 20 Kbyte

A continuación, se realizó el cálculo del tráfico utilizando la ecuación 1 de Erlangs C para dimensionar adecuadamente el servicio de atención de llamadas y minimizar errores, determinando que se requieren X operadores para alcanzar el nivel de servicio deseado. En razón de ello, considerando los parámetros se estableció el siguiente escenario de simulación: 3 número de llamadas por 60 minutos = 0.017 Erlangs hallada en la ecuación 2, AHT (Average Handling Time) 20 segundos, 90 % de llamadas atendidas en un plazo de 20 segundos, con un tiempo de reducción del 20 % y una ocupación máxima del 100 %.

$$P_w = \frac{\frac{A^N N}{N! N-A}}{\left(\sum_{i=0}^{N-1} \frac{A^i}{i!}\right) + \frac{A^N N}{N! N-A}} \quad (1)$$

Donde:

A: Intensidad de tráfico ofrecido, en Erlangs

N: Cantidad de servidores

P_w: Probabilidad de que un cliente tenga que esperar

$$A = \frac{60\text{segundos}}{60\text{minutos}} = \frac{1\text{minutos}}{60\text{minutos}} = 0.017 \text{ Erlangs} \quad (2)$$

Los resultados arrojaron que se requerirá 1,5 operadores, incluyendo el 20 % de reducción, antes de que esta ocurra un operador será suficiente. En consecuencia, el nivel de servicio alcanzado será del 99,4 % contestando llamadas en 20 segundos con una ASA (Average Speed of Answer, en español significa Velocidad Media de Respuesta) de 0,3 Segundos. En la figura 12 se muestra un resumen.

Figura 12

Dimensionamiento del servicio de llamadas para las comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



En promedio, como se puede ver en la tabla 34, los tiempos promedio en el peor de los casos disminuirá el nivel de servicio a 81.5 % e incrementará el tiempo de respuesta a 35.1 segundos. En la figura 13 se muestra la distribución de tiempos.

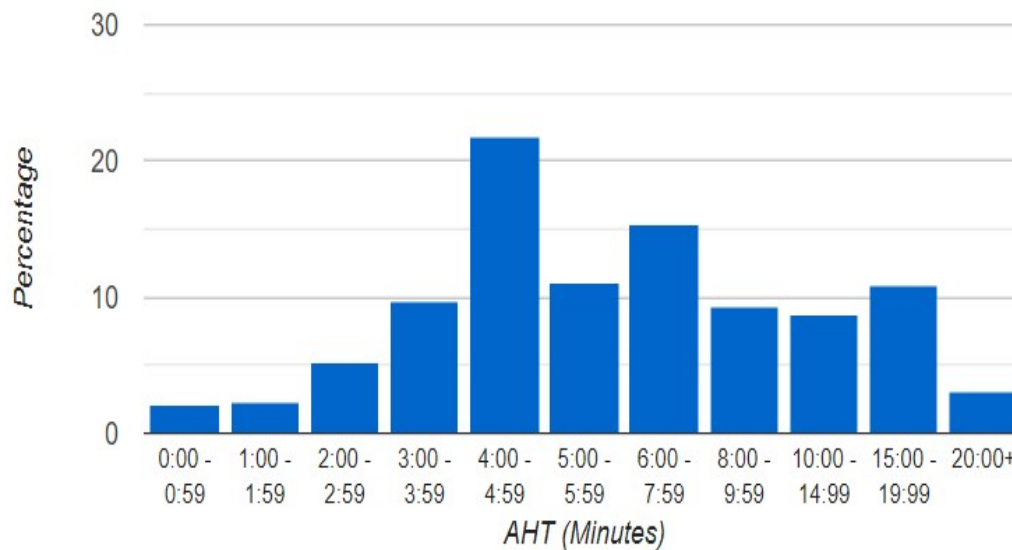
Tabla 34

Valores promedios del servicio de llamadas en las comunicaciones críticas propuesto para la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

Valores promedio ingresados	
AHT (segundos)	370
AHT (minutos)	06:10
Nivel de servicio promedio	81.5 %
Tiempo promedio de respuesta objetivo (segundos)	35.1
Contracción promedio	27 %
Ocupación máxima promedio	83.7 %

Figura 13

Distribución del tiempo promedio de la gestión del servicio de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



Por otro lado, se seleccionó el Hospital III Goyeneche para instalar la EB por ser parte de la red asistencial pública de la ciudad de Arequipa y tener un servicio de emergencia que opera las 24x7x365.

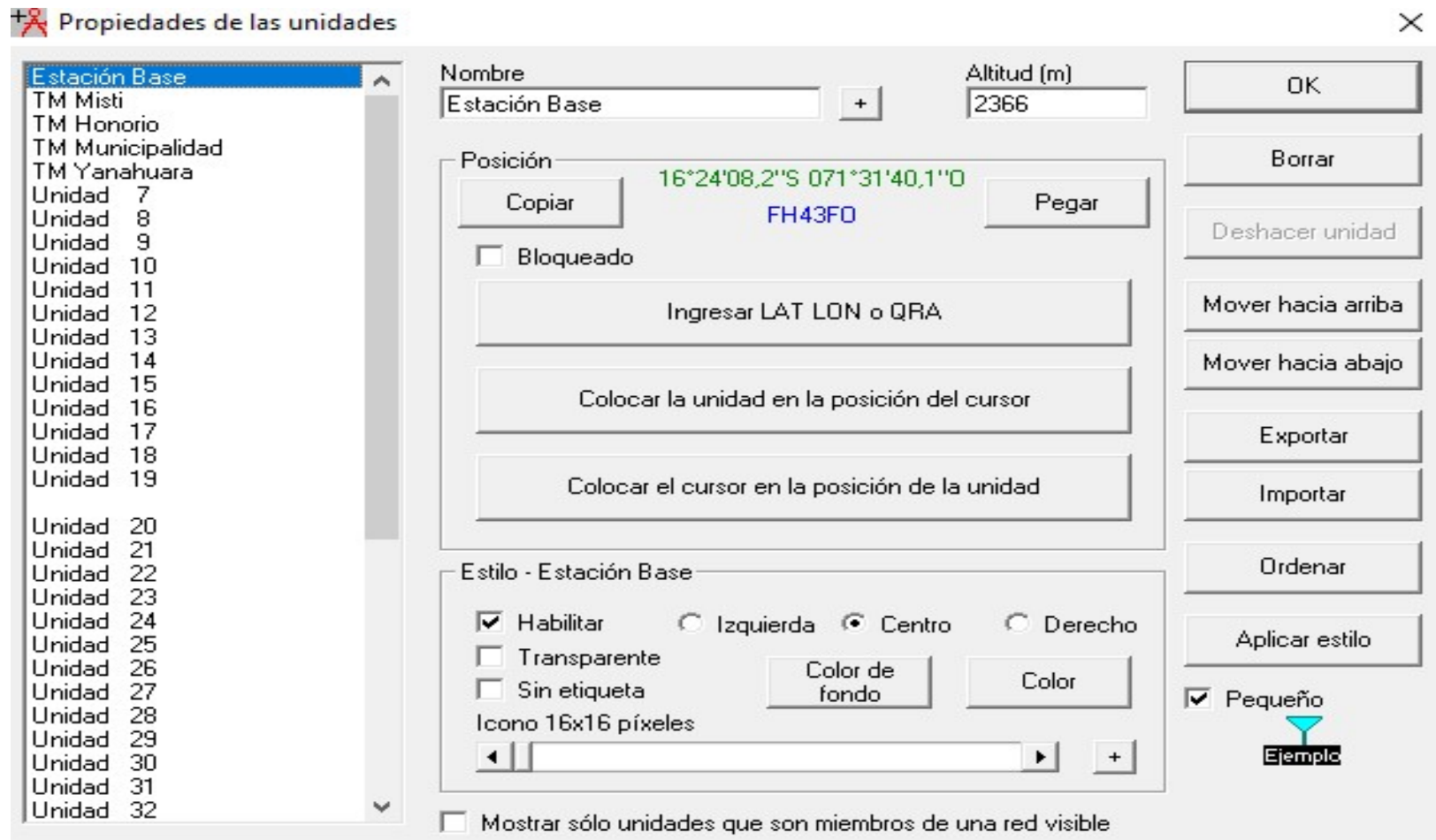
4.3. Simulación Radio Mobile

Para realizar las pruebas de cobertura y enlace se utilizó el software Radio Mobile. En primer lugar, se crearon las unidades EB y TM, en la figura 14 se muestra esta configuración. Utilizando las siguientes coordenadas geográficas., los pasos que se siguieron fueron:

- Estación Base 16°24'8.208"S 71°31'40.048"W.
- TM Misti 16°22'50.664"S 71°30'39.492"W
- TM Honorio 16°24'55.152"S 71°31'59.088"W
- TM Municipalidad 16°23'12.372"S 71°32'31.668"W
- TM Yanahuara 16°23'8.232"S 71°32'26.088"

Figura 14

Creación de unidades en simulación Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



A continuación, se realizó la configuración de la red TETRA (TEDS) operando entre los 350 a 470 MHz, polarización de la antena vertical, modo estadístico móvil para el 70 % de las ubicaciones y un clima templado sobre la tierra; con topología estrella. Tal como se observa en la figura 15.

Figura 15

Parámetros y topología simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

Lista de todas las redes

- TETRA(TDES)
- Red 2
- Red 3
- Red 4
- Red 5
- Red 6
- Red 7
- Red 8
- Red 9
- Red 10
- Red 11
- Red 12
- Red 13
- Red 14
- Red 15
- Red 16
- Red 17
- Red 18
- Red 19
- Red 20
- Red 21
- Red 22
- Red 23
- Red 24
- Red 25

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

Parámetros Topología Miembros Sistemas Estilo

Nombre de la red: TETRA(TDES)

Refractividad de la superficie (Unidades-N): 301

Frecuencia mínima (MHz): 350

Conductividad del suelo (S/m): 0,005

Frecuencia máxima (MHz): 470

Permitividad relativa al suelo: 15

Polarización:

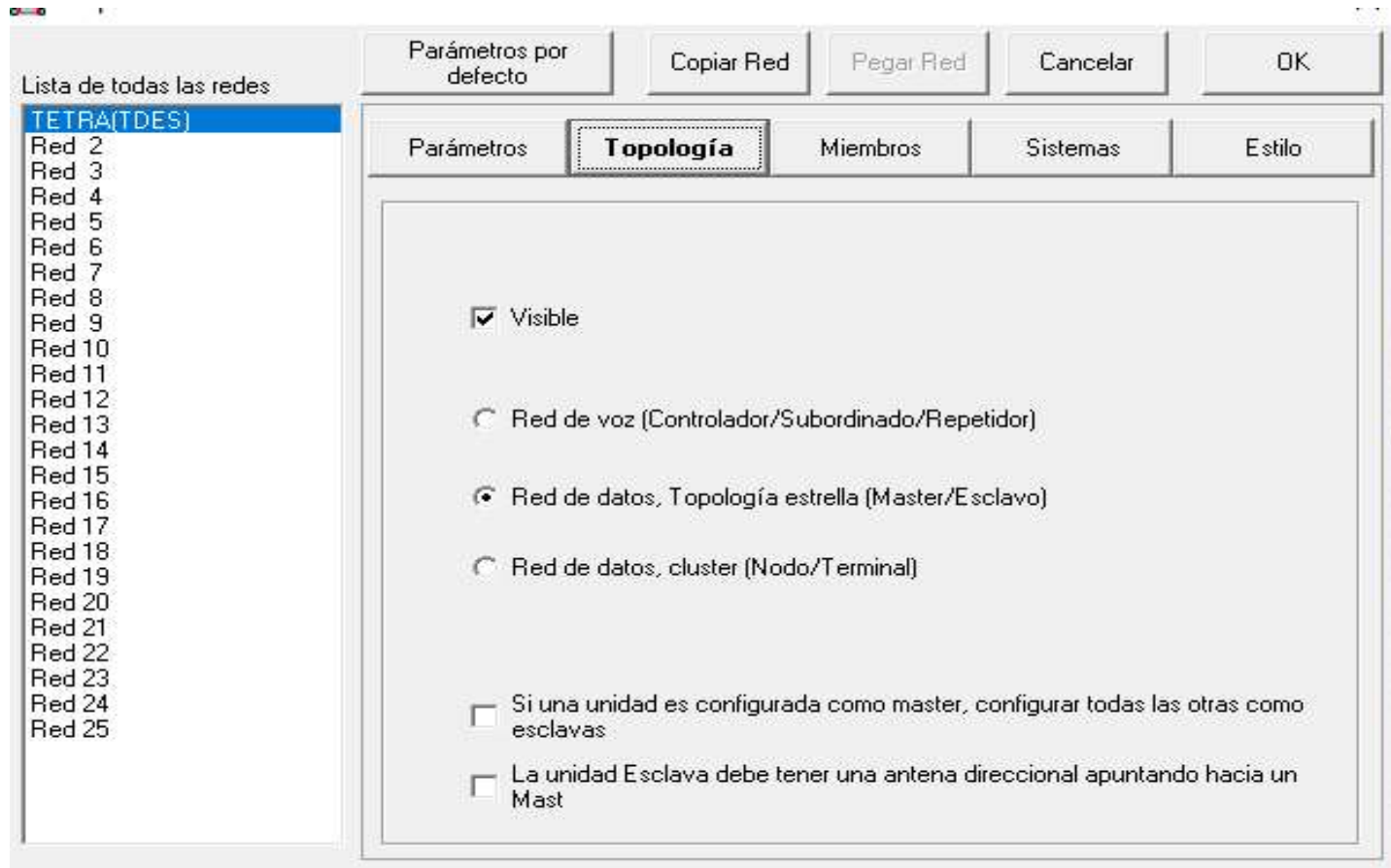
- Vertical
- Horizontal

Clima:

- Ecuatorial
- Continental sub-tropical
- Marítimo sub-tropical
- Desierto
- Continental templado
- Marítimo templado sobre la tierra
- Marítimo templado sobre el mar

Modo estadístico:

- Intento % de tiempo: 50
- Accidental % de ubicaciones: 50
- Móvil % de situaciones: 70
- Difusión



Seguidamente, se configuraron los parámetros del sistema, como se observa en la figura 16, con una potencia de transmisión de 25W 44 dBm y umbral del receptor a -116 dBm, antena omnidireccional de 5 dBi de ganancia a una altura de 2 metros sobre el suelo. Finalmente, como se observa en la figura 17, se unieron a la red las unidades creadas, la EB como máster y las TM como esclavo.

Figura 16

Configuración del sistema TETRA (TEDS) en simulación Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

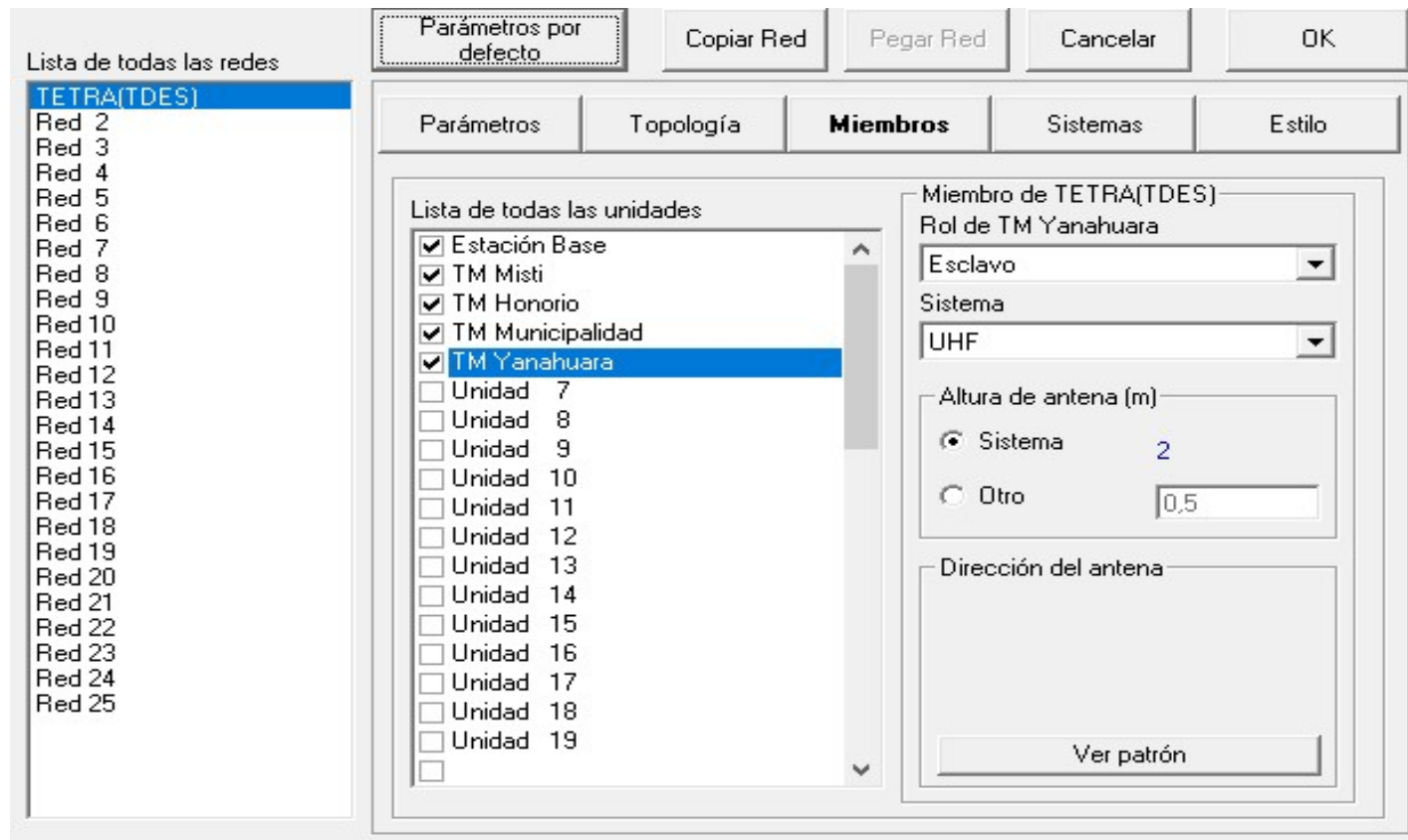
The screenshot shows the configuration window for a TETRA system in the Radio Mobile software. On the left, a list titled 'Lista de todos los sistemas' contains 25 entries, with 'UHF' selected. The main window has several tabs: 'Parámetros por defecto', 'Copiar Red', 'Pegar Red', 'Cancelar', and 'OK'. Below these are sub-tabs: 'Parámetros', 'Topología', 'Miembros', 'Sistemas' (which is active), and 'Estilo'. The 'Sistemas' tab contains the following configuration fields:

- A dropdown menu showing '00' and a button 'Seleccionar desde VHF ... UHF ...'.
- 'Nombre del sistema': UHF
- 'Potencia del Transmisor (Watt)': 25 (dBm) 44
- 'Umbral del receptor (μV)': 0.3548 (dBm) -116
- 'Pérdida de la línea (dB)': 1 (Cable+cavidades+conectores)
- 'Tipo de antena': omni.ant (Ver)
- 'Ganancia de antena (dBi)': 5 (dBd) 2.85
- 'Altura de antena (m)': 2 (Sobre el suelo)
- 'Pérdida adicional cable (dB/m)': 2 (Si la altura de la antena difiere)

At the bottom of the configuration area are two buttons: 'Agregar a Radiosys.dat' and 'Remover del Radiosys.dat'.

Figura 17

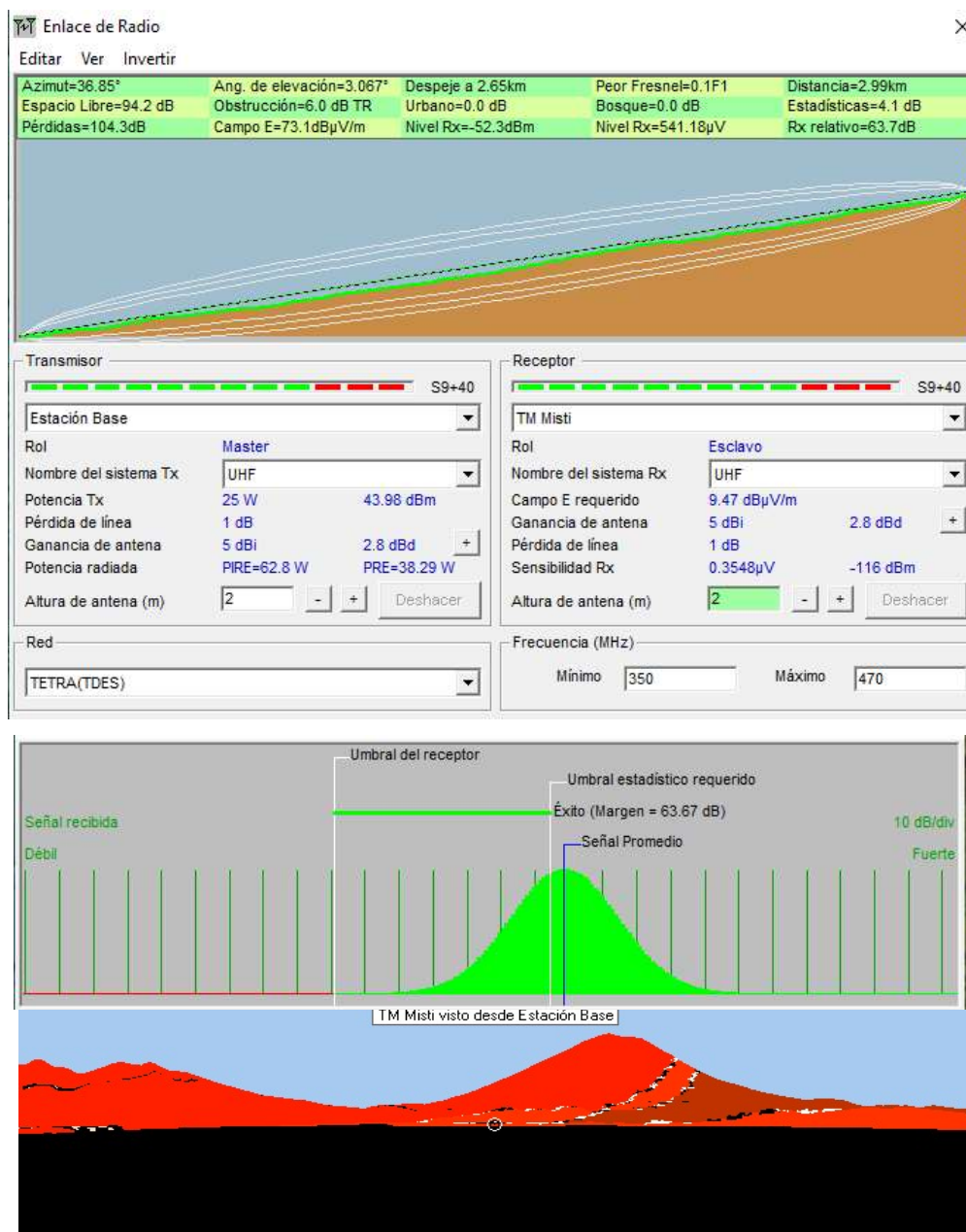
Unidades Máster y Esclavo de la red TETRA (TEDS) simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



Los resultados obtenidos de la prueba de radio enlace, como se observa en la figura 18, arrojó que la distancia entre la EB y la TM Misti es de 3.0 Km, Azimut norte verdadero = 36.85° y Azimut norte Magnético = 42.34° . el modo de propagación es línea de vista y frecuencia promedio 410 MHz, en el peor de los casos la señal es de 63.7 dB.

Figura 18

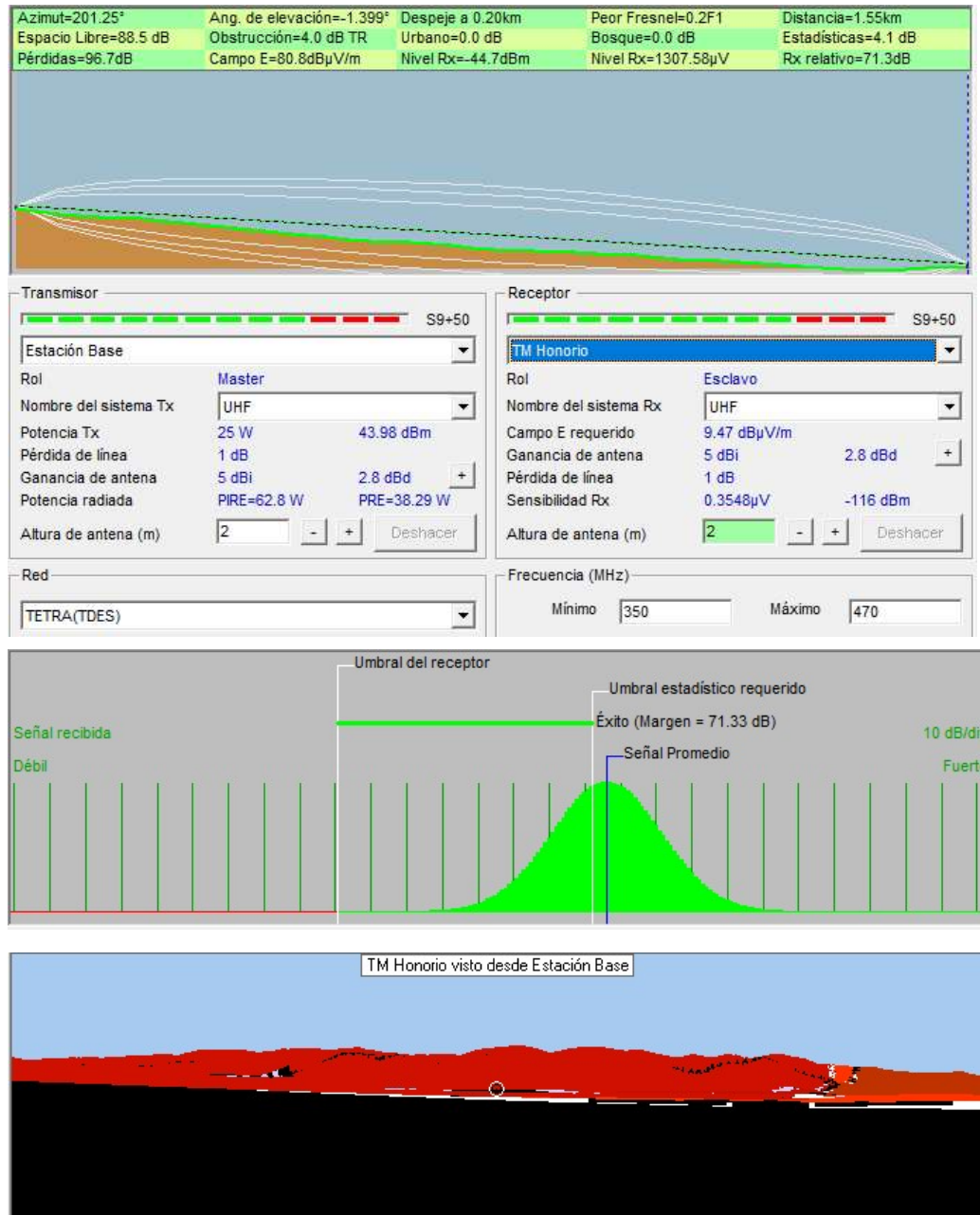
Resultados de la prueba de enlace TETRA (TEDS) EB a TM Misti, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



la figura 19, arrojó que la distancia entre la EB y la TM Honorio es de 1.6 Km, Azimut = 201.25° y Azimut norte Magnético = 206.66°. el modo de propagación es línea de vista y frecuencia promedio 410 MHz, en el peor de los casos la señal es de 71.3 dB.

Figura 19

Resultados de la prueba de enlace TETRA (TEDS) EB a TM Honorio, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

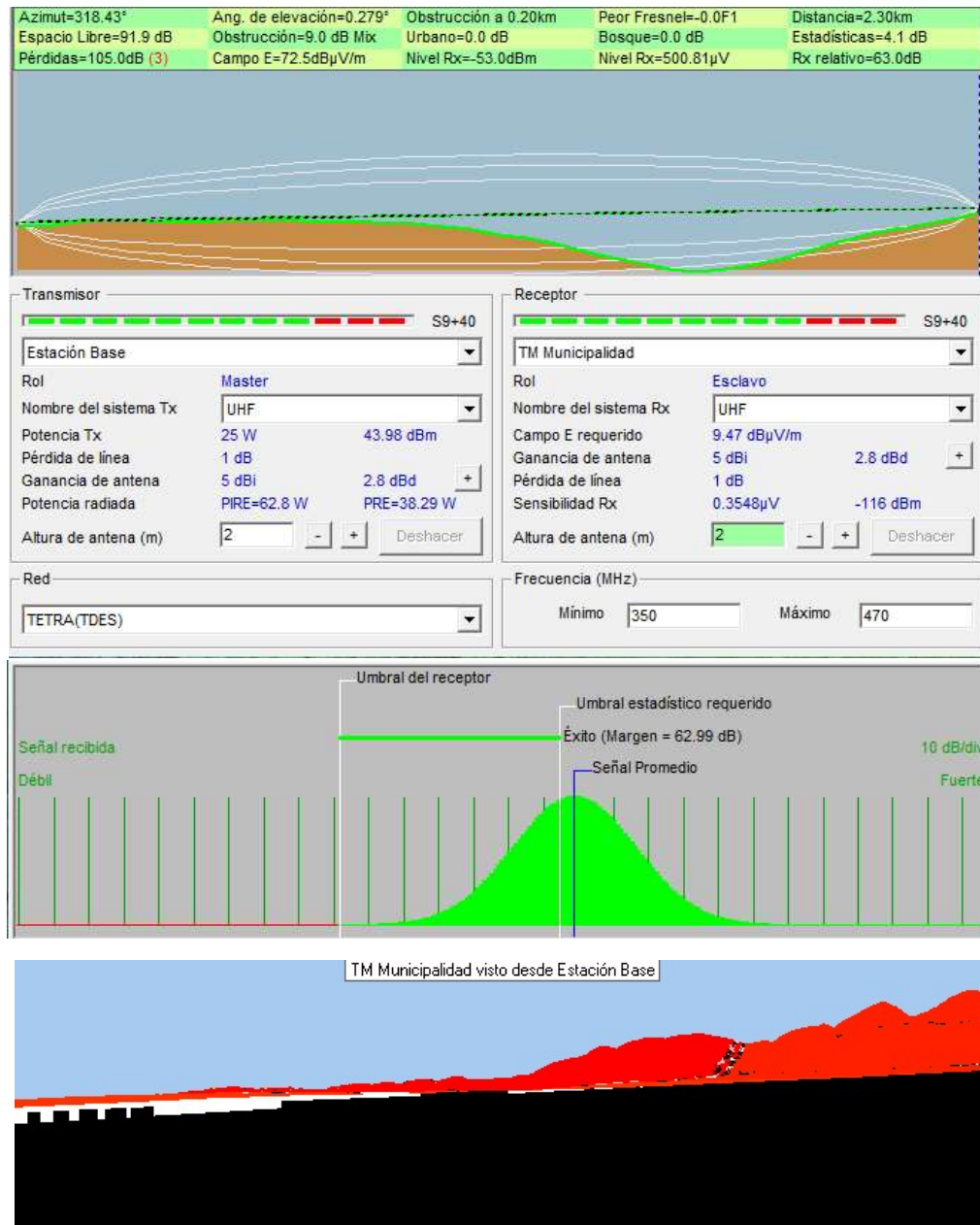


Los resultados obtenidos de la prueba de radio enlace, como se observa en

la figura 20, arrojó que la distancia entre la EB y la TM Municipalidad es de 2.3 Km, Azimut norte verdadero = 318.43° y Azimut norte Magnético = 323.91° . el modo de propagación es línea de vista y frecuencia promedio 410 MHz, en el peor de los casos la señal es de 63.0 dB.

Figura 20

Resultados de la prueba de enlace TETRA (TEDS) EB a TM Municipalidad, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

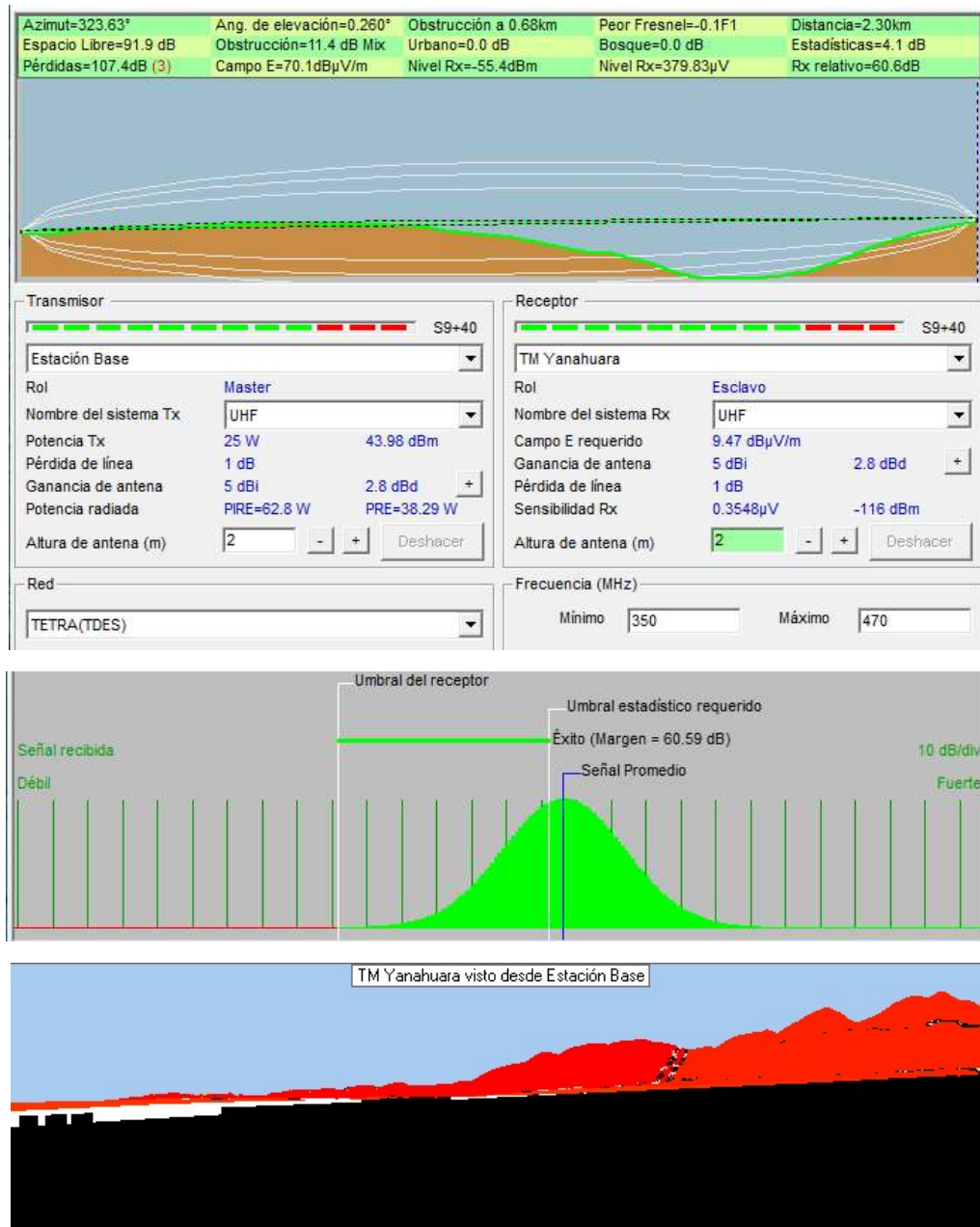


Los resultados obtenidos de la prueba de radio enlace, como se observa en

la figura 21, arrojó que la distancia entre la EB y la TM Yanahuara es de 2.3 Km, Azimut norte verdadero = 323.63° y Azimut norte Magnético = 329.12° . el modo de propagación es línea de vista y frecuencia promedio 410 MHz, en el peor de los casos la señal es de 60.6 dB.

Figura 21

Resultados de la prueba de enlace TETRA (TEDS) EB a TM Yanahuara, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



Los resultados del cálculo de antena con altura sobre el terreno promedio (HAAT), fueron los siguientes:

Coordenadas geográficas de la antena

16°24'08"S,071°31'40"O

FH43FO

Altitud del suelo: 2366m

 Altura de la antena sobre el nivel del suelo: 2m

Azt(°)	D(km)	Altitud del suelo(m)
000 03,22	2434,2	
000 06,44	2541,6	
000 09,66	2820,5	
000 12,87	3109,4	
000 16,09	3620,8	
000 Promedio		2905,3m
000 HAAT		-537,3m
045 03,22	2541,2	
045 06,44	2829,1	
045 09,66	3104,8	
045 12,87	3747,1	
045 16,09	5199,9	
045 Promedio		3484,42m
045 HAAT		-1116,42m
090 03,22	2488,2	
090 06,44	2669,3	
090 09,66	2832,5	
090 12,87	2871,1	
090 16,09	3090,1	
090 Promedio		2790,24m
090 HAAT		-422,24m
135 03,22	2420,4	
135 06,44	2547,4	
135 09,66	2727,0	
135 12,87	2801,8	
135 16,09	2937,8	
135 Promedio		2686,88m

135 HAAT -318,88m
 180 03,22 2338,2
 180 06,44 2298,4
 180 09,66 2299,0
 180 12,87 2549,4
 180 16,09 2473,3
 180 Promedio 2391,66m
 180 HAAT -23,659999999999999m
 225 03,22 2278,1
 225 06,44 2189,3
 225 09,66 2457,0
 225 12,87 2351,6
 225 16,09 2464,6
 225 Promedio 2348,12m
 225 HAAT 19,880000000000001m
 270 03,22 2316,1
 270 06,44 2311,2
 270 09,66 2241,8
 270 12,87 2105,0
 270 16,09 2103,0
 270 Promedio 2215,42m
 270 HAAT 152,58m
 315 03,22 2398,3
 315 06,44 2469,4
 315 09,66 2509,3
 315 12,87 2560,1
 315 16,09 2623,0
 315 Promedio 2512,02m
 315 HAAT -144,02m

 Altitud de la antena sobre el nivel del mar: 2368m

Altitud promedio del suelo sobre el nivel del mar: 2666,76m

HAAT: -298,76m

En la figura 22 se muestra la cobertura de la EB y cada TM en un radio de 50 Km y en la figura 23 se presenta un mapa general. Desde las figuras 24 al 27 se puede apreciar el horizonte visible de cada TM miembro de la red.

Figura 22

Cobertura detallada de las EB y TM de la red TETRA (TEDS), simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

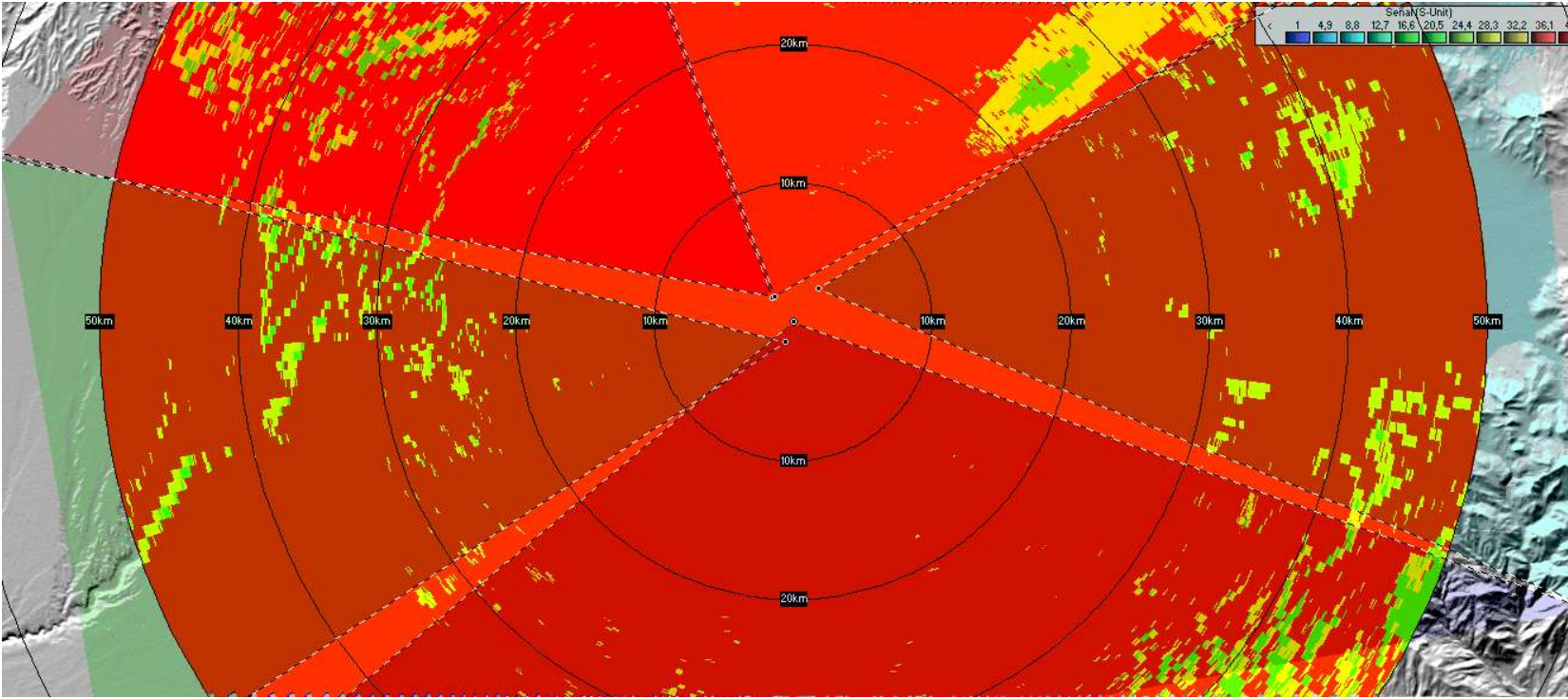


Figura 23

Cobertura de la red TETRA (TEDS), simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

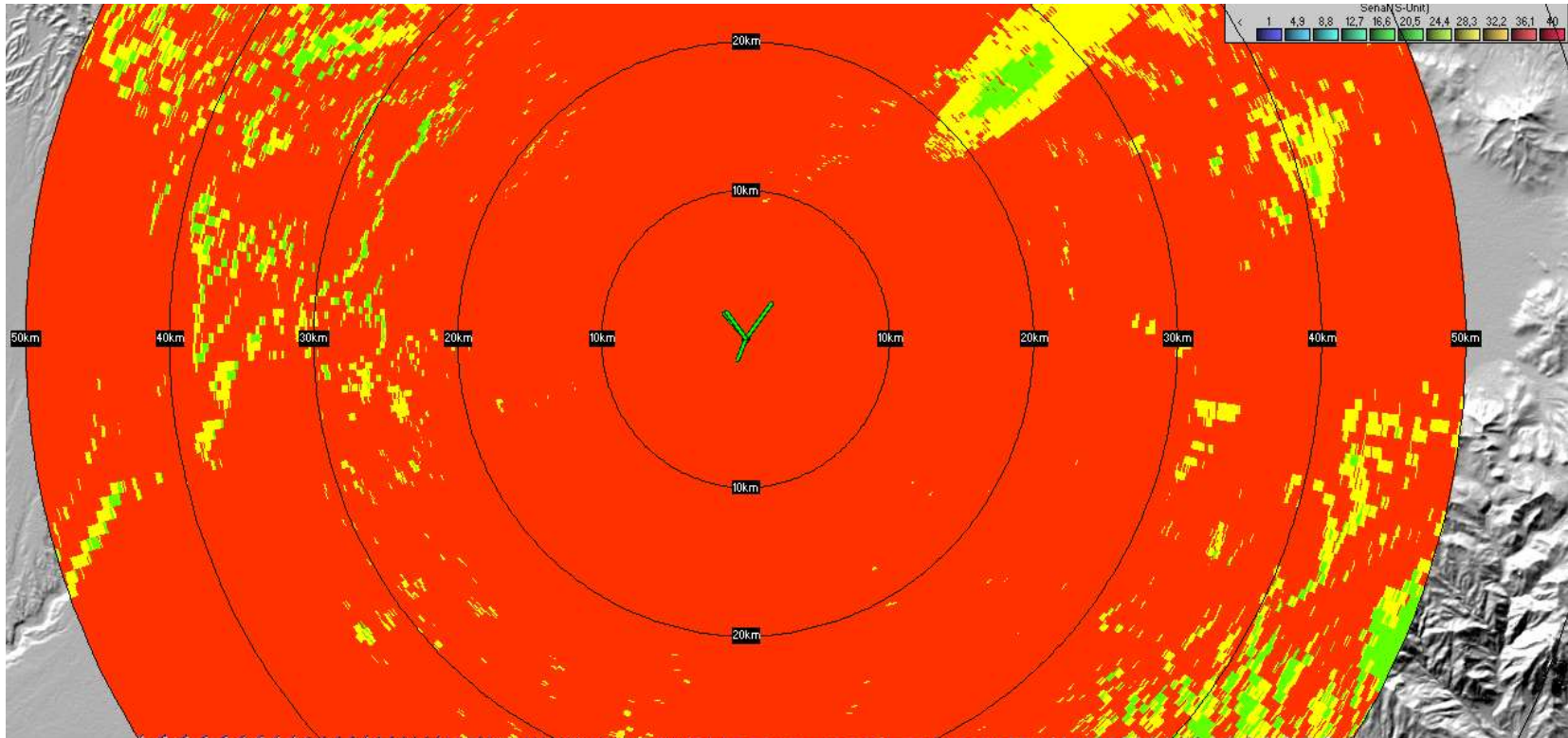


Figura 24

Horizonte visible TM Misti a una altitud de 2521,2 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

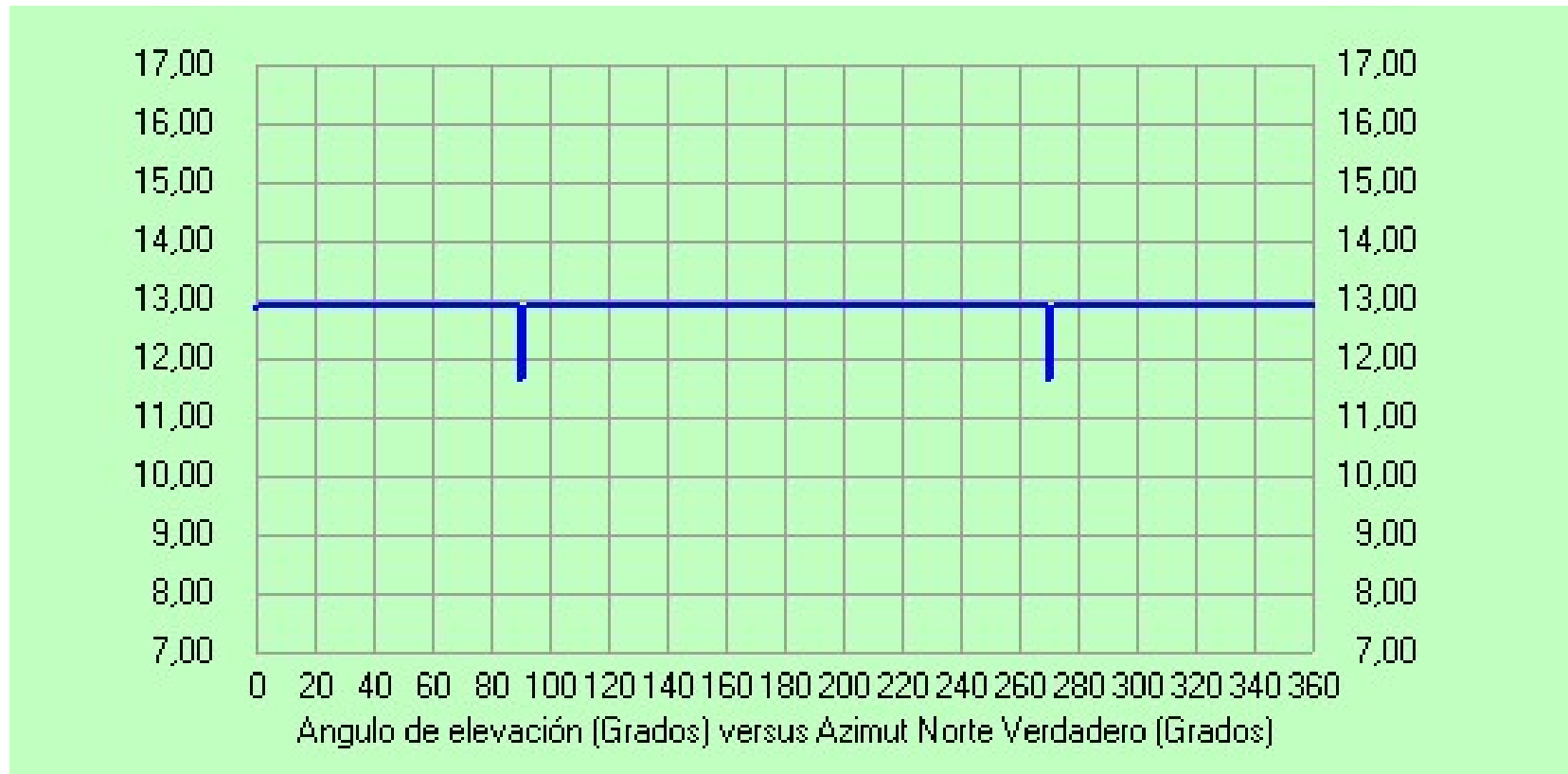


Figura 25

Horizonte visible TM Honorio a una altitud de 2329.30 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

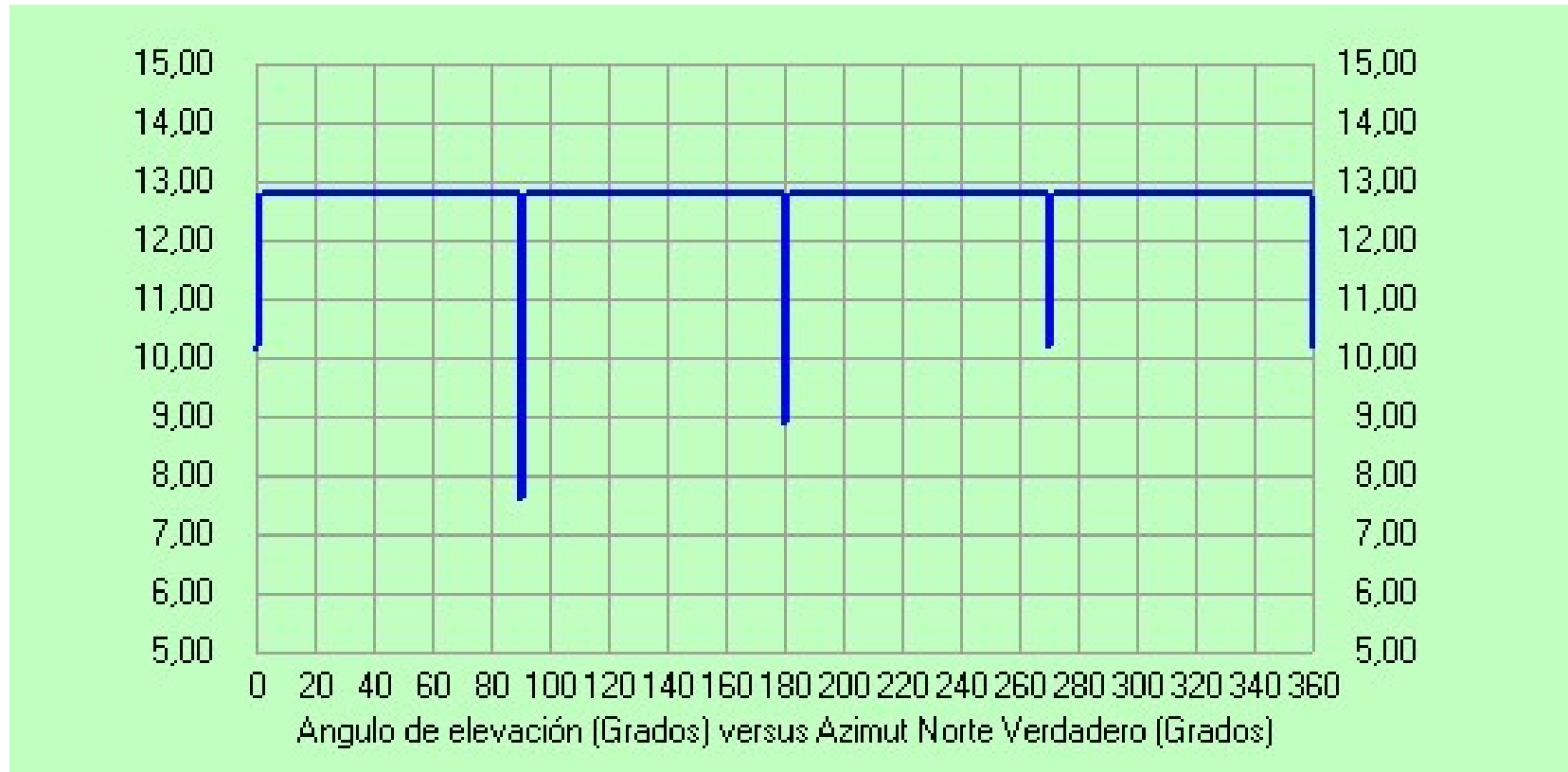


Figura 26

Horizonte visible TM Municipalidad a una altitud de 2371.5 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa

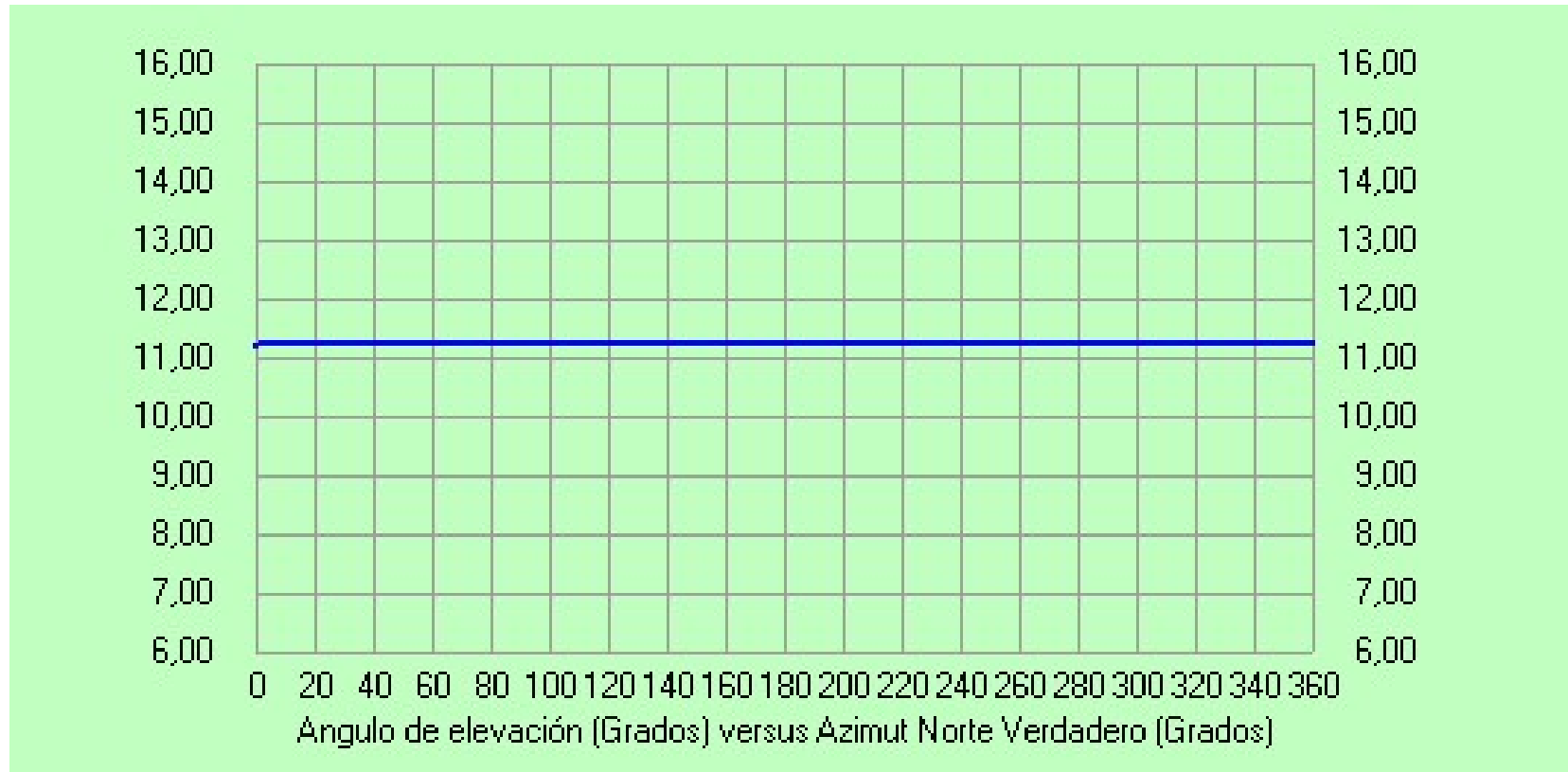
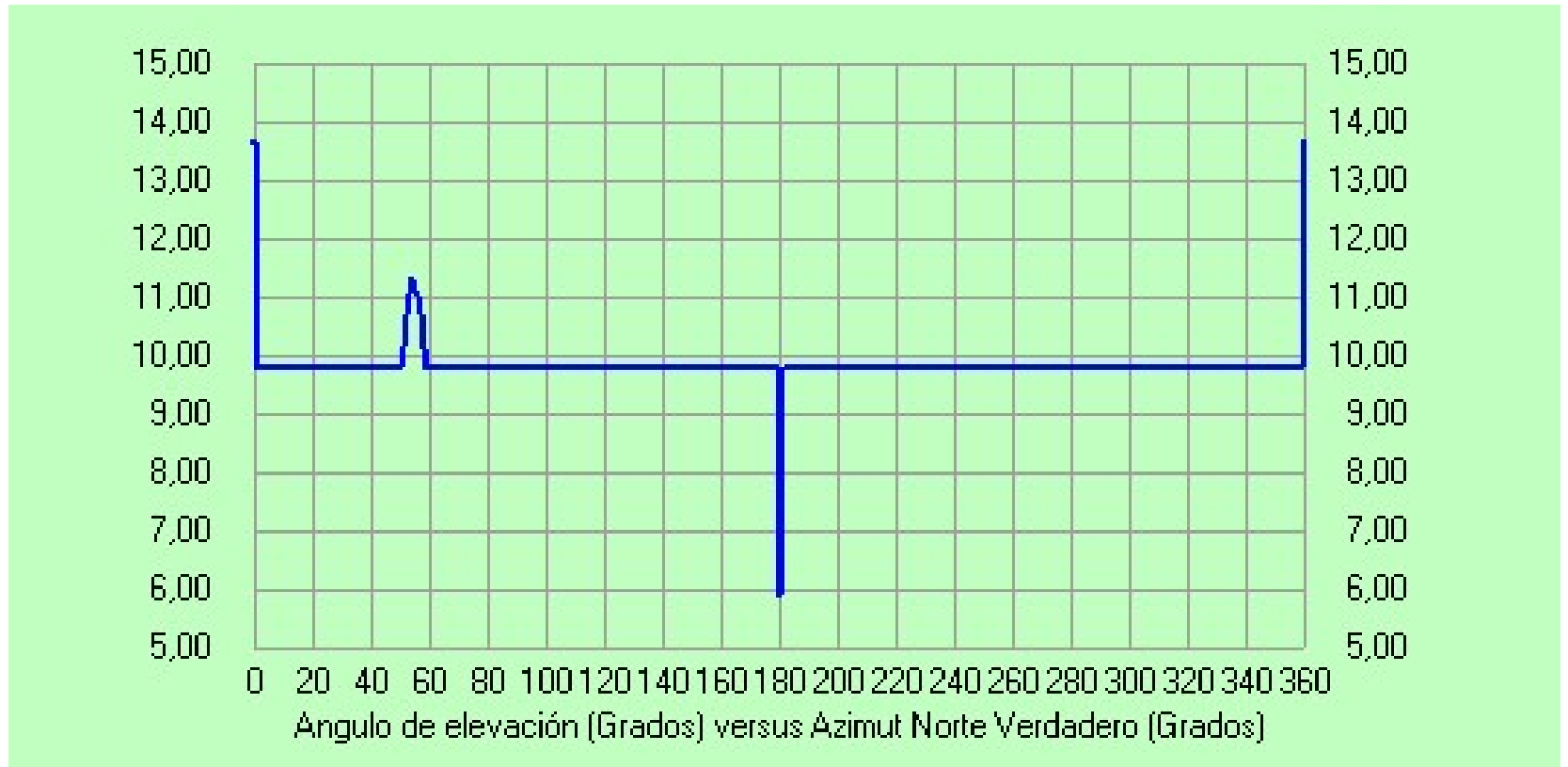


Figura 27

Horizonte visible TM Yanahuara a una altitud de 2371.6 msnm, simulada en Radio Mobile de comunicaciones críticas de la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa



4.4. Simulación en Planning Tool de Xirio

Para la configuración en Planning Tool en la figura 28 se muestra la elección del método de cálculo Okumura-Hata que es un Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución.

Figura 28

Selección de método de cálculo Okumura-Hata

The screenshot shows a configuration window for the Planning Tool. At the top, there is a field labeled "Estado:" followed by an empty text box. Below this is a section titled "Extremos" with a dropdown arrow. Under "Extremos", there are two fields: "Sector:" with the value "Estación Base" and "Parámetros de recepción del terminal:". Below these is another section titled "Parámetros de cálculo" with a dropdown arrow. Under "Parámetros de cálculo", there is a field "Método de cálculo:" with the value "Nuevo Okumura-Hata". Below this field is a yellow warning icon and a text box containing the following text: "Método empírico válido en la gama 150 MHz a 2 GHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos cuando no se disponga de cartografía de alta resolución." Below this text is a section titled "Capas de cartografía:" with a dropdown arrow. Under "Capas de cartografía:", there is a table with the following data:

Tipo	Nombre	Año	Res. (m)
MDT	Altimetría mundial	2006	100

Below the table are two more sections: "Área del cálculo" and "Rangos", both with dropdown arrows. At the bottom of the window, there are four buttons: "Aceptar", "Aplicar", "Recargar", and "Cancelar".

A continuación, se muestra en la figura 29 y 30 la cobertura de la Estación Base en el Área Metropolitana de Arequipa por medio del programa Planning Tool de Xirio en vista de Relieve y Satelital que cumple con la cobertura al área Metropolitana de la ciudad de Arequipa.

Figura 29

Cobertura de la Estación Base en vista de Relieve por el programa Planning Tool.

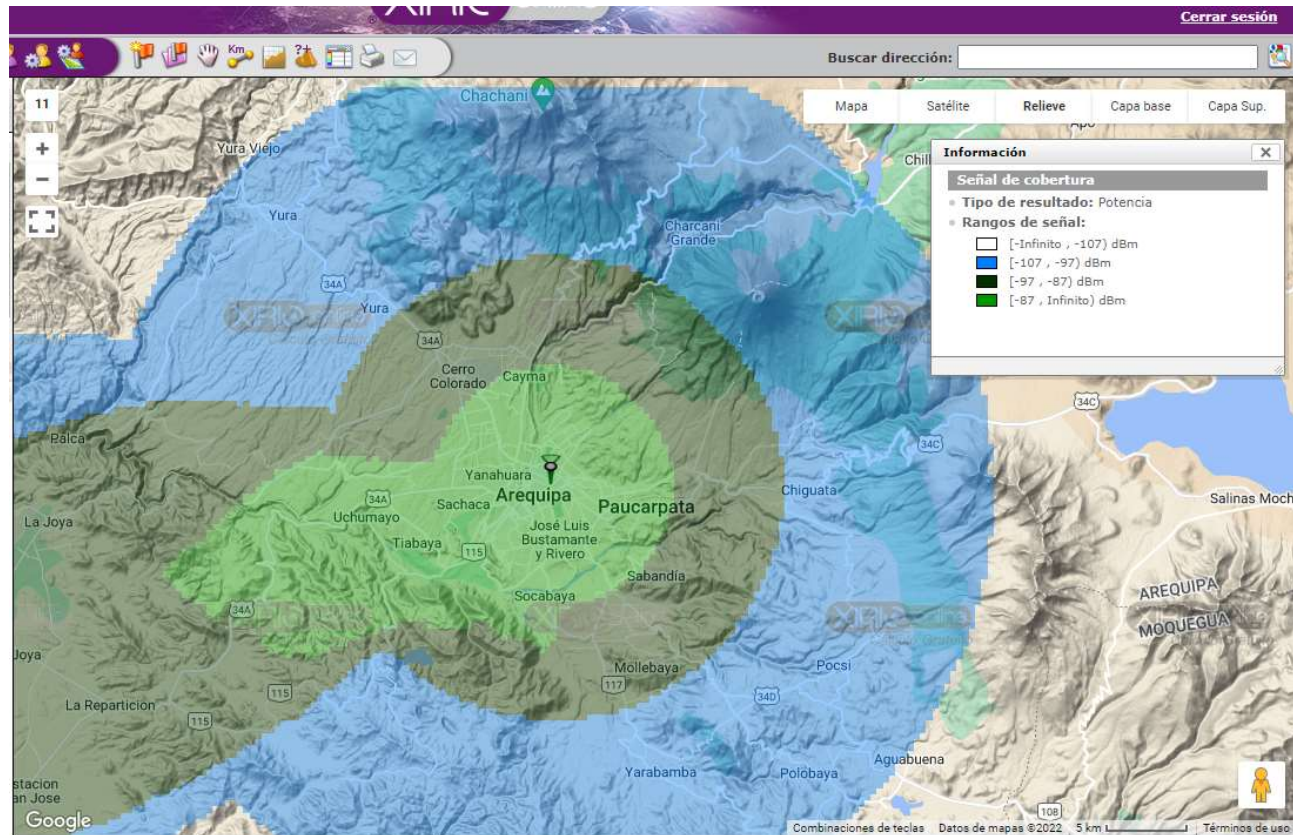
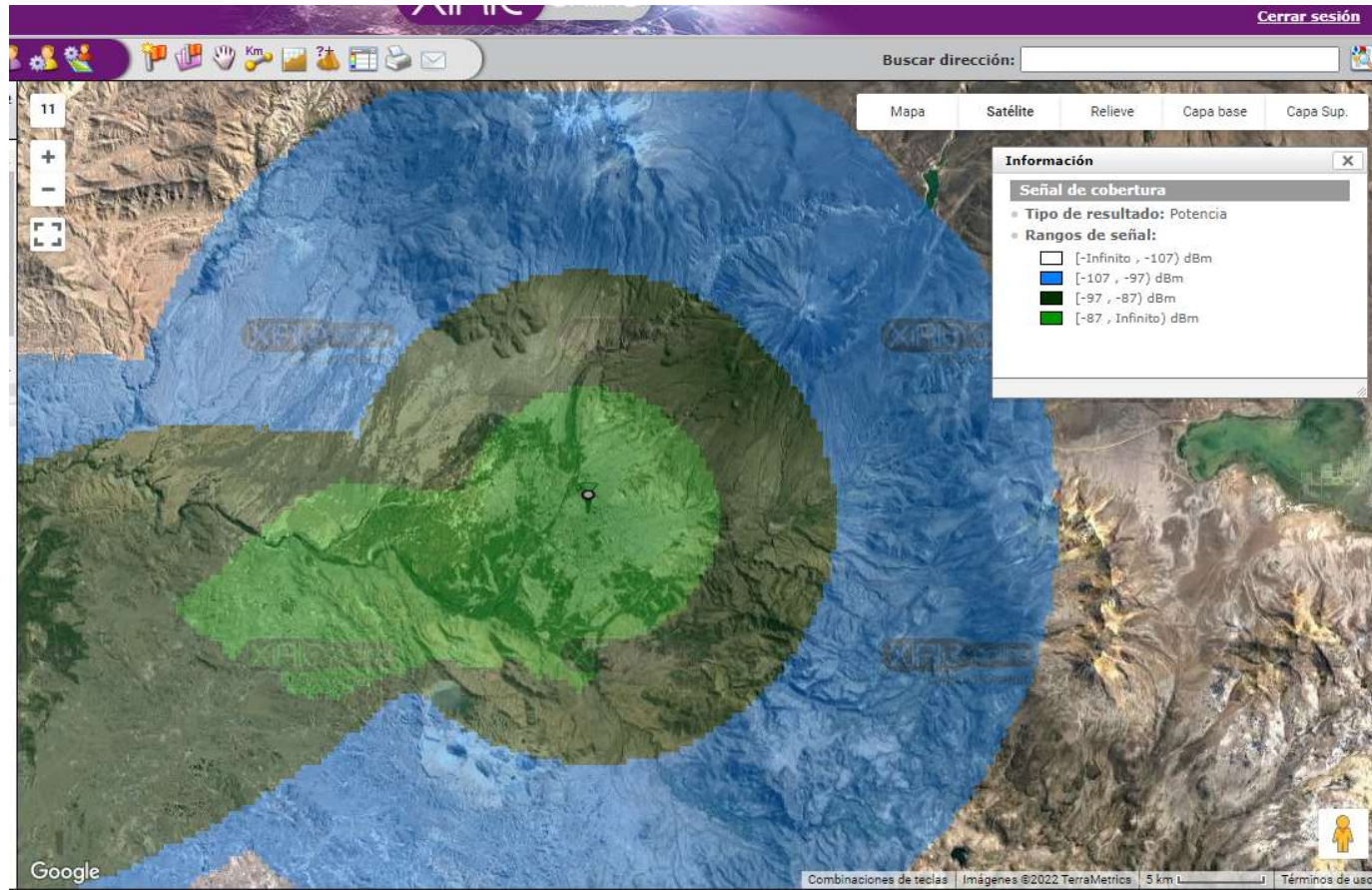


Figura 30

Cobertura de la Estación Base en vista Satelital por el programa Planning Tool.



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Los resultados luego de efectuada esta investigación que propone el diseño de un sistema de radiocomunicaciones mediante el estándar de servicio de datos TETRA (TEDS), establecen las siguientes inferencias.

El diseño realizado para mejorar el manejo de las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa consistió en la implementación de una EB que opera a -106 dBm y radios portátiles y móviles que trabajan a -103 dBm con un radio de cobertura que alcanza los 50 Km sin perder calidad de voz y datos, y es suficiente para cubrir los 19 distritos del área metropolitana. Estos resultados son similares a los obtenidos por Guevara (2017), quien implementó una red TETRA en Arequipa con las siguientes especificaciones: sensibilidad del receptor EB -107 dBm y TM -105 dBm potencia de transmisión 40 dBm EB y 34 dBm TM, ganancia de antena 7.5 dBi EB y TM 0.25 dBi con pérdidas de la línea de 2 dB, en la frecuencia 380 a 400 MHz a 25 KHz, propone la instalación de cuatro EB en la Gobernación Regional de Arequipa, el Cementerio Jacobo Hunter y las Municipalidades de Alto Selva Alegre y Cerro Colorado; para cubrir todo el territorio utilizando repetidores que expanden la señal a más de 83 KM.

CONCLUSIONES

Luego de efectuada esta investigación que propone el diseño de un sistema de radiocomunicaciones mediante el estándar de servicio de datos TETRA (TEDS) para mejorar el manejo de las comunicaciones críticas en la red asistencial de hospitales públicos en la ciudad de Arequipa, se establecieron las siguientes inferencias:

Del estudio comparativo realizado se determinó que el sistema TETRA (TEDS) seleccionado, DIMETRIA MST2, cumple con las especificaciones de calidad de voz ACELP con alcance de velocidad modulada con un valor de interferencia límite de 19 dB y un nivel de sensibilidad de referencia dinámica de -106 dBm para BS y -103 dBm para terminales móviles. De acuerdo con los indicadores de cobertura Okuma-Hata modulado y de enlace/propagación LongleyRice simulado a través del software Radio Mobile se estableció que es factible su operación en la banda de 400 MHz, considerando la cartografía del entorno urbano de Arequipa, adaptándose de entornos irregulares o accidentados logrando una amplitud de hasta 50 km a 20 GHz.

Del análisis realizado para ubicar EP y RP TETRA (TEDS) justificó proponer el emplazamiento de la EB en instalaciones ya existentes, dentro del área metropolitana, obteniendo pérdidas poco significativas en la propagación de la señal por la cercanía de los terminales móviles a la estación base, lo que asegura una calidad de servicio adecuada a lo esperado; además, la cantidad de operadores requeridos es baja de 1,5 lo que garantiza una disponibilidad no menor del 87 %. En este sentido, no se ameritó incluir en el diseño RP dado que el sistema tiene una cobertura de hasta 50 km que permite la transmisión de voz y datos, sin perder calidad en los 19 distritos metropolitanos.

La optimización del sistema TETRA (TEDS) utilizando las pruebas de enlaces y propagación de pérdidas permitió establecer la viabilidad de la instalación del modelo Motorola Dimetra MTS2 operando en bandas UHF en el rango 350 MHz a 470 MHz, con una potencia de transmisión de 20W, sensibilidad de recepción a 20.5 dBm típico (estática en BER 4%) y 114.0 dBm típico (desvanecido en BER 4%), sin embargo, a una tasa de transmisión menor a la ofrecida por el equipo Hytera DIB-R5 la cual alcanza los 150 KHz RF, aunque el modelo elegido tiene una mayor cantidad de salidas, lo cual le da una ventaja que debe considerarse.

RECOMENDACIONES

Esta investigación está orientado solo al área metropolitana de Arequipa se recomienda ampliar la cobertura de la red propuesta a toda la región de Arequipa, considerando los parámetros de las zonas más lejanas haciendo pruebas que impliquen el cambio de ancho de banda o la potencia de transmisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Salazar Domerizain, E. (2014). *Ampliación de la Red TETRA*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pamplona. Obtenido de <http://internet.gccpublica.navarra.es/DGIT/SAFER/Documents/Technical%20project%20Emergency%20TETRA%20Network.pdf>
- Barroeta Urquiza, J., & Boada Bravo, N. (2011). *Los servicios de emergencia y urgencias médicas extrahospitalarias en España*. Madrid: MENSOR.
- Call Centre Helper. (23 de diciembre de 2021). *Erlang C Formula – Made Simple With an Easy Worked Example*. Obtenido de <https://www.callcentrehelper.com/erlang-c-formula-example-121281.htm>
- Cotrina Fernández, G. H. (2019). *Diseño e implementación de un sistema troncalizado tetra, en apoyo a las comunicaciones de Repsol en el lote 57*. Universidad Tecnológica del Perú, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3052>
- Emergency Nurses Association. (2020). *Sheehy. Enfermería de Urgencias: Principios Y Práctica* (Séptima ed.). Barcelona: Elsevier Health Sciences.
- ETSI. (2005). *ETSI EN 300 395-2 V1.3.1 Telecommunications series*. Francia: European Standard.
- ETSI. (2006). *ETSI EN 300 392-2 V3.8.1 Telecommunications series*. Francia: European Standard.
- ETSI. (2006). *ETSI TS 100 392-16 V1.2.1 Technical Specification*. Francia: European Standard.
- ETSI. (2016). *ETSI TR 102 300-7 V1.2.1 Telecommunications series*. Francia: European Standard. Obtenido de https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102300_102399/10230007/01.02.01_60/tr_10230007v010201p.pdf
- Gómez Vieites, Á. (2014). *Sistemas seguros de acceso y transmisión de datos*. Madrid: Grupo Editorial RA-MA.
- Herrera Luna, C. E. (2016). *Sistema integrado de radiocomunicación tetra para gestión de emergencias ante la seguridad ciudadana*. Pontificia Universidad Católica del Perú, San Miguel. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7381>

- Huidobro Moya , J., & Luque Ordoñez, J. (2014). *Comunicaciones por radio. Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones*. Madrid: Grupo Editorial RA-MA.
- Huidobro Moya, J. M. (2014). *Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE*. Madrid: Grupo Editorial RA-MA.
- Huidobro Moya, J., & Conesa Pastor, R. (2006). *Sistemas de telefonía* (Quinta ed.). Madrid: Editorial Paraninfo.
- Hytera. (2016). ACCESSNET®-T IP DIB-R5 Digital Integrated Base Station Series. *Respond & Achieve*. Obtenido de https://www.hytera.la/media/spHMF_TETRA_DIB-R5.pdf
- Hytera Communications Corporation Limited. (25 de Julio de 2019). *Situaciones críticas, comunicaciones críticas*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de <https://www.hytera.la/recursos/situaciones-criticas-comunicaciones-criticas>
- Instituto Municipal de Planeamiento. (2016). *Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016-2025*. Arequipa: Municipalidad Provincial de Arequipa.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Arequipa: resultados definitivos*. Lima.
- Lazo, K. (2016). *Plan de Desarrollo Local Concertado*. Municipalidad Provincial de Arequipa 2016-2021, Gerencia de Planificación y Presupuesto. Obtenido de https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdlc/planos/03_mapa_densidad_poblacional.pdf
- López Ballesteros, A. (2018). *Modelos de actuación ante múltiples víctimas*. (R. García Moya, Ed.) España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (21 de Febrero de 2018). Plan nacional de atribución de frecuencias PNAF. 70.
- Motorola Solutions. (2015a). Hoja de datos Radios Tetra Serie MTP3000. Obtenido de https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/XL-ES/mot_mtp3000_series_datasheet_es.pdf
- Motorola Solutions. (2015b). Hoja de Especificaciones de Producto Serie MTM5000. Obtenido de https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/products/dimetra-tetra/mobile-radios/mtm5000/MOT_MTM5000_Series_SpecSheet_ES.pdf
- Motorola Solutions. (Agosto de 2016). *TETRA ENHANCED DATA SERVICES (TEDS) Improving Safety and Situational Awareness With TEDS Data*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de https://www.motorolasolutions.com/en_xu/products/tetra/teds.html

- Motorola Solutions. (2017). Hoja de Datos Radio Portátil Tetra MTP6650. Obtenido de https://www.radiotrans.com/storage/app/media/catalogos/00211-mtp6650_datasheet_es.pdf
- Motorola Solutions. (2019). Estación Base Tetra Dimetra MTS2. *Hoja de Datos*. Obtenido de https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/en-xu/tetra/mts2_data_sheet_spa.pdf
- Motorola Solutions. (2020). Hoja de Especificaciones MXP600. Obtenido de https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/en-xu/tetra/mxp600_specification_sheet_esp.pdf
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2016). *Plan de Desarrollo Local Concertado de la Provincia de Arequipa 2016-2021*. Arequipa. Obtenido de <https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdlc/PDLC.pdf>
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (4 de agosto de 2020). *Historia*. Obtenido de <https://www.muniarequipa.gob.pe/arequipa/historia/>
- Ramírez Luz, R. (2015). *Sistemas de radiocomunicaciones*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- TCCA. (9 de Junio de 2020a). *TETRA Release 2*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de Critical communications for all professional users: <https://tcca.info/tetra/for-tetra-specialist/tetra-release-2/>
- TCCA. (29 de Junio de 2020b). *Sectors & Trends*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de Critical communications for all professional users: <https://tcca.info/tetra/tetra-market/sectors-trends/>
- Técnicas Competitivas. (2018). *Redes PMR y TETRA*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2021, de https://www.tecnicascompetitivas.com/?page_id=400
- Tejada Guevara, H. H. (2017). *Planificación de un sistema de radio comunicación troncalizado digital, emergente, para emergencias en la Ciudad de Arequipa*. Universidad Católica de Santa María. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6718>
- Toro Jaramillo, I., & Parra Ramírez, R. (2006). *Método y conocimiento: metodología de la investigación : investigación cualitativa/investigación cuantitativa* (Primera ed.). Medellín: Universidad Eafit.
- Pascual Garcia, Molina Garcia-Pardo & Llácer. (2014). *Sistemas de Comunicaciones Móviles* (Primera ed.). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL ¿Cómo el Servicio de Datos TETRA Mejorado TEDS en modo Troncalizado para las Comunicaciones Críticas en la Red Asistencial de Hospitales Públicos en la Ciudad de Arequipa optimizará la calidad de voz, las condiciones difíciles y la seguridad en la red asistencial de hospitales públicos para comunicaciones críticas en la ciudad de Arequipa?</p> <p>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS ¿Cómo influye el análisis comparativo de equipos disponibles basados en el estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS) para cumplir con los umbrales de calidad de voz Códec ACELP y el nivel adecuado de sensibilidad para los terminales móviles en las Comunicaciones Críticas? ¿Cómo definir la localización de las Estaciones Base y Repetidores mediante el estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS) de acuerdo a los parámetros deseados para una cobertura eficiente? ¿Cómo contribuirán los softwares Radio Mobile y Planningtool en las</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL Diseñar un sistema de Servicio de Datos TETRA Mejorado TEDS en modo Troncalizado para las Comunicaciones Críticas en la Red Asistencial de Hospitales Públicos en la Ciudad de Arequipa</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Realizar un estudio comparativo de equipos basados en estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS) para obtener una adecuada calidad de voz y un óptimo nivel de sensibilidad para un adecuado funcionamiento en las Comunicaciones Críticas. Analizar y ubicar la localización de las Estaciones Base y Repetidores basadas en el estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS) de acuerdo a los parámetros deseados para una cobertura eficiente. Determinar una óptima operatividad mediante la simulación, el cálculo de los balances de enlace, el método de propagación de pérdidas por propagación y la planificación radio eléctrico mediante los softwares de</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL El diseño de un sistema de radiocomunicaciones mediante el servicio de datos TETRA TEDS mejorará la calidad de voz, las condiciones difíciles y la seguridad en la red asistencial de hospitales públicos para comunicaciones críticas.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS Si se analiza y estudia comparativamente diferentes equipos con el estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS) se podrá obtener una adecuada calidad de voz y un mejor nivel en la sensibilidad de los equipos móviles para obtener un óptimo funcionamiento en las Comunicaciones Críticas. Si se realiza un estudio de localización de las Estaciones Bases y Repetidores se obtendrá los puntos estratégicos para el Sistema de Radio Comunicaciones mediante el Estándar De Servicio De Datos Mejorados Tetra (TEDS) Si se utiliza los softwares de simulación Radiomobile y Planningtool se podrá determinar la operatividad de los</p>	<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u> Comunicaciones Críticas en la red Asistencial. <u>DIMENSIÓN:</u> Estaciones Base y Terminales de Radio Indicadores</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Localización de las Estaciones Base y Repetidores 2. Ancho de canal 3. Frecuencia de trabajo 4. Potencia de transmisión 5. Sensibilidad de recepción 6. Tasa de transmisión <p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u> Servicios de datos mejorado TETRA (TEDS) <u>DIMENSIÓN:</u> Tecnología a usar Indicadores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Calidad de voz códec ACELP. 2. Análisis de Cobertura 3. Diseño de la Estación Base TETRA 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN De acuerdo a la naturaleza de los objetivos es Aplicativa, explicativa y según el grado de profundidad el nivel de investigación es comprensivo.</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN No experimental transversal</p> <p>ÁMBITO DE ESTUDIO Esta investigación se realizará en la provincia de Arequipa perteneciente al Departamento Arequipa de Perú. En la red asistencial de hospitales públicos que se encuentran adscritos al Ministerio de Salud (MINSA).</p> <p>POBLACIÓN La población a estudiar es el sistema de Radio Comunicaciones de la Red Asistencial de Hospitales Públicos de la ciudad de Arequipa.</p> <p>MUESTRA La muestra es de 9 ambulancias disponibles por la municipalidad de Arequipa y 4 establecimientos de salud: Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza, Hospital Goyeneche Distrito Arequipa, Centro de Salud Edificadores y el Centro de Salud Yanahuara.</p>

<p>simulaciones y planificación en el cálculo de balance de enlaces, el método de propagación de pérdidas por propagación y la planificación radio eléctrico de un sistema basado en estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS)?</p>	<p>simulación Radio Mobile y Planningtool.</p>	<p>enlaces y la planificación radio eléctrica para el adecuado funcionamiento del Sistema de Radio Comunicaciones mediante el estándar de Servicio de Datos mejorado TETRA (TEDS).</p>		<p>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnica de Observación no experimental - Técnica de Análisis documental. <p>INSTRUMENTOS</p> <p><u>Fuentes secundaria</u></p> <p>Se obtendrá de los equipos que serán comparados para obtener los parámetros de la calidad de voz, las condiciones difíciles y la seguridad que son de los fabricantes Hytera y Motorola.</p>
---	--	--	--	--

Anexo 2. EB Hytera DIB-R5

ACCESSNET[®]-T IP DIB-R5

Digital Integrated Base Station Series

DIB-R5 es la nueva generación de estaciones base híbridas y potentes de Hytera para sistemas de radiocomunicación ACCESSNET[®]-T IP TETRA. Gracias a la compatibilidad con TETRA Release 2 y TETS, la DIB-R5 ofrece una solución conveniente y atractiva para todo tipo de usuarios en los que la disponibilidad y transferencia de datos de alta velocidad son una condición sine qua non.




www.hytera-mobilfunk.com

Datos Técnicos

Propiedades generales	
Potencia de salida RF (casquillo de antena)	44dBm con modulación π/4-DQPSK 40 dBm con modulación QAM
Recepción	Triple diversidad
Sensibilidad	-119 dBm estática (BER 4%) -113 dBm dinámica (TU50 [TCH 7.2, BER 4%]) -110 dBm dinámica (clase B) -108 dBm dinámica (clase A) con pi / 4DQPSK
Sincronización	GNSS (GPS, Galileo, Glonass). Es posible el servicio sin GNSS en caso de que se utilice el protocolo tiempo de precisión PTP.
Conexión a la red de conexiones	IP E1 (opcional)
Entradas y salidas de alarma externas digitales	16 entradas 4 salidas
Conexión de antena Tx	7 / 16"
Conexión de antena Rx	3*7 / 16"
Conexión de red local	RJ-45

Condiciones medioambientales	
Rango de temperatura de funcionamiento	-30 °C a +55 °C
Rango de temperatura de almacenamiento	-40 °C a +70 °C
Humedad relativa del aire	5 % a 85 % (sin condensación)

DIB-R5 advanced	
Dimensiones (An x Al x Prof)	600 mm x 1200 mm x 600 mm
Peso	máximo 161 kg. El peso depende de la configuración correspondiente.
Potencia absorbida	1500 W con max. 4 portadoras (con 44 dBm en casquillo de antena)

DIB-R5 compact	
Dimensiones (An x Al x Prof)	450 mm x 640 mm x 540 mm
Peso	de 60 a 80 kg. El peso depende de la configuración correspondiente.
Potencia absorbida	850 W con max. 2 portadoras (con 44 dBm en casquillo de antena)

Opciones de configuración	
Controlador redundante	
Duplexor	Tx combinada con una de las antenas Rx

Todos los datos técnicos han sido probados conforme a los correspondientes estándares. Queda reservado el derecho a realizar modificaciones a causa del continuo desarrollo de los sistemas.

Anexo 3. EB Motorola DIMETRA MTS2

ESTACIÓN BASE TETRA DIMETRA MTS2

MENOS GASTOS DE CAPITAL,
MENOS GASTOS OPERATIVOS, MÁS EFICIENCIA.

DISEÑO COMPACTO QUE OPTIMIZA EL ESPACIO EN EL SITIO

Pequeña, ligera y versátil, la MTS2 es una estación base de alto rendimiento que se puede instalar en todo tipo de ubicaciones.

- Un diseño compacto, pequeño y ligero
- Peso de 48 kg para un transporte fácil
- Anchura de solo 45 cm que permite una instalación cómoda en un armario de 48,3 cm (19 pulg.)
- Alta potencia de transmisión de 40 W sin combinación de transmisión (25 W con combinación de transmisión)
- Diversidad de recepción triple que permite hasta 3 receptores por portadora
- Sensibilidad del receptor líder en su clase
- Amplio rangos de frecuencias 350 - 470 MHz o 806 - 870 MHz
- La entrada de cable por arriba y el caudal de aire de refrigeración de abajo a arriba permiten que el armario se coloque contra una pared o equipo adyacente, con lo que se ahorra espacio adicional
- Compatible con una amplia gama de configuraciones de sistema de distribución de frecuencia de radio (RFDS) con hasta 3 receptores por portadora y antenas de recepción/transmisión duplexadas. Los sitios que no permiten varias antenas se pueden configurar con un solo poste de antena omnidireccional, para evitar costosas construcciones de mástiles y cumplir con los requisitos medioambientales



ESPECIFICACIONES

	UHF	800 MHz
Bandas de frecuencias	350 - 470 MHz	806 - 870 MHz
Ancho de banda de funcionamiento	5 MHz	19 MHz
Radios base	Hasta 2 BR (8 timeslots)	
Separación de portadoras	25 kHz (25/50 kHz para TEDS)	
Potencia de transmisión en la parte superior del armario de la estación base	40 vatios (sin combinación de transmisión)	25 vatios (con combinación híbrida de transmisión)
Sensibilidad del receptor en la parte superior del armario de la estación base/conector de entrada	-120,0 dBm normal (estática con una tasa de bit de error del 4 %) -113,5 dBm normal (atenuada con una tasa de bit de error del 4 %)	-119,5 dBm normal (estática con una tasa de bit de error del 4 %) -113,0 dBm normal (atenuada con una tasa de bit de error del 4 %)
Recepción de diversidad	Diversidad simple, doble o triple	
Opciones de combinador	Combinador híbrido	
Transmisión	Conexión Ethernet, X21 o E1 fraccionada Señalización de etiquetas de varios protocolos (MPLS) Dos puertos Ethernet o dos puertos E1 con multiplexor integrado para protección de bucles o redundancia (hasta 10 estaciones base se pueden conectar en bucle) Compatibilidad con transmisión por satélite	
Datos de alta velocidad	Esquemas de modulación TEDS QAM con anchos de banda de canal de 25/50 kHz	
Alimentación de entrada	100/115/230 V de CA, 50/60 Hz y -48 V de CC	
Consumo de energía	640 vatios (con ventiladores)	700 vatios (con ventiladores)
Temperatura ambiente de funcionamiento	De -30 a 55 °C (sin ventiladores)/de -30 a 60 °C (con ventiladores)	
Anchura x altura x profundidad	0,45 m x 0,61 m x 0,48 m (17,7 pulg. x 24 pulg. x 18,9 pulg.)	
Peso	48 kg (totalmente equipada con 2 radios base)	

Anexo 4. TM Serie Motorola MTM5000

ESPECIFICACIONES

	UHF	800 MHz
Bandas de frecuencias	350 - 470 MHz	806 - 870 MHz
Ancho de banda de funcionamiento	5 MHz	19 MHz
Radio base	Hasta 2 BR (8 timeslots)	
Separación de portadoras	25 kHz (25/50 kHz para TEDS)	
Potencia de transmisión en la parte superior del armario de la estación base	40 vatios (sin combinación de transmisión)	25 vatios (con combinación híbrida de transmisión)
Sensibilidad del receptor en la parte superior del armario de la estación base/conector de entrada	-120,0 dBm normal (estática con una tasa de bit de error del 4 %) -113,5 dBm normal (atenuada con una tasa de bit de error del 4 %)	-119,5 dBm normal (estática con una tasa de bit de error del 4 %) -113,0 dBm normal (atenuada con una tasa de bit de error del 4 %)
Recepción de diversidad	Diversidad simple, doble o triple	
Opciones de combinador	Combinador híbrido	
Transmisión	Conexión Ethernet, X21 o E1 fraccionada Señalización de etiquetas de varios protocolos (MPLS) Dos puertos Ethernet o dos puertos E1 con multiplexor integrado para protección de bucles o redundancia (hasta 10 estaciones base se pueden conectar en bucle) Compatibilidad con transmisión por satélite	
Datos de alta velocidad	Esquemas de modulación TEDS QAM con anchos de banda de canal de 25/50 kHz	
Alimentación de entrada	100/115/230 V de CA, 50/60 Hz y -48 V de CC	
Consumo de energía	640 vatios (con ventiladores)	700 vatios (con ventiladores)
Temperatura ambiente de funcionamiento	De -30 a 55 °C (sin ventiladores)/de -30 a 60 °C (con ventiladores)	
Anchura x altura x profundidad	0,45 m x 0,61 m x 0,48 m (17,7 pulg. x 24 pulg. x 18,9 pulg.)	
Peso	48 kg (totalmente equipada con 2 radios base)	

Anexo 5. TP Serie Motorola MXP600

CONECTIVIDAD

Wi-Fi	
Estándares IEEE compatibles	802.11 a, b, g, n, ac
Bandas Wi-Fi	2,4 GHz y 5 GHz
Autenticación y cifrado	WPA WPA2 WPA2 Enterprise (EAP-TLS)
Seguridad	TLS 1.2
BLUETOOTH	
Versiones de Bluetooth compatibles	Bluetooth 5.0, 4.2, 4.1, 4.0 y 2.1 + EDR
Seguridad de Bluetooth	Admite el cifrado AES tanto para Bluetooth estándar como de bajo consumo y cumple con el modo de seguridad de servicio 4 nivel 4 con Conexiones Seguras, según recomendación de NIST
Perfiles de Bluetooth	Perfil de auriculares (HSP) Perfil de puerto serie (SPP) Perfil de acceso genérico Perfil de atributos genéricos (GATT), como perfil de frecuencia cardíaca, perfil de servicio de batería, perfil de información de dispositivos
NFC	
Tipo de etiqueta	ISO/IEC 15693
RFID	
Tipo de etiqueta	866-868MHz o 902-928MHz
ANTENA	
Conector	SMA
Impedancia	50 Ω
Kit para coche	Compatible con antena externa

INTERFAZ DE USUARIO

Pantalla	Pantalla transreflectiva de 2,4"
	Interfaz de usuario moderna e intuitiva
	Opción de retroiluminación
	Opción de pantalla giratoria
	Opción de tamaño de texto ajustable
	Imagen del salvapantallas personalizable
	Visualización de la hora universal
	Tiempo de espera configurable
	Varios idiomas de visualización configurables por el usuario
Controles	Teclado retroiluminado
	Mando giratorio de doble función
	3 botones programables laterales
	Teclado de marcación rápida
Sensores	Acelerómetro Luz ambiental
Gestión de grupos de conversación	Interfaz intuitiva, flexible, rápida y eficiente
Grupos de conversación	Carpetas de TMO: hasta 256, grupos de conversación de TMO: hasta 10 000. Carpetas de DMO: hasta 128, grupos de conversación de DMO: hasta 2000
Carpetas de grupos de conversación favoritos	Hasta 3
Listas de rastreo	40 listas de hasta 20 grupos
Lista de código de país/red	Hasta 100
Menú	Lista de menús personalizable que satisface las necesidades

SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

SERVICIO DE NAVEGACIÓN POR SATELITE / EN EXTERIORES	
Constelaciones compatibles	GPS más una de las siguientes: Galileo, GLONASS y BDS (BeiDou), Sistemas de aumentación mejorada basados en satélites (SBAS), QZSS incluido
Antena GNSS	Antena interna
Sensibilidad de seguimiento GNSS	GPS: -163dBm (garantizada) -164dBm (típica) BDS (BeiDou): -155dBm (garantizada) -156dBm (típica) GLONASS: -157dBm (garantizada) -160dBm (típica) Galileo: -155dBm (garantizada) -157dBm (típica)
Precisión horizontal, 2D	1,2 m (probabilidad del 95 %, -130 dBm, >15 SV Galileo y GPS)
Inicio en frío TTFF	<60 s (probabilidad del 95 % a -130 dBm)
Protocolos	LIP de ETSI (corto y largo), LRRP de Motorola Solutions
SERVICIO DE NAVEGACIÓN EN INTERIORES	
Ubicación en interiores mediante BTLE	iBeacon™/baliza Bluetooth de bajo consumo
Protocolos	LIP de ETSI (extendido)

HOJA DE ESPECIFICACIONES | MXP600

de causa usuario	
Hay disponibles atajos del menú	
Gestión de contactos	Búsqueda rápida para encontrar el contacto fácilmente
Contactos	Hasta 1000 contactos con 6 números por contacto (un máximo de 2000 números únicos)
Varios métodos de marcación	Marcación directa, por desplazamiento, rápida, botón/tecla de un solo toque
Alerta de llamada	Alerta de vibración y varias melodías de llamada
Gestión de mensajes	Carpetas distintas para cada tipo de mensaje a fin de ofrecer una gestión de mensajes flexible
Lista de mensajes de texto	Hasta 200 mensajes (mensajes cortos) Al menos 20 mensajes para la bandeja de salida (mensajes largos de hasta 1000 caracteres) Al menos 10 mensajes para la bandeja de entrada (mensajes largos de hasta 1000 caracteres)
Lista de estado	400 mensajes predefinidos Se puede asignar a botones de un solo toque
Introducción de texto	Introducción de texto por teclado inteligente
Modo oculto	Activa el modo sigilo del dispositivo para operaciones encubiertas

PÁGINA 3

Anexo 6. EB Hytera DIB R5

Datos Técnicos

Propiedades generales	
Potencia de salida RF (casquillo de antena)	44dBm con modulación n/4-DQPSK 40 dBm con modulación QAM
Recepción	Triple diversidad
Sensibilidad	-119 dBm estática (BER 4%) -113 dBm dinámica (TU50 [TCH 7.2, BER 4%]) -110 dBm dinámica (clase B) -108 dBm dinámica (clase A) con pi / 4DQPSK
Sincronización	GNSS (GPS, Galileo, Glonass). Es posible el servicio sin GNSS en caso de que se utilice el protocolo tiempo de precisión PTP.
Conexión a la red de conexiones	IP E1 (opcional)
Entradas y salidas de alarma externas digitales	16 entradas 4 salidas
Conexión de antena Tx	7 / 16"
Conexión de antena Rx	3*7 / 16"
Conexión de red local	RJ-45

Condiciones medioambientales	
Rango de temperatura de funcionamiento	-30 °C a +55 °C
Rango de temperatura de almacenamiento	-40 °C a +70 °C
Humedad relativa del aire	5 % a 85 % (sin condensación)

DIB-R5 advanced	
Dimensiones (An x Al x Prof)	600 mm x 1200 mm x 600 mm
Peso	máximo 161 kg El peso depende de la configuración correspondiente.
Potencia absorbida	1500 W con max. 4 portadoras (con 44 dBm en casquillo de antena)

DIB-R5 compact	
Dimensiones (An x Al x Prof)	450 mm x 640 mm x 540 mm
Peso	de 60 a 80 kg El peso depende de la configuración correspondiente.
Potencia absorbida	850 W con max. 2 portadoras (con 44 dBm en casquillo de antena)

Opciones de configuración	
Controlador redundante	
Duplexor	Tx combinada con una de las antenas Rx

Todos los datos técnicos han sido probados conforme a los correspondientes estándares. Queda reservado el derecho a realizar modificaciones a causa del continuo desarrollo de los sistemas.

Anexo 7. TM serie Hytera

Opciones de hardware

Sí: Disponible No: No disponible

	MT680 Plus (B)	MT680 Plus (E)	MT680 Plus (S)
BT	No	No	Sí
Puerta de enlace	No	No	Sí
GPS	No	Sí	Sí
E2EE	No	Sí	Sí

• B: Versión básica • E: Versión ejecutiva • S: Versión especializada

Especificaciones

General	
Bandas de frecuencia	320-380 MHz 380-430 MHz 405-475 MHz 806-870 MHz
Dimensiones (alto x ancho x prof.)	Montaje estándar 70 x 184 x 186 mm
	Montaje remoto 70 x 184 x 66 mm (panel frontal)
	Montaje en escritorio 70 x 184 x 177,6 mm (unidad principal)
Peso	1853 g
Voltaje de operación	Montaje estándar 10,8 V-15,6 VCC
	Montaje remoto (valores normales 13,2 VCC)
	Montaje en escritorio 10,8 V-15,6 VCC (valores normales 13,2 VCC) 100-240 VCA/50-60 Hz
Especificaciones de RF	
Ancho de banda de canal de RF	25 KHz
Salida de potencia RF	10 W
Precisión de nivel de alimentación de RF	±2 dB
Clase de receptor	Clase A y B
Sensibilidad estática de RX	-116 dBm (Típico: -118 dBm)
Sensibilidad dinámica de RX	-106 dBm (Típico: -108 dBm)
Especificaciones de audio	
Salida de potencia de audio máxima	8 W (altavoz interno)
Salida de potencia de audio nominal	4 W (altavoz interno)

Ítem	Capacidad
Grupos de comunicación-TMO	3000
Grupos de comunicación-DMO	2000
Libreta de contactos	1000
Llamadas perdidas	20
Llamadas recibidas	20
Llamadas realizadas	20
Bandeja de entrada	400
Bandeja de salida	50
Borradores	50
Listas de escaneo-TMO	61
Carpeta-TMO	200 x 200 (200 grupos en cada lista)
Carpeta-DMO	50 x 200 (200 grupos en cada lista)
Especificaciones Medioambientales	
Temperatura operativa	-30 °C ~ +60 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C ~ +85 °C
Humedad	ETS 300 019 (95 %)
Protección contra agua y polvo	IP54 (unidad principal); IP67 (panel frontal); IEC60529
Caídas, golpes y vibraciones	MIL-STD-810 G; ETS 300 019-1-5 SM3
GPS	
Sensibilidad	sensibilidad de adquisición de s=-146 dBm
	sensibilidad de seguimiento de s=-165 dBm
Precisión de la ubicación	2,5 m CEP
Arranque en frío Time to First Fix	<35 s
Arranque en caliente Time to First Fix	<1 s

Todas las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso debido al desarrollo permanente.

Anexo 8. TP serie Hytera

Especificaciones

Comunicación inalámbrica de datos

TETRA	350-475 MHz
	3GPP LTE
LTE	FDD-LTE: B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B20/B26/B28 TDD-LTE: B38/B39/B40/B41
CDMA	CDMA 1xRTT BC0 CDMA2000 1xEV-DO BC0
WCDMA	B1/B2/B4/B5/B8
TD-SCDMA	B34/B39
GSM	850/900/1800/1900MHz
WiFi	802.11 b/g/n, 2.4 GHz
NFC	13.56 MHz
BT	V4.2, BDR/EDR/BLE
Posicionamiento	GPS/BDS/GLONASS/Galileo/QZSS Rendimiento de posición para zona abierta: TTFF (inicio en frío) <1 minuto Precisión de posición horizontal <10 metros

Especificaciones generales

Dimensiones (alto x ancho x prof.)	140 x 60 x 29.1mm
Peso (con antena y batería)	Aprox. 325 g
Procesador AP	8 núcleos; 1.8 GHz
Sistema operativo	Android 7.0
Memoria	Banda ancha: RAM: 3GB; ROM: 32GB eMMC Expandible a 128GB con tarjeta Micro SD Banda estrecha: Expandible a 16GB con tarjeta Micro SD
Puertos	Puerto de carga/puerto adicional de 20 pines
Pantalla superior	0,92" Color: blanco y negro
Pantalla principal	3,6" 1280 x 720, Profundidad de color: 24 bit Pantalla táctil capacitiva, apta para guantes, lápiz pasivo
Ranuras	2 ranuras para tarjetas Nano SIM 1 ranura para tarjeta Micro SD de banda estrecha 1 ranura para tarjeta Micro SD de banda ancha
Cámara frontal	5 MP, enfoque fijo
Cámara trasera	13 MP, enfoque automático
Sensores	Sensor de proximidad Sensor de luz ambiental Sensor de 3 ejes-giroscopio Barómetro Sensor geomagnético Acelerómetro

Transceptor

Separación de canales	25 kHz
Potencia de TX	1,8 W (Clase 3L) y 1 W (Clase 4)
Sensibilidad de RX	Estático: ≤-116 dBm (tipo -117 dBm) Dinámico: ≤-106 dBm (tipo -109 dBm)
Salida de audio	2W

Video e imágenes

Tipos de archivos de video	3GPP(.3gp), MPEG-4(.mp4), QuickTime(.mov), WEBM(.webm), Windows Media(.wmv), RealMedia(.rmvb, .rm), MPEG-PS(.mpeg), MPEG-TS(.ts), AVI(.avi), Matroska(.mkv)
Tipos de archivos de imagen	JPEG(.jpg), GIF(.gif), PNG(.png), BMP(.bmp)
Calidad de grabación de video	Cámara frontal: 1080 P HD hasta 30 fotogramas por segundo (fps) Cámara principal: 1080 P HD hasta 60 fotogramas por segundo (fps)
Marca de agua	Video e imágenes

Audio

Tipos de archivos	MP3(.mp3), FLAC(.flac), MIDI(.mid, .amf, .mef), RTTL/RTX(.rttl, .rtx), OTA(.ota), iMelody(.imy), Ogg(.ogg), Matroska(.mka), QCELP(.qcp), RealMedia(.ra), Windows Media(.wma), AC3(.ac3)
Entrada	Reducción de ruido con varios micrófonos, Cancelación del ruido del viento, cancelación de eco

Entorno

Resistencia a polvo y agua	IEC60529-IP68 (2 m, 4 h) IEC60529-IP66
Choque y vibración	MIL-STD-810 G
ESD	IEC 61000-4-2 (nivel 4), ±8 kV (contacto), ±15 kV (aire)
Temperatura de operación	-20 °C ~ +60 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 °C ~ +80 °C
Resistencia a humedad	Según MIL-STD 810 G, ≤+65 °C, 95 % HR

Batería

Estándar	2400 mAh polímero de litio, 7,7 V (nominal)
Opcional	4000 mAh, 7,7 V (nominal)

