

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Análisis y simulación de la señal de radio frecuencia dentro de un
aeropuerto en la ciudad de Guayaquil.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentado por:

Andrea Azucena Nuñez Quinto

Jorge Alcides Saquinaula Brito

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

A Dios, a mis abuelos Azucena y Adolfo, y a mi angelita que están en el cielo. A mis padres Cesar Nuñez y Janeth Quinto por forjarme en carácter, ser la persona que soy hoy en día y motivarme a cumplir mis anhelos, mi hermano Anderson siempre conmigo en todas las adversidades, mis padrinos Ruth y Josef Becker por su cariño fraternal a la distancia, y a mi compañero de vida Jessi Andrés Peñafiel por brindarme de su amor y acompañarme en todo momento.

Andrea Azucena Nuñez Quinto.

El presente proyecto lo dedico a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza, fidelidad y amor. A mis padres Luis Saquinaula y Eulalia Brito quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. A mis hermanos José, Jonathan y Steven, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso. A toda mi familia y la familia Cabezas Agila porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. También dedico esta tesis a mi cuñada Fernanda y Luisa que siempre me han ayudado en este sueño de poder finalizar mi carrera. Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi compañera de vida, Ana Cabezas, por apoyarme cuando más lo necesité, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, y a mi hija Cataleya, que me dio fuerza este último periodo, para culminar esta meta.

Jorge Alcides Saquinaula Brito.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme en este camino, darme fuerzas en momentos de debilidad, a mis padres y mi hermano por ser mi motivo y fuerzas para seguir adelante, mis padrinos por ayudarme incondicionalmente desde pequeña, a mi esposo por estar a mi lado y apoyarme en todo momento, mis mejores amigos Andrés León y Joshua Martillo que han compartido conmigo llenando de optimismo el día a día, y a todos los familiares y amigos que estuvieron conmigo siempre, adicional a la Terminal Aeroportuaria de Guayaquil en especial al Gral. Ángel Córdova, Msc. Andrés Rubio y al Ing. José Luis Maldonado que permitieron que este proyecto se lleve a cabo, a mi Alma Mater la Escuela Superior Politécnica del Litoral por acogerme y darme herramientas para continuar mi camino profesional, a mis tutores de tesis el Msc. Washington Medina y el Msc. Alfredo Nuñez que nos guiaron en la elaboración de nuestro proyecto con sus recomendaciones.

Andrea Azucena Nuñez Quinto

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. A mi compañera de vida y su familia por brindarme el apoyo emocional constante para culminar esta meta. De manera especial a mi tutor de tesis el MSc. Washington Medina y el MSc. Alfredo Nuñez por habernos guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores. A la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Jorge Alcides Saquinaula Brito

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Andrea Azucena Nuñez Quinto* y *Jorge Alcides Saquinaula Brito* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Andrea Azucena Nuñez
Quinto



Jorge Alcides Saquinaula
Brito

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**ALFREDO JOSE
NUNEZ UNDA**

Msc. Alfredo José Nuñez Unda

PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Washington Adolfo Medina Moreira', written over a dotted line.

MSc. Washington Adolfo Medina Moreira

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

A través del tiempo las comunicaciones inalámbricas han cumplido un papel fundamental en el campo industrial y empresarial haciendo que esto sea necesario para el cumplimiento de metas y trabajos, más aún cuando existen distancias muy grandes para que los trabajadores puedan sincronizar y concluir un trabajo o deber encomendado. Una de las alternativas que usan la industria para la comunicación a distancia, y sobre todo debido al bajo costo que genera tener este servicio, es la comunicación por radio troncalizados.

Este servicio cumple con las necesidades que mantiene la industria para la comunicación entre el personal a grandes distancias según la cobertura del servicio. Para la comunicación en aeropuertos, esta alternativa no es la excepción, desde la torre de control comunicándose con pilotos de aeronaves cercanas al perímetro, como para la comunicación interna entre el personal operativo, dentro del edificio aeroportuario como en el lado aire que corresponde a las plataformas, pistas y calles de rodaje.

La comunicación por radio troncalizado entre el personal operativo tiene la ventaja de ser rápida y clara, pero su desventaja que actualmente existe es el servicio que ofrece la operadora no cubre toda la infraestructura por ende generando zonas sin cobertura que en ciertas ocasiones pueden ser importantes ya sea por un estado de emergencia o por alguna novedad que se presente y tenga que ser resuelta inmediatamente. Este proyecto integrador trata sobre analizar el estado actual de la cobertura del sistema troncalizado y ofrecer una solución para no pasar a un sistema digitalizado que en costo sería un presupuesto demasiado elevado para la empresa.

Palabras clave: Radio frecuencia, radio de dos vías, sistema troncalizado.

ABSTRACT

Wireless communications have always performed a fundamental role in the industrial and business sectors, making it necessary for the realization of goals and jobs, especially when there are very long distances for workers to synchronize and complete a job or duty assigned to them. One of the alternatives used by the industry for remote communication, especially due to the low cost of this service, is the trunked radio communication.

This service covers the needs of the industry for communication between the staff that are located at large distances depending on the coverage. For communication at airports, this alternative is no exception, from the control tower communicating with pilots of aircraft near the perimeter, as well as for internal communication between operational teams, inside the airport building and, on the airside, corresponding to platforms, landing strips and staff paths.

The trunked radio communication between operational staff has the advantage of being fast and clear, but its disadvantage that currently exists is that the service offered by the operator does not cover the entire infrastructure thus generating areas without coverage that can sometimes be important either for a state of emergency or for some event that arises and has to be resolved immediately. This project is about analyzing the current state of the trunked system coverage and offer a solution to avoid moving to a digitized system that in cost would be too high a budget for the company.

Keywords: *Radio frequency, two-way radio, trunked system.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES	7
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Los sistemas de radio comunicación actualmente	4
1.4.2 Clasificación de los sistemas de radiocomunicación.....	5
1.4.3 Tecnología analógica vs. digital	5
1.4.4 Sistema de radio convencional	6
1.4.5 Clasificación de sistemas de radio convencionales	7
1.4.6 Sistema de radio troncalizado	8
1.4.7 Tipos de sistemas troncalizados	11
1.4.8 Comparativa entre un sistema de radio convencional y troncalizado.....	14
1.4.9 Modelos de propagación en interiores	15

1.4.10	Propagación sin línea de vista (NLOS)	16
1.5	Antecedentes	16
1.6	Limitantes	17
CAPÍTULO 2.....		18
2.	Metodología.....	18
2.1	Delimitación del problema	18
2.2	Posibles soluciones	18
2.3	Selección de la mejor propuesta.....	19
2.4	Justificación de la solución.....	20
2.5	Diseño conceptual	20
2.6	Metodología de diseño	22
2.6.1	Descripción de fase de observación y toma de datos	23
2.6.2	Descripción de fase de experimentación y formulación	34
2.6.3	Descripción de la fase de diseño	39
2.6.4	Descripción de la fase de implementación y prueba	41
2.6.5	Descripción de la fase final o simulación	42
CAPÍTULO 3.....		44
3.	Resultados y análisis	44
3.1	Análisis del estado actual del sistema	44
3.1.1	Estudio de la ocupación espectral con línea de vista (LOS).....	47
3.1.2	Estudio de la ocupación espectral sin línea de vista (NLOS)	49
3.1.3	Análisis de pérdidas con modelo multi-muro para interiores.....	52
3.2	Análisis del estado mejorado del sistema.....	55
3.2.1	Solución mejorada	55
3.3	Comparativa del sistema actual vs. mejorado.....	67
3.4	Análisis financiero.....	69

CAPÍTULO 4.....	71
4. Conclusiones Y Recomendaciones.....	71
Conclusiones.....	71
Recomendaciones.....	72
BIBLIOGRAFÍA	73
APÉNDICES.....	75

ABREVIATURAS

TAGSA	Terminal Aeroportuaria De Guayaquil S.A
FS	Free Space
MWM	Modelo de propagación Multi-Wall
SRT	Modelo de propagación Standard Ray Tracing

SIMBOLOGÍA

dBm Decibel-milivattios

w Vatios

m Metros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 El esquema de una modulación analógica. (Orostegui, 2007)	5
Figura 1.2 Grafica de calidad de voz vs distancia al transmisor. (Orostegui, 2007)	6
Figura 1.3 Sistema de Radio Convencional. (Soto, 2009).....	7
Figura 1.4 Red de Comunicación Troncalizado. (Soto, 2009).....	10
Figura 1.5 Elementos de un sistema típico de comunicación troncalizada. (Medina, 2015).....	10
Figura 1.6 Diseño trunking monositio con controlador dedicado. (Orostegui, 2007)..	12
Figura 1.7 Diseño trunking monositio con controlador distribuido. (Orostegui, 2007)	13
Figura 1.8 Sistema trunking simulcast. (Orostegui, 2007).....	14
Figura 1.9 Funcionamiento del sistema convencional y troncalizado. (Sangronis, 2016)	14
Figura 2.1 Fases para la implementación de la solución.....	21
Figura 2.2 Vista satelital de Cerro Azul desde. (Google Earth, 2021)	23
Figura 2.3 Simulación de Enlace con Software Radio Mobile.....	24
Figura 2.4 Ubicación de Radio Bases Motorola GTX. (TAGSA, 2017).....	25
Figura 2.5 Ubicación de las antenas TX/RX en la Terminal. (TAGSA, 2017).....	26
Figura 2.6 Antenas Rx ubicada en la Terraza Norte de la Terminal.	27
Figura 2.7 Antenas Rx ubicada en la terraza Sur de la Terminal.....	27
Figura 2.8 Motorola PRO-7550. (Mx, 2019).....	28
Figura 2.9 Motorola DGP 6150 + con display. (EMTY, 2019)	29
Figura 2.10 Motorola DGP 4150+ (sin display). (EMTY, 2019).....	30
Figura 2.11 Móvil Base Motorola GTX. (Motorola, 2019)	30
Figura 2.12 Diagrama para toma de datos. (Mendes, 2019).....	31
Figura 2.13 Antena AOR DN753. (Mendes, 2019)	32
Figura 2.14 Filtro Elimina Banda. (Mendes, 2019)	32
Figura 2.15 Analizador de Espectro R&S FSL6. (Schwarz, 2022).....	33
Figura 2.16 Planta baja del edificio Aeroportuario. (TAGSA, 2017).....	33
Figura 2.17 Fenómenos de propagación. (Mendes, 2019)	34
Figura 2.18 Listado de servicios con título habilitante.	39
Figura 2.19 Inventario de radios operativas en la terminal Aeroportuaria.	39

Figura 2.20 Vista satelital del Cerro del Carmen. (Google Earth, 2021).....	41
Figura 2.21 Vista de rendimiento de Radio Frecuencia en software Ekahau.....	42
Figura 2.22 Mapa de calor de cobertura de la planta baja.....	43
Figura 2.23 Mapa de calor del SNR en la planta baja.....	43
Figura 3.1 Zonas sin cobertura en la planta baja o nivel 0.0.....	44
Figura 3.2 Zonas sin cobertura en la planta alta o nivel 6.50.....	45
Figura 3.3 Zonas sin cobertura en el piso intermedio o nivel 3.10.....	46
Figura 3.4 Sectores con déficit de cobertura -Patio de equipajes y bandas.....	46
Figura 3.5 Pasarela de arribos internacionales en nivel 3.10.....	47
Figura 3.6 Medición en la terraza Norte de la terminal.....	47
Figura 3.7 Vista en exteriores de Puente de embarque Pit 20 junto a los patios de equipajes.....	56
Figura 3.8 Vista de Puente de Embarque Pit 20 desde el interior de la terminal.....	56
Figura 3.9 Propagación de señal en el nivel 6.50.....	59
Figura 3.10 Cobertura de la señal dentro de la planta baja.....	60
Figura 3.11 Valores de la SNR en la planta baja.....	60
Figura 3.12 Plano y ubicación de toma de datos en patio de equipajes.....	61
Figura 3.13 Plano y ubicación de toma de datos en nivel 3.10, bandas de equipaje.....	61
Figura 4.1 Antenas de la terraza Norte.....	76
Figura 4.2 Antenas de la terraza Norte.....	76
Figura 4.3 Antenas de la terraza Sur.....	77
Figura 4.4 Antenas de la terraza Sur.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparativa entre sistema convencional y troncalizado.....	15
Tabla 1.2 Relación de aspectos positivos de cada sistema.....	15
Tabla 2.1 Comparación de ventajas y desventajas	19
Tabla 2.2 Datos de enlace simulado desde Cerro Azul vs TAGSA.	24
Tabla 2.3 Especificaciones Generales de Radio Motorola PRO7550.....	28
Tabla 2.4 Especificaciones de Rx de Radio Motorola PRO7550.....	28
Tabla 2.5 Especificaciones de Tx de Radio Motorola PRO7550.	29
Tabla 2.6 Especificaciones Generales de Radio Motorola DGP 6150+.	29
Tabla 2.7 Especificaciones de Tx de Radio Motorola DGP 4150+.	29
Tabla 2.8 Especificaciones de Rx de Radio Motorola DGP 4150+.	30
Tabla 2.9 Especificaciones Generales de Radio Motorola DGP 4150+.	30
Tabla 2.10 Especificaciones Generales de Radio Motorola GTX.	30
Tabla 2.11 Sistemas troncalizados estandarizados y patentados.	37
Tabla 2.12 Cantidad de radios que posee cada departamento.	40
Tabla 3.1 Datos obtenidos en la terraza Norte	48
Tabla 3.2 Datos obtenidos en la terraza Sur.....	48
Tabla 3.3 Perdidas de trayecto obtenidas en la terraza Norte	49
Tabla 3.4 Perdidas de trayecto obtenidas en la Terraza Sur	49
Tabla 3.5 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.	50
Tabla 3.6 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio..	50
Tabla 3.7 Perdidas reales desde la terraza Norte a los diferentes niveles.....	51
Tabla 3.8 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.	51
Tabla 3.9 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio..	51
Tabla 3.10 Perdidas reales desde la terraza Sur a los diferentes niveles.	52
Tabla 3.11 Perdidas MWM desde terraza norte a nivel 6.50.	53
Tabla 3.12 Perdidas MWM desde terraza norte a nivel 3.10.	54
Tabla 3.13 Perdidas MWM desde terraza norte a nivel 0.0.	54
Tabla 3.14 Perdidas MWM desde terraza sur a nivel 6.50.....	54
Tabla 3.15 Perdidas MWM desde terraza sur a nivel 3.10.....	55
Tabla 3.16 Perdidas MWM desde terraza sur a nivel 0.0.....	55
Tabla 3.17 Ubicaciones de antenas repetidoras.....	57

Tabla 3.18 Datos obtenidos en el informe de Radio Mobile en la terraza Norte	57
Tabla 3.19 Datos obtenidos en el informe de Radio Mobile en la terraza Sur.....	57
Tabla 3.20 Datos obtenidos en el informe de Radio Mobile en el Pit 20.	58
Tabla 3.21 Perdidas obtenidas del informe de red en la terraza Norte.....	58
Tabla 3.22 Perdidas obtenidas en el informe de red en la Terraza Sur.....	58
Tabla 3.23 Perdidas obtenidas en el informe de red del Pit 20.....	59
Tabla 3.24 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.	62
Tabla 3.25 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio.	62
Tabla 3.26 Perdidas la terraza Norte a los diferentes niveles.....	62
Tabla 3.27 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario	63
Tabla 3.28 . Desviación estándar de la potencia en los diferentes niveles del edificio.	63
Tabla 3.29 Perdidas de la terraza Sur a los diferentes niveles.....	63
Tabla 3.30 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.	64
Tabla 3.31 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio	64
Tabla 3.32 Perdidas del Pit 20 a los diferentes niveles.....	64
Tabla 3.34 Perdidas MWM desde Pit 20 a nivel 6.50.....	66
Tabla 3.35 Perdidas MWM desde Pit 20 a nivel 3.10.....	66
Tabla 3.36 Perdidas MWM desde Pit 20 a nivel 0.0.....	66
Tabla 3.37 Porcentajes de error reales vs simulados.....	67
Tabla 3.38 Porcentaje de mejora en las perdidas MWM.....	69
Tabla 3.38 Costos por servicios prestado	69
Tabla 3.39 Detalle de Equipos y servicios para implementar nuevo sistema.....	70

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las terminales aéreas son edificaciones donde los viajeros pasan a embarcar y desembarcar de los aviones para llegar o ir a otros destinos. Por lo general estas edificaciones son sumamente grandes y con áreas públicas y áreas estériles según las secciones que debe cumplir el pasajero para poder abordar el avión.

Muchas de estas áreas carecen de señal para comunicar algún móvil o debido a la infraestructura o a la esterilidad de esta. (TAGSA, 2017) Es por eso, que los colaboradores de las distintas áreas de las instalaciones del Aeropuerto necesitan un medio de comunicación para poder transmitir y receptor alguna novedad o emergencia que se suscite en el sitio.

Usualmente el medio de comunicación de los colaboradores no es un móvil ya que este no brinda señal en todas las áreas de la terminal, especialmente las áreas estériles, por lo que para comunicarse usan un radio de dos vías o radio troncalizado para transmitir o receptor el mensaje entre el personal operativo. Otro motivo del uso de los radios es porque su cobertura es mucho más económica en comparación a el uso de un móvil con servicio de telefonía, debido a la cantidad de personal que existe en el área. Las infraestructuras como aeropuertos, terminales usan sistemas de comunicación como los de radio troncalizado fijos y móviles, los cuales hacen más rápida y eficaz la comunicación de voz.

1.1 Descripción del problema

La empresa que se dedica a administrar y operar a la terminal Aeroportuaria de Guayaquil se llama TAGSA. La misión de esta empresa privada se basa en mejorar la calidad de seguridad y servicio con el fin de administrar bien sus recursos para satisfacer a los usuarios que hacen uso de esta infraestructura. (TAGSA, 2017) El problema radica en la falta de cobertura dentro de las instalaciones del aeropuerto, al suscitarse alguna novedad de suma urgencia en donde el personal operativo debe estar enterado para actuar de inmediato ante la emergencia, como es el caso del personal de bomberos por

alguna emergencia de derrame de combustible o en una alerta de alarma de incendio dentro de las instalaciones.

El personal del departamento de seguridad debe estar al tanto si se suscita alguna novedad con alguna persona que este ocasionando disturbio o tenga actitud sospechosa. El personal de mantenimiento pendiente en el caso que algún equipo deje de funcionar, como en los atascos de maletas en el sistema de bandas de equipaje, el sistema se detiene y el personal debe acudir de inmediato a poner las bandas nuevamente operativas, o cuando ocurre un fallo en los puentes de embarque, se debe acudir de inmediato para evitar demoras en los vuelos, etc.

1.2 Justificación del problema

Desde los inicios TAGSA se preocupó por suplir las necesidades que tenía el personal operativo. Cada vez que incrementaba el tráfico de vuelos, también se aumentó el personal, lo que provocaba una falta de comunicación interna. Las ampliaciones de la infraestructura del edificio debido a la demanda de espacio con respecto a la cantidad de pasajeros fue otro motivo por el cual suplir esta necesidad se volvió algo indispensable. Desde un comienzo la empresa MULTICOM que es una prestadora de servicio ha ofrecido un sistema de comunicación analógico, que hoy en día no satisface las necesidades de comunicación, dado que el personal ha crecido como también el número de departamentos.

Económicamente hablando este sistema tuvo un costo aproximadamente de \$15.000 en equipos y periféricos. Ahora actualmente debido a los cambios en la infraestructura y aumento de personal operativo este sistema tiene déficit de cobertura de la señal en zonas específicas. Una de las soluciones que la empresa prestadora de servicio ha dado es de una migración a un sistema a digital, este tendría un costo aproximado de \$10.000 haciendo que los equipos actuales queden obsoletos. Esto a la empresa no lo ve conveniente, debido a los gastos en otras necesidades una de ellas es la bioseguridad por el COVID 19. Uno de nuestros objetivos sería hallar una solución que este acorde a los gastos de la empresa y que éste sea menor a las cifras anteriormente mencionadas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la cobertura actual de un sistema troncalizado y diseñar un sistema con coberturas mejoradas.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Monitorear el estado el estado actual de la cobertura de señal dentro de la Terminal, con el fin de tener un campo más detallado para visualizar las posibles fallas en el sistema.
2. Obtener datos que nos faciliten el estudio y análisis del estado actual de sistema de radio troncalizado, con el fin de crear una tabla de respaldo de los resultados actuales de potencia de señal.
3. Realizar la simulación del sistema actual de la Señal de Radio, como producto inicial de nuestra investigación.
4. Diseñar un nuevo sistema de comunicaciones de radio troncalizado en base a cálculos teóricos de las dimensiones de la infraestructura, el área de cobertura de esta y que sea económico para la empresa, teniendo en cuenta los valores ya obtenidos en el monitoreo actual del sistema.
5. Crear la simulación ingresando estos valores teóricos, y obteniendo valores simulados que nos ayuden a visualizar posibles falencias en este nuevo sistema mejorado.

1.4 Marco teórico

Para efectuar conclusiones y resultados válidos para ejecutar el análisis, se reconocerá y tomara en cuenta las investigaciones y datos pertinentes acerca de la aplicación de este tema, como no se ha encontrado una investigación en específico en comparación a la que vamos a realizar.

Se tomará en cuenta las investigaciones relacionadas como de donde provienen y su validez e importancia para la sociedad.

1.4.1 Los sistemas de radio comunicación actualmente

Los sistemas de radiocomunicación se basan en ondas electromagnéticas para transmitir información por medio del aire, creando un modo de comunicación eficiente y rápido para aquellos que necesitan comunicarse como las personas que trabajan en el transporte y seguridad pública, para la comunidad.

Dependiendo del tipo de modulación utilizado, un sistema de radiocomunicaciones puede clasificarse como tecnología analógica o digital. Para un sistema de comunicación de voz y datos el diseño preferido es de tipo analógico, para transmitir información indiscriminada. Actualmente, existen más alternativas de diseño para este tipo de transmisión entre ellos un sistema convencional, el troncalizado y por último el diseño híbrido, que es una mezcla de los dos anteriores.

Escogiendo la arquitectura y tecnología a usar en el proyecto de seguridad pública se puede admitir la modulación analógica como la digital. Además, para este tipo de proyectos se necesita una evaluación adicional que es el presupuesto del diseño propuesto, haciendo énfasis a las políticas financieras de la agencia, donde estas casi siempre prevalece para poder dar inicio al proyecto.

Por las agencias de seguridad pública por mucho tiempo han elegido la arquitectura de los sistemas convencionales, pero los avances tecnológicos dramáticos, junto con la creciente demanda de números de espectro, muchas agencias se han visto obligadas a cambiar a sistemas de alta frecuencia enlazados por radio a medida que reemplazan los sistemas obsoletos.

Al determinar la arquitectura que mejor satisface los requerimientos de una agencia es importante comprender los elementos que comprende cada una de las arquitecturas, es decir, el sistema de radio tradicional o el trunking, donde se podrá comparar los aspectos positivos y negativos.

1.4.2 Clasificación de los sistemas de radiocomunicación

Según su modulación:

Se entiende como modulación al proceso por medio del cual la información (datos o voz) se transporta a través de una señal de radio. (Oróstegui, 2007)

Sistema de radio análogos.

Los sistemas de radio análogos se produjeron principalmente para la realización de comunicaciones de voz.

Sistema de radio digitales

Los sistemas de radio digitales a diferencia de los sistemas análogos fueron diseñados para poder comunicar no solo voz, sino para transferir datos de la misma manera.

Según su arquitectura:

Se entiende como estructura del sistema de comunicación al diseño y ubicación de las diferentes herramientas que se utilizan para hacer funcionar el sistema y de qué manera singular trabaja.

1.4.3 Tecnología analógica vs. digital

En los sistemas de radio comunicación existen tecnologías analógicas y digitales que difieren por el tipo de modulación que pueden usar. En si la modulación es el proceso donde la transmisión de la información (voz y datos) se realiza a través de una señal de radio en un canal inalámbrico como el aire.

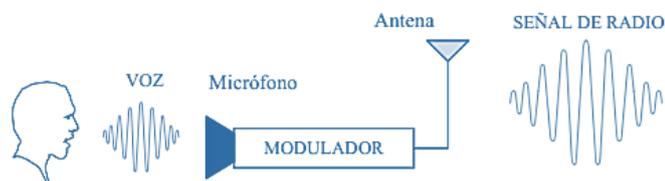


Figura 1.1 El esquema de una modulación analógica. (Oróstegui, 2007)

Hablando desde el pasado las agencias de seguridad pública han usado como medio de comunicación el sistema de radio, que aun tienen el diseño analógico, dado que este tipo de diseño satisfacen todas sus necesidades en comunicar todos sus operadores. A medida que la tecnología va avanzando también los sistemas se actualizan por tal motivo

han tenido un gran auge los sistemas de tipo digital, dado que en el mercado está teniendo un gran impacto en la seguridad pública. (Orostegui, 2007)

Para tener una mejor calidad de cobertura de voz se implementa la encriptación de voz en la transmisión de datos, conjunto a otras peculiaridades como el rendimiento del espectro, se dice que la tecnología favorita para el avance futuro de los sistemas de comunicación por radio, es la modulación digital. Para entender por qué el mundo de la radiocomunicación móvil está intercambiando la modulación analógica por la modulación digital, es muy importante comparar los beneficios de las dos modulaciones en los aspectos como seguridad, costo, cobertura, calidad de voz y los servicios de valor agregado que se pueden ofrecer. (Orostegui, 2007)

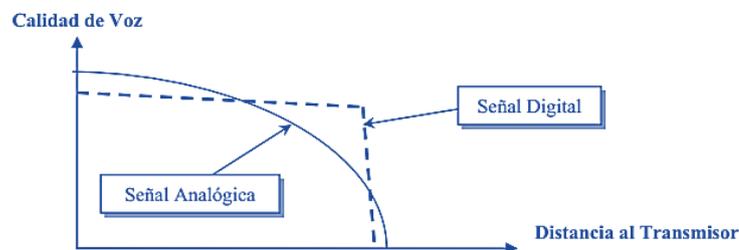


Figura 1.2 Grafica de calidad de voz vs distancia al transmisor. (Orostegui, 2007)

1.4.4 Sistema de radio convencional

Cuando se habla de radio convencional se dice que tiene la estructura de radio bidireccional más utilizado tanto para servidores públicos como asociaciones privadas, dado su bajo costo de implementación y su eficiencia comprobada en comparación con otros tipos de sistemas, tomando en cuenta que hace alrededor de 40 años era la única elección para elegir un sistema de radiocomunicación móvil. (Orostegui, 2007)

Estos sistemas pueden variar sus capacidades y ser más complejos independientemente del número de personas que lo utilizan, pero todos estos funcionan si a una frecuencia específica llamado canal se le designan usuarios o individuos, si el canal se encuentra en uso, los otros individuos designados en el mismo canal deberán esperar que esté disponible para poder acceder y comunicarse. (Orostegui, 2007)

En este sistema de radio se puede incluir tanto las portátiles, móviles como las radios bases, estos sistemas también se los puede clasificar de acuerdo con su geografía y diseño como la información a continuación.

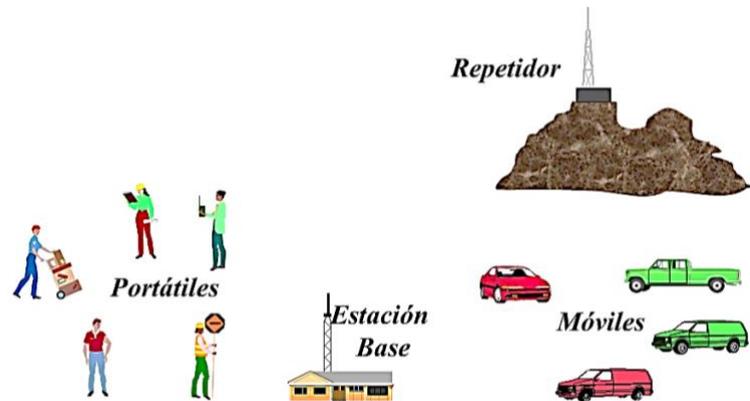


Figura 1.3 Sistema de Radio Convencional. (Soto, 2009)

1.4.5 Clasificación de sistemas de radio convencionales

A continuación, se describirán dos tipos de sistemas de radios convencionales que se usan para dar una solución de comunicación en infraestructuras.

1.4.5.1 Tipo de arquitectura point to point

El diseño más sencillo y básico de la arquitectura convencional es el llamado punto a punto ya que este se basa en transmitir la información en este caso solo voz de un punto a otro punto, teniendo un transmisor en el origen y un receptor en el destino.

1.4.5.2 Tipo de arquitectura con repetidor

El equipo utilizado como estación base remota y convenientemente ubicado en un área geográfica para optimizar la cobertura de las radios se llama repetidor, su función básicamente se centra en repetir automáticamente la señal de radio recibida. Cuando el repetidor trabaja recibiendo y transmitiendo señales simultáneamente, normalmente este comportamiento es llamado modo dúplex. (Orostegui, 2007)

Cuando se usa el repetidor en un sistema convencional los grupos de radios portátiles o móviles reciben la señal a una distancia más lejana, por tal motivo este equipo se lo ubica geográficamente en los lugares con mayor altura para que la señal pueda ser

retransmitida a mayor distancia a todas las radios sintonizadas a la frecuencia de comunicación. (Orostegui, 2007)

Las radios son aquellas que controlan el tiempo de activación cuando desean comunicarse y desactivación cuando la comunicación finaliza, por lo tanto, la buena eficiencia del sistema dependerá de la coordinación y disciplina de los individuos a la hora de poder acceder al canal para evitar interferencia, se puede considerar como limitantes la potencia de transmisión del repetidor, la sensibilidad de las radios para poder recibir la señal y las características de la geografía del lugar. Cabe recalcar que en las radios se pueden guardar una frecuencia adicional que coincida con la del repetidor, permitiendo que entre radios se puedan comunicar si la necesidad del repetidor. (Orostegui, 2007)

1.4.5.3 Tipo de arquitectura con despacho central

El diseño de este tipo de arquitectura tiene una base o un grupo de estaciones base que se conectan a un equipo de control central, desde donde controlará la transmisión o recepción de la información, por medio de los canales disponibles. Está en comparación con la anterior tiene ventajas como las siguientes:

- **Control de comunicación:** Se obtiene una mayor manera de comunicación al tener todas las radios sintonizadas a la misma frecuencia, donde el centro de despacho puede permitir la comunicación de uno con otro enviándoles un mensaje para quedar con los individuos y asignarles una nueva frecuencia donde se podrán comunicar.
- **Capacidad de realizar Patch:** Los equipos de comando centralizados pueden incorporar subsistemas donde permite al despachador poder conectar el audio de dos o más grupos diferentes que transmiten información frecuencias distintas.

1.4.6 Sistema de radio troncalizado

En la comunicación del transmisor con el receptor existe un origen y destino que marca el camino que cumple la información que es transmitida, cuando estos son controlados por un computador esta modalidad se llaman troncalizados (trunks), además tienen esquemas que controlan la compartición de la suficiencia de canales para los individuos.

A diferencia de los sistemas convencionales que mientras tienen canales ocupados también tienen otros en estado de ocio disponibles, el sistema troncalizado equilibra la carga en la totalidad de los canales disponibles aprovechando al máximo toda la capacidad de las radios. (Orostegui, 2007)

Para que este sistema funciones requiere de un dispositivo inteligente de nombre “Controlador Central” quien es el punto de partida central para poder controlar el sistema y el cual debe ejecutar los siguientes trabajos:

1. Interpretar las solicitudes de las radios.
2. Verificar la autenticidad de los usuarios en el sistema.
3. Seleccionar el repetidor más desocupado.
4. Formular y enviar la información a través de la frecuencia asignada.
5. Enviar el comando de activación para el repetidor seleccionado.
6. Supervisar los recursos detectando los menos utilizados.
7. Enlistar los recursos disponibles.
8. Enlistar los recursos designados.
9. Supervisar el estado general de los recursos y software.
10. Enlistar radios operativas.
11. Aconsejar a las personas sobre los recursos, automáticamente cuando queda uno disponible es asignado. (Orostegui, 2007)

Esta tecnología se extendió hasta involucrar a los repetidores que requieren subsistemas y capacidad programada para que se comunique con el controlador central. El sistema tiene subsistemas que las radios usan, además de tener una programación para los procesos de codificación y decodificación de los mensajes. Además, este tipo de tecnología ofrece el acceso de cualquier repetidor según el controlador central. (Orostegui, 2007)

Este sistema requiere de una mayor inversión para adquirirlo, instalarlo y mantenerlo, así también, de personal más capacitado para poder manejar su funcionamiento.

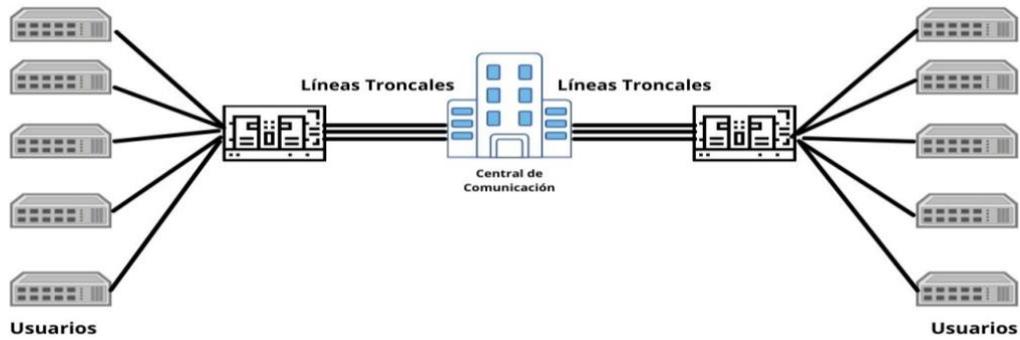


Figura 1.4 Red de Comunicación Troncalizado. (Soto, 2009)

A continuación, se escriben dos definiciones de las más aceptadas para un sistema de radio troncalizado y en la figura 1.5 se puede visualizar sus componentes principales.

- a. Es un sistema de radiocomunicaciones para servicios terrestres y móviles fijos mediante pares de frecuencias en el que la estación establece comunicación mediante acceso automático a cualquier canal disponible.
- b. Es un sistema de comunicación por radio que utiliza pares de frecuencias para establecer la comunicación accediendo automáticamente a estos canales.

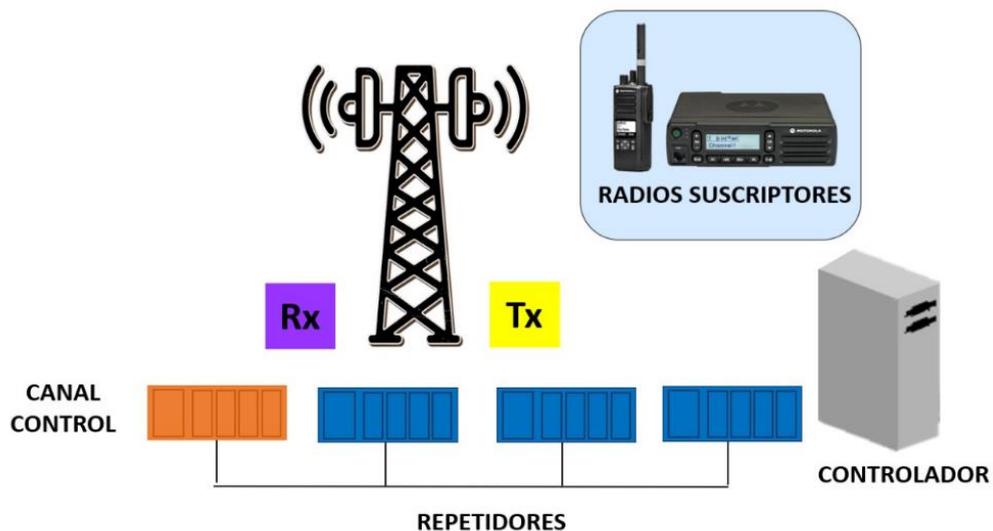


Figura 1.5 Elementos de un sistema típico de comunicación troncalizada. (Medina, 2015)

1.4.7 Tipos de sistemas troncalizados

Hay diferentes tipos de sistemas de clúster, sistema de clúster de un solo punto y sistema de múltiples puntos que se describirán a continuación.

1.4.7.1 *Sistemas troncalizados monositio*

Existen dos tipos de sistemas troncalizado monositio como se puede observar en las figuras 1.6 y 1.7. A continuación se detallan las partes que conforma un sistema troncalizado monositio típico:

- **Suscriptores**

Estos son transmisores móviles, estaciones móviles o base, dispositivos de radio con capacidad multifrecuencia que permiten que el sistema se comunique, con cada dispositivo de radio asignado un identificador (ID) al controlador. El controlador central puede determinar qué radios están permitidas en el sistema. (Orostegui, 2007)

- **Controlador Central**

El controlador central supervisa, mantiene el orden y procesa la transmisión de datos en el sistema, asigna repetidores a los canales de voz y mantiene una lista de identificadores en su base de datos para cada chat que tiene acceso al sistema. (Orostegui, 2007)

- **Repetidores**

Este repetidor actúa como una parada de RF, actuando como un enlace de RF entre la radio y el sistema.

- **Canal de Control**

El canal de control cumple la función de poder organizar la transferencia de los datos al momento de la designación de los canales de información de las radios dentro de la cobertura del sistema, transmite y recibe la información requerida para controlar y supervisar la operación de los suscriptores, para la comunicación de voz se usan los otros canales mientras que el canal de control permanezca activo. (Orostegui, 2007)

- **Canales de Voz**

Canales de voz es el nombre que reciben los repetidores encargados de recibir y retransmitir la información de voz. (Orostegui, 2007)

- **Combinador**

Combina las señales de salida de RF de múltiples transmisores en una sola salida.

- **Multi-acoplador**

usando una única antena Se encarga de conectar varios receptores de manera que la impedancia de esta unidad esta adecuadamente ajustada a la impedancia de la antena. (Orostegui, 2007)

- **Sistema de antenas**

La antena transmisora/receptora es independiente, equilibrando la cobertura de entrada y salida del sistema. En un sistema de radio troncalizado, la separación del sistema de antena de transmisión y recepción asegura que la computadora portátil pueda recibir y devolver la señal para que pueda participar en llamadas desde cualquier lugar. (Orostegui, 2007)

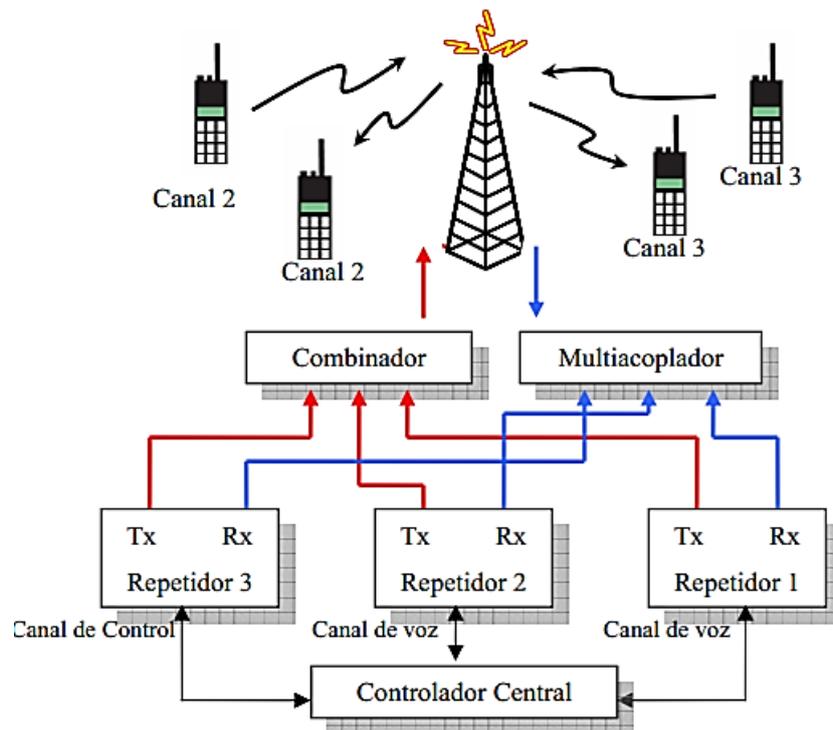


Figura 1.6 Diseño trunking monositio con controlador dedicado. (Orostegui, 2007)

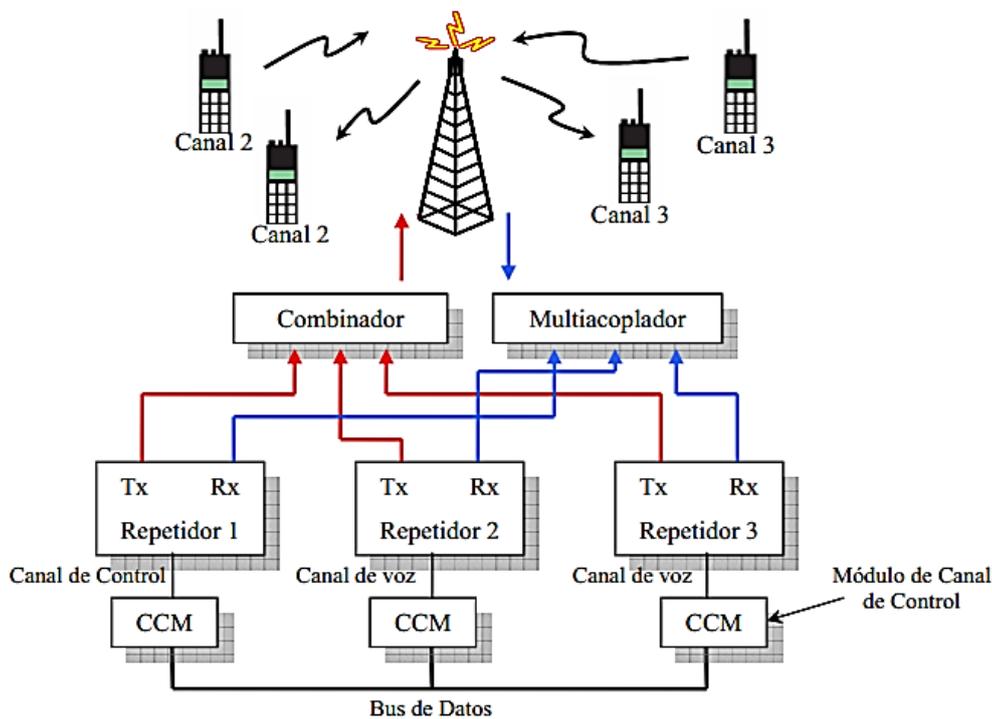


Figura 1.7 Diseño trunking monositio con controlador distribuido. (Orostegui, 2007)

1.4.7.2 Sistema troncalizado multisitio

Este sistema de consiste en tener una mayor capacidad de cobertura y ofrece una comunicación por radio en lugares donde no podría cubrir el sistema Monositio. Este se lo puede considerar como un conjunto de los sistemas mono sitio con un punto de control localizado central y la repartición de audio. (Orostegui, 2007)

El equipo que tiene la responsabilidad de supervisar los equipos y subscriptores de todas las zonas se llama controlador maestro y el que coordina y controla el funcionamiento de las zonas individualmente es el controlador centralizado local. Esta es la manera de que este sistema permite mantener la comunicación de un grupo de personas, aunque se alejen varios kilómetros de la zona geográfica mientras estén dentro del sistema podrán aun transferir información. (Orostegui, 2007)

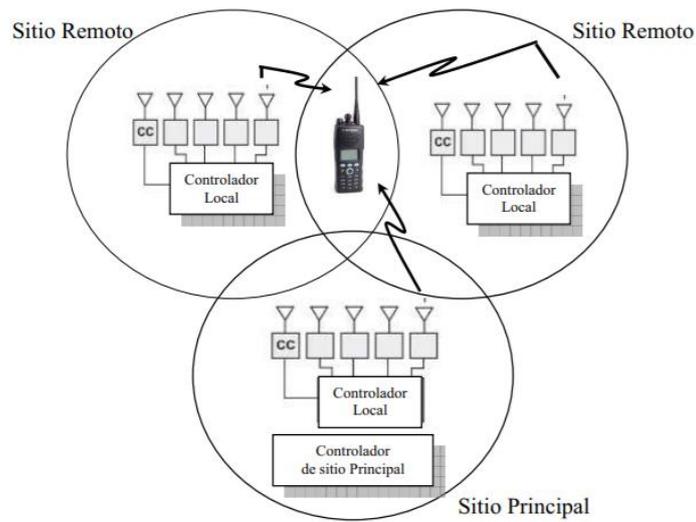


Figura 1.8 Sistema trunking simulcast. (Orostegui, 2007)

1.4.8 Comparativa entre un sistema de radio convencional y troncalizado

Ambos sistemas en las telecomunicaciones tienen muchas aplicaciones, pero cada uno tiene sus características que los hacen más o menos ventajosos para cierta aplicación, algunos de las características que pueden hacer la diferencia es el número de usuarios en el sistema o la privacidad que tiene el uno y el otro. En la figura 1.9 se puede apreciar cómo funcionan los diferentes sistemas mencionados. Como se puede observar con un sistema convencional la comunicación es limitada a una sola antena mientras que en el sistema troncalizado dependiendo de la ubicación del usuario se conecta a la antena más cerca.

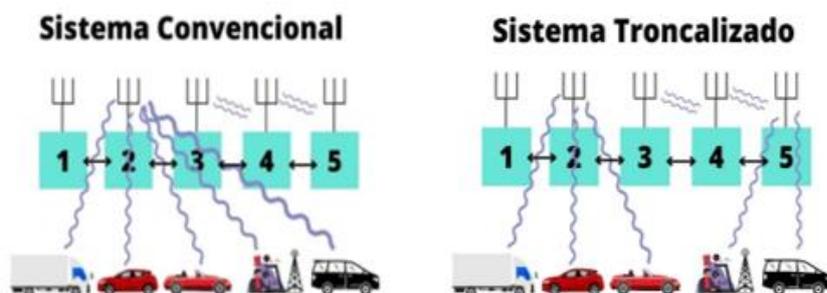


Figura 1.9 Funcionamiento del sistema convencional y troncalizado. (Sangronis, 2016)

La Tabla 1.1 muestra las ventajas del sistema de clústeres sobre los sistemas tradicionales, mientras que la Tabla 1.2 muestra las principales características de ambos sistemas.

Parámetro	CONVENCIONAL	TRONCALIZADO
Acceso al sistema	Los usuarios deben saber si el canal esta libre antes de transmitir.	Los usuarios automáticamente son asignados a un canal para transmitir.
Privacidad	Limitada, casi nula.	Se puede registrar grupos, donde ninguno interfiere con el otro en la conversación.
Prioridad	No existe	Prioridad de multinivel.
Fila de espera	No existe	Cola FIFO con prioridad.

Tabla 1.1 Comparativa entre sistema convencional y troncalizado.

CONVENCIONAL	TRONCALIZADO
Poca duración de llamada	Uso eficaz de espectro
Arquitectura Sencilla	Alto grado de servicio del sistema.
Sencilla interfuncionamiento multi-organizacional.	Mayor capacidad
Se realiza muy poca capacitación para sus trabajadores.	Gran escalabilidad del sistema
Bajo costo de mantenimiento.	Mejor seguridad
Bajo costo de sus unidades.	Sobresaliente y confiable
	Para diferentes tipos de organizaciones
	No es necesaria disciplina de subscriptores
	Administración automática

Tabla 1.2 Relación de aspectos positivos de cada sistema.

1.4.9 Modelos de propagación en interiores

Los sistemas de transmisión hacen uso de un transmisor y un receptor, para transmitir la información teniendo como canal de comunicación el aire, por donde pasan los datos en forma de energía electromagnética (EM). (Fernández, 2006) Aquí también los modelos de propagación tienen un papel fundamental dado que depende de ellos como

se comporten en el ambiente en el cual son transmitidos, esta característica por lo general son en los sistemas de comunicación de tipo inalámbrica.

Además de analizar la imagen del efecto de propagación en función de la actividad y el alcance de la onda electromagnética, es necesario conocer de antemano qué factores dificultan el intercambio de señal completa entre transmisor y receptor como por ejemplo en rango de frecuencia. (Fernández, 2006) Existen dos tipos de propagación, los que tienen línea de vista entre el transmisor y receptor llamado LOS y los que por alguna situación de infraestructura o ambiente en el que se encuentran no existe esta línea de visión y es conocido como NLOS.

1.4.10 Propagación sin línea de vista (NLOS)

Los obstáculos en un ambiente cerrado bloquean el camino de las ondas electromagnéticas. Cada obstáculo (paredes, pisos, muebles, etc.) hace que la señal de pierda fuerza en su difusión, a continuación, algunos materiales ante una señal:

- Los objetos metálicos reflejan señales de radio. Esto significa que la señal no pasa a través de las paredes y los objetos metálicos en la habitación, la reflejarán, reduciéndola y atenuándola.
- La madera, el vidrio, el plástico y el ladrillo reflejan algunas señales de radio y el resto las atraviesa.
- Los objetos con mucha humedad absorberán la mayor parte de la señal.

Cuando una señal electromagnética viaja a través de una habitación, se ve afectada por varios fenómenos relacionados los objetos que obstaculizan y sus materiales. Por esa razón, se debe analizar los fenómenos que provocan atenuación en la señal originalmente transmitida. (Fernández, 2006)

1.5 Antecedentes

TAGSA como empresa administradora del Aeropuerto de Guayaquil, vela por la seguridad y la correcta operación de toda la terminal aérea, donde la comunicación es esencial para lograr esta misión. (TAGSA, 2017)

El personal operativo de la terminal debe prestar atención a cualquier suceso no usual que se presente en el turno, para esto su comunicación debe ser eficaz e integra para

lograr sincronizar procesos a cualquier eventualidad, mucho más si hablamos de una emergencia.

La terminal aérea se divide generalmente en lado aire que corresponde a las plataformas comercial-carga y las pistas, y lado tierra que consta de construcción de aproximadamente 60.000 m², corresponde al edificio, donde se subdivide en áreas públicas y áreas estériles, en las cuales actualmente algunas carecen de buena señal para la comunicación por radio troncalizado entre el personal operativo. Este problema conlleva un sin número de molestias a la hora de la comunicación rápida y necesaria a la presencia de un evento poco usual. (TAGSA, 2017)

1.6 Limitantes

TAGSA como empresa administradora del Aeropuerto, posee bases y presupuestos designados a cada área para cumplir con los gastos estimados anuales, debido a la pandemia que se vivió recientemente la empresa tuvo un déficit anual de 5 millones de dólares, haciendo que gastos por bioseguridad y limpieza predominen ante los gastos ya establecidos. La empresa que actualmente brinda el servicio de Radio comunicación es Multicom, esta empresa cobra un costo mensual por el servicio que brinda, pero TAGSA no está a gusto con la calidad de señal q brinda esta empresa.

En años anteriores se ha estudiado la posibilidad de mejorar la calidad de esta señal de radio, que beneficie la comunicaciones internas entre el personal con más nitidez y rapidez, pero la solución que ofrece Multicom es de emigrar todo el sistema de comunicaciones analógico a un sistema digital; esto para nuestra empresa es muy costoso poder implementar este cambio, que va desde cambiar antenas repetidoras a cambiar todos los equipos de radio móviles que tenemos actualmente que son las bases y radios de la marca Motorola. Es por esto y muchos factores más que se necesita estudiar otra alternativa a la mejora de esta señal de radio, que intervenga un presupuesto menor a lo antes propuesto por la empresa prestadora del servicio.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En esta sección se discutirá la metodología utilizada para diseñar e implementar la solución propuesta en el Capítulo 1. Además, se analizará el alcance del proyecto, así como las posibles soluciones que han sido excluidas, restadas por el método de comparación de beneficios y desventajas de cada uno de ellos. Aquí se mostrarán las etapas por las que pasará el proyecto de integración antes de entregar el estudio final y la simulación del servicio de radio comunicaciones mejorado.

2.1 Delimitación del problema

La falta de cobertura ha llevado a analizar algunas hipótesis que ayudarían a detectar los posibles motivos por lo que existe un déficit en la señal de radio dentro del edificio del aeropuerto, uno de ellos es el conocimiento de la existencia de repetidoras pertenecientes a otras empresas concesionarias, a pesar que éstas pueden o no operar en otras bandas de frecuencias, podría ser motivo de interferencia para que en ciertas secciones del edificio no exista cobertura, el análisis de mediciones en estos sectores ayudara a comprender mejor la situación actual de este sistema de comunicaciones.

Otro motivo podría ser el uso de antenas repetidoras que no sean adecuadas para suplir la necesidad de una cobertura en edificios, señalará todos los tipos, y marcas que cumplan con las normativas necesarias para un buen radio enlace.

Geográficamente, también se estudiará la ubicación de las antenas repetidoras tanto en el edificio como las antenas radio-bases de propiedad de Multicom, aquí podría existir una mala ubicación perjudicando el alcance de estas, analizando en este caso, la calidad de la señal con respecto a la distancia entre ellas.

2.2 Posibles soluciones

Para el desarrollo de este proyecto se han tomado en consideración las siguientes propuestas:

1. Desarrollar y rediseñar un mejor sistema de comunicaciones evidenciando mediante una simulación una óptima cobertura en todos los rincones del edificio.

2. Realizar una reingeniería de la ubicación de las repetidoras y radio bases dentro de la terminal.

Una de las soluciones que se han estudiado por parte de la empresa, que por motivos de costo-beneficio no se han podido implementar:

3. Migrar el sistema troncalizado de 2 vías a un sistema digital estudiando costo-beneficio.

Una de las soluciones que la empresa considera una buena opción, pero necesitan aun estudiar todo sobre el tema:

4. Adquirir banda de frecuencia de espectro radioeléctrico mediante un título habilitante y diseñar un sistema de comunicaciones privado y exclusivo para el aeropuerto.

SOLUCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SOLUCION 1	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de estudio. • Se puede manejar los valores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución teórica, por medio de una simulación.
SOLUCION 2	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor manejo de la comunicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo de implementación.
SOLUCION 3	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor servicio de cobertura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo de implementación.
SOLUCION 4	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema sería privado. • Títulos habilitantes propios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo de implementación • Más normativas y permisos

Tabla 2.1 Comparación de ventajas y desventajas

2.3 Selección de la mejor propuesta

Se escoge la mejor solución entre las cuatro propuestas a través de la técnica de comparación de ventajas y desventajas mencionadas en la tabla 2.1. Otro motivo que

afectó la decisión fue el tiempo limitado por la duración de un semestre de pregrado del año 2021 segundo término de la universidad Escuela Superior Politécnica del Litoral. Por medio de recolección de datos del sistema de comunicación actual y también por escasos de recursos económicos del proyecto, se escoge realizar la solución 1, donde se propone rediseñar el sistema mejorando la cobertura en la zona de equipajes especialmente, dado que en este lugar la cobertura es casi nula por motivo de los obstáculos como paredes y pisos, que la señal debe atravesar.

2.4 Justificación de la solución

La necesidad de mejorar la cobertura en las zonas más afectadas es indispensable para mejorar la comunicación entre operadores y empleados en el edificio como también mejorando el ambiente laboral y el trabajo en equipo ante posibles emergencias o novedades suscitadas en el edificio aeroportuario. Además, es necesario que el servicio se encuentre dentro del marco normativo, legal y económico de la empresa. Es importante que el empleado encargado sobre la comunicación del edificio tenga en cuenta este estudio para poder llegar a tomar una decisión más segura acerca de la mejora de la cobertura. Por tal motivo este proyecto se basa en cálculos teóricos sobre la propagación de la señal a través de las paredes, basándose en datos recolectados y simulando una alternativa viable para redirigir la señal hasta las zonas sin cobertura.

2.5 Diseño conceptual

A continuación, en la figura 2.1, se presenta un boceto de las diferentes etapas por las cuales pasara el proyecto integrador antes de llegar al producto final, es decir, la simulación de la propagación de una señal de radio mejorando la cobertura de esta en el edificio.



Figura 2.1 Fases para la implementación de la solución

2.6 Metodología de diseño

Mediante la correcta exploración de zonas ya detectadas sin cobertura de señal, y la correcta toma de datos, llevaremos a cabo un estudio que nos permitirá analizar las posibles fluctuaciones que tiene este sistema de comunicaciones actual y nos llevara a entender mejor como se encuentra actualmente este servicio, permitiéndonos estudiar las falencias existentes en este sistema de comunicación.

En el estudio actual de frecuencia se detectó que las zonas sin cobertura de señal de radio que son las siguientes:

- Nivel 3.40
- BHS
- Patio de Equipajes
- Cuarto de bombas
- Over side
- Arribo internacional – Pasarelas
- Arribo Nacional – Pasarelas
- Bandas equipajes Exteriores – Plataforma
- Filtro Nacional e Internacional
- Baños de toda la terminal

El siguiente paso, será el detalle de las mediciones obtenidas mediante tablas cualitativas y cuantitativas de los datos de señal dentro el edificio para luego comparar datos teóricos de señal de radio, este análisis nos permitirá hallar porcentajes de error en potencia, ganancia y espectro de la señal.

Luego revisaremos los manuales de operación según la marca de los equipos que operan en el aeropuerto, esto nos ayudara a revisar los valores como la frecuencia, banda en que operan, ganancia, si es posible o no acoplar más dispositivos de la misma marca o diferentes, etc. Con todos estos pasos, propondremos un mejor sistema de comunicaciones capaz de establecer enlace y cobertura a todas las zonas con carencia de ésta, con antenas de mejor directividad, equipos de mayor alcance trabajando en la banda de 800 a 900 MHz.

Esta propuesta la llevaremos finalmente a la simulación en el software EKAHAU, donde veremos los planos 2D del edificio Aeroportuario y por medio de mapas de calor veremos por dónde pasa la señal de radio a través de obstáculos (paredes y materiales) dentro del edificio, tomando en cuenta todos los valores de ganancia, frecuencia, análisis espectral que requiere el programa para su correcta simulación.

2.6.1 Descripción de fase de observación y toma de datos

Como primera fase del desarrollo de la solución se inicia con pruebas y observación del estado actual del servicio que mantienen dentro del edificio del Aeropuerto, comprobando así mediante los periféricos de cada usuario que en determinadas zonas no existe cobertura de recepción o simplemente no se puede modular o transmitir información a otros usuarios de periféricos en otras ubicaciones dentro del edificio.

Como inicio de la observación planteamos las características e infraestructura que posee el sistema de comunicaciones de radio troncalizada del cual la empresa MULTICOM es la prestadora de servicio. Esta empresa posee la infraestructura de su central de radio comunicación, es decir, las antenas exactamente en Cerro Azul, ubicado en la Ciudad de Guayaquil, teniendo como Latitud: -2.15 y Longitud: -79.9833

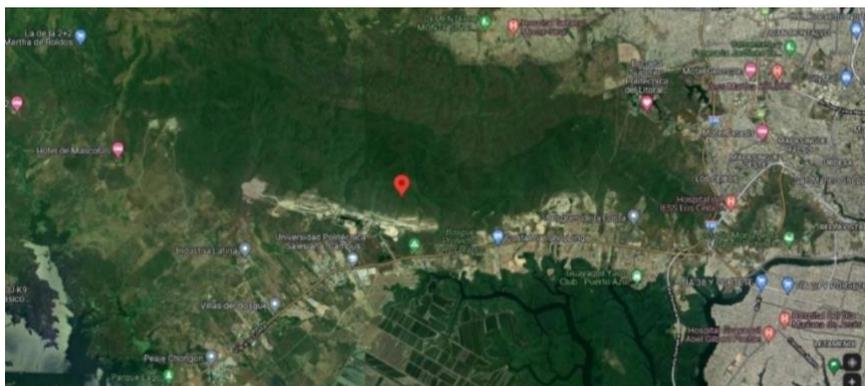


Figura 2.2 Vista satelital de Cerro Azul desde. (Google Earth, 2021)

El enlace se establece a una distancia de 16.8 Km entre la ubicación de las antenas de MULTICOM en Cerro Azul con respecto al aeropuerto de Guayaquil. Para observar el terreno y la vegetación usamos el software Radio Mobile para ver detalles de este enlace de acuerdo con la imagen a continuación.

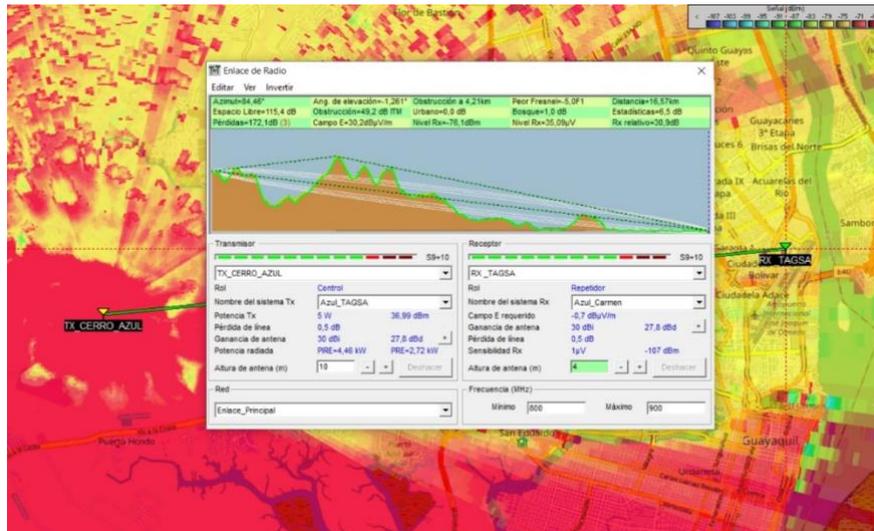


Figura 2.3 Simulación de Enlace con Software Radio Mobile.

Altura Antena TX	10 M
Altura Antena RX	4 M
Ganancia TX	30 dBi
Ganancia Rx	30 dBi
Potencia Tx	5 W 36.99 dBm
Potencia Radiada Tx	PIRE=4456.25 Kw / PRE=2717.25 Kw
Perdida de linea Rx	0.5 dB
Azimut	84.46 °
Angulo de Elevación	1.244°
Obstrucción	a 4.21 Km / 51.6 dB ITM
Peor Fresnei	-5.0 F1
Distancia	16.8 Km
Espacio libre	115.4 dB
Urbano	0.0 dB
Bosque	1.0 dB
Perdidas	174.4 dB
Nivel Rx	-76.4 dB / 33.7 uV

Tabla 2.2 Datos de enlace simulado desde Cerro Azul vs TAGSA.

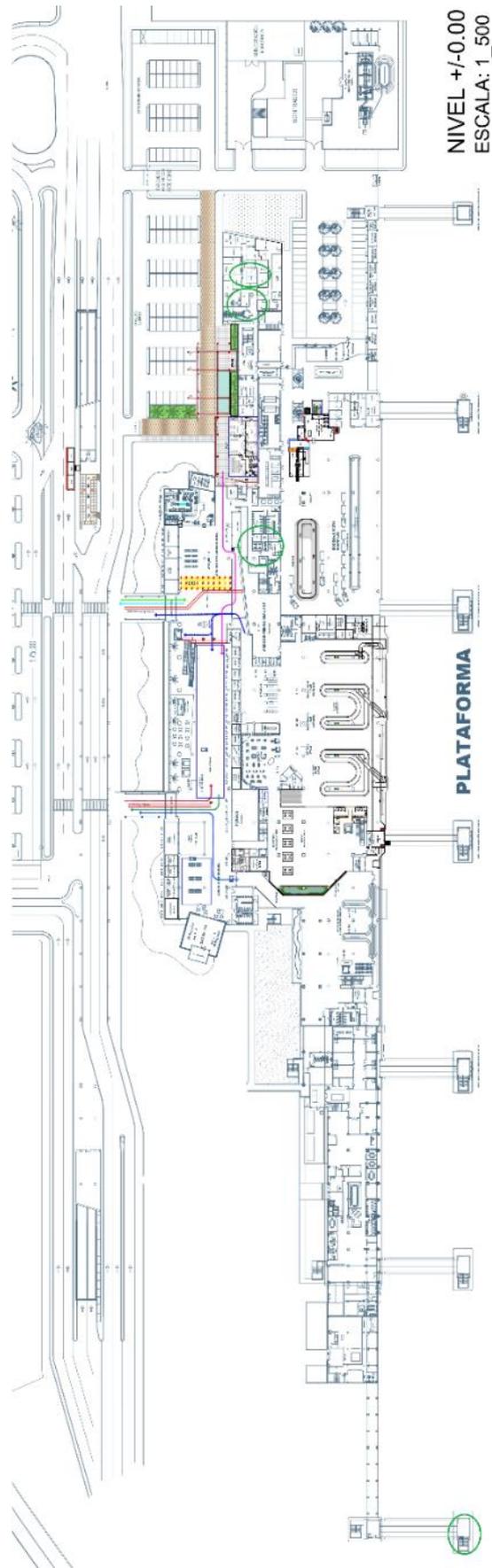


Figura 2.4 Ubicación de Radio Bases Motorola GTX. (TAGSA, 2017)

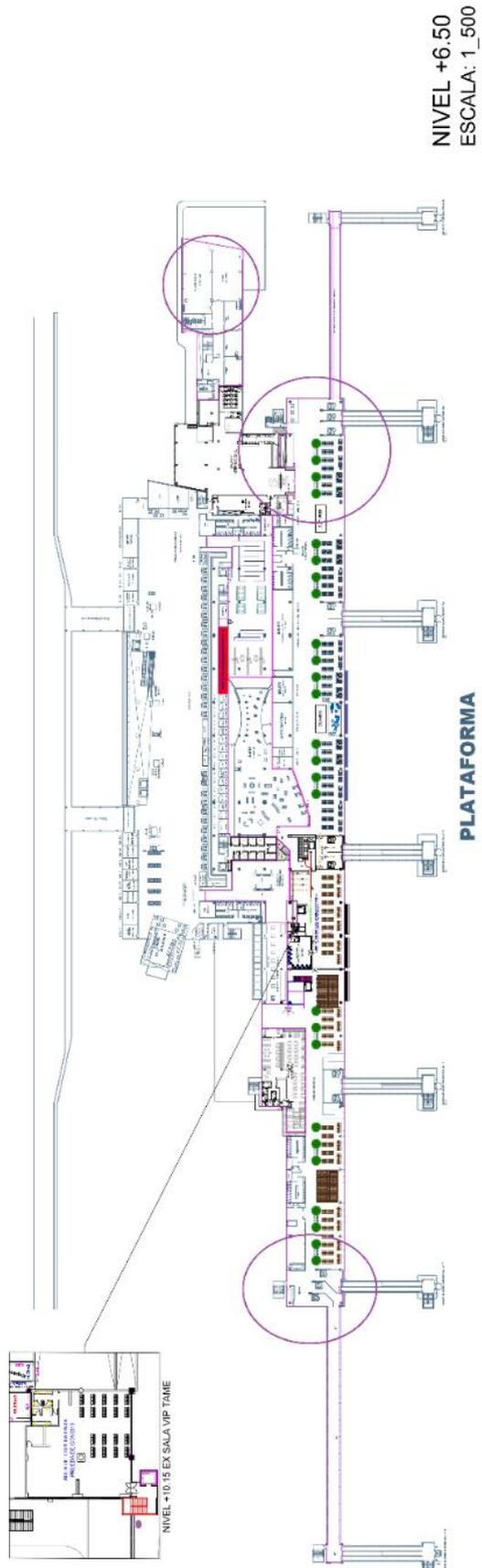


Figura 2.5 Ubicación de las antenas TX/RX en la Terminal. (TAGSA, 2017)

La infraestructura del sistema de comunicaciones consta de Radio-bases, equipos móviles periféricos de la marca Motorola y antenas repetidoras ubicadas dentro del edificio de la Terminal Aeroportuaria según se detallan en las figuras 2.4 y 2.5. Las antenas de RX y de las radio-bases se encuentran ubicadas en las terrazas norte y sur de la terminal y unas pequeñas repetidoras sobre el edificio TAGSA, como se muestran en las figuras 2.6 y 2.7 respectivamente.



Figura 2.6 Antenas Rx ubicada en la Terraza Norte de la Terminal.



Figura 2.7 Antenas Rx ubicada en la terraza Sur de la Terminal.

2.6.1.1 Descripción de sistema actual

La frecuencia de operación de este sistema es de 800 a 900 MHz, dentro del rango de la banda UHF. Los equipos motorola se caracterizan por tener un radio de onda expansiva alrededor de los 80 M² y una ganancia de 3 dB en RX. En el mercado el modelo PRO7550 se encuentra descontinuado por lo que su tecnología análoga también es una desventaja para mejorar el sistema de comunicaciones.

Los periféricos los cuales se realizó las pruebas de funcionamiento son de la marca Motorola con diferentes características las cuales detallamos a continuación:

 <p>Figura 2.8 Motorola PRO-7550. (Mx, 2019)</p>	Generales	800 MHz
	Rango de frecuencia	806-824 MHz/851-869MHz
	Espaciamiento de Canal	12.5/20/25 KHz
	Estabilidad de Frecuencia (-30 a 60 °C, 25°C Ref.	+/- 2.5 ppm 12.5 KHz

Tabla 2.3 Especificaciones Generales de Radio Motorola PRO7550.

Rx	800 MHz
Sensibilidad (12 dB SINAD) EIA (típi	0.25 μV
Intermodulación Conforme EIA	70 dB
Selectividad de Canal Adyacente	70 dB
Rechazo de Espurias	70 dB
Audio Nominal	0.5 W
Distorsión de Audio Comparado con Audio Nominal (típica)	3%
Zumbido y Ruido	-50 dB
Respuesta de Audio (0.3 - 3 kHz)	+1 a -3 dB

Tabla 2.4 Especificaciones de Rx de Radio Motorola PRO7550.

Tx	800 MHz
Potencia de Salida RF	1-2.5 W
Limitación de Modulación	+/- 5.0 KHz – 806-821 KHz / +/- 4.0 KHz – 821 – 821 -824 KHz
Zumbido y ruido FM	-40 dB
Emisiones de Radiación	-66 dBm
Respuesta de Audio (0.3 – 3KHz)	+1 a -3 dB
Distorsión de Audio	3%

Tabla 2.5 Especificaciones de Tx de Radio Motorola PRO7550.

 <p>Figura 2.9 Motorola DGP 6150 + con display. (EMTY, 2019)</p>	Frecuencia	800 MHz
	Rango de Frecuencia	136-174 MHz; 403-495 MHz
	Canal de almacenamiento	1000
	Cobertura de Charla	3 a 8 Km
	Espacio de canales	12.5 / 20 / 25 KHz
	Potencia de Salida	1-4 W (UHF); 1-5 W (VHF)

Tabla 2.6 Especificaciones Generales de Radio Motorola DGP 6150+.

Tx	800 MHz
Potencia de Salida RF	1-2.5 W
Limitación de Modulación	5.0 KHz
Zumbido y ruido FM	-40 dB
Emisiones de Radiación	-13 dBm
Respuesta de Audio (0.3 – 3KHz)	+1 a -3 dB
Distorsión de Audio	5%

Tabla 2.7 Especificaciones de Tx de Radio Motorola DGP 4150+.

Rx	800 MHz
Sensibilidad (12 dB SINAD) EIA (típi	0.25 μ V
Intermodulación Conforme EIA	-65 dB
Selectividad de Canal Adyacente	-65 dB
Rechazo de Espurias	-65 dB
Audio Nominal	0.5 W
Distorsión de Audio Comparado con Audio Nominal (típica)	5%
Zumbido y Ruido	-50 dB
Respuesta de Audio (0.3 - 3 kHz)	+1 a -3 dB

Tabla 2.8 Especificaciones de Rx de Radio Motorola DGP 4150+.

 <p>Figura 2.10 Motorola DGP 4150+ (sin display). (EMTY, 2019)</p>	Frecuencia	800 MHz
	Rango de Frecuencia	136-174 MHz (VHF); 403-470 MHz (UHF); 450-512 MHz
	Canal de almacenamiento	1000
	Cobertura de Charla	3 a 8 Km
	Espacio de canales	12.5 KHz- 6.25 KHz
	Potencia de Salida	1-4 W (UHF); 1-5 W (VHF)
	Potencia de audio	500 mWatts

Tabla 2.9 Especificaciones Generales de Radio Motorola DGP 4150+.

 <p>Figura 2.11 Móvil Base Motorola GTX. (Motorola, 2019)</p>	Generales	800 MHz
	Rango de frecuencia	806-866 MHz/806-821MHz
	Espaciamento de Canal	25 KHz
	Estabilidad de Frecuencia (-30 a 60 °C, 25°C Ref.)	2.5 ppm 25 KHz

Tabla 2.10 Especificaciones Generales de Radio Motorola GTX.

2.6.1.2 Equipos de medición

En la figura 2.12 se puede observar la configuración de los equipos de medición, conformado por una antena omnidireccional, unido por un filtro rechaza banda y el cable coaxial además de los adaptadores y un analizador de espectro que por medio de una laptop toma los datos mediante la interfaz del software de Matlab. (Mendes, 2019)

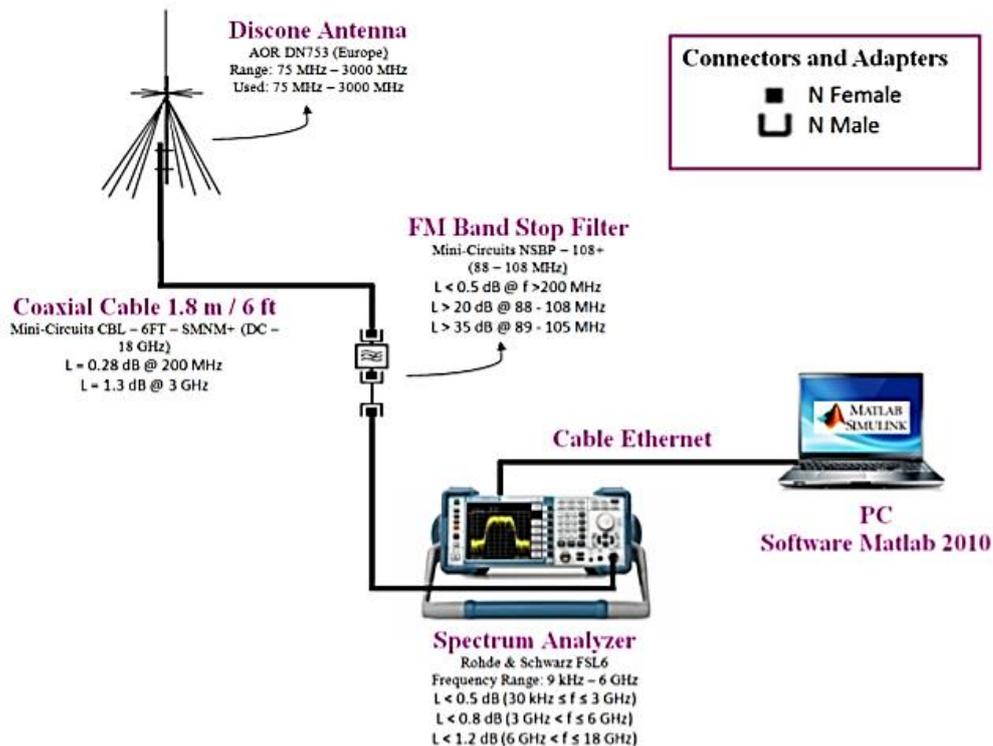


Figura 2.12 Diagrama para toma de datos. (Mendes, 2019)

2.6.1.3 Antena seleccionada

Para el diagrama anteriormente descrito se escogió una antena de tipo omnidireccional AOR DN753 para poder recibir señales de están dentro del rango 75 Mhz y 3 GHz. En la figura 2.13 se muestra el físico de la antena que se usó en el esquema. Además, esta antena fue elegida porque su diagrama de recepción es omnidireccional por lo cual facilita la toma de datos y más eficiente para el proyecto, que es analizar las señales en los interiores del edificio. (Mendes, 2019)

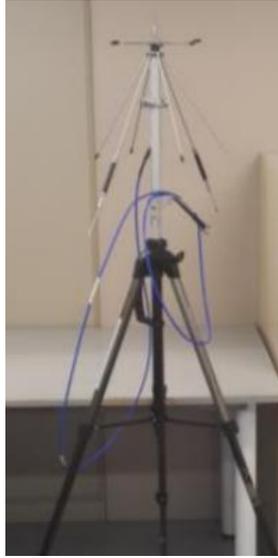


Figura 2.13 Antena AOR DN753. (Mendes, 2019)

2.6.1.4 Filtro elimina banda

Se utiliza un filtro elimina banda que es un dispositivo electrónico para rechazar señales que no están dentro del rango de frecuencia que se basa este proyecto. Esto ayuda reducir la interferencia que provocan los ruidos de las maquinas como bandas de equipajes o del cuarto de bomba, en la figura 2.14 se puede apreciar el físico del filtro. (Mendes, 2019)



Figura 2.14 Filtro Elimina Banda. (Mendes, 2019)

2.6.1.5 Conexión de cables

Según el diagrama de conexión los cables tienen la función de unir la parte entre el filtro y el analizador de espectro por medio de cable coaxial del tipo CBL-6FT-SNNM+130 por una longitud de 2 metros. Además, existe también una conexión entre el analizador y la portátil la cual se realiza a través del puerto ethernet por medio de un conector RJ45. Los adaptadores y conectores adicionales servirán para completar el esquema propuesto para la medición. (Mendes, 2019)

2.6.1.6 R&S FSL6 spectrum analyzer

Se muestra en la figura 2.15 el analizador de espectro que se utilizó para la medición fue elegido por sus características de media y alta gama entre todos los modelos existentes. Las características más importantes son la buena precisión y el excelente rango de frecuencia que posee. Por ende, fue posible analizar un gran ancho de banda y analizar las distintas frecuencias centrales de los canales. (Mendes, 2019)



Figura 2.15 Analizador de Espectro R&S FSL6. (Schwarz, 2022)

Se procede a identificar a las zonas sin cobertura donde se medirá la ganancia de recepción y potencia que existe.

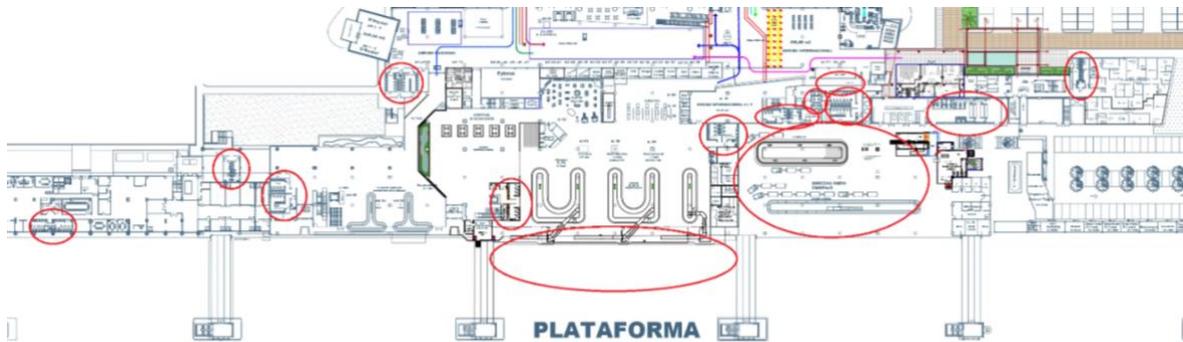


Figura 2.16 Planta baja del edificio Aeroportuario. (TAGSA, 2017)

2.6.1.7 Selección de parámetros para datos obtenidos

Para cada canal se estableció un umbral de decisión que tiene un papel fundamental cuando se habla de redes de radio cognitivas, además un bajo umbral permite receptor señales de nivel bajo y por lo tanto significaría menos interferencia para el usuario final. Al mismo tiempo, esto significa que el número de posibilidades de transmisión para el usuario secundario es menor porque existirán datos de ruido que han superado el umbral. Si en cambio se tiene un umbral alto esto denota que la interferencia es más

elevada en la comunicación. El umbral se calculó partiendo de la potencia del ruido interno del equipo usado para receptor la señal, adicional a una carga adaptativa de 50Ω en la entrada. Por lo tanto, para cada canal se mide los parámetros anteriormente señalados.

2.6.2 Descripción de fase de experimentación y formulación

En esta fase del proyecto tenemos los datos recolectados en la fase anterior, donde procederemos mediante conocimiento teóricos a formular y obtener resultados experimentales y teóricos de ganancia, niveles de espectro radioeléctrico y potencia de la señal en estas zonas sin coberturas.

2.6.2.1 Modelos utilizados para calcular la cobertura

Los mecanismos de transmisión de las ondas electromagnéticas varían, pero generalmente se deben a la reflexión, la difracción y la dispersión.

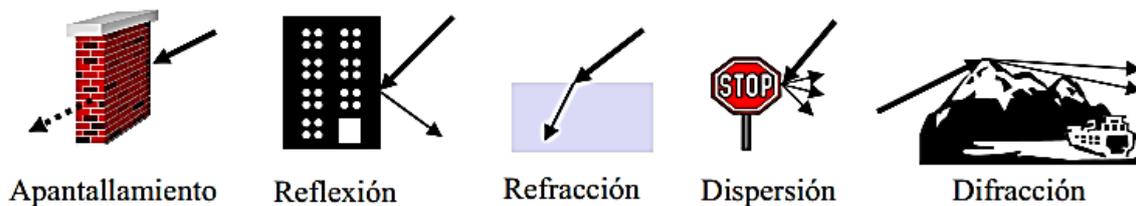


Figura 2.17 Fenómenos de propagación. (Mendes, 2019)

Los sistemas de radiocomunicación funcionan en aéreas urbanas, pero también en interiores donde no existe línea de visión libre por los obstáculos presentes en la trayectoria como por ejemplo árboles, paredes, edificios altos, colinas entre otros, los cuales van debilitando a la señal, generando pérdidas significativas, a veces hasta la falta de cobertura en zonas. Durante el camino de la señal puede sufrir algunos fenómenos como la reflexión, difracción en objetos de diferentes materiales como también la refracción y dispersión de la misma señal, generando interferencias y distorsionando la señal que llega a su destino. Cuando más de uno de estos fenómenos interactúan se llama desvanecimiento por trayectos de múltiples caminos. (Orostegui, 2007)

Tradicionalmente, los modelos de propagación se centran en calcular las pérdidas a gran o pequeña escala que tiene la señal a lo largo de su camino, esta depende de muchos factores uno de los cuales la distancia entre el transmisor y receptor. Cuando se habla de un gran desvanecimiento se utiliza el Log Normal mientras de pequeñas pérdidas con el Rayleigh, dependiendo del ancho de banda que tiene la señal transmitida. (Orostegui, 2007) Las transmisiones son geográficamente específicas y tienen en cuenta los siguientes parámetros: transmitir potencia, ganancia y pérdida a nivel del transmisor y ganancia y pérdida a nivel del receptor. Esto se llama presupuesto de vinculación o equilibrio de poder. (Orostegui, 2007) Esto se puede modelar con (2.1):

$$P_r = P_t - L_t - L_r - L_p + G_t + G_r \quad (2.1)$$

Donde:

P_r → Potencia recibida [dBm]

P_t → Potencia transmitida [dBm]

L_t → Pérdidas de guías de transmisión [dB]

L_r → Pérdidas de guías de recepción [dB]

L_p → Pérdidas de modelo [dB]

G_t → Ganancia del transmisor [dB]

G_r → Ganancia del receptor [dB]

En particular, este tipo de infraestructura como un aeropuerto tiene un ambiente externo (outdoor), un ambiente interno (indoor) y túneles. Estos modelos suelen tener restricciones de frecuencia de uso, distancia mínima entre emisor y receptor, altura mínima de antena, etc. El modelo debe respetar esto para poder hacer buenas predicciones. (Orostegui, 2007)

2.6.2.2 Cobertura outdoor

Propagación en espacio libre o también conocido como Free Space (FS), es utilizado para identificar la intensidad de la señal recibida entre la antena transmisora y receptora no tienen obstáculos en la línea de vista. En (2.2) se resume el modelo FS:

$$L_p = 20 \log f + 20 \log d + 32.44 \quad (2.2)$$

Donde:

L_p → Pérdidas totales [dB]

f → Frecuencia de la antena en [MHz]

d → Distancia entre el transmisor y receptor en [Km]

2.6.2.3 Cobertura indoor

La principal característica que distingue la propagación interna de la externa es el desvanecimiento multilínea, que suele ser muy intenso. No hay campo de visión entre el equipo que transmite y el de recepción además las características ambientales pueden ser diferentes en un tiempo y distancia cortos. Los rangos a distancia suelen ser cortos, más cortos que unos 100 metros. (Orostegui, 2007)

A continuación, se describe el modelo utilizado para poder calcular las pérdidas dentro del edificio del aeropuerto, se escogió por las características que representa para el estudio realizado como por ejemplo el número elevado de los muros presentes que tienen que pasar la señal para llegar de un lado a otro. En (2.3) se resume básicamente el modelo de interiores seleccionado multi-muros (MWM):

$$L_{MWM} = L_{FS} + L_c + \sum_{j=1}^N K_{wi} L_{wi} + K_f L_f^{\frac{k_f+2}{k_f+1}-b} \quad (2.3)$$

Donde:

L_{FS} : Pérdidas de propagación FS

L_c : Constante de ajuste de modelo

L_{wi} : Pérdidas de paredes tipo-i

K_{wi} : Número de paredes tipo-i

L_f : Pérdidas por piso

K_f : Número de pisos

b : constante empírica

Gracias a los estudios realizados por Ballester, se tiene un modelo multi-muros con las variables empíricas calibradas para un escenario indoor to indoor. Perfecto para el escenario que se está analizando en el edificio aeroportuario dado que este también se centra en el mismo ancho de banda.

Donde la varia de perdida FS viene ajustado por un factor igual a 1.83, L_c que es la variable para las pérdidas de scatters viene calibrada a 41.53 mientras que la atenuación de los muros de material concreto con un valor de 3.98 y la perdida por suelo de 15.42 que aproximadamente son similares a la perdida promedio de pérdidas de los suelos. Y por último el parámetro empírico b puesto con un valor de 0.48.

2.6.2.4 Normativas

Debido a la variedad de técnicas empleadas para realizar mediciones espectrales, organismos tanto internacionales como nacionales, se han visto obligados realizar análisis para imponer respectivos reglamentos, límites y normas de los lugares de las ondas electromagnéticas, de tal manera que éstas no afecten a los seres vivos.

2.6.2.5 Sistemas troncalizados estandarizados y patentados

Cuando se habla de sistemas radiocomunicación a parte de la diferencia de ser analógicos o digitales existen también los estandarizados y los de propietario como Motorola o Tetra entre otros, que se necesita patente para se usa de sus tecnologías. En la tabla 2.11 muestra los principales las principales marcas de sistemas que ofrecen el servicio de comunicación analógica y patentada.

	ESTANDARIZADOS	PATENTADOS
ANALÓGICOS	MPT 1327	SmartZone y Smartnet (Motorola) Smart Trunk (Smart System) LTR (Motorola, Kenwood, EF Johnson)
DIGITALES	TETRA DSRR DIIS EN 301 166	iDEN y ASTRO (Motorola) EDACS (Ericsson) TETRAPOL (EADS Telecom)

Tabla 2.11 Sistemas troncalizados estandarizados y patentados.

2.6.2.6 Espectro radioeléctrico

El espectro electromagnético se refleja como la separación diversa de radiaciones distintas entre sí por la frecuencia. El espectro radioeléctrico es una subdivisión del anterior y reúne todas las frecuencias capaces de ser emitidas por osciladores discretos.

De acuerdo con UIT el espectro radioeléctrico es la reunión de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se establece comúnmente por debajo de 3000 GHz, que se puede dispersar por el espacio sin guía artificial. (Orostegui, 2007) Este espectro es de propiedad exclusiva del estado, por consiguiente, es un bien de dominio público, inenajenable e imprescriptible, donde su administración, gestión y control es responsabilidad del Ministerio de Comunicaciones de conformidad con la legislación vigente.

La Unión Internacional de Radiocomunicaciones (U.I.T), por espectro radioeléctrico, establece las frecuencias electromagnéticas usadas para los servicios de difusión, servicios móviles, radioastronomía, etc. Y demás multifunciones establecidas por el aumento o disminución de rangos de frecuencia utilizado en comunicaciones, que con el tiempo y los avances tecnológicos pueden aparecer muchos más y diversos. (Orostegui, 2007)

2.6.2.7 Título habilitante

Se trata de un documento legal que autoriza la prestación de los servicios que abarca el régimen general de telecomunicaciones, Adicional nos concede permisos para el análisis y explotación del espectro radioeléctrico, del cual administra y otorga la ARCOTEL e inscrito en el Registro Público correspondiente. (Orostegui, 2007)

Las calificaciones para el uso de frecuencias de telecomunicaciones y para el funcionamiento de redes privadas o para la prestación de un servicio específico se emiten en conjunto. Es necesario tener un título habilitante cuando se desee usar o explotar frecuencias del espectro radioeléctrico en este caso perteneciente al estado; es decir, para implementar una red privada o para la prestación de servicios de telecomunicaciones a terceros. En la figura 2.18 se muestra el listado donde constan los servicios por lo cual se puede emitir un título habilitante por prestación de servicios de telecomunicaciones

- Servicio Móvil Avanzado
- Servicio Móvil Avanzado a través de Operador Móvil Virtual (OMV)
- Servicio de Telefonía Fija
- Servicio Portador
- Transporte Internacional Modalidad Segmento Espacial
- Transporte Internacional Modalidad Cable Submarino
- Servicio de Telecomunicaciones Móviles por Satélite
- Servicio de Valor Agregado
- Servicio de Acceso a Internet
- Servicio Comunal
- Servicio Troncalizado

Figura 2.18 Listado de servicios con título habilitante.

2.6.3 Descripción de la fase de diseño

En esta fase se analizará esta propuesta de solución haciendo un énfasis en los elementos y herramientas que tenemos para proceder a un diseño de bajo impacto, dándonos cuenta de detalles y falencias que aun tenga éste. Toda esta fase se mantendrá bajo teoría y documentos de manera provisoria para luego pasar al siguiente nivel que es la implementación de la solución en un simulador. Para el diseño mejorado tendremos a disposición los equipos Motorolas antes detallados los cuales aún están operativos para la banda de 800 a 900 MHz el cual es nuestro sistema. Se realiza un inventario y pruebas de todas las radios operativas, las cuales se contabilizo un total de 112 periféricos de los cuales pertenecían a determinados departamentos.



Figura 2.19 Inventario de radios operativas en la terminal Aeroportuaria.

Se debe tener en cuenta que actualmente existen 9 canales para cada departamento los cuales se detallan a continuación en la tabla 2.12, con la cantidad de radios que cada uno posee para el personal operativo.

DEPARTAMENTOS	CANTIDAD
Seguridad	22
Mantenimiento	32
SSEI (Bomberos)	34
Servicio al cliente	5
Operaciones	12
SIMA	5
SMS	2
Total	112

Tabla 2.12 Cantidad de radios que posee cada departamento.

Una plataforma para el sistema de radio que ofrece comunicarse inalámbricamente a través de la voz en cada una de las estaciones (torre CCO, CCTV, jefe de base, BHS), en las cuales este sistema esta subdividido en 9 diferentes canales de acuerdo con los diferentes departamentos que operan en el Aeropuerto:

- Operaciones
- Seguridad
- Mantenimiento
- Servicio al cliente
- SIMA-SMS
- Servicio Medico
- Emergencias
- Bomberos
- PMM

La estación central de control del edificio del aeropuerto está a cargo de la prestadora de servicios Multicom, el cual tiene sus controladoras y bases en cerro azul a 16.8 Km de distancia con el aeropuerto. Aunque dentro de las mejoras seria que antenas y bases

estuvieran en cerro del Carmen a 3.5 Km de distancia con respecto al Aeropuerto, mientras menos distancia hay entre las antenas Tx y Rx, mayor sería la potencia de señal y habría menor interferencia en la misma.

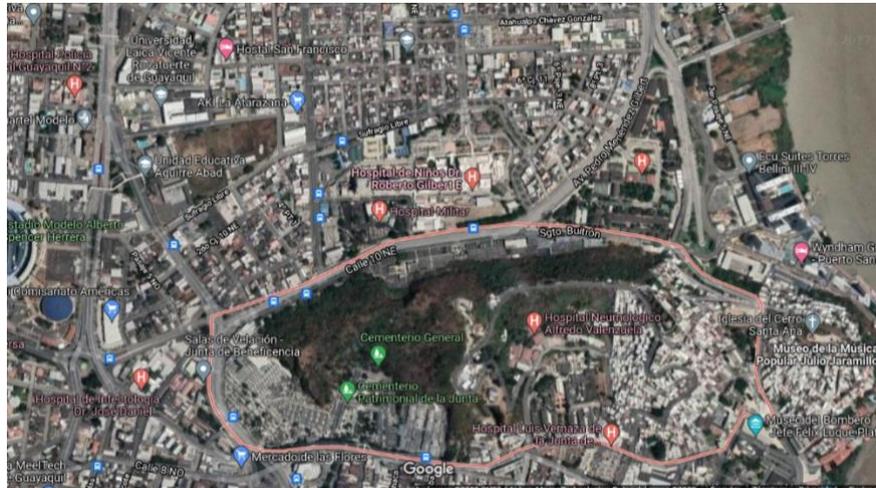


Figura 2.20 Vista satelital del Cerro del Carmen. (Google Earth, 2021)

2.6.4 Descripción de la fase de implementación y prueba

Durante esta fase del diseño de la simulación se analizó los programas convenientes y de libre licencia para poder llevar a cabo la simulación mejorando la cobertura de comunicación. A parte de realizar un estudio indoor, también se tuvo en cuenta el aspecto outdoor donde se simuló el enlace existe en el Cerro Azul y un enlace hipotético en el Cerro del Carmen que mejoraría la potencia recibida en el edificio.

Para el desarrollo de la simulación se escogió el software Ekahau que tiene la característica de generar reportes con mediciones y mapas de calor del alcance de la propagación. (Media, 2019) **Ekahau Survey** es una simple herramienta software para profesionales de redes que necesitan planificar y analizar cobertura y espectro de estancias indoor preferiblemente. Proporciona al usuario una vista a nivel del suelo de la cobertura y rendimiento de una red, permitiendo crear, mejorar y resolver problemas en redes. (Media, 2019)

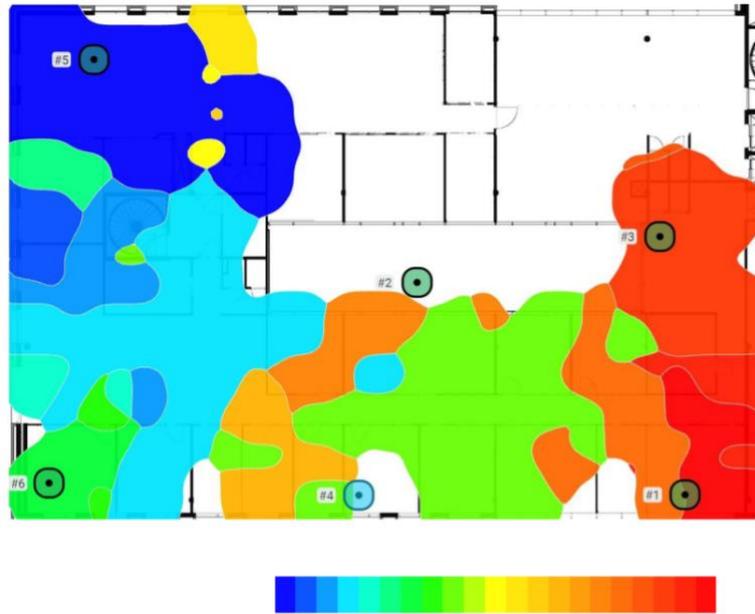


Figura 2.21 Vista de rendimiento de Radio Frecuencia en software Ekahau.

La ventaja de este programa es que luego de implementar el diseño del sistema se puede generar un reporte donde se podrán observar los resultados como la potencia de propagación o la SNR presente a través de mapas de calor. En la figura 2.21 se observa un ejemplo de cómo se vería el rendimiento de una propagación en una oficina donde a través de los colores se puede observar la potencia de la señal.

2.6.5 Descripción de la fase final o simulación

En esta fase se tendrá la simulación final dando a conocer una posible mejora a la cobertura de las zonas indicadas en la figura 2.16 de la sección 2.6.1.6. Luego de las diferentes pruebas de ubicaciones en el mapa de las antenas y ganancias respectivas se pudo lograr una mejora tomando en cuenta que no existe ningún presupuesto disponible para la solución. A continuación, en las figuras 2.22 y 2.23 se muestran algunos resultados obtenidos de la simulación.

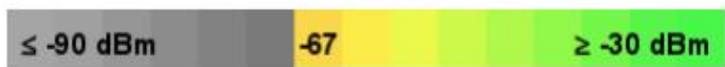
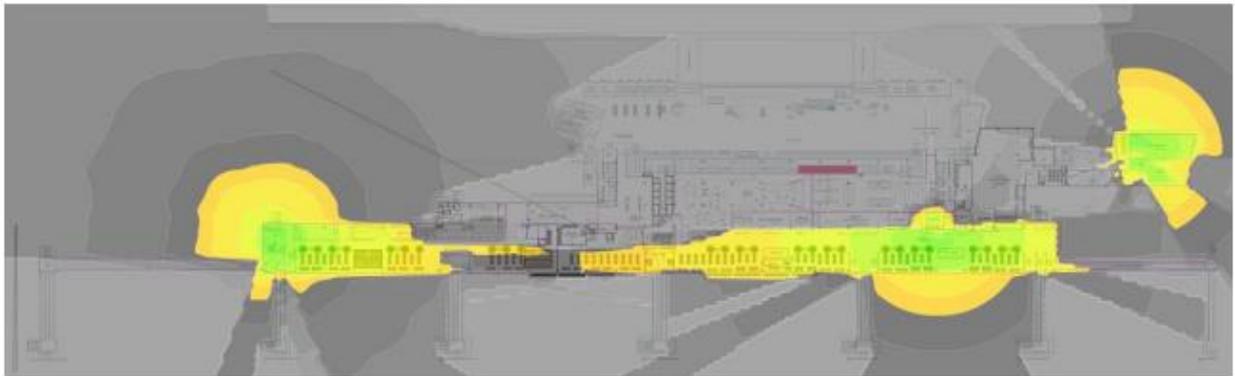


Figura 2.22 Mapa de calor de cobertura de la planta baja.

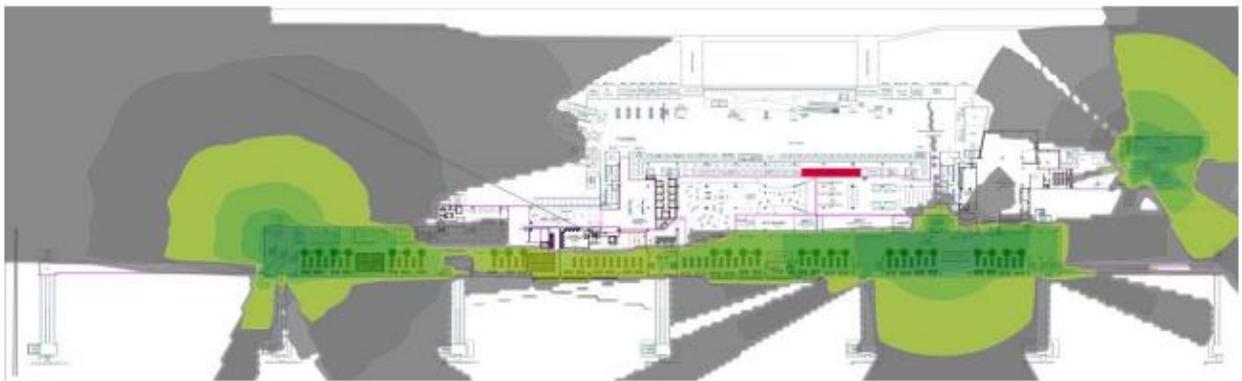


Figura 2.23 Mapa de calor del SNR en la planta baja.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en la toma de datos, cálculos y simulación del sistema de radiofrecuencia mejorado, analizando las variables de interés, potencia RF, ganancia, cantidad de espectro, tipos de antena, y sobre todo el costo que conlleva implementar este proyecto.

3.1 Análisis del estado actual del sistema

Se realizó una prueba de funcionamiento en todas las zonas dentro del edificio del aeropuerto, detectando que las zonas encerradas con rojo son las que presentan falencias en la recepción y transmisión de señal.

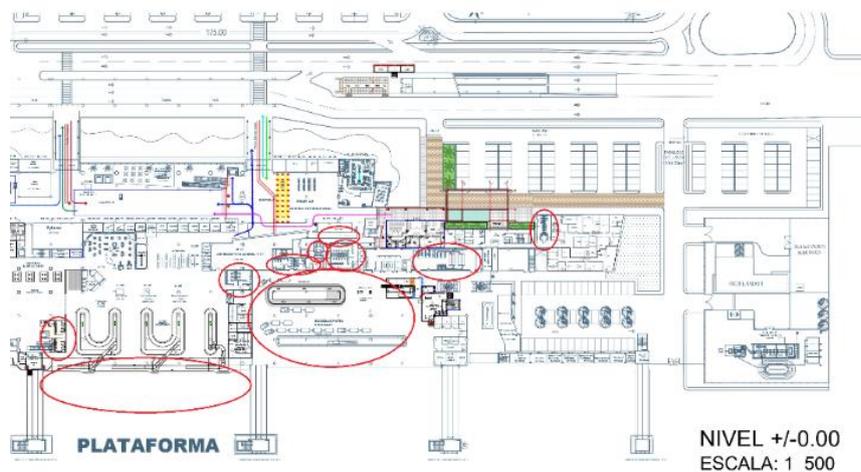


Figura 3.1 Zonas sin cobertura en la planta baja o nivel 0.0

Las zonas enmarcadas con círculos rojos son aquellas que tienen problemas con la cobertura en el nivel 0.0. Por medio de las mediciones de potencia se pudo comprobar que había interferencia en los siguientes lugares. La mayoría de estas zonas se encuentran junto a maquinaria y motores que ejercen ruido (vibraciones y giro de motores) y además de la cantidad de muros de materiales específicos, aumentando la pérdida considerablemente, por ende, debilitando la señal.

Nivel 0.0 o planta baja:

1. Over Side
2. BHS
3. Patio de equipajes
4. Cuarto de Bombas
5. Bandas de Arribo internacional-lado plataforma
6. Baños:
 - Migración
 - Aduanas
 - Arribos Internacionales
 - Arribos Nacionales
 - Patio de Equipajes
 - Baños Edificio TAGSA

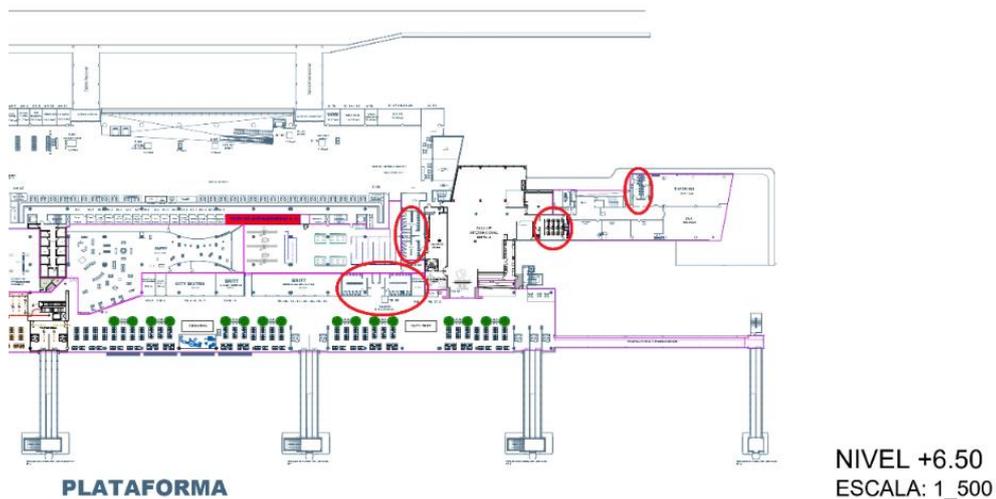


Figura 3.2 Zonas sin cobertura en la planta alta o nivel 6.50

La figura 3.2 muestra las zonas sin cobertura del nivel 6.50 de la terminal, la mayoría de éstas son baños. La señal debe atravesar paredes y muros de material hormigón para llegar al destino, pero ésta no llega dado que cada vez que atraviesa un obstáculo pierde potencia y la comunicación es imposible.

Nivel 6.50 o planta alta:

1. Baños:
 - Salidas Nacionales
 - Salidas internacionales
 - Preembarque Nacional
 - Preembarque Internacional

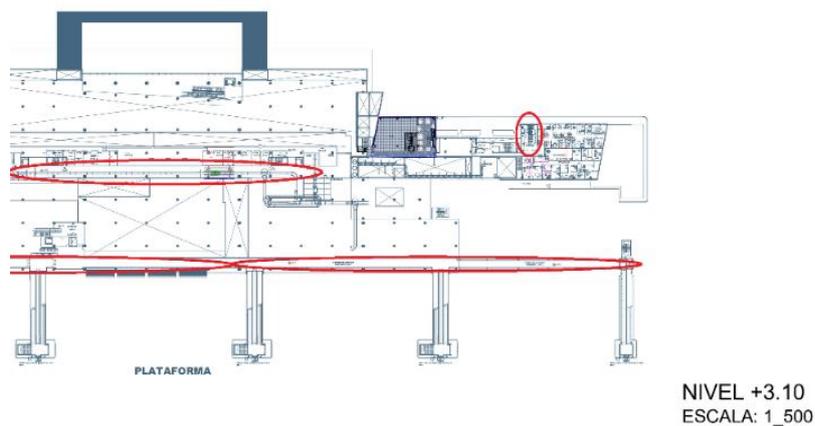


Figura 3.3 Zonas sin cobertura en el piso intermedio o nivel 3.10.

Nivel 3.10:

1. Pasarela bandas de equipaje
2. Pasarela de arribos internacionales
3. Pasarela de arribos nacionales

Este nivel se caracteriza por funcionar en su 80% como “Cuarto de Máquinas”, ya que por aquí pasa el sistema de bandas de equipajes, moteres, RX, escáneres, etc., además también está el cuarto de bombas, UMA’s (Unidad de Manejadora de Aires), etc. Este tipo de maquinarias generan vibraciones y ruidos constantes que hacen que ocurra un tipo de interferencia y pérdidas en la señal.

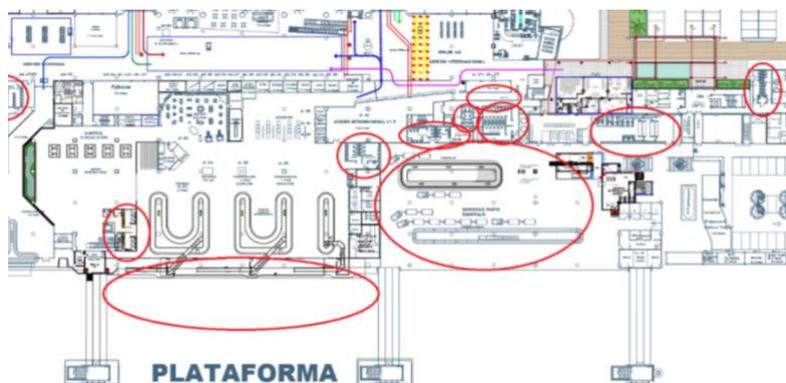


Figura 3.4 Sectores con déficit de cobertura -Patio de equipajes y bandas.

Otra Desventaja son la cantidad de paredes (hormigón) que presenta la toda la infraestructura del Aeropuerto, en general, en las zonas donde no hay cobertura. Esto hace que la señal se propague en menor cantidad.

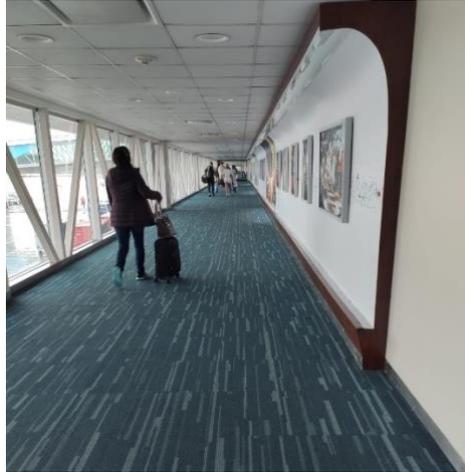


Figura 3.5 Pasarela de arribos internacionales en nivel 3.10

3.1.1 Estudio de la ocupación espectral con línea de vista (LOS).

En esta sección se describe la banda terrestre con línea de vista (LOS) entre la antena transmisora (repetidora Multicom) en cerro Azul y las antenas receptoras de TAGSA, estas mediciones se realizaron en las terrazas norte y sur del edificio de la terminal.



Figura 3.6 Medición en la terraza Norte de la terminal.

Aproximadamente la toma de datos con los equipos explicados en la sección 2.6.1.2 fue de 2 horas.

Canal	Frecuencia Central (MHz)	Potencia Recibida (dBm)	Desviación (dB)	Umbral (dBm)
Operaciones	811	-59.5828	0.0531	-60.8756
Seguridad	832	-58.3582	0.0489	-60.8475
Mantenimiento	856	-58.8950	0.0525	-60.7374
Bomberos	879	-60.5879	0.0508	-60.722

Tabla 3.1 Datos obtenidos en la terraza Norte

Canal	Frecuencia Central (MHz)	Potencia Recibida (dBm)	Desviación (dB)	Umbral (dBm)
Operaciones	811	-58.2850	0.0552	-60.8369
Seguridad	832	-57.3458	0.0387	-60.5175
Mantenimiento	856	-57.8258	0.0496	-60.7389
Bomberos	879	-58.5852	0.0489	-60.8464

Tabla 3.2 Datos obtenidos en la terraza Sur

La ecuación $\lambda = C/f$ donde C es la velocidad de la luz de una onda en el vacío, la cual tiene un valor de 3×10^8 m/s, la f es la frecuencia central del canal a estudiar, define la longitud de onda indicada con el símbolo λ . En (3.1) se muestra la expresión con la cual se puede saber la potencia transmitida desde el transmisor, mientras que en (3.2) es la conversión de vatios a dBm.

$$P_t(\text{dBm}) = P_r(\text{dBm}) + P_l(\text{dB}) \quad (3.1)$$

$$1\text{dBm} = 10\log(P(W)/1\text{mw}) \quad (3.2)$$

Considerando (3.1) y (3.2) se calcula las pérdidas FS tomando en cuenta las siguientes distancias:

- Distancia cerro azul – terraza Norte = 12.100 M
- Distancia cerro azul – terraza Sur = 11.300 M

$$L_{FS} = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \quad (3.3)$$

$$\left(\frac{P_t}{P_r} \right) = \frac{\lambda^2}{4\pi d^2} = \left[\frac{\left(\frac{c}{f} \right)^2}{4\pi d^2} \right] \quad (3.4)$$

$$L_{FS} = -10 \log \left[\frac{\left(\frac{c}{f} \right)^2}{(4\pi)^2 x (d)^2} \right] = -10 \log \left[\frac{\left(\frac{3 \times 10^8}{811 \times 10^6} \right)^2}{(4\pi)^2 x (11300)^2} \right] = 105.66 \text{ dB} \quad (3.5)$$

La potencia transmitida para la frecuencia de operaciones es:

$$P_t = -58.5828 + 105.66 = 47.0772 \text{ dBm} \quad (3.6)$$

$$P_t = 51.018 \text{ W} \quad (3.7)$$

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Potencia Recibida (dBm)	Perdidas FS (dB)	Potencia Transmitida (dBm)	Potencia transmitida (W)
Operaciones	811	-59.5828	106.2584	46.6756	46.511
Seguridad	832	-58.3582	106.4799	48.1217	64,889
Mantenimiento	856	-58.8950	106.7273	47.8323	60.706
Bomberos	879	-60.5879	106.9560	46.3681	43.332

Tabla 3.3 Perdidas de trayecto obtenidas en la terraza Norte

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Potencia Recibida (dBm)	Perdidas FS (dB)	Potencia Transmitida (dBm)	Potencia transmitida (W)
Operaciones	811	-58.2850	105.6601	47.077	51.015
Mantenimiento	832	-57.3458	105.8857	48.5399	71.448
Seguridad	856	-57.8258	106.1332	48.3073	67.722
Bomberos	879	-58.5852	106.3619	47.7767	59.934

Tabla 3.4 Perdidas de trayecto obtenidas en la Terraza Sur

3.1.2 Estudio de la ocupación espectral sin línea de vista (NLOS)

Para el modelo sin línea de vista para interiores, a parte de las paredes o muros que atraviesa la señal para llegar a su destino, debemos considerar el material que

predomina en la infraestructura externa del aeropuerto que será lo primero q vea la señal para llegar a todas las áreas dentro del edificio.

3.1.2.1 Estudio de la propagación por distintas plantas del edificio

En esta sección se procedió a estudiar la propagación que tiene la señal dentro del edificio en sus diferentes pisos, como antes mencionados en los apartados anteriores. En la tabla 3.5 se resumen las potencias recibidas medidas en los diferentes niveles existentes en el edificio aeroportuario. Se dividirá el análisis en dos zonas la terraza norte y la terraza sur, para una mejor comprensión de los datos obtenidos.

Terraza Norte:

Canal	Terraza Norte (dBm)	Nivel 6.50 (dBm)	Nivel 3.10 (dBm)	Nivel 0.0 (dBm)
Operaciones	-59.5828	-65.2850	-68.5582	-75.2582
Seguridad	-58.3582	-66.3284	-69.5981	-75.2056
Mantenimiento	-58.8950	-66.8560	-69.4855	-76.2682
Bomberos	-60.5879	-65.5752	-68.4862	-77.6980

Tabla 3.5 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.

Canal	Terraza Norte (dBm)	Nivel 6.50 (dB)	Nivel 3.10 (dB)	Nivel 0.0 (dB)
Operaciones	0.1912	0.1472	0.0515	0.2545
Seguridad	0.0847	0.1693	0.0569	0.5464
Mantenimiento	0.2879	0.0828	0.0971	0.5828
Bomberos	0.2589	0.0896	0.0859	0.4178

Tabla 3.6 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio.

En la tabla 3.7 se muestran las pérdidas que se obtuvieron en cada piso comenzando desde la terraza hasta llegar al nivel 0.0. Se optó por trabajar con los valores de la terraza dado que esta presenta una óptima línea de vista con su transmisor.

Canal	Terraza a nivel 6.50 (dB)	Terraza a nivel 3.10 (dB)	Terraza a nivel 0.0 (dB)
Operaciones	5,7022	8,9754	15,6754
Seguridad	7,9702	11,2399	16,8474
Mantenimiento	7,961	10,5905	17,3732
Bomberos	4,9873	7,8983	17,1101
Promedio	6,655175	9,676025	16,751525

Tabla 3.7 Perdidas reales desde la terraza Norte a los diferentes niveles.

Como se puede observar desde la tabla 3.5 hasta la tabla 3.7 se muestran en lo posible los resúmenes de las tomas de datos desde la terraza norte en sus diferentes pisos. Se hace énfasis en la tabla 3.7 porque en esta se denotan las pérdidas que tiene la señal al pasar por los diferentes pisos, al final se saca un promedio para poder tener un numero de comparación con las demás ubicaciones.

Terraza Sur:

Canal	Terraza Sur (dBm)	Nivel 6.50 (dBm)	Nivel 3.10 (dBm)	Nivel 0.0 (dBm)
Operaciones	-58.2850	-61.5288	-65.5582	-69.5698
Seguridad	-57.3458	-60.3525	-64.5981	-67.2056
Mantenimiento	-57.8258	-62.8565	-65.4855	-68.2682
Bomberos	-58.5852	-59.5745	-64.4862	-67.6980

Tabla 3.8 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.

Canal	Terraza Sur (dBm)	Nivel 6.50 (dB)	Nivel 3.10 (dB)	Nivel 0.0 (dB)
Operaciones	0.1912	0.1472	0.0515	0.2545
Seguridad	0.0847	0.1693	0.0569	0.5464
Mantenimiento	0.2879	0.0828	0.0971	0.5828
Bomberos	0.2589	0.0896	0.0859	0.4178

Tabla 3.9 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio.

Canal	Terraza a nivel 6.50 (dB)	Terraza a nivel 3.10 (dB)	Terraza a nivel 0.0 (dB)
Operaciones	3,2438	7,2732	11,2848
Seguridad	3,0067	7,2523	9,8598
Mantenimiento	5,0307	7,6597	10,4424
Bomberos	0,9893	5,901	9,1128
Promedio	3,067625	7,02155	10,17495

Tabla 3.10 Perdidas reales desde la terraza Sur a los diferentes niveles.

Desde la tabla 3.8 hasta la tabla 3.10 se ordenan los datos recolectados de la terraza sur hacia los diferentes niveles del edificio, La forma de recolectar los datos fue de la misma manera que se realizó para la terraza norte. Comparando los promedios de la terraza sur con la norte se observa que la señal en la terraza norte se desvanece con mayor intensidad, esto significa que a los alrededores la señal tiene interferencia porque es más débil.

3.1.3 Análisis de pérdidas con modelo multi-muro para interiores

Para el modelo de multi-muro se necesita saber cuál es la atenuación de la señal al pasar de un muro a otro como también de un piso a otro. Para llevar un orden y simplificar el modelo se analizaron las perdidas por niveles existentes nivel 6.50, 3.10 y 0.0. De esta manera más adelante se podrán comparar las cifras de las pérdidas y observar la mejora. Para calcular las pérdidas a través del modelo multi-muro se usará la siguiente ecuación que resume este tipo de propagación indoor:

$$L_{MWM} = L_{FS} + L_c + \sum_{j=1}^N K_{wi} L_{wi} + K_f L_f^{\frac{k_f+2}{k_f+1}-b} \quad (3.8)$$

A continuación, se realizará los cálculos explicativos para encontrar las perdidas con el MWM de la zona terraza norte hasta nivel 0.0 de la frecuencia de Operaciones., luego para los siguientes niveles se llenarán los valores solamente.

Para mejor entendimiento se calculan los valores de pérdidas de MWM teniendo en cuenta el valor de K_f está definido en 3 dado que esos son los números de pisos que atraviesa la señal al pasar del transmisor a los receptores y K_w que es el número de paredes en la tabla 3.13.

Reemplazando los valores mencionados en el capítulo 2 sección 2.6.2.3.

$$L_{MWM} = L_{FS-ajustada} + 41.53 + 3.98 * K_w + K_f * 15.42^{\frac{3+2}{3+1}-0.48} \quad (3.9)$$

Para encontrar a $L_{FS-ajustada}$ se usa la siguiente formula:

$$L_{FS-ajustada} = 1.83 * -10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi d^2} \right) \quad (3.10)$$

Ahora reemplazando los valores en (3.10) se tiene:

$$L_{FS} = 1.83 * -10 \log \left(\frac{0.1368}{1.3738 \times 10^9} \right) = 1.83 * (70.0186) = 128.1341 \text{ dB} \quad (3.11)$$

Retomando de (3.9) y reemplazando la perdida FS ajustada se tiene:

$$L_{MWM} = 128.1341 + 41.53 + 3.98 * 4 + 3 * 15.42^{\frac{3+2}{3+1}-0.48} = 210.2414 \text{ dB} \quad (3.12)$$

Por fin en (3.12) se tiene el valor resultante de las perdidas según el modelo de MWM,

Terraza Norte:

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	1	2	128.1341	198.2713
Seguridad	832		2	128.1336	198.2708
Mantenimiento	856		1	128.9917	195.1489
Bomberos	879		1	129.4102	195.5674

Tabla 3.11 Perdidas MWM desde terraza norte a nivel 6.50.

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	2	3	128.1341	202.2513
Seguridad	832		3	128.1336	202.2508
Mantenimiento	856		2	128.9917	199.1289
Bomberos	879		3	129.4102	203.5274

Tabla 3.12 Perdidas MWM desde terraza norte a nivel 3.10.

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	3	4	128.1341	210.2414
Seguridad	832		5	128.1336	214.2209
Mantenimiento	856		6	128.9917	219.0590
Bomberos	879		4	129.4102	211.5175

Tabla 3.13 Perdidas MWM desde terraza norte a nivel 0.0.

Terraza Sur:

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	1	1	120.1657	186.3229
Seguridad	832		2	120.5709	190.7081
Mantenimiento	856		1	121.0237	187.1809
Bomberos	879		1	121.4423	187.5995

Tabla 3.14 Perdidas MWM desde terraza sur a nivel 6.50.

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	2	3	120.1657	194.2829
Seguridad	832		2	120.5709	190.7081
Mantenimiento	856		2	121.0237	191.1609
Bomberos	879		3	121.4423	195.5595

Tabla 3.15 Perdidas MWM desde terraza sur a nivel 3.10.

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	3	4	120.1657	202.2730
Seguridad	832		5	120.5709	206.6582
Mantenimiento	856		6	121.0237	211.0910
Bomberos	879		3	121.4423	199.5696

Tabla 3.16 Perdidas MWM desde terraza sur a nivel 0.0.

3.2 Análisis del estado mejorado del sistema

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en la toma de datos y simulación del sistema de radiofrecuencia mejorado, analizando las variables de interés, potencia RF, ganancia, cantidad de espectro, tipos de antena, y sobre todo el costo que conlleva implementar este proyecto.

3.2.1 Solución mejorada

La otra opción es poner una antena repetidora sobre el núcleo del puente de embarque del Pit 20, esta estructura tiene 5 Metros de altura, se pondrá una antena de 2 Metros de tipo directiva, que estaría direccionada hacia los patios de equipajes ubicado en latitud: -2.14810, y longitud: -79.8833, a 5 metros de distancia de la terminal, con una potencia resultante igual a las antenas repetidora que se encuentran en la terraza norte y sur de

la Terminal. En las figuras 3.7 y 3.8 se tiene unas vistas de donde será colocada el nuevo repetidor para mejorar la cobertura a su alrededor.



Figura 3.7 Vista en exteriores de Puente de embarque Pit 20 junto a los patios de equipajes.



Figura 3.8 Vista de Puente de Embarque Pit 20 desde el interior de la terminal.

3.2.1.1 Simulación en el software Radio Mobile

Se utiliza el software de Radio Mobile para encontrar las pérdidas de LOS, ya que esta herramienta ayuda a tener datos necesarios como la pérdida de espacio libre que luego será ajustada para el análisis del modelo de MWM. Se tomaron las distancias entre las antenas Central en Cerro Azul y las 3 repetidoras ubicadas según latitud y longitud de cada una, mostradas en la tabla 3.17. En la interfaz del software permite colocar las antenas y crear sistemas para su comunicación, como también escoger tipo y potencias de transmisión. Como resultados a parte de las pérdidas también calcula el PIRE y PRE.

Ubicación	Latitud	Longitud
Terraza Norte	-2.147599173437495	-79.88339980832029
Terraza Sur	-2.149317378494483	-79.88449591228535
Puente de embarque Pit 20	-2.1484032232297894	-79.88343677327973

Tabla 3.17 Ubicaciones de antenas repetidoras.

Por medio de la herramienta de Google Earth se pudo evidenciar la distancia que se tiene desde Cerro Azul hasta las terrazas del edificio aeroportuario que se muestran a continuación:

- Distancia Cerro Azul – terraza Norte = 12.100 M
- Distancia Cerro Azul – terraza Sur = 11.300 M
- Distancia Cerro Azul – Pit 20 = 11.600 M

Potencias Recibidas:

Canal	Frecuencia Central (MHz)	Potencia Recibida (dBm)	Desviación (dB)	Umbral (dBm)
Operaciones	811	-45.3580	0.0531	-55.8756
Seguridad	832	-45.3582	0.0489	-55.8475
Mantenimiento	856	-45.8950	0.0525	-55.7374
Bomberos	879	-45.5879	0.0508	-55.722

Tabla 3.18 Datos obtenidos en el informe de Radio Mobile en la terraza Norte

Canal	Frecuencia Central (MHz)	Potencia Recibida (dBm)	Desviación (dB)	Umbral (dBm)
Operaciones	811	-45.2850	0.0552	-55.8369
Seguridad	832	-44.3458	0.0387	-55.5175
Mantenimiento	856	-44.8258	0.0496	-55.7389
Bomberos	879	-45.5852	0.0489	-55.8464

Tabla 3.19 Datos obtenidos en el informe de Radio Mobile en la terraza Sur.

Canal	Frecuencia Central (MHz)	Potencia Recibida (dBm)	Desviación (dB)	Umbral (dBm)
Operaciones	811	-45.2520	0.0252	-55.8358
Seguridad	832	-44.3552	0.0310	-55.5125
Mantenimiento	856	-44.8250	0.0354	-55.7382
Bomberos	879	-45.6579	0.0321	-55.8412

Tabla 3.20 Datos obtenidos en el informe de Radio Mobile en el Pit 20.

Perdidas:

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Potencia Recibida (dBm)	Perdidas FS (dB)	Potencia Transmitida (dBm)
Operaciones	811	-45.3580	96.5284	51,1704
Mantenimiento	832	-45.3582	96.4235	51,0653
Seguridad	856	-45.8950	96.2363	50,3413
Bomberos	879	-45.5879	96.9582	51,3703

Tabla 3.21 Perdidas obtenidas del informe de red en la terraza Norte

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Potencia Recibida (dBm)	Perdidas FS (dB)	Potencia Transmitida (dBm)
Operaciones	811	-45.2850	95.6521	50,3671
Mantenimiento	832	-44.3458	95.1557	50,8099
Seguridad	856	-44.8258	96.5232	51,6974
Bomberos	879	-45.5852	96.3659	50,7807

Tabla 3.22 Perdidas obtenidas en el informe de red en la Terraza Sur

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Potencia Recibida (dBm)	Perdidas FS (dB)	Potencia Transmitida (dBm)
Operaciones	811	-45.2520	99.5281	54,2761
Mantenimiento	832	-44.3552	95.8525	51,4973
Seguridad	856	-44.8250	96.1112	51,2862
Bomberos	879	-45.6579	96.3258	50,6679

Tabla 3.23 Perdidas obtenidas en el informe de red del Pit 20.

En las tablas anteriores se puede observar las potencias transmitidas como las de recepción que se obtuvieron por medio del software de Radio Mobile, además se dan a conocer las pérdidas de FS obtenidas en esta trayectoria.

3.2.1.2 Simulación en el software Ekahau

La simulación en el software de Ekahau que usa un modelo de propagación basado en rayos que van desde el transmisor hasta el receptor, conocido como Standard Ray Tracing (STR), prácticamente sirvió para poder conocer la cobertura mejorada, aumentando la antena en el PIT 20 como se muestra en la figura 3.9, dado que por presupuesto no disponible no se pudo implementar la solución en el edificio. Con los valores encontrados de potencias en la sección más adelante se calcularán las pérdidas.

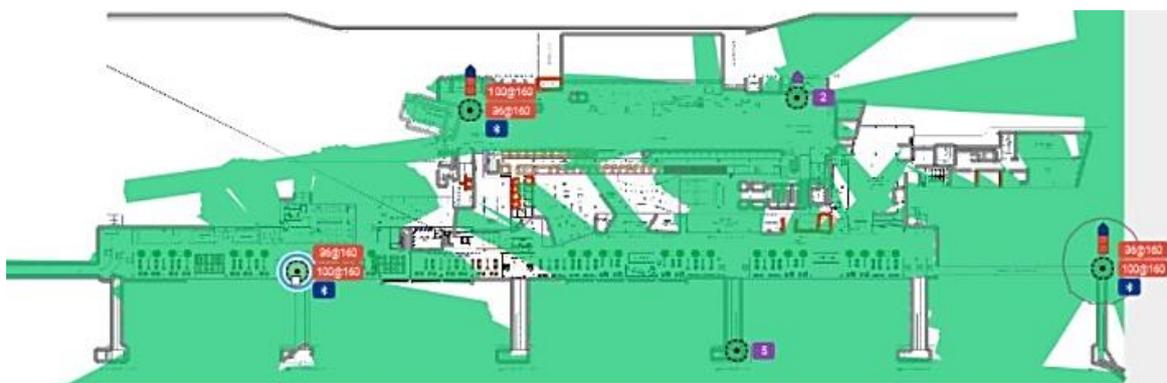


Figura 3.9 Propagación de señal en el nivel 6.50

En las figuras 3.10 se pudo observar de qué manera se distribuye la cobertura de la señal en la planta baja y el rango de la potencia tiene. Por ejemplo, en la zona de patio de

equipaje se encuentra en amarillo verde lo que significa que aumentando la antena en el pit 20 la cobertura mejora en la zona de patio de equipajes.

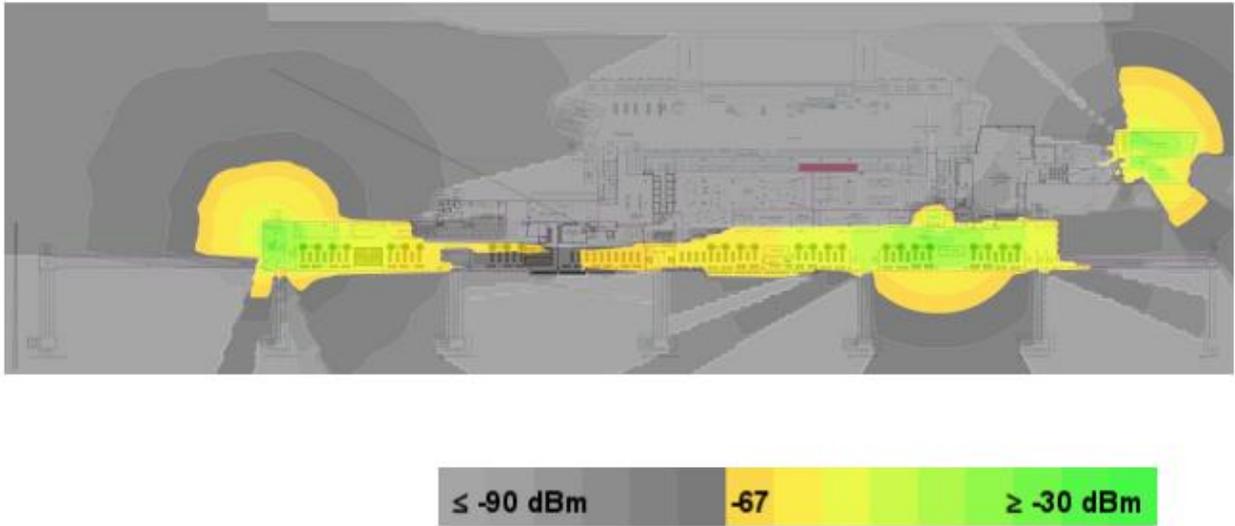


Figura 3.10 Cobertura de la señal dentro de la planta baja.

El simulador resume todos los valores en un reporte donde también se observó la potencia del SNR en la planta, viendo por mapa de calor su distribución. El rango va desde 5dB hasta mayores a 40dB. En la figura 3.11 la zona a estudio se nota que está inmersa en una SNR elevada por lo cual se deduce que en tal sitio existe una gran mejora en la transmisión, pero también en el ruido.

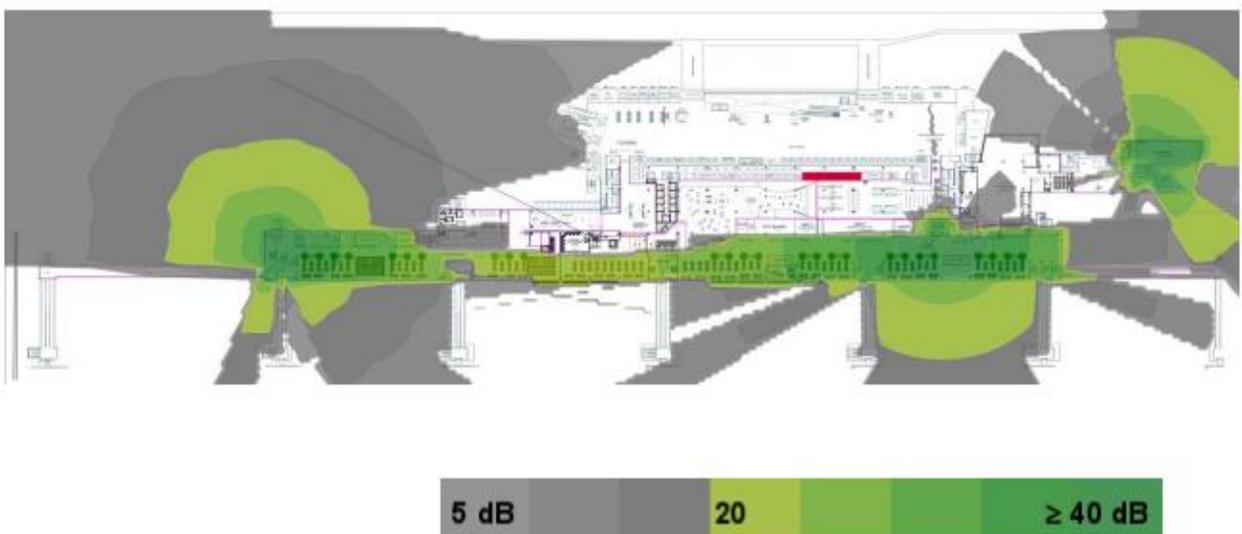


Figura 3.11 Valores de la SNR en la planta baja.

La toma de datos se realizó en el patio de equipajes como se muestra en la figura 3.12 y en las bandas de equipaje como se observa en la figura 3.10. Se puede manifestar que estas zonas existen mucho ruido por el movimiento de los motores y la fricción con las bandas. En estas figuras se trata también de ubicar al lector donde se encuentran en el edificio por tal motivo en el plano se presentan a manera de zoom estas zonas. Además, en la figura 3.13 se puede observar claramente la infraestructura de las bandas.

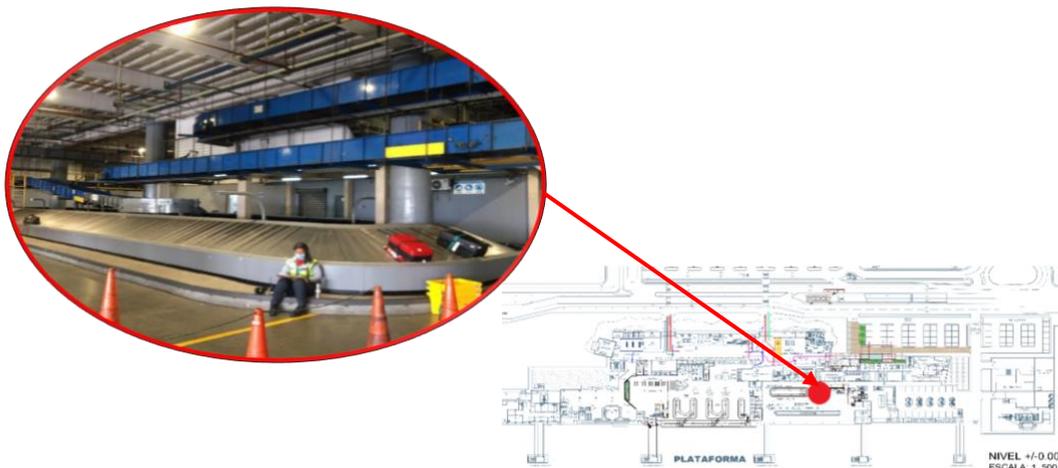


Figura 3.12 Plano y ubicación de toma de datos en patio de equipajes.

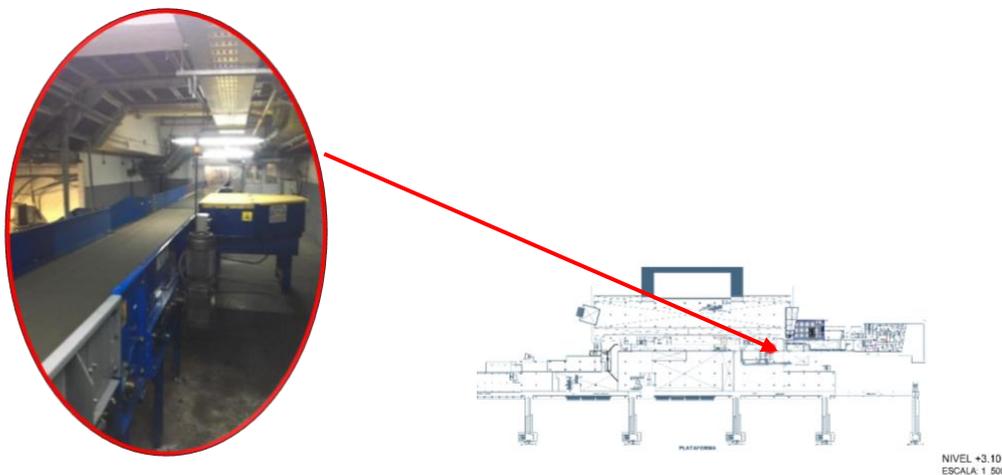


Figura 3.13 Plano y ubicación de toma de datos en nivel 3.10, bandas de equipaje.

Además, se realizó la toma de datos en estos puntos específicos probando los diferentes canales de comunicación, tomando en cuenta la señal que proviene de Cerro Azul. A continuación, se presentan los valores de potencia recibida obtenidas en los diferentes niveles del edificio, por medio del informe de red del software Ekahau survey, en esta

situación también se dividen en dos zonas la terraza norte y sur para poder posteriormente comparar estos valores y poder calcular sus errores en la toma de los datos. Como se pueden observar estas tablas son similares a las anteriores pero la diferencia es que están llenas de los valores simulados.

Terraza Norte:

Canal	Terraza Norte (dBm)	Nivel 6.50 (dBm)	Nivel 3.10 (dBm)	Nivel 0.0 (dBm)
Operaciones	-45.3580	-48.2850	-51.5582	-55.5698
Seguridad	-45.3582	-48.3284	-52.5981	-55.2056
Mantenimiento	-45.8950	-47.8560	-52.4855	-56.2682
Bomberos	-45.5879	-47.5752	-50.4862	-57.6980

Tabla 3.24 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.

Canal	Terraza Norte (dBm)	Nivel 6.50 (dB)	Nivel 3.10 (dB)	Nivel 0.0 (dB)
Operaciones	0.1912	0.1472	0.0515	0.2545
Seguridad	0.0847	0.1693	0.0569	0.5464
Mantenimiento	0.2879	0.0828	0.0971	0.5828
Bomberos	0.2589	0.0896	0.0859	0.4178

Tabla 3.25 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio.

Canal	Terraza a nivel 6.50 (dB)	Terraza a nivel 3.10 (dB)	Terraza a nivel 0.0 (dB)
Operaciones	2,927	6,2002	10,2118
Seguridad	2,9702	7,2399	9,8474
Mantenimiento	1,961	6,5905	10,3732
Bomberos	1,9873	4,8983	12,1101
Promedio	2,461375	6,232225	10,635625

Tabla 3.26 Perdidas la terraza Norte a los diferentes niveles.

Comparando las tablas 3.7 y 3.27 las cuales resumen las pérdidas que se tuvo desde la terraza norte hasta los diferentes niveles del edificio, con la diferencia que la primera son toma de datos reales mientras que la segunda son datos obtenidos por el informe de red del software Ekahau. Si se analiza el promedio de estos datos se puede observar que si existe una diferencia de hasta 6 dB cuando se habla de la terraza norte hasta el nivel 0.0.

Terraza Sur:

Canal	Terraza Sur (dBm)	Nivel 6.50 (dBm)	Nivel 3.10 (dBm)	Nivel 0.0 (dBm)
Operaciones	-45.2850	-48.2850	-51.5582	-55.5698
Seguridad	-44.3458	-48.3284	-52.5981	-55.2056
Mantenimiento	-44.8258	-47.8560	-52.4855	-56.2682
Bomberos	-45.5852	-47.5752	-50.4862	-57.6980

Tabla 3.27 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario

Canal	Terraza Sur (dBm)	Nivel 6.50 (dB)	Nivel 3.10 (dB)	Nivel 0.0 (dB)
Operaciones	0.1912	0.1472	0.0515	0.2545
Seguridad	0.0847	0.1693	0.0569	0.5464
Mantenimiento	0.2879	0.0828	0.0971	0.5828
Bomberos	0.2589	0.0896	0.0859	0.4178

Tabla 3.28 . Desviación estándar de la potencia en los diferentes niveles del edificio.

Canal	Terraza a nivel 6.50 (dB)	Terraza a nivel 3.10 (dB)	Terraza a nivel 0.0 (dB)
Operaciones	3	6,2732	10,2848
Seguridad	3,9826	8,2523	10,8598
Mantenimiento	3,0302	7,6597	11,4424
Bomberos	1,99	4,901	12,1128
Promedio	3,0007	6,77155	11,17495

Tabla 3.29 Perdidas de la terraza Sur a los diferentes niveles.

Desde la tabla 3.28 hasta la tabla 3.30 se evidencian los mismos datos que se analizan para la terraza norte. La única diferencia que se puede denotar estos datos con los datos reales es que están más cercanos con los de la simulación. Esto quiere decir que el índice de error al momento de la toma de datos fue inferior que a la toma de la terraza norte.

Puente de embarque 20:

Canal	Terraza Sur (dBm)	Nivel 6.50 (dBm)	Nivel 3.10 (dBm)	Nivel 0.0 (dBm)
Operaciones	-45.2520	-48.2850	-51.5582	-53.5698
Seguridad	-44.3552	-48.3284	-52.5981	-53.2056
Mantenimiento	-44.8250	-47.8560	-52.4855	-54.2682
Bomberos	-45.6579	-47.5752	-50.4862	-53.6980

Tabla 3.30 Potencia recibida en los distintos niveles del Edificio Aeroportuario.

Canal	Terraza Sur (dBm)	Nivel 6.50 (dB)	Nivel 3.10 (dB)	Nivel 0.0 (dB)
Operaciones	0.1912	0.1472	0.0515	0.2545
Seguridad	0.0847	0.1693	0.0569	0.5464
Mantenimiento	0.2879	0.0828	0.0971	0.5828
Bomberos	0.2589	0.0896	0.0859	0.4178

Tabla 3.31 Desviación estándar de la Potencia en los diferentes niveles del edificio

Canal	Terraza a nivel 6.50 (dB)	Terraza a nivel 3.10 (dB)	Terraza a nivel 0.0 (dB)
Operaciones	3,033	6,3062	8,3178
Seguridad	3,9732	8,2429	8,8504
Mantenimiento	3,031	7,6605	9,4432
Bomberos	1,9173	4,8283	8,0401
Promedio	2,988625	6,759475	8,662875

Tabla 3.32 Perdidas del Pit 20 a los diferentes niveles.

Desde la tabla 3.31 hasta la 3.33 se obtienen los resultados simulados de la posible solución poniendo una repetidora en el pit 20. Claramente se nota una mejora con

respecto a la situación actual si se observa la tabla 3.7 y 3.10, pérdidas de terraza norte y sur respectivamente, son valores mayores a los que se observan en la tabla 3.33, esto quiere decir que la solución propuesta si cumplió con la expectativa de mejorar la cobertura en la zona de patio de equipaje y bandas de equipaje del nivel 3.10. En la siguiente sección se ha calculará las pérdidas según el modelo de propagación propuesto, tomando en cuenta las potencias transmitidas obtenidas en el apartado anterior.

3.2.1.3 Modelo Multi-Muros

De la misma manera que se trabajó para el análisis de la situación actual del sistema con el modelo de propagación MWM, se trabajó para la nueva alternativa de la repetidora en el pit 20. A continuación se realizaran los cálculos teóricos para un canal en este caso el de operaciones del pit 20 hasta el nivel 0.0, para comparar con los resultados obtenidos anteriormente. Partiendo de (3.9) que resume el cambio de los valores para calibrar el modelo de propagación se reemplaza los valores de K_w y K_f que se encuentran en la tabla 3.36.

$$L_{MWM} = L_{FS-ajustada} + 41.53 + 3.98 * 4 + 2 * 15.42^{\frac{3+2}{3+1}-0.48} \quad (3.13)$$

Ahora para encontrar a $L_{FS-ajustada}$ se usa la siguiente formula:

$$L_{FS-ajustada} = 1.83 * -10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi d^2} \right) \quad (3.14)$$

Ahora reemplazando los valores en (3.14) se tiene:

$$L_{FS} = 1.83 * -10 \log \left(\frac{0.1368}{1.3738 \times 10^9} \right) = 1.83 * (60.8436) = 111.3438 \text{ dB} \quad (3.15)$$

Retomando de la (3.13) y reemplazando la pérdida FS ajustada se tiene:

$$L_{MWM} = 111.3438 + 41.53 + 3.98 * 4 + 3 * 15.42^{\frac{3+2}{3+1}-0.48} = 189.4410 \text{ dB} \quad (3.16)$$

Por fin en (3.16) se tiene el valor resultante de las pérdidas según el modelo de MWM,

Pit 20:

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	0	1	111.3438	173.1410
Seguridad	832		1	111.7490	173.5462
Mantenimiento	856		1	112.2018	173.9990
Bomberos	879		1	112.6204	174.4176

Tabla 3.33 Perdidas MWM desde Pit 20 a nivel 6.50.

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos Kf	Número de paredes Kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	1	2	111.3438	177.1210
Seguridad	832		2	111.7490	177.5262
Mantenimiento	856		2	112.2018	177.9790
Bomberos	879		3	112.6204	182.3776

Tabla 3.34 Perdidas MWM desde Pit 20 a nivel 3.10.

Canal	Frecuencia Central (Mhz)	Número de pisos kf	Número de paredes kw	Perdida FS ajustada (dB)	Perdidas MWM (dB)
Operaciones	811	2	4	111.3438	189.4410
Seguridad	832		4	111.7490	189.8462
Mantenimiento	856		6	112.2018	198.2590
Bomberos	879		3	112.6204	186.7376

Tabla 3.35 Perdidas MWM desde Pit 20 a nivel 0.0.

Los valores teóricos calculados de las perdidas MWM del PIT 20 hacia los diferentes niveles del edificio aeroportuario. Se pudo calcular los valores de la perdida de MWM

gracias a los valores de potencia recibida y transmitida de la simulación con Ekahau, necesarios para poder encontrar la pérdida FS y luego ser ajustada al modelo de propagación. Al final los resultados obtenidos confirman que se tiene una solución positiva al problema de cobertura en los niveles del edificio por medio de la comparación de los resultados obtenidos reales MWM en las terrazas norte y sur con respecto a los valores calculados en este apartado.

3.3 Comparativa del sistema actual vs. mejorado

En esta sección se resumirá los resultados encontrados durante las secciones anteriores. Un punto de comparación será el de las potencias recibidas teóricas calculadas con los resultados de la simulación. Como en la tabla 3.37 donde se calcula el porcentaje de mejora entre los valores calculados con las mediciones de la simulación. La fórmula que se usa para este cálculo se la resume en (3.17).

$$\%Mejora = \left[\frac{Valor Real - Valor Simulado}{Valor Real} \right] * 100 \quad (3.17)$$

Comparar el porcentaje de mejora es necesario para poder estimar si la toma de datos se realizó correctamente o sucedió errores que podría desestimar el proyecto, por tener datos pocos fiables. El porcentaje de mejora también ha servido como punto de partida para poder corroborar los datos teóricos calculados de las pérdidas dado que si el índice de mejora es demasiado alto.

En la tabla 3.37 se resume los promedios de los porcentajes de mejora de las potencias recibidas en cada terraza además de la subdivisión de cada nivel en los lugares de tomas de datos. Centrándose en los niveles se puede observar que el rango porcentaje de mejora va desde un 18% hasta un 27%. Un rango de aceptabilidad en toma de datos de va desde un 0% hasta un 30% por tal motivo los datos recolectados tienen aceptación en este proyecto.

POTENCIA RECIBIDA (dBm)									
Ubicación	Canal	REALES		SIMULADOS		%Mejora		PROMEDIO	
NORTE	Operaciones	-59.5828		-45.358		23.9%		23%	
	Seguridad	-58.3582		-45.3582		22.3%			
	Mantenimiento	-58.895		-45.895		22.1%			
	Bomberos	-60.5879		-45.5879		24.8%			
SUR	Operaciones	-58.285		-45.285		22.3%		22%	
	Mantenimiento	-57.3458		-44.3458		22.7%			
	Seguridad	-57.8258		-44.8258		22.5%			
	Bomberos	-58.5852		-45.5852		22.2%			
Nivel		NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR
6.50	Operaciones	-65.285	-61.5288	-48.285	-48.285	26.0%	21.5%	27%	21%
	Mantenimiento	-66.3284	-60.3525	-48.3284	-48.3284	27.1%	19.9%		
	Seguridad	-66.856	-62.8565	-47.856	-47.856	28.4%	23.9%		
	Bomberos	-65.5752	-59.5745	-47.5752	-47.5752	27.4%	20.1%		
3.10	Operaciones	-68.5582	-65.5582	-51.5582	-51.5582	24.8%	21.4%	25%	20%
	Mantenimiento	-69.5981	-64.5981	-52.5981	-52.5981	24.4%	18.6%		
	Seguridad	-69.4855	-65.4855	-52.4855	-52.4855	24.5%	19.9%		
	Bomberos	-68.4862	-64.4862	-50.4862	-50.4862	26.3%	21.7%		
0.0	Operaciones	-75.2582	-69.5698	-55.5698	-55.5698	26.2%	20.1%	26%	18%
	Mantenimiento	-75.2056	-67.2056	-55.2056	-55.2056	26.6%	17.9%		
	Seguridad	-76.2682	-68.2682	-56.2682	-56.2682	26.2%	17.6%		
	Bomberos	-77.698	-67.698	-57.698	-57.698	25.7%	14.8%		

Tabla 3.36 Porcentajes de mejora de valores reales vs simulados.

A continuación, en la tabla 3.38, se analizó la otra variable para mejorar el sistema que son las pérdidas calculadas según el modelo propuesto en el capítulo 2. Se analizaron los resultados obtenidos y se puede observar que las pérdidas disminuyeron al momento que se agrega la antena en el puente de embarque PIT 20. Mientras más desciendan las pérdidas mejor será la recepción en los puntos de cobertura que se propusieron en los apartados anteriores.

Según los promedios encontrados en las tablas 3.37 y 3.38 se puede estimar que en totalidad el sistema se mejora dentro de un rango de 6% hasta un 12% en sus diferentes niveles de edificio aeroportuario.

PERDIDAS MWM (dB)								
Nivel	Canal	NORTE	SUR	PIT 20	%MEJORA		PROMEDIO	
					%N-PIT20	%S-PIT20	%N-PIT20	%S-PIT20
6.50	Operaciones	198.2713	186.3229	173.141	-12.7%	-7.1%	-11.7%	-7.5%
	Mantenimiento	198.2708	190.7081	173.5462	-12.5%	-9.0%		
	Seguridad	195.1489	187.1809	173.999	-10.8%	-7.0%		
	Bomberos	195.5674	187.5995	174.4176	-10.8%	-7.0%		
3.10	Operaciones	202.2513	194.2829	177.121	-12.4%	-8.8%	-11.4%	-7.3%
	Mantenimiento	202.2508	190.7081	177.5262	-12.2%	-6.9%		
	Seguridad	199.1289	191.1609	177.979	-10.6%	-6.9%		
	Bomberos	203.5274	195.5595	182.3776	-10.4%	-6.7%		
0.0	Operaciones	210.2414	202.273	189.441	-9.9%	-6.3%	-10.6%	-6.7%
	Mantenimiento	214.2209	206.6582	189.8462	-11.4%	-8.1%		
	Seguridad	219.059	211.091	198.259	-9.5%	-6.1%		
	Bomberos	211.5175	199.5696	186.7376	-11.7%	-6.4%		

Tabla 3.37 Porcentaje de mejora en las perdidas MWM.

3.4 Análisis financiero

A continuación, se elaborará un detalle del costos fijos y variables que tiene el proyecto, de esta manera se puede observar cual será la inversión que se debe poseer para poder implementar el proyecto. Se tiene factores como el modelo de antena repetidora y equipos que entraran en este nuevo sistema y que son importantes para este análisis, dado que de esto dependerá las diferencias de costo.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Laptop de TB con tarjeta grafica	1	\$900.00	\$900.00
Licencia del Software Ekahau	1	\$341.56	\$341.56
Alquiler de equipos de medición (analizador de espectro, filtro EB, Cable coaxial 2 M, Antena AOR DN753)	1	\$400.00	\$400.00
Mano de Obra Investigación	1	\$800.00	\$800.00
TOTAL			\$2441.56

Tabla 3.38 Costos por servicios prestado

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Antena tipo Yagi	1	\$356.00	\$356.00
Mástil de 35mm	1	\$1000.00	\$1000.00
Conector N hembra	1	\$3.50	\$3.50
Cable Coaxial terminal tipo Hembra (metros)	7	\$11.50	\$82.50
Material para fijar la base de la antena (Cemento)	1	\$50.00	\$50.00
Mano de Obra de instalación (por 2 Personas)	1	\$900.00	\$900.00
TOTAL			\$2392.00

Tabla 3.39 Detalle de Equipos y servicios para implementar nuevo sistema

Al observar las tablas 3,38 y 3.39 se tiene los dos presupuestos que abarca la implementación del proyecto teniendo un total de **\$4833.56** aproximadamente para llevar a cabo todo el trabajo, cabe recalcar, que son precios estándares que pueden variar según el tiempo cuando se implementaría. Adicional se debe caer en cuenta que dicho presupuesto abarca un 48% aproximadamente del gasto total que proponía la empresa prestadora de servicio cambiar el sistema analógico a digital.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la siguiente sección se resume las conclusiones del proyecto basándose a los resultados obtenidos en el Capítulo 3, como también las recomendaciones para trabajo futuros o posibles cambios que se pudieron haber realizado en el proceso del proyecto.

Conclusiones

- Mediante mediciones se comprobó que las potencias de recepción eran bajas, sobre todo en las zonas aledañas al patio de Equipajes en el Nivel 0.0., observando que por el rio de maquinaria la señal se perdía considerablemente.
- El modelo con línea de vista para los exteriores se ajustó a las especificaciones que presentaba el radio enlace desde las antenas de Cerro Azul con las antenas ubicadas en las terrazas norte y sur, se pudo observar que no se presentaba mayor obstáculo o vegetación en el medio, y además existía línea de vista, pero las pérdidas son altas debido a la distancia que se encuentran entre sí y a los materiales que se encuentran los rayos de la señal.
- Debido a la infraestructura, la cual, tiene muchas divisiones entre áreas públicas y áreas estériles dentro del aeropuerto, el concreto y el cristal poseen perdidas propias del material, esto también influye en que la señal pueda llegar con buena potencia hacia el destino. Por lo tanto, por medio del modelo de propagación multi-muros se realizó el análisis de las perdidas actuales y de la solución mejorada, donde las estadísticas corroboraron que esta última tenía perdidas menores hasta un 12%, lo que en general significaría una mejora en el sistema de comunicación.
- Usamos los softwares de Radio Mobile y de Ekahau para la simulación de la propuesta del sistema de comunicaciones mejorado, gracias a las especificaciones ingresadas de los equipos, se pudo comprobar la señal de propagación que se ofrece, es mejor con respecto a la situación actual en un promedio del 20%.

- Gracias a la elaboración del presupuesto financiero se pudo observar la cantidad aproximada del costo del proyecto que en comparación a propuestas de otras prestadoras de servicio en promedio tiene un ahorro del 30%.

Recomendaciones

- Se recomienda que, en la toma de datos, se tome en cuenta hasta la cuarta cifra significativa para reducir el porcentaje de error en los datos calculados teóricamente.
- El software Ekahau, es de uso profesional, por lo tanto, la licencia tiene un valor monetario en la página del vendedor, no intentar descargar el programa por otras páginas ya que ofrecen spam y afectaría a nuestro ordenador sobre todo si se trata de virus en el sistema.
- En el software Radio Mobile, configurar los mapas de la ciudad correctamente antes de implementar el radio enlace, ya que luego no se visualizará correctamente sobre todo cuando se llama a la función zoom o acercamiento para tomar las capturas de pantalla respectivas.
- Ingresar correctamente los parámetros y especificaciones de los equipos en los programas simuladores para que se calcule correctamente los resultados y se tenga entendimiento de éstos.

BIBLIOGRAFÍA

- EMTY. (2019). *ETMY*. Obtenido de <http://m.es.handheld-twowayradio.com/motorola-radios/motrbo/motorola-dgp-6150.html>
- Fernández, N. G. (2006). *Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en*. Oviedo: España.
- Lidón, M. B. (2013). *riunet*. Obtenido de riunet: <https://riunet.upv.es/handle/10251/33006>
- Media, I. (2019). Obtenido de Ayscom: <https://www.interempresas.net/Medicion/FeriaVirtual/Producto-Software-para-profesionales-de-las-redes-Ekahau-Site-Survey-97483.html>
- Medina, V. Z. (2015). *DOCplayer*. Obtenido de DOCplayer: <https://docplayer.es/61822662-Estudio-analisis-y-evaluacion-de-los-factores-para-interconexion-de-una-red-de-radiocomunicacion-troncalizado-analogico-y-digital.html>
- Mendes, D. (2019). *UPC*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25617/PFC_Dayana%20Mendes%20Definitiva.pdf
- Motorola. (2019). *Motorola Solutions*. Obtenido de https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/products/two-way_radios/mobile_radios/wide_area_large_business_mobile_radios/gtx_ltr_mobile/_documents/gtx_ltr_mobile_radio_specification_sheet.pdf
- Mx, M. (2019). *Motorola MX*. Obtenido de https://www.radiomotorola.com.mx/pdfs/radio_pro5550_pro7550.pdf
- Orostegui, A. T. (2007). *Análisis Técnico, Económico del sistema de radiocomunicación de línea 4/4A del metro de Santiago*. Santiago de Chile.
- Sangronis, L. (10 de Octubre de 2016). *blogspot.com*. Obtenido de [blogspot.com](http://radiopropagacion-grupo3.blogspot.com/2016/10/sistemas-troncalizados.html): <http://radiopropagacion-grupo3.blogspot.com/2016/10/sistemas-troncalizados.html>
- Schwarz, R. &. (2022). *Rohde-schwarz*. Obtenido de Rohde-schwarz: https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/benchtop-analyzers/rs-fsl18_63493-8042.html
- Soto, D. S. (Noviembre de 2009). *bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de bibdigital.epn.edu.ec: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4183/1/CD-2592.pdf>

TAGSA. (2017). *Terminal Aeroportuaria de Guayaquil S.A.* Recuperado el 15 de noviembre de 2021, de <http://www.tagsa.aero/tagsa.html>

APÉNDICES

APÉNDICE A



Guayaquil, 29 de Noviembre del 2021

Ing. Andrés Rubio
Gerente de Mantenimiento
Terminal Aeroportuaria de Guayaquil
TAGSA. _

CARTA DE COMPROMISO

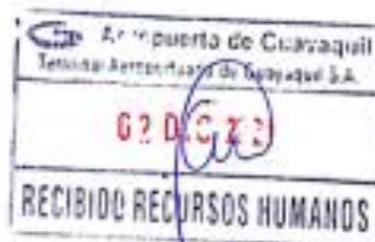
Yo, Washington Adolfo Medina Moreira, Profesor Titular Principal de la Escuela Superior Politécnica del Litoral y tutor del proyecto de tesis "Análisis y simulación de la señal de radio frecuencia dentro del aeropuerto en la ciudad de Guayaquil.", de los Sres. Andrea Azucena Nuñez Quinto y Jorge Alcides Saquinaula Brito, estudiantes de la carrera de Ingeniería en electrónica y telecomunicaciones, solicito a Ud. se sirva autorizar a los mencionados estudiantes a fin de puedan realizar el presente trabajo en las instalaciones de la Terminal Aeroportuaria.

Además, certifico que el fin de este estudio inter- institucional será netamente de tipo académico para obtención del título y no tiene fines de lucro.

Agradeciendo su gentil ayuda y colaboración para que este proceso de titulación se dé con éxito.

Atentamente,

ing. Washington Medina N.
Docente Tutor ESPOL
C.I. 1201151535



Srta. Andrea Azucena Nuñez Quinto
Estudiante ESPOL
C.I. 0931061865

Sr. Jorge Alcides Saquinaula Brito
Estudiante ESPOL
C.I. 0927292839

APÉNDICE B



Figura 4.1 Antenas de la terraza Norte



Figura 4.2 Antenas de la terraza Norte



Figura 4.3 Antenas de la terraza Sur



Figura 4.4 Antenas de la terraza Sur